Acest dosar este prezentat exclusiv pentru informare.
Stimate cititor!

Daca DVS doriti sa copiati acest dosar, el urmeaza a fi inlaturat fara intirziere, imediat dupa ce ati facut cunostinta cu continutul lui.
Copiind si pastrind dosarul in cauza,
DVS va asumati toata responsabilitatea
in conformitate cu legislatia in vigoare.
Toate drepturile de autor asupra dosarului dat
se pastreaza dupa detinatorul de drept.
Orice utilizare in scopuri comerciale sau alte
scopuri, cu exceptia utilizarii in scopuri de informare
prealabila este interzisa.

Publicarea acestui document nu atrage dupa sine nici un fel de cistig comercial.

Insa astfel de documente contribuie rapid la ridicarea profesionalismului si spiritualitatii
cititorilor si serveste drept reclama a editiilor de hirtie a acestor documente.

MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÂNTULUI

prof. dr. ing.
AL. MĂNESCU

prof. dr. ing.
MARIN SANDU

prof. dr. ing.
OVIDIU IANCULESCU

ALIMENTĂRI CU APĂ

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, R.A. – BUCUREȘTI, 1994

Participarea autorilor la elaborarea lucrării este următoarea:

- prof. dr. ing. **Alexandru Măneseu** : cap. 1, 2, 4, 5, 7, 9
- prof. dr. ing. **Marin Sandu**: cap. 6
- prof. dr. ing. **Ovidiu Ianculescu**: cap. 3, 8

ISBN 973-30-2933-5

Redactor: ing. *IULIANA ARHANGHELSCHI*
Tehnoredactor: *ILINCA PROSAN*
Grafician: *ELENA DRĂGULELEI*

PREFAȚĂ

Lucrarea Alimentări cu apă, *elaborată cu scopul de a oferi un bogat material didactic, tehnic și științific, reprezintă o valoroasă contribuție în inițierea și îndrumarea de specialitate a studenților hidrotehnicieni.*

Experiența bogată a autorilor în cercetare, proiectare și execuție — direct sau prin îndrumări periodice pe șantiere — desfășurate pe o perioadă de peste trei decenii, constituie baza valoroasă a acestei lucrări didactice.

Lucrarea este organizată în nouă capitole, cuprinzînd atît problemele fundamentale ale disciplinei Alimentări cu apă, *cît și numeroase aspecte de detaliu ale construcțiilor și instalațiilor, componente ale sistemului de alimentări cu apă. Pentru a ușura înțelegerea de către studenți a unor aspecte teoretice și practice, lucrarea este ilustrată cu exemple de calcul.*

Pe lîngă experiența bogată obținută în România prin construcțiile și instalațiile de alimentare cu apă potabilă și industrială, proiectate și realizate, la care au participat și autorii lucrării de față, aceștia au ținut seama în elaborarea lucrării de cele mai recente concepții și rezultate publicate în lucrările ultimelor congrese internaționale de specialitate.

Autorii prezintă îndrumări detaliate pentru recepția, darea în funcțiune și exploatarea tehnică a obiectelor componente ale sistemului de alimentare cu apă (de exemplu: captări, stații de tratare a apei etc).

Lucrarea, deşi concepută ca manual universitar, va putea fi folosită şi de inginerii hidrotehnicieni, în special în ceea ce priveşte latura tehnologică a sistemelor de alimentare cu apă.

În concluzie, apreciez că lucrarea Alimentări cu apă, *depăşind limitele unui manual didactic, poate fi considerată ca primul tratat de alimentări cu apă apărut în România.*

Prof. dr. ing. PETRE TROFIN

CUPRINS

Introducere 11

1. SISTEME DE ALIMENTARE CU APĂ 17

1.1. Apa. Circuitul apei în natură. Surse de apă 17

1.1.1. Apa 17
1.1.2. Circuitul apei în natură. Surse de apă 18

1.2. Caracteristici calitative ale apei de alimentare 21

1.2.1. Condiţii de calitate pentru apa potabilă 21
1.2.2. Condiţii de calitate pentru apa din sursă 27
1.2.3. Condiţii de calitate pentru apa industrială 29
1.2.4. Condiţii de calitate pentru alte folosinţe 31
1.2.5. Condiţii generale de determinare a valorilor indicatorilor 31
1.2.6. Interpretarea rezultatelor analizelor 32

1.3. Scheme de alimentare cu apă 33

1.3.1. Elementele componente şi rolul acestora 33
1.3.2. Factorii care influenţează alegerea schemei de alimentare cu apă . . . 34

1.4. Cantităţile de apă necesare pentru alimentare 39

1.4.1. Nevoile de apă ale centrelor populate şi industriilor 39
1.4.2. Norme de necesar de apă şi variaţiile necesarului de apă pentru centre populate 40
1.4.3. Norme de necesar de apă pentru industrie 43
1.4.4. Norme de necesar de apă pentru irigaţie 43
1.4.5. Necesarul de apă pentru combaterea incendiului 44

1.5. Debitele de dimensionare a schemei de alimentare cu apă 46

2. CAPTAREA APEI SUBTERANE 51

2.1. Formarea stratelor subterane de apă 51
2.2. Mişcarea apei subterane. Aplicarea relaţiei Darcy 52

2.2.1. Mişcarea apei către dren 53
2.2.2. Mişcarea apei către puţ în strat cu nivel liber 54
2.2.3. Mişcarea apei către puţ în strat sub presiune 55

2.3. Determinarea elementelor hidrogeologice ale stratelor acvifere 55

2.3.1. Metode de determinare a elementelor stratului 55
2.3.2. Metode de executare a forajelor 56

2.3.3. Determinarea caracteristicilor stratului de apă — cazul mişcării permanente . . . 58
2.3.4. Determinarea caracteristicilor stratului — cazul mişcării nepermanente către puţ . . . 72
2.4. Captarea apei subterane prin puţuri . . . 73
2.4.1. Puţuri săpate . . . 75
2.4.2. Puţuri forate . . . 77
2.4.3. Puţuri înfipte . . . 84
2.4.4. Puţuri cu drenuri radiale . . . 84
2.5. Sisteme de colectare a apei captate în puţuri . . . 85
2.5.1. Sistemul de colectare prin sifonare . . . 86
2.5.2. Sistemul de colectare prin pompare . . . 89
2.6. Captări cu dren . . . 91
2.7. Captări din apa infiltrată prin malurile rîurilor . . . 94
2.8. Îmbogăţirea stratelor de apă subterană . . . 97
2.9. Protecţia sanitară a captărilor pentru apă potabilă . . . 98
2.10. Dimensionarea tehnologică a captărilor de apă subterană . . . 101
2.10.1. Dimensionarea captărilor cu puţuri . . . 101
2.10.2. Dimensionarea captărilor cu dren . . . 105
2.11. Punerea în funcţiune şi exploatarea captărilor de apă subterană . . . 111
2.12. Lucrări de întreţinere şi remediere a captărilor de apă subterană . . . 117
2.13. Captarea izvoarelor . . . 119
2.14. Măsuri de protecţia muncii la lucrările de captare a apei subterane . . . 123

3. CAPTAREA APEI DIN SURSE DE SUPRAFAŢĂ . . . 125

3.1. Generalităţi . . . 125
3.2. Condiţii generale de amplasare a captării . . . 127
3.3. Studii necesare pentru proiectarea captării . . . 129
3.4. Tipuri de captări . . . 130
3.4.1. Captări în albie . . . 131
3.4.2. Captări în mal . . . 134
3.4.3. Captări cu regularizarea albiei . . . 138
3.4.4. Captări cu baraj de derivaţie . . . 141
3.4.5. Captări din lac . . . 144
3.5. Lucrări complementare la lucrările de captare . . . 152
3.6. Exploatarea captărilor de apă din surse de suprafaţă . . . 154
3.7. Măsuri de protecţia muncii la execuţia prizelor din apă de suprafaţă . . . 155

4. ADUCŢIUNI . . . 157

4.1. Scheme hidraulice de funcţionare. Dimensionarea economică a aducţiunilor . . . 157
4.1.1. Dimensionarea hidraulică a aducţiunilor gravitaţionale sub presiune . . . 161
4.1.2. Dimensionarea hidraulică a aducţiunilor gravitaţionale cu nivel liber . . . 170
4.1.3. Dimensionarea aducţiunilor funcţionînd cu pompare . . . 173
4.1.4. Problema siguranţei în funcţionare a aducţiunii . . . 175
4.1.5. Proiectarea aducţiunilor . . . 177

4.2. Materiale pentru execuţia aducţiunilor . . . 179
4.2.1. Ţevi din oţel . . . 180
4.2.2. Tuburi din fontă de presiune . . . 185
4.2.3. Tuburi din azbociment . . . 187
4.2.4. Tuburi din beton armat . . . 190
4.2.5. Tuburi din beton precomprimat . . . 190
4.2.6. Ţevi din masă plastică . . . 192
4.2.7. Conducte din ţevi de aluminiu . . . 193
4.3. Tehnologia execuţiei conductelor de aducţiune . . . 193
4.4. Construcţii accesorii pe conductele de aducţiune . . . 202
4.5. Executarea canalelor pentru transportul apei . . . 215
4.6. Exploatarea lucrărilor de transport a apei . . . 217
4.7. Măsuri de protecţie a muncii la lucrările de aducţiune . . . 219
4.8. Exemple de lucrări executate pentru transportul apei . . . 220

5. STAŢII DE POMPARE . . . 222

5.1. Rolul staţiilor de pompare . . . 222
5.2. Caracteristicile principalelor tipuri de pompe produse în ţară . . . 223
5.2.1. Caracteristica generală a pompei . . . 223
5.2.2. Pompe fabricate în România şi domeniile de utilizare . . . 226
5.3. Dimensiunea hidraulică a staţiei de pompare . . . 228
5.3.1. Determinarea tipului de pompă . . . 228
5.3.2. Determinarea cotei axului pompei . . . 233
5.3.3. Dimensionarea instalaţiei hidraulice . . . 235
5.4. Clădirea staţiei de pompare . . . 236
5.5. Utilajul de echipare a staţiilor de pompare . . . 240
5.6. Instalaţia hidraulică în staţia de pompare . . . 240
5.7. Limitarea şi combaterea loviturii de berbec . . . 244
5.8. Aparate de măsură şi control . . . 245
5.9. Staţii de pompare cu hidrofor . . . 246
5.10. Pompe cu turaţie variabilă . . . 248
5.11. Exploatarea staţiilor de pompare . . . 249
5.12. Măsuri de protecţia muncii . . . 252
5.13. Exemple de staţii de pompare . . . 253

6. TRATAREA APEI . . . 259

6.1. Consideraţii generale asupra tratării apei . . . 259
6.1.1. Rolul staţiilor de tratare a apei . . . 259
6.1.2. Procese naturale de îmbunătăţire a calităţii apei . . . 260
6.1.3. Schemele staţiilor de tratare a apei . . . 260
6.2. Tratarea apei cu reactivi chimici . . . 263
6.2.1. Coagulare-floculare . . . 263
6.3. Construcţii şi instalaţii în care se utilizează reactivi . . . 277
6.3.1. Sulfatul de aluminiu . . . 277
6.3.2. Silicea activă . . . 279

6.3.3. Hidroxidul de calciu 281
6.3.4. Clorul 283
6.3.5. Ozonul 284
6.3.6. Camere de amestec 288
6.3.7. Camera de reacţie 289

6.4. Decantarea apei 291

6.4.1. Decantarea particulelor discrete 291
6.4.2. Decantoare statice 293
6.4.3. Decantarea particulelor coloidale 297

6.5. Filtrarea apei 322

6.5.1. Consideraţii generale asupra filtrării apei 322
6.5.2. Filtre lente 323
6.5.3. Filtrarea rapidă a apei 326

6.6. Deferizarea şi demanganizarea apei 359

6.6.1. Procese tehnologice în deferizarea şi demanganizarea apei 360
6.6.2. Aerarea apei 361
6.6.3. Filtrarea apei 363
6.6.4. Ansamblul staţiei de deferizare-demanganizare 364
6.6.5. Adoptarea procesului tehnologic 362

6.7. Dedurizarea şi decarbonatarea apei 365

6.7.1. Decarbonatarea apei 366
6.7.2. Dedurizarea apei 368
6.7.3. Instalaţii de dedurizare cu mase cationice 371

6.8. Dezinfectarea apei 373

6.8.1. Clorarea apei 373
6.8.2. Ozonizarea apei 374
6.8.3. Dezinfectarea cu raze ultraviolete 375
6.8.4. Dezinfectarea prin metoda oligodinamică 375

6.9. Cărbunele activ utilizat în tratarea apei 376

6.9.1. Caracteristici generale 376
6.9.2. Tehnici de utilizare a cărbunelui activ 377

6.10. Amplasamentul şi dispoziţia generală a staţiilor de tratare 379

6.10.1. Alegerea amplasamentului 379
6.10.2. Dispoziţia generală a staţiilor de tratare 379
6.10.3. Sisteme anexe staţiilor de tratare 380
6.10.4. Automatizări şi centralizări la staţiile de tratare 386

7. CONSTRUCŢII PENTRU ÎNMAGAZINAREA APEI 388

7.1. Rolul rezervorului în schema de alimentare cu apă. Cota şi volumul rezervorului 388

7.1.1. Rolul rezervorului 388
7.1.2. Determinarea cotei 390
7.1.3. Determinarea volumului rezervorului 392

7.2. Tipuri şi forme constructive pentru rezervoare şi castele de apă. Materiale de execuţie 400

7.2.1. Tipuri şi forme constructive pentru rezervoare 400
7.2.2. Tipuri şi forme constructive pentru castele de apă 403

7.3. Instalaţia hidraulică la rezervoare şi castele de apă 405

7.3.1. Instalaţia hidraulică la rezervoare 405
7.3.2. Instalaţia hidraulică a castelelor de apă 411

7.4. Executarea construcţiilor de înmagazinare a apei 413

7.4.1. Executarea rezervoarelor din beton armat şi beton precomprimat 413
7.4.2. Executarea castelelor de apă 420
7.4.3. Precizări legate de protecţia muncii 421
7.4.4. Probleme ale exploatării construcţiilor de înmagazinare 422
7.4.5. Exemple de lucrări pentru înmagazinarea apei 422

8. REŢEAUA DE DISTRIBUŢIE A APEI 424

8.1. Alcătuirea reţelei de distribuţie. Scheme ale reţelei şi factorii care influenţează această schemă 424

8.1.1. Factorii care influenţează schema reţelei de distribuţie 424
8.1.2. Schema reţelei de distribuţie 426
8.1.3. Clasificarea reţelelor după funcţionarea în caz de incendiu 429
8.1.4. Zonarea reţelei în funcţie de presiunea maximă 430

8.2. Dimensionarea hidraulică a reţelei de distribuţie 432

8.2.1. Dimensionarea prin calcul 432
8.2.2. Dimensionarea reţelelor prin modelare 449
8.2.3. Aspecte ale dimensionării tehnico-economice ale reţelelor de distribuţie . . 450

8.3. Materiale pentru executarea reţelei de distribuţie 453
8.4. Executarea reţelei de distribuţie 461
8.5. Probleme de exploatare a reţelei de distribuţie 465

9. FIABILITATEA SISTEMELOR DE ALIMENTARE CU APĂ 467

9.1. Introducere 467
9.2. Probleme de fiabilitate generală a sistemului de alimentare cu apă 468
9.3. Creşterea siguranţei funcţionării sistemelor de alimentare cu apă 471

9.3.1. Captarea 471
9.3.2. Staţia de pompare 472
9.3.3. Aducţiunea 473
9.3.4. Rezervoarele 476
9.3.5. Reţeaua de distribuţie 477
9.3.6. Staţia de tratare 479

9.4. Concluzii 482

INTRODUCERE

OBIECTUL CURSULUI DE ALIMENTĂRI CU APĂ

Dezvoltarea accentuată a economiei țării pe baza unei industrializări largi și a modernizării agriculturii are drept scop și consecință ridicarea continuă a nivelului de trai, al gradului de confort, nivelului cultural și spiritual al populației.

Dar procesul de dezvoltare economică și ridicare a gradului de confort sînt legate indisolubil de realizarea sistemului central de alimentare cu apă și în paralel a sistemului de canalizare a apelor uzate din centrul populat. Cele două sisteme permit satisfacerea necesarului rațional de apă al tuturor folosințelor din spațiile construite, evacuarea în condiții igienico-sanitare corespunzătoare a apelor uzate, precum și limitarea la maximum a efectului activității omenești în ceea ce privește deteriorarea calității mediului înconjurător.

Necesitatea executării și exploatării corespunzătoare a sistemului centralizat de alimentare cu apă se justifică prin :

— creșterea suprafeței construite și deci reducerea posibilității de alimentare cu apă individual, chiar din incinta locuită, din cauză că sursa de apă nu mai poate fi protejată corespunzător din punct de vedere sanitar ; sursa de apă trebuie deci deplasată spre exteriorul localității, fapt care face ca aprovizionarea cu apă să se facă din ce în ce mai greu ;

— creșterea densității construcțiilor și deci creșterea necesarului de apă pe aceeași suprafață ;

— creșterea în înălțime a construcțiilor, pînă la 10—12 niveluri și deci necesitatea de a se asigura tuturor locuitorilor apă cît mai la îndemînă printr-o rețea interioară de distribuție, sub presiune, ca unică soluție ;

— creșterea cantităților de apă necesare pe cap de locuitor, ca urmare a instalațiilor centrale de apă caldă pentru consum sau încălzire, a tendinței de a utiliza mai multă apă, întrucît aceasta se obține ușor de utilizatorul efectiv (cetățean aflat în apartament), precum și apariția unor unități industriale de utilitate locală (brutării, spălătorii, abatoare, unități spitalicești, școli etc.) sau folosirea apei pentru stropirea spațiilor verzi și spălarea străzilor etc. ;

— creșterea pe suprafață și în înălțime a centrului populat face ca posibilitatea apariției unor incendii în oraș să fie sporită, efectele acestora să fie din ce în ce mai mari (ca pagube) și deci, pentru combaterea eficientă a acestora, trebuie să fie luate măsuri severe ; cea mai largă măsură utilizată pentru combaterea incendiului este folosirea apei.

Toate aceste motive şi încă altele conduc la necesitatea executării unui sistem unitar central de alimentare cu apă, care să asigure apă de calitate corespunzătoare şi în cantitatea raţional solicitată. Astfel, soluţia este mai economică, iar calitatea apei poate fi stăpînită într-o măsură foarte mare.

Prin sistem de alimentare cu apă se înţelege totalitatea construcţiilor, instalaţiilor şi măsurilor prin care apa este captată dintr-o sursă naturală, este îmbunătăţită din punct de vedere al caracteristicilor de calitate — pînă cînd acestea corespund cerinţelor impuse de beneficiar (apă potabilă, pentru localităţi), este transportată în condiţii sanitare corespunzătoare, înmagazinată provizoriu în construcţii speciale şi distribuită la toţi consumatorii în cantitatea şi la presiunea cerută de aceştia.

Este necesar să se reţină faptul că, odată cu executarea sistemului de alimentare cu apă, trebuie executat corespunzător şi *sistemul de canalizare.* Sistemul de canalizare asigură colectarea apelor uzate de la locul de producere, evacuarea din incintă în condiţii sanitare adecvate, epurarea lor la un asemenea grad încît calitatea apelor evacuate într-un curs de apă să fie comparabilă calităţii apelor naturale din mediul receptor.

Se deduce uşor că — în cazul alimentării individuale cu apă (alimentare din fîntîni, izvoare sau pîraie curate, cu mijlloace locale individuale pentru fiecare familie) — cantitatea de apă luată din sursă fiind mică şi cantitatea de apă evacuată — *apă uzată* — va fi mică, şi deci se poate infiltra (prin împrăştiere) în subsolul suprafeţei localităţii, densitatea construcţiilor fiind mică. Prin această infiltrare se realizează şi o epurare suficient de bună. Creşterea cantităţii de apă potabilă adusă în incintă, mult mai dens construită, face ca şi cantitatea de apă evacuată să fie mai mare şi deci aceasta să nu se mai poată infiltra în sol, ci se scurge superficial sau stagnează — creînd posibilitatea unei îmbolnăviri în masă a locuitorilor. Astfel, apa ajunge impurificată în cursul de apă cel mai apropiat, putînd să-l degradeze. Chiar dacă nu-l degradează total, substanţele impurificatoare pot ajunge nedegradate — transportate de către apa rîului — în aval, unde întotdeauna există un alt beneficiar (localitate, industrie), care are nevoie de apă curată şi care — pentru a obţine această apă curată — este obligat să elimine în procesul de tratare şi substanţele evcuate în apă de localitatea amonte. Rezultă deci că, pentru o exploatare raţională a apelor ţării — această importantă bogăţie — trebuie ca din sursa de apă să fie luată cantitatea minimă, raţională, iar cantitatea de apă evacuată să fie astfel epurată, încît să nu pericliteze sub nici o formă calitatea apei rîului emisar sau a mediului înconjurător.

Dacă asigurarea unui necesar decent de apă este o dovadă a unui standard ridicat de trai al locuitorilor şi standardul ridicat de trai se poate caracteriza prin folosirea raţională a apei.

Cursul de Alimentări cu apă are drept scop să dea studenţilor posibilitatea de a se familiariza cu problemele pe care le pun construcţiile şi instalaţiile care compun sistemul de alimentare cu apă, sub toate aspectele (proiectare, execuţie, exploatare), astfel încît, în practica inginerească, efectul economic al activităţii în acest domeniu să fie maxim.

Aceste cunoştinţe se bazează pe acumularea anterioară de la disciplinele: Matematică, Fizică, Chimie, Mecanică, Rezistenţa materialelor, Hidraulică, Materiale de construcţii, Beton. Totodată, vor fi completate cu cele obţinute la alte discipline de specialitate, cum sînt: *Amenajări hidrotehnice, Gospodărirea apelor, Tehnologia, organizarea şi executarea lucrărilor, Canalizări* etc.

Pregătirea în acest domeniu de specialitate are cîteva particularităţi:

— construcţiile realizate nu sînt spectaculoase; după execuţie, marea majoritate sînt acoperite cu pămînt; au o durată mare de existenţă; se realizează cu mijloace materiale obţinute cu greu, dar asigură un element vital pentru existenţa oamenilor — apa;

— sînt construcţii complicate ca alcătuire, ce necesită o gîndire de detaliu şi asamblarea unor cunoştinţe din diferite domenii;

— specializarea în acest domeniu se face greu, întrucît pe lîngă faptul că lucrările se văd greu după execuţie, practic *fiecare sistem de alimentare cu apă este un unicat.*

SCURT ISTORIC AL LUCRĂRILOR DE ALIMENTARE CU APĂ. STADIUL DEZVOLTĂRII LUCRĂRILOR DE ALIMENTARE CU APĂ ÎN ŢARA NOASTRĂ

Apa fiind unul din elementele indispensabile vieţii, problema alimentării sistematice cu apă s-a pus încă din cele mai vechi timpuri. Încă din antichitate, gradul de civilizaţie al unui popor nu se aprecia numai după operele de artă realizate, ci şi după modul de realizare al construcţiilor de alimentare cu apă. Vestigii ale unor captări de apă au fost găsite (avînd o vechime de 5—7000 ani) în Egipt, China. Roma antică avea un sistem de alimentare cu apă care poate fi dat ca exemplu de construcţii inginereşti în antichitate (aducţiuni care depăşeau 100 km lungime), iar romanii au executat „lucrări de artă" pentru transportul apei care sînt parţial şi astăzi în funcţiune.

În epoca feudalismului, gradul redus de dezvoltare al uneltelor, a tehnicii şi izolarea în care se trăia, a făcut ca tehnica alimentărilor cu apă să nu progreseze. Odată cu dezvoltarea epocii maşiniste însă, nevoia de apă în cantităţi mai mari a pus probleme din ce în ce mai dificile pentru o rezolvare cît mai bună. Aşa s-a ajuns astăzi să se asigure, în condiţii relativ bune, alimentarea cu apă pentru oraşe cu populaţii de milioane de locuitori sau pentru industrii ce necesită un debit de ordinul a cîţiva zeci de m^3/s. La ora actuală, problema cea mai importantă constă în găsirea unor procedee economice de tratare a apei — inclusiv a apei de mare — întrucît dezvoltarea masivă a industriei şi irigaţiilor în special, precum şi lipsa unei preocupări intense pentru epurarea corespunzătoare a apelor uzate a făcut ca în multe ţări majoritatea apelor de suprafaţă să fie atît de impurificate încît să devină improprii ca sursă pentru alimentare cu apă în sistem centralizate. Această degradare a calităţii surselor de apă are influenţe considerabile şi asupra celui mai mare consumator de apă care este agricultura pe suprafeţele irigate.

În ţara noastră, cea mai veche alimentare cu apă menţionată în cronicile vremii este alimentarea cu apă a oraşului Focşani (construită pe vremea lui Constantin Brîncoveanu, în anul 1696), deşi şi alte oraşe care au ajuns la o populaţie mare (de exemplu, Suceava, care se pare că ajunsese la 100 000 locuitori la un moment dat) trebuie să fi avut alimentarea cu apă rezolvată.

Sisteme de apă importante au început să fie executate însă abia după 1890: orașul București — cu captarea din Dîmbovița, cu stația de tratare Arcuda (1889) și Bragadiru (1900) — orașul Cluj (1892) etc.

Captarea Bragadiru (cca. 30.000 m³/zi), în funcțiune și astăzi, executată după proiectele și sub conducerea cunoscutului inginer Elie Radu, a fost considerată la acea vreme drept cea mai mare unitate de captare de apă subterană din Europa.

Alimentarea cu apă a orașului Iași (din sursa Timișești) s-a realizat între 1908—1917, ca și alimentarea cu apă a orașului Ploiești (sursa Crîngul lui Bot). În aceeași perioadă, au fost realizate alimentarea cu apă a orașelor: Timișoara, Craiova, Constanța, Sinaia, Brașov, Oradea (multe dintre ele sub conducerea unor mari ingineri români ca: Elie Radu, Dionisie Germani, Henri Theodoru etc.).

În anul 1944, în țară, aveau alimentare cu apă centrală, mai mult sau mai puțin corespunzătoare, 88 localități, în care se asigura însă apă pentru 40% din locuitori.

După terminarea războiului, cu toate dificultățile în care se găsea țara noastră, a început o muncă grea și lungă pentru refacere și dezvoltare. S-au dezvoltat volumul de lucrări de alimentare cu apă, tehnica de specialitate, au fost realizate instituții de învățămînt superior care au furnizat mii de specialiști. Pe baza Planului de amenajare a apelor din România, elaborat la nivelul anului 1964, au putut fi realizate mari lucrări de regularizare a debitelor pe rîurile interioare, concretizate în circa 1600 lacuri de acumulare de mari dimensiuni, cu un volum total de peste 10 miliarde m³. Aceasta, împreună cu folosirea apelor subterane și a apelor fluviului Dunărea, au permis asigurarea cu apă pentru toate nevoile economice și sociale.

În momentul de față, practic nu există localitate importantă care să nu aibă realizat un sistem de alimentare cu apă. Pe baza schițelor de sistematizare, aufost deja asigurate cu apă în sistem centralizat și numeroase localități rurale. Au fost realizate, de asemenea, sisteme puternice de alimentare cu apă care asigură pentru centre populate debite pînă la 10 m³/s, recurgîndu-se în unele cazuri la regularizarea debitului rîurilor, prin crearea unor importante lacuri de acumulare: Vidraru pentru Pitești și București; Paltinu și Măneciu pentru Ploiești; Firiza pentru Baia Mare, Pușcaș pentru Vaslui; Valea de Pești pentru localitățile din Valea Jiului; Teliuc pentru Hunedoara; Gilău pentru Cluj; Dragomirna pentru Suceava; Gura Rîului pentru Sibiu; Zetea pentru Odorheiul Secuiesc, Sighișoara, Mediaș, Copșa Mică, Golești; Pecineagu pentru București etc. În graficul din figura 1.1 este dată dinamica principalilor parametri ai alimentării cu apă în țara noastră.

Totodată, învățămîntul, cercetarea și proiectarea au contribuit la dezvoltarea tehnicii de specialitate prin soluții noi pentru tratarea apei.

Dacă se ține seama de necesarul mereu crescînd de apă, de faptul că sistemele de alimentare cu apă sînt sisteme constructive menite să ridice nivelul de trai al tuturor locuitorilor (acum se asigură apă pentru cca. 60% din populația țării), că pentru realizarea lor sînt necesare sume importante de bani, energie și forță de muncă, că sistemul de alimentare cu apă

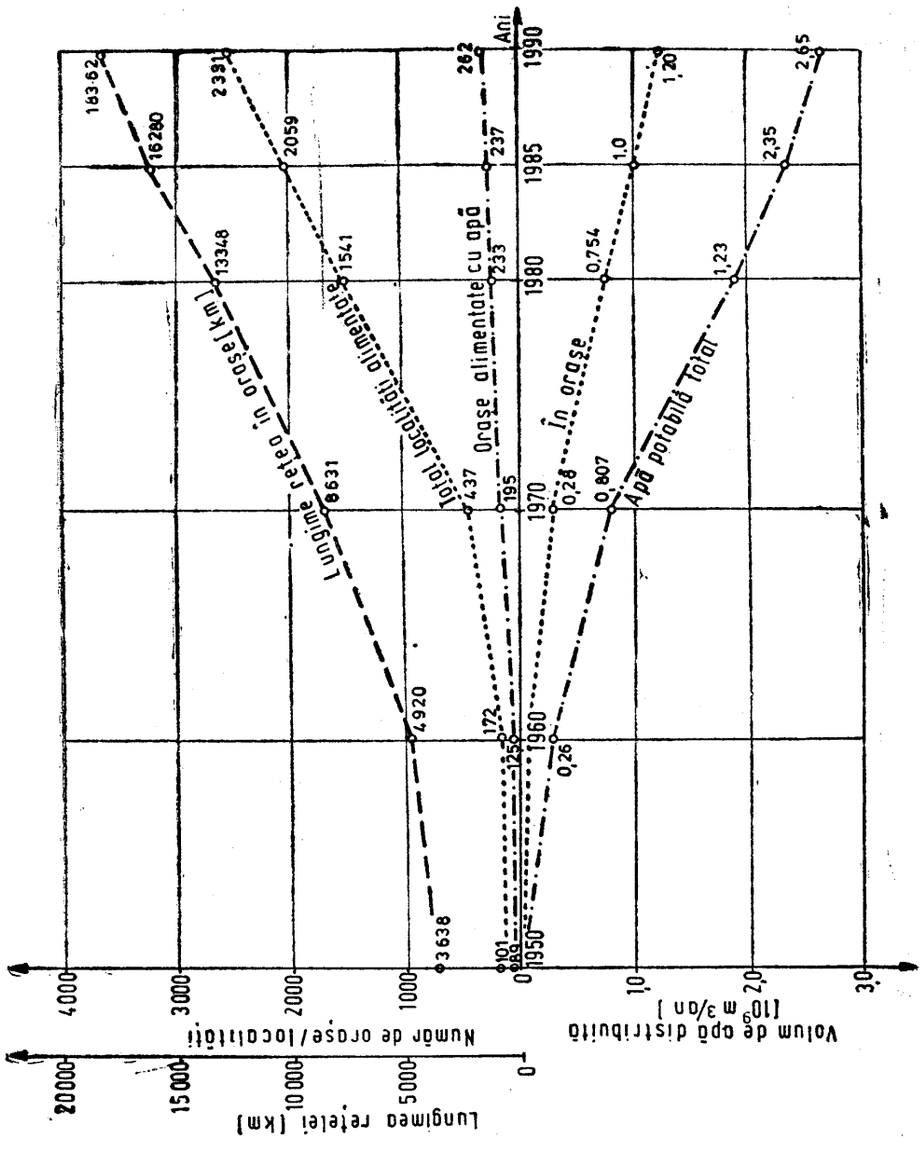


Fig. 1.1. Dinamica dezvoltării alimentărilor cu apă în România (după datele Anuarului Statistic al României, 1991).

tebuie să se rdezvolte odată cu dezvoltarea localităţilor, rezultă rolul important pe care îl au absolvenţii facultăţii de Hidrotehnică, în domeniul lucrărilor edilitare.

Totodată, răsfoirea unei asemenea cărţi de către un cititor neavizat permite înţelegerea faptului că apa care ajunge la robinet se obţine cu mare efort şi deci o atitudine constructivă (utilizarea raţională şi păstrarea calităţii apei) permite ca efortul social să fie mai redus (cu efortul material băneşc, economia de energie, pot fi realizate alte lucrări utile).

1.

SISTEME DE ALIMENTARE CU APĂ

1.1. APA. CIRCUITUL APEI ÎN NATURĂ. SURSE DE APĂ

1.1.1. APA

Se recunoaşte astăzi, şi cercetările spaţiale confirmă acest lucru, că viaţa dezvoltată pe Pămînt este datorată în mare măsură existenţei apei sub formă lichidă. Mai mult decît atît, viaţa pe Pămînt a apărut cînd apa a avut o anumită constituţie. Organismele vegetale şi animale vii au în compoziţia lor între 65 ... 98% apă. Circa 3/4 din corpul omenesc este format din apă.

Deşi în antichitate se recunoaştea că apa era unul din cele patru elemente fundamentale (apa, focul, pămîntul, aerul), abia în 1781, J. Priestley a sintetizat-o prima dată. A. Lavoisier şi H. Cavendish au stabilit că apa este formată din hidrogen şi oxigen, iar I. Gay Lussac şi A. von Humboldt, în 1805, au stabilit că 2 volume de hidrogen se unesc cu un volum de oxigen.

Deşi această legătură simplă H—O—H şi stabilă părea uşor de controlat, s-a constatat că această combinaţie are caracteristici surprinzătoare, mult diferite de celelalte combinaţii ale oxigenului. Abia după studierea cu mijloace foarte moderne, s-a descoperit că originea acestor „anomalii" o constituie modul de alcătuire al legăturii. Legătura H—O—H nu este simetrică, ci între atomii de hidrogen unghiul este 106° şi nu 180° (legătură simetrică). Această asimetrie conduce la o moleculă de tip dipol (asemănătoare cu un tetraedru). Între molecule, se realizează legături suplimentare de tip electrostatic numite *legături de hidrogen*. Aceste legături de hidrogen conduc la o multitudine de *tipuri de apă*, cu comportări particulare şi efecte fundamentale asupra vieţii pe pămînt.

În cele ce urmează, vor fi menţionate cîteva dintre ele — cu observaţia că unele din aceste comportări nu au încă o explicaţie completă.

Proporţia de legături de hidrogen este funcţie de temperatură, astfel:

— apa îngheţată are aproape 100% legăturile formate (o structură de tetraedri — rezistentă) şi are densitatea mai mică decît cea a apei lichide; acest lucru permite gheţii să plutească, oferind spaţiul de sub gheaţă (apa mărilor şi oceanelor) ca spaţiu de viaţă pentru o multitudine de vieţuitoare;

— apa devine lichidă la peste 0 °C, prin ruperea a unei părți din aceste legături de hidrogen ; la 4 °C densitatea devine maximă (1 g/cm³): din această cauză, apa din adîncime din lacuri și mări (exceptînd cazurile speciale) tinde spre această temperatură ;

— apa se evaporă la 100 °C cînd, cu un consum foarte mare de energie (are cea mai mare căldură specifică), se rup toate legăturile de hidrogen și apa devine moleculară — numai apa în stare de vapori are compoziția H_2O ;

Tot structura moleculară deosebită îi oferă apei calitatea de cel mai important solvent; o multitudine de substanțe minerale și organice se dizolvă în apă, fapt pentru care apa curent întîlnită este o soluție complexă care conține istoria drumului parcurs din starea de vapori în starea finală. Din punct de vedere al conținutului substanțelor dizolvate, apa poate fi mai puțin mineralizată și se numește *apă dulce* și mai puternic mineralizată, cînd este numită *apă sărată*.

Una din caracteristicile cele mai importante (dacă nu cea mai importantă pentru viață) este următoarea : legătura de hidrogen nu permite trecerea electronilor, deci apa curată nu conduce curentul electric (numai soluțiile conduc curentul electric), în schimb permite trecerea protonilor — ca urmare este posibil fenomenul de fotosinteză (elementele care concură sînt : energia solară, clorofila și sărurile minerale, în prezența apei).

1.1.2. CIRCUITUL APEI ÎN NATURĂ. SURSE DE APĂ

Apa este o substanță aflată aparent în cantități foarte mari pe Pămînt ; aparent circa 70% din suprafața Pămîntului este acoperită de apă.

Cantitativ însă, numai 1/800 din volumul Pămîntului o formează apa. După estimări, pe Pămînt există circa 1 384 120 000 km³ apă, din care :

— 97%, apă în mări și oceane (apă puternic salinizată) ;

— circa 1,8% ($25 \cdot 10^6$ km³), gheața calotelor polare (groasă de pînă la 2700 m și care dacă s-ar topi ar conduce la creșterea nivelului mărilor cu cca. 80 m) ;

— circa $8{,}4 \cdot 10^6$ km³, apă subterană ;

— circa $0{,}2 \times 10^6$ km³, lacuri, rîuri ;

— circa 600 km³, biosferă ;

Sub influența energiei primite de la Soare și atracției gravitaționale, apa se află într-un circuit permanent — circuitul (ciclul) hidrologic mondial (fig. 1.2).

Energia calorică primită de Pămînt servește în cea mai mare parte pentru evaporarea apei (cca. 360 000 km³/an). Vaporii de apă condensează și cad sub formă de precipitații (solide, lichide) pe suprafața mărilor și oceanelor în cea mai mare parte, dar împinși spre uscat ajung și deasupra acestuia. Precipitațiile spală atmosfera și dizolvă un procent important de CO_2, spală rocile peste care trece și dizolvă substanțele solubile. Prin scurgere superficială și subterană apele, ce formează curenți, cursuri de apă ajung înapoi în mare. În acest circuit, apa poate transporta și substanțele evacuate, voit sau nu, ca rezultat al activității omenești. Apa se evaporă din nou (numai apa — substanțele dizolvate nu) refăcînd ciclul. Substanțele dizolvate ajunse în mare sau lacuri închise se concentrează ajungînd la valori ridicate (în medie 35 g/l).

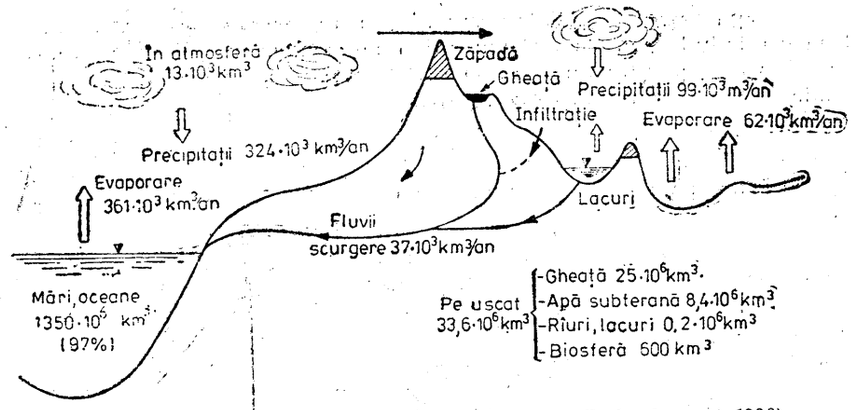


Fig. 1.2. Bilanțul circuitului hidrologic mondial (*La Recherche*, mai 1990).

Circuitul durează circa 9 zile pentru apa lichidă și poate dura mii de ani pentru apa care devine gheață, zeci de mii de ani pentru apa subterană (bazinul de apă de sub Sahara se estimează că se reface în cca. 70 000 ani — *La Recherche*, mai 1890).

Acest ciclu uriaș, cu cele două ramuri principale (atmosferică și terestră), realizează :

— pomparea apei ;

— transportul apei ;

— distilarea apei (refacerea capacității de apă curată).

Omul are nevoie de apă pentru mai multe folosințe :

— apa biologic necesară, normal circa 2 l/zi ; această apă se consumă și se elimină prin transpirație sau prin traectul digestiv ; apa eliminată prin transpirație reglează temperatura corpului ;

— apă pentru prepararea hranei ;

— apă pentru igiena personală ;

— apă pentru igiena locuinței și spațiului de locuit ;

— apă pentru combaterea incendiului ;

— apă pentru realizarea produselor industriale ;

— apă pentru obținerea unor recolte mari în agricultură, deci și dezvoltarea zootehniei etc.

Cantitățile de apă necesare pentru asigurarea acestor nevoi sînt foarte mari, de la circa 100 m³/an · om în țările în curs de dezvoltare, pînă la circa 2000 m³/an · om în țări puternic dezvoltate și cu resurse de apă.

Aceste cantități se obțin prin preluarea lor din ciclul apei în natură. Locul de unde sînt preluate se numesc *surse de apă*.

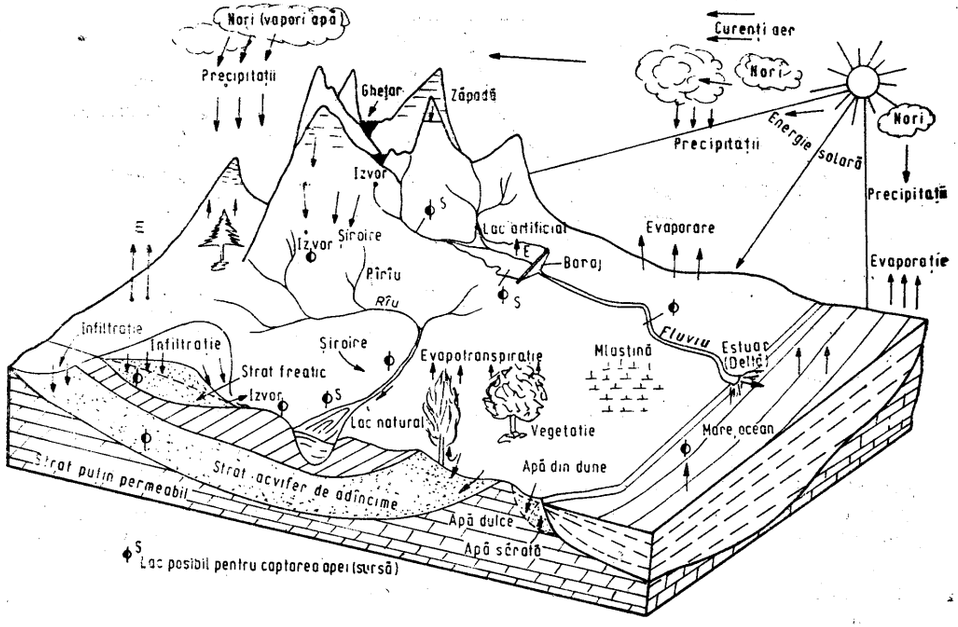


Fig. 1.3. Circuitul apei în natură și formarea surselor de apă.

Se disting două tipuri de surse de apă (fig. 1.3):

- apă de suprafață;
  - apa din mări și oceane;
  - apa din lacuri naturale;
  - apa din rîuri și lacuri artificiale;
- apa subterană:
  - apa din izvoare;
  - apa din stratele freatice;
  - apa din stratele de adîncime, pînă la 3...500 m sub pămînt.

În particular, din acest flux general de apă, România este o țară relativ săracă în apă. Cantitatea de apă medie anuală ce revine unui locuitor (din precipitații) este de cca 1700 m³ (față de o medie europeană de circa 4500 m³/loc . an, de țara cea mai bogată în apă — Canada — circa 100 000 m³/loc . an, de țara cea mai săracă — Egipt — 90 m³/loc . an și față de o medie mondială de 6000—8000 m³/loc · an). Stocul intern de apă (cantitatea totală de apă căzută într-un an mediu pe suprafața țării) este de circa 38 km³/an, la care se mai adaugă o cotă parte din stocul Dunării (cca. 200 km³/an, total).

În aceste condiții și la nivelul de dezvoltare industrială și agricolă, la care România a ajuns, fără a putea spune că apa este folosită în modul cel mai rațional, se utilizează deja circa 20 km³/an apă (inclusiv pentru agricultură).

În acest ciclu hidrologic apa mai asigură:

— reglarea temperaturii pe Pămînt;

— dezvoltarea vegetației, avînd drept consecință producția de oxigen prin fotosinteză și producția de masă organică (hrană, combustibil);

— producerea de energie hidraulică (cea mai importantă sursă de energie nepoluantă care asigură cca. 20% din necesarul de energie);

— transporturile pe apă pe căi maritime sau de uscat (naturale sau artificiale);

— uniformizarea poluării pe Pămînt.

1.2. CARACTERISTICI CALITATIVE ALE APEI DE ALIMENTARE

1.2.1. CONDIȚII DE CALITATE PENTRU APA POTABILĂ

Dezvoltarea istorică a omului s-a făcut pe uscat (pe pămînt); apa utilizată a fost *apa dulce*, apă cu caracteristici între apa provenită din precipitații (zeci mg/l de săruri dizolvate) și apa mărilor puternic salinizată (zeci g/l de săruri dizolvate). Apa existentă conține o multitudine de substanțe, unele avînd o acțiune favorabilă, iar altele o acțiune nefavorabilă asupra sănătății omului. Este extrem de important să se cunoască în prealabil efectul apei cu un conținut oarecare de substanțe, înainte ca organismul să se îmbolnăvească. Din această cauză, eforturile pentru a stabili normele și indicatorii pe care să le îndeplinească apa potabilă au fost destul de accentuate în decursul anilor. De exemplu, STAS 1342-61 conținea limite pentru 31 de indicatori asupra calității apei potabile, ajungînd să aibă în 1991 circa 70 de indicatori și se preconizează creșterea exigențelor din cauza poluării apei la sursă. Se poate remarca faptul deosebit de important că, din cauza imposibilității obținerii unei ape de calitate foarte bună, limita admisibilă a unora dintre indicatori a crescut (a fost coborîtă stacheta, nu s-a luptat pentru perfecționarea tehnologiilor).

În tabelul 1.1 sînt date limitele indicatorilor, după prevederile STAS 1342-91 și comparativ normele după Comunitatea Economică Europeană, (C.E.E.), în vigoare.

Tabelul 1.1

Valori ale indicatorilor pentru apa potabilă

Nr. crt.	Caracteristici — Indicatori	Unitate de măsură	STAS 1342—91 — Cond. de admisibilitate	STAS 1342—91 — Limite excepționale	Norme C.E.E.	Observații
0	1	2	3	4	5	6
	Organoleptice					
1	Gust	max, grade	2	2	2—12° 3—25°	
2	Miros	max, grade	2	2	2—12° 3—35°	
	Fizice					
3	Concentrația ionilor de hidrogen (pH)		6,6—7,4	8,5	6,5—9	
4	Conductivitatea electrică	max, S/cm	1000	3000	—	

Tabelul 1.1 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6
5	Culoare, pe scara Pt/Co	max, grade	15	30	15(S)	
6	Temperatura	°C	22	—	25°	temperatura naturală a apei în sursă
7	Turbiditate	scara Silicei (SiO_2) grade	5	10	2 U.J	
	Chimice					
8	Cloruri Cl^-	max, mg/l	250	400	250(S)	
9	Sulfaţi SiO_4^{2-}	max, mg/l	200	400	250(S)	
10	Calciu Ca^{2+}	max, mg/l	100	180	—	
11	Magneziu M^{2+}	max, mg/l	50	80	50	
12	Reziduu fix la 180 °C	max, mg/l	100—800	30—1200	1500(S)	
13	Oxigen dizolvat O_2	mg/l	6	6	—	
14	Duritate totală	max, grade	20	30	50 °F	
15	Clor rezidual liber Cl_2	mg/l	0,1—0,25	—	—	la apa dezinfectată cu clor
16	Dioxid de carbon CO_2	mg/l	—	—		apa să nu fie agresivă
17	Sodiu Na^+	mg/l	—	—	150	
18	Potasiu K^+	mg/l	—	—	12	
19	Aluminiu total Al^{3+}	mg/l	0,05	0,2	0,2	
20	Azotiţi NO_3^-	max, mg/l	45	45	50(S)	
21	Azotaţi NO_2^-	max, mg/l	0	0,3	0,1	
22	Amoniac NH_4^+	max, mg/l	0	0,5	0,5(S)	
23	Substanţe organice oxidabile, O_2	max, mg/l	2,5	3	5(S)	în permanganat K
24	Hidrogen sulfurat şi sulfuri H_2S	max, mg/l	0	0,1		nedetectabil la miros
25	Trihalometani (THM)	mg/l	0,1	0,1	—	
26	Amine aromatice	mg/l	0	0		
27	Hidrocarburi dizolvate sau emulsie	g/l	—	0,01	10(S)	
28	Fenoli C_6H_5OH	mg/l	0,01	0,02	0,5(S)	
29	Fier total Fe^{3+}, Fe^{2+}	mg/l	0,1	0,3	0,2	
30	Mangan Mn^{2+}	mg/l	0,05	0,3	0,05	
31	Cupru Cu^{2+}	mg/l	0,05	0,1	1	
32	Zinc Zn^{2+}	mg/l	5	7	5(S)	
33	Fosfaţi PO_4^{3-}	mg/l	0,1	0,5	5	

Tabelul 1.1 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6
34	Flour F^-	mg/l	—	1,2 -	1,5	
35	Detergenţi sintetici anioactivi	mg/l	0,2	0,5	—	
36	Arsen As^{3+}	mg/l	—	0,050	0,05(S)	
37	Cadmiu Cd^{2+}	mg/l	—	0,005	0,005(S)	
38	Cianuri CN^-	mg/l	—	0,010	0,50(S)	
39	Crom total Cr^{6+}	mg/l	—	0,050	0,05(S)	
40	Mercur Hg^{3+}	mg/l	—	0,001	0,001(S)	
41	Nichel Ni^{2+}	mg/l	—	0,100	0,05	
42	Plumb Pb^{2+}	mg/l	—	0,050	0,05(S)	
43	Seleniu Se	mg/l	—	0,010	0,10(S)	
44	Pesticide	g/l	—	0,1	0,005	C.E.E. nominalizează 6 substanţe
45	Uraniu total	mg/l	—	0,021	—	
46	**Bacteriologice** Număr total de bacterii la 37 °C apă nedezinfectată	max, N/cm³	100	—	—	
47	Număr probabil de bacterii coliforme	N/dm³	30	—	0—15% probe	
48	Număr probabil de bacterii coliforme fecale	N/dm³	0	—	0(S)	
49	**Radioactive** Alfa CMA	Bq/l	0,4	2,3		
		pCi/l	2,7	62		
50	Beta CMA	Bq/l	1,0	30		sînt nominalizaţi 18 radionuclizi/artificiali san naturali
		pCi/l	27	810		
51	**Biologice** Volum seston prin fileu planctonic: — în instalaţii centrale	cm³/m³	1,0			
	— în instalaţii locale		10			
52	Organisme animale microscopice	N/dm³	20		—	

Observaţii: ● Valorile (S) au limite şi pentru apa din sursă.
● Valorile cu (—) nu sînt normate, fie nu sînt considerate periculoase, fie nu sînt total admise.

După norma C.E.E. caracteristicile din tabelul 1.1 sînt grupate astfel: organoleptice, fizico-chimice, substanțe indezirabile, substanțe toxice, microbiologice, pesticide. Sînt normați peste 62 indicatori.

1.2.1.1. **Caracteristici organoleptice** sînt următoarele:

— *Mirosul* apei poate fi dat de: unele gaze provenite din substanțe minerale (hidrogen sulfurat din pirite), unele substanțe chimice provenite din apele uzate industriale (fenoli, substanțe petroliere), unele gaze sau substanțe rezultate ca urmare a descompunerii substanțelor organice din apă (hidrogen sulfurat, amoniac), unele uleiuri eterice produse de organisme vii (alge, protozoare) etc.; o apă bună de băut nu trebuie să aibă miros (să fie perceptibil numai de către un degustător experimentat, nivelul 2 pe scara cu 6 gradații); *apa cu miros* este utilizată cu reținere sau chiar este respinsă.

— *Gustul apei* este funcție de cantitatea și natura substanțelor chimice conținute în stare dizolvată integral, astfel: apa pură este fadă, fără gust; apa care conține săruri de fier are gust *acru*, metalic; apa cu conținut mare de calciu este *dulceagă*; apa cu conținut ridicat de magneziu este *amară*; apa cu conținut ridicat de sodiu este *sărată* etc. O *apă bună de băut* trebuie *să aibă un gust plăcut* (gradația 2 — gustul străin, neplăcut, să fie perceptibil numai de către un degustător experimentat).

Apa care nu are gust (fadă) sau are un gust perceptibil de utilizator nu va fi utilizată cu plăcere pentru băut — chiar dacă substanțele care produc gustul nu sînt periculose.

1.2.1.2. **Caracteristicile fizico-radioactive** ale apei sînt: tulbureala, culoarea, temperatura, conductivitatea electrică și radioactivitatea.

— *Tulbureala* (sau turbiditatea) este efectul optic datorat prezenței substanțelor solide aflate în stare de suspensie în apă; inversul tulburelei este limpiditatea apei (limpezimea sau transparența); tulbureala se determină prin comparare cu o scară etalon făcută din fiole cu apă distilată, ce conține în emulsie praf de *silice fin divizată în cantitate determinată — un gram de silice fin divizată la m³ de apă reprezintă 1 grad de turbiditate*; pentru folosire apa trebuie să nu depășească 5 grade — excepțional 10 grade de turbiditate; în unele cazuri, turbiditatea se poate exprima în mg/dm³ de suspensii; turbiditatea mare se atinge în perioadele de viitură și în anumite sectoare — funcție de viteza apei în rîu, natura rîului, natura suprafeței de pe care se adună apa sau precipitarea unor substanțe din apa subterană (Fe, Mn). Apa limpede poate fi apreciată și prin înălțimea unei coloane de apă prin care un reper este vizibil; apa potabilă trebuie să fie limpede.

— *Culoarea apei* se datorează unor substanțe dizolvate în apă. Se determină cu o scară etalon formată din cantități determinate de clorură de platină și cobalt. Se exprimă în grade de culoare. Apa bună de băut trebuie să aibă cel mult 15 (excepțional 30) grade de culoare (practic să nu aibă culoare). Pentru o bună apreciere a culorii apa nu trebuie să fie tulbure.

— *Temperatura apei* variază cu clima, anotimpul și natura sursei; apa din surse de suprafață are o temperatură variabilă între 0—25 °C, iar apa subterană din strate freatice între 10—14 °C. Temperatura apei din stratele de adîncime crește cu 1 °C pentru fiecare 33—35 m adîncime, astfel încît, la adîncimi mai mari de 300—350 m, apa nu mai poate fi folosită direct pentru consum. Apa potabilă trebuie să aibă 7—15 °C, excepțional 5—25 °C (dacă depășește în unele perioade aceste limite, o corectare

a temperaturii apei fiind costisitoare, nu se poate lua în considerare decît în cazuri bine justificate). De regulă, este rațională corectarea temperaturii numai pentru apa consumată de om (cei 2—3 l utilizați direct).

Apa foarte rece (sub 8—9 °C) este periculoasă pentru organism, iar apa cu temperatură ridicată (peste 20—25 °C) capătă un gust leșios.

— *Conductivitatea electrică*, măsurată prin inversul acesteia, rezistivitatea electrică, exprimă conținutul global de substanțe dizolvate în apă. Cu cît conținutul acesteia este mai mare, soluția este mai concentrată și conduce mai bine curentul electric. Măsurînd acest indicator, pot fi relativ ușor depistate eventualele surse de impurificare a apei. O apă potabilă are conductivitatea electrică de ordinul $1/600—1/6000\Omega\ cm^{-1}$ (se folosește unitatea Siemens $S = \Omega^{-1}$). Conform STAS 1342-91, în apa potabilă se admite o conductivitate electrică de 3000 S/cm.

— *Radioactivitatea apei* constă în proprietatea datorată substanțelor radioactive conținute de a emite radiații. Radiația poate fi corpusculară (radiația α, β) sau electromagnetică (γ). Se măsoară în μ Ci/mm³ (microCurie pe mm³ de apă) sau pCi/dm³ (picoCurie pe dm³). Apa potabilă nu trebuie să aibă o radioactivitate mai mare de: 3 pCi/dm³ pentru emițători α; 30 pCi/dm³ pentru emițători β; pentru emițători γ, condiția de admisibilitate este ca valorile măsurate să nu depășească cu mai mult de 25% valoarea medie anuală a acestora, determinată pe bază de măsurători sistematice. Radioactivitatea se măsoară cu contoare Geiger. Se precizează că 1 Curie reprezintă $3{,}71 \cdot 10^{10}$ atomi de radiu, dezintegrați pe secundă. Utilizarea apei cu radioactivitate peste limită produce boli specifice (cancer, leucemie), incurabile. Apa cu radioactivitate peste limitele date nu este luată în considerare ca sursă de apă.

1.2.1.3. **Caracteristici chimice.** După cum s-a arătat, apa naturală este o soluție de substanțe chimice dizolvate, minerale sau organice. Compoziția chimică a apei se stabilește prin analize cantitative și calitative. O parte din substanțele dizolvate în apă sînt necesare în anumite limite (Na, Ca, Mg), altele sînt admisibile în anumite limite (Ca, Fe, Mg, Mn, K), altele sînt inadmisibile din cauza toxicității lor (fenoli, Cr, Ni, Pb, As, cianuri, nitrați). Din punctul de vedere al pericolului pe care diferitele substanțe le prezintă pentru organism, clasificarea după C.E.E. este mai semnificativă: substanțe indezirabile, substanțe toxice. O concluzie corectă asupra calității apei nu se poate trage decît pe baza unor analize concludente, complete, asupra tuturor compușilor din apă. Totuși, sînt cîțiva indicatori generali, care pot da indicații asupra calității apei: reziduul fix, reacția apei, duritatea, substanțele organice, conținutul în gaze.

— *Reziduul fix al unei ape* reprezintă cantitatea totală de substanțe minerale dizolvate în apă. Se obține prin cîntărirea substanțelor conținute într-o probă de apă evaporată la 105 °C în condiții standardizate și se exprimă în mg/dm³. O apă bună de băut trebuie să aibă reziduul fix de 100—800 mg/dm³ și excepțional de 30—1000 mg/dm³. Apa fără săruri dizolvate este lipsită de gust (apa de ploaie), iar apa mineralizată produce în timp îmbolnăvirea organismului.

— *Reacția apei* poate fi alcalină, neutră sau acidă, după cantitatea și natura substanțelor dizolvate. Apa trebuie să fie slab alcalină pentru a nu ataca metalul sau betonul construcțiilor peste care trece. Se măsoară prin concentrația ionilor de hidrogen, pH. Pentru apa potabilă, limitele ex-

cepționale ale pH-ului sînt de 6,5—8,5. Apa puternic alcalină are un gust leșietic.

— *Duritatea apei* este datorată prezenței în apă în special a compușilor de Ca și Mg. Dacă Mg și Ca se găsesc în combinații instabile (bicarbonați) la variația de temperatură, atunci duritatea este numită *temporară.* Duritatea datorată sulfaților, carbonaților se numește *permanentă,* întrucît nu se modifică la o variație a temperaturii. Suma celor 2 valori a durității este numită *duritate totală.* Duritatea apei se exprimă în grade de duritate. *Un grad de duritate* este echivalent cu 10 mg CaO sau 7,142 mg MgO la 1 dm^3 de apă. O apă bună de băut trebuie să aibă duritatea mai mică de 20 grade (gradul de duritate din STAS este echivalent gradului de duritate după normele germane; pentru a-l deosebi de gradul francez °F, de multe ori se notează în buletinele de analiză cu simbolul gradului german, dar nu este corect, întrucît în țara noastră se lucrează numai cu gradul de duritate total, definit mai înainte; cînd formulările au în text și referiri la normele C.E.E. sau la altele, trebuie notată scara în care cînt măsurate durităților). Echivalența între diferite valori ale gradelor de duritate este:

1° duritate România (STAS 3026—76) = { 1° grad duritate german; 1,25 grade duritate engleze; 1,78 grade duritate franceze; 17,85 grade duritate americane }

Apa fără duritate, *moale,* (apa de ploaie), este agresivă față de materiale și are un gust fad. Apa dură produce îmbolnăvirea organismului (acumularea de săruri), se utilizează greu la prepararea hranei (legumele se încrustează, întăresc), iar *piatra* depusă pe pereții vaselor—instalațiilor prin care circulă apa caldă (se depune excesul de săruri) — formează o crustă care conduce la sporirea cantității de combustibil folosit pentru încălzire (la cazane de presiune, efectele negative pot fi foarte mari — ajungînd pînă la accidente datorate exploziilor).

— *Substanțele organice* dizolvate într-un dm^3 de apă se exprimă în cantitatea, în mg, de hipermanganat de potasiu ($KMnO_4$) consumat pentru oxidarea lor sau în mgO_2/dm^3. Prin descompunere, pot da gust și miros neplăcut. Pot favoriza dezvoltarea microorganismelor (care pot fi și patogene).

— *Substanțele toxice* precum cianuri, pesticide, substanțe ce conțin Mg, As, Cr, Pb, Cd sînt admise în limite foarte mici, *la limita de determinare.* Lista acestora este în continuă creștere, pe măsură ce efectul lor este mai bine cunoscut și precizia de determinare mai mare. Prezența lor poate conduce la îmbolnăviri grave, specifice, incurabile.

— *Conținutul de gaze* se determină pentru a afla cantitatea de gaze utile din apă (oxigen, bioxid de carbon) sau de gaze anormale, periculoase, din apă: hidrogen sulfurat, metan, amoniac. Determinarea acestora se face în condiții standardizate și se compară cu cerințele STAS 1342-91.

1.2.1.4. **Caracteristici biologice.** Analiza microscopică a apei dă indicații asupra florei și faunei, care alcătuiesc în totalitatea lor *planctonul* apei. După numărul, natura și tipul organismelor pot fi obținute indicații asupra compoziției chimice a apei, deci al gradului de impurificare a acesteia. O analiză completă a apei trebuie să cuprindă și examenul bacteriologic, pentru a cunoaște și cele mai mici organisme — bacteriile și microbii. Prezența viețuitoarelor în sursele de apă sau în obiectele sistemului

de alimentare cu apă (decantoare, rezervoare), în număr limitat, deși aparent neplăcută, poate constitui un indicator de sănătate al apei. Trebuie precizat că deși tehnica de specialitate permite astăzi determinarea oricărei substanțe străine din apă, nu poate aprecia care este gradul de toxicitate asupra organismului.

1.2.1.5. **Caracteristici bacteriologice.** Apa poate conține în general *bacterii banale,* care nu acționează direct asupra organismului (decît dacă sînt în cantitate mare și efectul se resimte datorită toxinelor eliminate de acestea) și *bacterii patogene,* care pot provoca direct îmbolnăvirea organismului. Determinarea numărului și tipului acestora se face numai de către personalul și laboratoarele de specialitate, iar analizele se certifică de organele sanitare competente. Un indicator important care arată gradul de impurificare a apei este *bacilul coli,* care în număr mic (3—10 buc./dm^3) nu este periculos. Prezența lui poate indica o contaminare a apei la sursă cu ape uzate menajere neepurate. Apa este un mijloc de transport important pentru o serie întreagă de viruși ce produc *boli hidrice*; cele mai răspîndite sînt: febra tifoidă, holera, dezinteria, giardia etc. Apa contaminată este o sursă foarte importantă pentru producerea epidemiilor. În caz de epidemie, prima măsură ce trebuie luată este dezinfectarea apei utilizate, prin fierbere și păstrarea acesteia curată după aceea.

1.2.2. CONDIȚII DE CALITATE PENTRU APA DIN SURSĂ

Întrucît uneori nu este posibil, iar alteori costul de tratare pentru a elimina diferiții impurificatori din apă este foarte costisitor, sînt introduse condiții asupra calității apei chiar la sursă. Este întru totul rațional să se păstreze calitatea apei la sursă, nu numai pentru consumatorii care realizează captarea sistematică a apei (localități, industrii, agricultură etc.), dar și pentru animale și vegetație.

În țara noastră calitatea apei de suprafață, sursa cea mai importantă din punct de vedere cantitativ (cca. 70% din resurse) și cea mai ușor de poluat, este reglementată prin STAS 4706-88.

Conform prevederilor acestui standard apa se clasifică în trei categorii:

- *CATEGORIA I,* apă de foarte bună calitate, folosită pentru:
  - alimentarea sistematică, centralizată, cu apă pentru localități;
  - alimentarea cu apă pentru unele unități industriale ce solicită apă de calitatea apei potabile (alimentare, farmaceutice etc.);
  - alimentarea centralizată a unităților de creștere a animalelor;
  - alimentarea cu apă pentru unele culturi irigate;
  - ștranduri organizate;
  - alimentarea unor amenajări piscicole, specia salmonicolă.
- *CATEGORIA a II-a,* apă de calitate bună, folosită pentru:
  - alimentarea cu apă a proceselor industriale;
  - scopuri urbanistice și de agrement;
  - amenajarea sau alimentarea cu apă a amenajărilor piscicole, altele decît cele salmonicole;
  - irigații.
- *CATEGORIA a III-a,* apă de calitate slabă, folosită pentru:
  - alimentarea cu apă a sistemelor de irigații;
  - alimentarea cu apă industrială pentru scopuri tehnologice;
  - transport pe apă.

Conform unor date relativ recente (*Mediul Înconjurător,* 1991), din totalitatea lungimii cursurilor de apă, circa 39% sînt sectoare de catego-

ria *I*, 30% categoria a II-a, 12% categoria III-a, şi, din păcate — deşi nestandardizate — circa 19% ape de categoria a IV-a, apă total degradată, şi care nu mai poate fi utilizată în nici un scop util. Din păcate, sectoarele din categoria a III-a şi a IV-a sînt amplasate acolo unde se află şi cantitatea cea mai mare de apă.

Deci, apare evident nu numai că resursele de apă sînt relativ mici, dar prin poluare accentuată acestea devin de fapt cu mult mai mici.

În tabelul 1.2 sînt daţi cîţiva dintre indicatorii de calitate ai apelor de suprafaţă, după STAS 4706-88.

Tabelul 1.2

Condiţii de calitate pentru ape de suprafaţă

Caracteristici / Indicatori		Unitate de măsură	Categoria I	Categoria II	Categoria III	Observaţii
Organoleptice-fizice Miros		—	fără	fără	fără	
Culoare		—	incoloră	incoloră	incoloră	
Chimice Substanţe organice	(CBO_5)	mgO_2/dm^3	5	7	12	Consum biochimic de oxigen la 5 zile
	(CCO)—C	mgO_2/dm^3	10	20	30	Consum chimic de oxigen
Oxigen dizolvat		mg/dm^3	6	5	4	
Reziduu fix (105°C)		mg/dm^3	750	1000	1200	
Sodiu		mg/dm^3	100	200	200	
Sulfaţi		mg/dm^3	200	400	400	
Detergenţi aminoactivi		mg/dm^3	0,5	0,5	0,5	
Fosfor		mg/dm^3	0,1	0,1	0,1	
Magneziu		mg/dm^3	50	100	100	
Calciu		mg/dm^3	150	200	300	
CO_2 liber		mg/dm^3	50	50	50	
Cianuri		mg/dm^3	0,01	0,2	0,2	
Cloruri		mg/dm^3	250	300	300	
Clor liber		mg/dm^3	0,005	0,005	0,005	
Cobalt		mg/dm^3	1	5	5	
Crom (Cr^{3+})/(Cr^{6+})		mg/dm^3	0,5/0,05	0,05/0,005	0,5/0,05	
Cupru		mg/dm^3	0,1	0,1	3,0	
Mercur		mg/dm^3	0,001	0,001	0,001	
pH		—	6,5—8,5	6,5—8,5	6,5—8,5	
Produse petroliere		mg/dm^3	0,1	0,1	0,1	
Azotiţi		mg/dm^3	1	3	—	
Azotaţi		mg/dm^3	10	30	—	
Pesticide		mg/l	0,001	0,001	0,001	
Plumb		mg/l	0,05	0,05	0,05	
Hidrocarburi aromatice		mg/l	0,0002	0,0002	0,0002	

1.2.3. CONDIŢII DE CALITATE PENTRU APA INDUSTRIALĂ

Calitatea apei necesară industriei este funcţie de procesul tehnologic la care aceasta participă. Pot exista următoarele categorii principale de apă industrială: apă pentru transportul sau spălarea materiei prime (sfeclă, cărbune, nisip etc.); apă pentru răcirea agregatelor; apă pentru prepararea produselor finite; apă pentru includerea în produsul finit (zahăr, coloranţi, reactivi chimici, produse farmaceutice etc.); apa ca produs finit (apă distilată, apă grea etc.).

Este limpede că folosirea unei ape de calitate mai bună decît o cere faza tehnologică poate fi costisitoare, atunci cînd această apă nu are la sursă calitatea respectivă. După cum este la fel de clar că pentru fiecare tehnologie (şi uneori fază tehnologică) este necesară o anumită calitate de apă. Uneori chiar şi în cadrul aceleiaşi tehnologii, calitatea apei poate fi diferită, rezultînd un produs de calitate mai bună sau mai slabă (de exemplu la fabricarea berii, hîrtiei etc.).

Cîteva dintre condiţiile de calitate cerute în unele ramuri de producţie sînt date în continuare în tabelele 1.3, 1.4.

Tabelul 1.3

Condiţii de calitate pentru apa de cazan (apă supraîncălzită sau abur) [34, 21, 40]

Indicatorul/caracteristica	Cazane de volum mare	Cazane tubulare	
Presiune, daN/cm^2	13	<60	>60
Duritate, grade	<1	<0,1—0,5	<0,01
CO_2-total, mg/dm^3	—	<10	<5
Oxigen dizolvat, mg/dm^3	<0,02	<0,015	<0,015
Ulei, mg/dm^3	<5	<3	<1
pH la 20°C	7—9,5	7—9,5	9—10
Oxidabilitate ($KMnO_4$), mg/l	nu se normează	0,5	0,5
Conductivitate, S/cm	1	0,2	<0,2—0,05
Fier + Cupru, mg/l	0,02	0,015	<0,01
Bioxid de siliciu, mg/l	0,2	0,05	0,02

Tabelul 1.4

Condiții de calitate pentru apa necesară în unele ramuri de producție [40]

Caracterstici	Denumire produse					
	Hîrtie	Celuloză	Viscoză	Textile	Vopsele	Tăbăcirea pieilor
Turbiditate, grade SiO_2	2—5	lipsă	5	5	5	20
Culoare, grade	30	5	lipsă	10—12	5—10	10—20
Duritate totală, grade	12—16	2	0,5	4—6	0,5—1	3—7,5
Substanțe organice, mgO_2/dm^3	10	6	2	—	8—10	—
Fier, mg/dm^3	1,0	0,2	0,03	0,2	0,1	0,2
Mangan, mg/dm^3	—	—	0,03	0,2	0,1	0,2
Bioxid de siliciu, mg/dm^3	—	—	25	—	—	×
Reziduu fix, mg/dm^3	300	—	100	—	—	—
pH	7—7,5	7—7,5	—	7—8,5	7—8,5	—

Condiții de calitate în industria alimentară

Conținut limită recomandat, ppm	Produse alimentare		Conserve	Panificație
	spălare	fabricație	spălare și preparare	
Turbiditate, grad SiO_2	1,0	1—10	1—10	10
Culoare, grad	5—20	5—10	—	10
Gust și miros	—	urme	—	lipsă
Fier, mg/l	—	0,2	—	0,2
Mangan, mg/l	—	0,2	—	0,2
Alcalinitate	—	30—250	30—250	—
Duritate, grad	10	10—250	10—250	—
Materii solubile, total, mg/l	850	850	850	—
Materii organice	urme	—	lipsă	—
Fluor, mg/l	1—10	1,0	—	—
Nitriți, mg/l	—	—	lipsă	—
Nitrați, mg/l	—	—	1,5	—
Amoniac, mg/l	—	—	0,5	—

Condiții de calitate pentru industria laptelui

Reziduu fix	sub 500 mg/l
Nitrați	sub 30 mg/l
Nitriți	absent
Amoniac	urme
Cloruri	sub 30 mg/l
Sulfați	sub 60 mg/l
Substanțe organice	sub 12 mg $KMnO_4$/l
Duritate	sub 18 grade
Fier	0,1—0,3 mg/l
Mangan	0,03—0,1 mg/l
Cupru	lipsă
Incoloră, inodoră	

1.2.4. CONDIȚII DE CALITATE PENTRU APA NECESARĂ ALTOR FOLOSINȚE

Pentru agricultură, pentru apa necesară pentru irigații, condițiile de calitate sînt stabilite, în România, prin standarde.

În tabelul 1.5 sînt dați indicatorii de calitate pentru alte folosințe ale apei.

În general, trebuie reținut faptul că, în afara acestor norme considerate ca generale, pot fi stabilite, prin tehnologia respectivă, norme de calitate pentru apă mai mult sau mai puțin restrictive.

Tabelul 1.5

Indicatori de calitate pentru apa necesară la piscine

Indicator	Valoare
Culoare, grade Pt/Co	5
Limpiditate	se vede fundul bazinului
Oxidabilitate, mg/l, $KMnO_4$	max 3
Clor activ, liber, mg/l	0,2—0,3
Clor fixat, mg/l	0,1—0,5
pH	6,5—8,3
Nr. total de calonii în 100 ml apă	max 100/ml E. coli, lipsă bacterii

1.2.5. CONDIȚII GENERALE DE DETERMINARE A VALORILOR INDICATORILOR

Pentru a putea obține rezultate concludente asupra calității apei, sînt necesare măsuri similare pentru următoarele operațiuni:

— prelevarea normalizată a probelor;
— determinarea normalizată a indicatorilor;
— intervalele de timp la care se repetă proba.

Prelevarea probelor. Pentru a avea probe reprezentative este necesar:
— să se lucreze cu personal instruit și conștiincios;
— să se dispună de o dotare minimă; dispozitive de recoltat, reactivi pentru determinarea pe loc a unor caracteristici sau conservarea acestora, mijloace de transport, depozitare și conservarea probelor.

Aparatura modernă pentru determinarea automată sau semiautomată a tuturor indicatorilor va fi adecvată gradului de sensibilitate cu care se măsoară indicatorul.

Probele pot fi luate ca: *probă punctiformă* (ori instantanee) atunci cînd apa are calitate uniformă în secțiunea cercetată și constantă în timp; *probe medii pe secțiune* sau *probe medii* pe un interval de timp.

Este de remarcat faptul că astăzi există dispozitive complexe care pot preleva probe de apă, pot face analiza unui număr relativ mic de indicatori şi transmite valoarea acestor indicatori, la intervale de timp, la o staţie de control. Asemenea aparatură este extrem de utilă pentru avertizarea *în timp util* a personalului din staţia de tratare pentru reglarea dozelor de reactivi sau, în cazuri grave (staţia nu dispune de mijloace pentru reţinerea agentului impurificator), de închidere a accesului la staţia de tratare şi eventual trecerea pe sursa de rezervă.

Determinarea normalizată a valorii indicatorilor se poate face pe cale chimică sau cu aparatură adecvată pentru indicatorii chimici. Ordinea de determinare şi metodologia de determinare a acestora este standardizată (STAS 1342—91 indică, pentru fiecare parametru, numărul standardului). Elaborarea altor metode mai exacte sau mai expeditive va fi coordonată cu prevederile standardelor.

Caracteristicile organoleptice se determină pe loc sau, într-un interval de timp, în laborator — cu conservarea probei — de către personal special atestat.

Indicatorii bacteriologici se determină de persoane specializate, în laboratoare cu dotare adecvată şi protejate corespunzător contra exfiltrării unor agenţi patogeni în exterior sau infiltrarea unor factori perturbatori. Laboratoatele sînt autorizate şi recunoscute de organele sanitare.

Indicatorii radiologici pot fi determinaţi pe loc sau în laborator, folosind aparatură de specialitate.

Valorile determinate se compară cu elementele precizate de standardul de calitate şi cu valorile medii obţinute în timp. Valorile care sînt total diferite vor fi analizate cu multă atenţie, deoarece: (1) pot fi eronate, caz în care proba se reface sau (2) parametrul respectiv denotă o anomalie importantă a calităţii apei, anomalie a cărei cauză trebuie urgent descoperită.

Intervalele de timp la care se determină indicatorii se stabilesc în funcţie de importanţa parametrilor respectivi în caracterizarea calităţii apei, de gradul de complexitate care este necesar pentru măsurătoarea propriu-zisă şi de rapiditatea cu care variază în timp valorile parametrului respectiv. Acestea pot fi orare, zilnice, săptămînale, lunare.

În mod sintetic, intervalele de timp pentru o parte din indicatori, precum şi standardele conform cărora aceştia se determină sînt menţionate în literatura tehnică.

Periodic, aceste valori vor trebui comparate cu cele din banca sistemului informaţional a *Ministerului Mediului* — bancă în curs de formare.

1.2.6. INTERPRETAREA REZULTATELOR ANALIZELOR

Rezultatele obţinute prin determinări specifice, se stochează în registre clasice sau mijloace moderne (benzi, discuri etc.).

Valorile determinate prin analize se compară cu prevederile normative şi se constată modul de încadrare al apei faţă de condiţiile normale, admisibile sau excepţionale. Se poate obţine şi modul de tratare, în vederea corectării calităţii apei, după care toate analizele se refac.

Pentru a caracteriza apa, sînt necesare mai multe serii de analize pentru perioade caracteristice ale studiului sursei. Caracterizarea se poate schimba în timp. În final, se obţine o caracterizare generală: apa este potabilă sau nu; apa este bună pentru irigaţii, piscină etc. Se mai poate face caracterizarea după anumiţi indicatori pregnanţi şi importanţi pentru o anume comportare.

Astfel, de exemplu, se pot distinge:

- din punct de vedere al pH-ului: pH = 11—14, ape alcaline;
  pH = 8—10, ape slab alcaline;
  pH = 7, ape neutre;
  pH = 4—6, ape, slab acide;
  pH = 1—3, ape puternic acide.
- după mărimea durităţii:
  — apă *foarte moale*, cu duritate pînă la 4,2 grade;
  — apă *moale*, cu duritate pînă la 8,0 grade;
  — apă *cu duritate normală*, cu duritate pînă la 16 grade;
  — apă *dură*, cu duritate pînă la 25 grade;
  — apă *foarte dură*, cu duritate peste 25 grade.

1.3. SCHEME DE ALIMENTARE CU APĂ

1.3.1. ELEMENTELE COMPONENTE ŞI ROLUL ACESTORA

După cum a rezultat, sistemul de alimentare cu apă este un complex de construcţii, de instalaţii şi măsuri, avînd ca scop asigurarea apei de calitatea şi în cantitatea cerută de un utilizator. Cu acest complex eterogen de construcţii este complicat şi greu de operat în practică. De aceea, ca în multe domenii inginereşti, se schematizează.

Reprezentarea schematică a obiectelor componente ale unui sistem de alimentare cu apă, cu păstrarea ordinii tehnologice, este o *schemă de alimentare cu apă*. Schema este uşor manevrabilă, se poate opera simplu, iar condiţiile obţinute pe schema cea mai convenabilă pot fi transferate sistemului din care provine.

Ţinînd seama că orice utilizator de apă poate fi asigurat cu apă prin imaginarea a foarte multe sisteme (la limită, de la transportul gheţii polare — ambalate — pînă la folosirea apei de mare sau refolosirea apei uzate), este important de văzut care este schema generală şi care sînt posibilităţile de a aborda variantele cele mai apropiate de soluţia cea mai bună, *apă bună de utilizat în cele mai raţionale condiţii*.

O shcemă generală de alimentare cu apă cuprinde: captarea, staţii de pompare, staţii de tratare, aducţiune, rezervor de înmagazinare, reţea de distribuţie (fig. 14).

Captarea asigură preluarea sigură a apei, în cantitatea necesară, din sursa naturală; poate fi mai simplă sau mai complicată, după tipul sursei, condiţiile locale, mărimea debitului etc.

Staţia (staţiile) **de tratare** prin funcţionalitatea sa asigură corectarea calităţii apei, de la calitatea apei din sursă la condiţiile minime de calitate pe care le solicită beneficiarul pentru o funcţionare sigură vreme îndelungată. Are în general o exploatare complicată, necesitînd o supra-

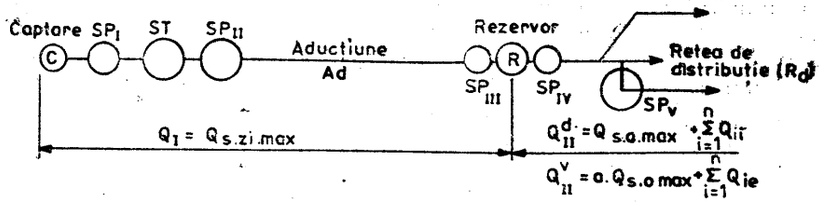


Fig. 1.4. Schema generală de alimentare cu apă.

veghere continuă și activă. Poate lipsi cînd apa captată are calitatea cerută de beneficiar (sau este mai bună) sau poate avea o componență foarte complicată. Schema tehnologică este modificabilă în timp din cauza înrăutățirii continue a apei la sursă, ca urmare a poluării mediului și creșterii exigenței beneficiarului.

Stația (stațiile) **de pompare** asigură energia necesară ca apa să poată ajunge de la cota geodezică la care apa se află la sursă pînă la punctul efectiv de utilizare (robinetul de plecare a apei la utilizator). Este un obiect consumator de energie și de aceea, schemele fără stații de pompare sînt de preferat.

Aducțiunea asigură transportul apei între captare și rezervor. Poate fi mai simplă sau mai complicată, în funcție de relieful terenului, mărimea debitului și calitatea apei, siguranța în funcțiune. Nu poate lipsi din schema de alimentare.

Rezervorul asigură schimbarea ritmului de funcționare a sistemului între amonte (de regulă captare de debit constant pe perioade mari de timp) și aval (unde rețeaua are un debit variabil oră de oră), precum și a unor rezerve de apă pentru caz de incendiu, avarii etc. Nu poate lipsi din schema de alimentare cu apă. Poate fi amplasat pe sol — *rezervor* — sau deasupra solului — *castel de apă*, în funcție de relieful terenului și de presiunea cerută de utilizator.

Rețeaua de distribuție asigură apa necesară utilizatorului efectiv, în cantitatea, de calitatea și la presiunea cerută. Nu poate lipsi din schema de alimentare cu apă.

1.3.2. FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ ALEGEREA SCHEMEI DE ALIMENTARE CU APĂ

Din multitudinea de scheme posibile este necesar să fie luate în calcul numai cele care sînt foarte apropiate de schema rațională, pentru a reduce volumul de lucru. Pentru aceasta, este nevoie de o trecere în revistă a factorilor care exercită o anumită influență, a obiectelor influențate și a modului în care sînt influențate.

Natura sursei de apă. Influențează asupra tipului ce captare, debitului de apă captată, calității apei captate. Apa subterană este de regulă mai bună calitativ, deci, în acest caz, din schemă poate lipsi stația de tratare și una sau toate treptele de pompare dacă poziția captării este favorabilă; dacă apa captată provine din apă de suprafață, este aproape întotdeauna nevoie de tratare, nivelul de tratare fiind însă diferit.

Relieful terenului pe care se distribuie construcțiile influențează asupra numărului și mărimii treptelor de pompare, tipului de rezervor (amplasat la nivelul terenului — *rezervor* propriu-zis sau amplasat de un turn artificial — *castel de apă*), tipul de aducțiune (prin pompare sau gravitațională, închisă sau deschisă).

Calitatea apei captate. Cînd apa captată satisface din punct de vedere calitativ cerințele consumatorului, nu mai este nevoie de tratare sau este suficientă numai o tratare parțială; dacă apa captată este de bună calitate, transportul trebuie făcut prin sisteme închise, Totodată, funcție de mărimea debitului, transportul apei trebuie făcut prin aducțiune închisă, dacă apa este de calitate bună la captare sau și prin aducțiune deschisă la un debit mare și calitate care nu are implicații, dacă se mai deteriorează pe drum.

Mărimea debitului necesar. În cazul unor debite mici, se poate recurge la captarea apei subterane sau a izvoarelor, pe cînd în cazul unor debite mari, trebuie recurs la surse de suprafață, eventual chiar la executarea unor construcții de retenție (baraje) pentru regularizarea debitelor rîului (prin lacuri de acumulare); la debite mici, transportul se realizează prin conductă, la debite mari se poate transporta și prin canale sau galerii.

Condițiile tehnico-economice. Dintre toate soluțiile posibile pentru schema de alimentare cu apă trebuie aleasă cea care oferă, în condiții egale de siguranță în funcțiune, cea mai mare eficiență economică (investiții reduse, cost redus al apei, consum redus de energie electrică) și posibilitatea de a fi executată într-un timp cît mai scurt, folosind materiale și utilaje produse în țară. Totodată, va fi preferată schema care oferă posibilități de extindere ulterioară și de protejare cît mai eficientă a calității apei.

Rezultă că în schema generală de alimentare cu apă sînt obligatorii următoarele construcții: *captarea*, ca element care captează apa din sursa naturală și o concentrează convenabil; *aducțiunea*, ca element care asigură transportul apei de la captare pînă la construcția de înmagazinare; *rezervorul*, ca element care asigură un volum de apă a cărei necesitate va fi justificată ulterior; *rețeaua de distribuție*, ca element care asigură cantitatea de apă necesară fiecărui consumator din incintă, în condiții de siguranță normală.

Pentru concretizarea ideilor legate de schema de alimentare cu apă, în continuare este dată evoluția schemei de alimentare cu apă a municipiului București:

Înainte de 1860 — captare izvoare în oraș, captare apă din Dîmbovița și transport și distribuție cu sacaua, apă netratată;

1860 — captare Dîmbovița, SP cu abur, filtre de lînă, distribuție printr-o rețea scurtă;

1889 — captare Dîmbovița la *Brezoaiele*, tratare naturală (decantare, filtre lente) la Arcuda, transport gravitațional la rezervoarele Cotroceni, pompare prin SP Grozăvești într-o rețea de distribuție ce conținea și castele de apă (Foișorul de Foc); se asigurau circa 20 000 m³/zi;

1901 — captarea de la Bragadiru — puțuri săpate — apa pompată în rezervoarele Cotroceni

(cca. 7000 m³); dezvoltarea rețelei de distribuție (fontă);

1908 — captarea Ulmi — puțuri forate — apa pompată în vechiul sistem de la Arcuda; foraje de adîncime în zona București;

1926 — modernizarea Arcudei, sporirea capacității de transport;

1936 ÷ 1938 — captarea Crivina-Ogrezeni (pe Argeș) pentru apă industrială și de răcire;

1926 ÷ 1928 — extinderea captării Bragadiru la Slobozia Clinceni (puțuri forate); refacere filtre Arcuda, apeduct nou;

1943 — puțuri de adîncime în oraș;

1955 ÷ 1963 — modernizare și extindere Arcuda; tratare cu reactivi, filtre rapide, sporire capacitate de transport; pomparea apei din Argeș cînd seacă rîul Dîmbovița; debit posibil 300 000 — 400 000 m³/zi; dezvoltare a pompării (Sud);

1969 ÷ 1975 — executarea stației de tratare Roșu pentru circa 500 000 — 600 000 m³/zi; dezvoltarea rețelei, stații noi de pompare în rețea (Nord, Grivița, Drumul Taberei); lacuri de acumulare pe Argeș, apeduct nou de mare capacitate; frontul de captare cu puțuri Arcuda;

1966 ÷ 1979 — executarea sistemului de alimentare cu apă industrială (din lacurile Cernica, Pantelimon);

1980 — dezvoltarea Arcuda cu filtre rapide noi; lac de acumulare pe Dîmbovița; apeducte noi; dezvoltare rețea și stații de repompare în rețea;

după 1990 — stație de tratare modernă la Crivina pentru circa 300 000 — 400 000 m³/zi; lac de acumulare cu captare din lac; aducțiune nouă la București; necesitatea refacerii rețelei ca schemă de funcționare și eficiență; debit asigurat 1,2 — 1,5 mil m³/zi.

În figura 1.5 se observă o complicare extrem de mare a sistemului de alimentare cu apă, din următoarele cauze: orașul s-a dezvoltat, necesarul de apă crescînd în 100 ani de la 30 000 m³/zi la circa 1 500 000 m³/zi; tehnologia de obținere a apei s-a dezvoltat; posibilitățile tehnice și economice au crescut; ideile despre sistematizarea orașului s-au schimbat.

În figura 1.6 sînt reprezentate cîteva scheme posibile pentru alimentarea cu apă: transport gravitațional, apă de bună calitate (*a*), caracteristică zonelor de munte și deal; apă de lac, cu tratare adecvată și transport în rezervor de cotă (*b*), caracteristică zonelor de deal; captare apă de rîu, tratare, pompare la rezervor de tip castel de apă (*c*), specifică zonelor de șes; captare din apă subterană și pompare la castel de apă (*d*), specifică zonelor de șes. Toate aceste sisteme funcționează în *circuit deschis*; apa este folosită o singură dată și apoi este restituită circuitului național.

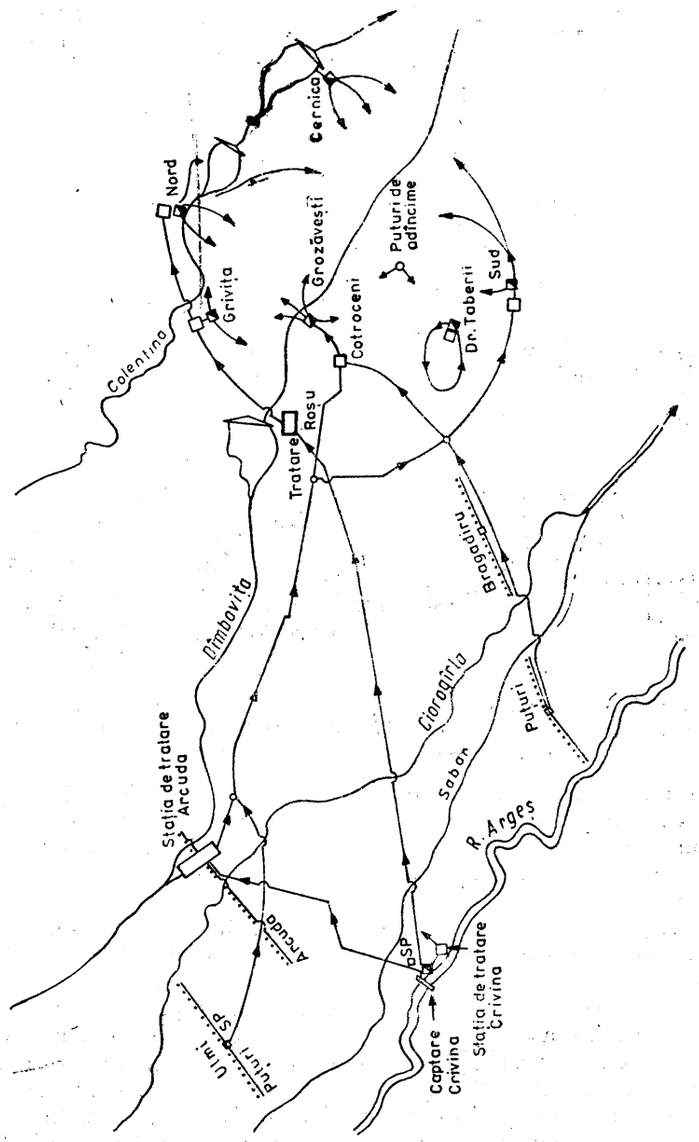


Fig. 1.5. Schema de alimentare cu apă a Municipiului București.

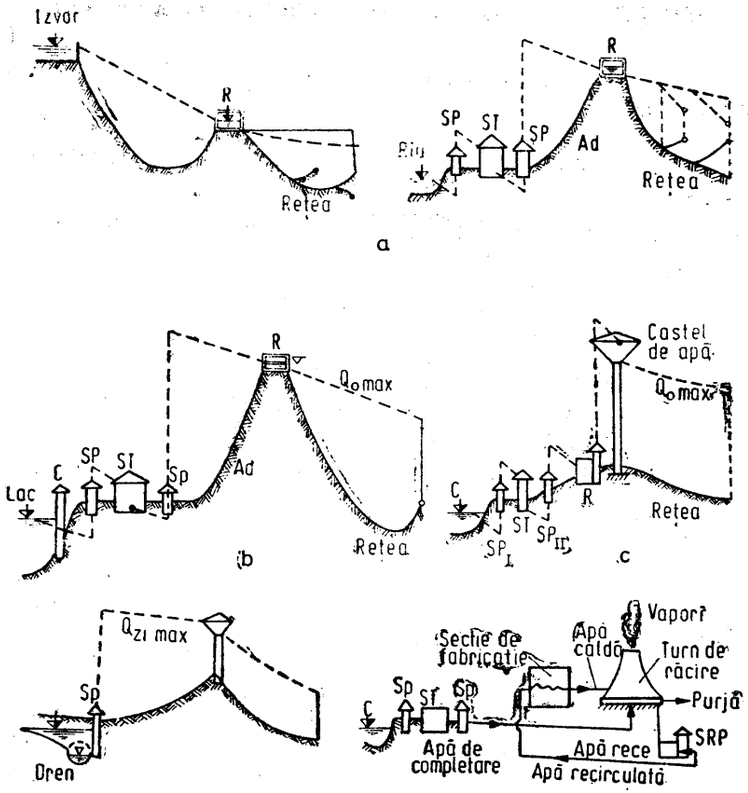


Fig. 1.6. Scheme de alimentare cu apă: *a* — în zone de munte; *b* — în zone de deal; *c* — în zone de şes (apă de suprafaţă); *d* — în zone de şes (apă subterană); *e* — alimentare cu apă industrială (în circuit închis).

Sînt însă şi cazuri cînd, din cauza resurselor reduse de apă şi a posibilităţilor relativ simple de tratare a apei, aceasta este refolosită în acelaşi proces, prin recirculare (*e*), cazul apei de răcire în industrie; există şi cazuri în care apa este reutilizată în procese în cascadă — în special în unele industrii.

În cazuri justificate — lipsa apei din zonă, din cauza sărăciei surselor sau poluării excesive a acestora, sporirea eficienţei tratării şi o exploatare mai simplă — se poate recurge şi la *alimentări cu apă zonale* sau alimentări cu apă regionale. Astfel, de exemplu: alimentarea oraşelor Galaţi şi Brăila din sursa de apă subterană Călieni-Suraia; alimentarea cu apă pentru Oneşti, Comăneşti şi Bacău din lacul de la Poiana Uzului; alimentarea cu apă a oraşelor Uricani, Lupeni şi Petroşani din Lacul Valea de Peşti; alimentarea cu apă a oraşului Filiaşi şi Craiova din Izvorul Izvarna; este în curs de realizare alimentarea cu apă a oraşelor amplasate pe valea rîului Tîrnava Mare (Odorheiul Secuiesc, Cristuru Secuiesc, Sighişoara, Mediaş, Copşa Mică, Bazna) cu apă din lacul Zetea (apă calitativ bună în comparaţie cu apa puternic murdărită a rîului Tîrnava şi necorespunzătoare chiar şi după tratare).

1.4. CANTITĂŢILE DE APĂ NECESARE PENTRU ALIMENTARE

1.4.1. NEVOILE DE APĂ ALE CENTRELOR POPULATE ŞI INDUSTRIILOR

Sistemul de alimentare cu apă centralizat trebuie să satisfacă toate nevoile raţionale de apă din incinta locuită.

Nevoile de apă pentru centrele populate se pot grupa astfel:

- *nevoi gospodăreşti* — apa necesară în incinta gospodăriei (locuinţei) omului pentru toate folosinţele (băut, igiena personală, igiena locuinţei);
- *nevoi publice* — apa necesară în clădirile de folosinţă comună (şcoli, spitale, hoteluri, restaurante, băi publice etc.);
- *nevoi pentru stropit şi spălat* — apă pentru udat spaţii verzi, spălat străzi, pieţe, funcţionare fîntîni ornamentale;
- *nevoi ale industriei locale* — apa necesară unităţilor industriale de servire a localităţilor (brutării, băuturi răcoritoare, abatoare, fabrici de conserve etc.);
- *nevoi de combatere a incendiilor*;
- *nevoi tehnologice proprii* — cantitatea de apă pentru întreţinerea corespunzătoare a sistemului de alimentare cu apă (spălare construcţii, evacuarea substanţelor reţinute, preparare reactivi);
- *pierderi de apă* — cantitatea de apă care se pierde în sistemul de alimentare, datorită imperfecţiunii normale (termic admisibile) de etanşeizare a construcţiilor acestuia (în special, la îmbinările de la conducte).

Nevoile de apă pentru unităţile industriale sau asimilate acestora se pot grupa astfel:

- *nevoi de producţie* — apa necesară procesului tehnologic de bază (apă care intră în produs şi apă care se recuperează, recirculîndu-se sau fiind restituită circuitului natural);
- *nevoi igienico-sanitare* ale muncitorilor şi personalului administrativ care lucrează în unitatea respectivă;
- *nevoi social-gospodăreşti* — apă pentru menţinerea curăţeniei în cadrul spaţiului de producţie, stropit spaţii verzi etc;
- *nevoi de combatere a incendiilor*;
- *nevoi tehnologice proprii ale sistemului de alimentare cu apă*;
- *pierderi de apă* din sistem (tehnic admisibile).

În cazuri bine justificate, acelaşi sistem de alimentare cu apă poate satisface şi localitatea sau localităţile vecine şi unităţile industriale alăturate, după cum în cazul industriilor pot exista unul, două sau trei sisteme de alimentare cu apă, după sursa şi calitatea de apă cerută de procesul tehnologic industrial.

1.4.2. NORME DE NECESAR DE APĂ ŞI VARIAŢIILE NECESARULUI DE APĂ PENTRU CENTRE POPULATE

Necesarul de apă nu este acelaşi nici în timpul anului şi nici de-a lungul anilor. Iarna necesarul va fi mai scăzut, iar vara va fi mai ridicat. În timp, necesarul de apă va creşte (dar va putea să şi scadă, ca urmare a unei exploatări raţionale, a perfecţionării execuţiei şi exploatării, a perfecţionării produselor industriale) odată cu gradul de confort şi cu creşterea numărului de consumatori. Dacă la un sistem de alimentare cu apă în punctul de intrare a apei în reţeaua oraşului ar fi amplasat un dispozitiv de măsurat cantitatea de apă (contor) şi s-ar face cu regularitate citiri zilnice sau orare, pentru o localitate, diagramele obţinute ar arăta ca în figura 1.7.

Se constată astfel că, faţă de media consumului anual, calculată ca raportul dintre volumul de apă intrat în incintă într-un an şi numărul de zile dintr-un an, numită *debit zilnic mediu* şi notată $Q_{zi\ med}$, există o mare perioadă de timp în care necesarul este mai mare, atingînd valori maxime numite *debit zilnic maxim* şi notate cu $Q_{zi\ max}$. Raportul între $Q_{zi\ max}$ şi $Q_{zi\ med}$ a fost numit *coeficient de variaţia zilnică* şi notat K_{zi}. Această variaţie depinde de clima localităţii, de modul de folosire al apei, de mărimea incintei, de apa disponibilă, de gradul de civilizaţie pentru folosirea apei etc. Cei mai mari coeficienţi de variaţie se obţin la o funcţionare discontinuă a sistemului de alimentare cu apă.

Dacă volumul zilnic mediu de apă necesar în cadrul incintei se raportează la numărul consumatorilor de bază (numărul de locuitori, sau numărul de animale, sau volumul producţiei incintei etc.), se obţine o valoare (măsurată în dm³/om şi zi sau pe unitate produs) care exprimă *norma de necesar specific de apă (q)*. Această normă reprezintă deci cantitatea medie anuală de apă necesară pentru satisfacerea tuturor nevoilor unităţii specifice de consum din incintă. Din măsurători numeroase (dar nu suficient de numeroase) şi din compararea datelor cu cele din alte acte normative ale unor ţări cu climă şi regim de trai apropiat, au fost stabilite pentru toate (sau aproape toate) felurile de consum norme de necesar de apă. Normele au fost standardizate pentru o aplicare uniformă, în STAS 1343. Standardul conţine prevederi privind normele de necesar de apă pentru toate nevoile, cu excepţia necesarului pentru combaterea incendiului interior (pentru care se va consulta STAS 1478) şi a necesarului de apă pentru industria locală (valorile vor fi determinate de la caz la caz). Pentru cazuri justificate, vor putea fi adoptate şi alte valori, mai mari sau mult mai mici.

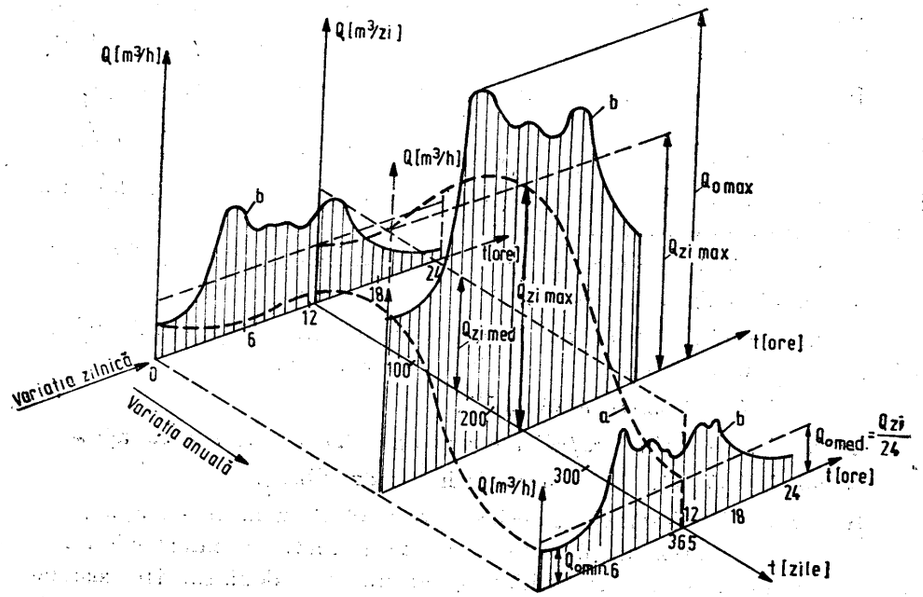


Fig. 1.7. Graficul variaţiei consumului de apă într-o localitate.

Dacă pentru fiecare din zilele anului se fac măsurători ale consumului orar de apă, se constată o neuniformitate cu atît mai mare cu cît incinta locuită este mai mică. Faţă de necesarul mediu orar (calculat ca raportul dintre necesarul zilnic Q_{zi} şi cele 24 ore ale zilei) rezultă un *debit orar maxim* ($Q_{o\ max}$), mai mare cu 30–50%.

Raportul dintre $Q_{o\ max}$ şi $Q_{o\ med}$ a fost numit K_o — *coeficient de variaţie orară*. Dacă ziua în care se calculează $Q_{o\ max}$ este ziua cu necesarul maxim de apă ($Q_{zi\ max}$), atunci $Q_{o\ med} = Q_{zi\ max}/24$ şi deci $Q_{o\ max} = K_0 Q_{zi\ max}$ (m³/h). Dacă se notează cu N_i numărul de consumatori de apă şi cu q_i norma de necesar specific de apă (numită, în normative şi publicaţii mai vechi, consum specific de apă), pot fi calculate cele trei valori ale necesarului de apă, numite şi *debite caracteristice*, într-o incintă, astfel (ţinînd seama bineînţeles de unităţile de măsură respective):

$$Q_{n\ zi\ med} = \frac{1}{1000}\sum_{i=1}^{n} N_i q_i \qquad [\mathrm{m^3/zi}] \qquad (1.1)$$

$$Q_{n\ zi\ max} = \frac{1}{1000}\sum_{i=1}^{n} N_i q_i K_{zi,i} \qquad [\mathrm{m^3/zi}] \qquad (1.2)$$

$$Q_{n\ o\ max} = \frac{1}{1000}\cdot\frac{1}{24}\sum_{i=1}^{n} N_i q_i K_{zi,i} K_{o,i} \quad [\mathrm{m^3/h}] \qquad (1.3)$$

Debitele reprezintă necesarul de apă la robinetul utilizatorului (consumator pentru sursa de apă). Dar din sursă, pentru a asigura aceste debite, este nevoie să fie luată o cantitate mai mare de apă pentru a asigura şi pierderile de apă din sistem şi nevoile tehnologice proprii ale sistemului. Ca atare, debitul cerut de la sursă va fi:

$$Q_s = K_p K_s Q_n, \qquad (1.4)$$

în care Q_n poate fi $Q_{n\ zi\ med}$, $Q_{n\ zi\ max}$, $Q_{n\ o\ max}$, obţinîndu-se similar valorile debitelor $Q_{s\ zi\ med}$, $Q_{s\ zi\ max}$, $Q_{s\ o\ max}$ (au fost respectate, pentru uniformitate şi uşurinţa consultării notaţiile din STAS 1343/1–77).

În relaţiile de mai sus sînt cuprinse toate nevoile de apă cu excepţia celor pentru combaterea incendiului. Cu K_p a fost notat sporul ($K_p = 1{,}1 \div 1{,}2$) pentru compensarea pierderilor normale de apă prin sistem, iar cu K_s sporul de apă ($K_s = 1{,}05 \div 1{,}1$) necesar pentru întreţinerea sistemului de alimentare cu apă.

În tabelele 1.6 și 1.7 sînt date valorile debitelor specifice, după STAS 1343/1—91, cu noua notație adoptată : n pentru norma de consum, N pentru numărul de utilizatori.

Pentru determinarea numărului de consumatori trebuie să se țină seama de datele tehnologului și de perspectiva de dezvoltare, în cazul industriilor, iar, în cazul unor localități, de creșterea normală sau planificată a populației. Întrucît sistemul de alimentare are și construcții care nu pot fi extinse treptat (sau nu e rațională această extindere), se dimensionează aceste construcții pentru o perspectivă de 15—25 ani și, funcție de aceste dimensiuni, se caută o etapizare a construcțiilor.

În cazul în care nu se dispune de date suficiente, aprecierea numărului de locuitori într-o localitate cu dezvoltare normală se poate face cu relația :

$$N_t = N(1 + 0{,}01\ p)^t, \qquad (1.5)$$

în care : p este procentul anual de creștere al populației, stabilit de baze statistice ; t — numărul de ani pentru care se face calculul ; N — numărul de locuitori în situația existentă.

Tabelul 1.6

Valorile coeficientului de variație orară K_o (STAS 1343-91)

Număr total de locuitori ai centrului populat (N)	K_o	Număr total de locuitori ai centrului populat (N)	K_o
500	2,8	15 000	1,35
1000	2,2	25 000	1,30
1500	2,0	50 000	1,25
3000	1,75	100 000	1,20
		peste 200 000	1,15

Tabelul 1.7

Debite zilnice medii specifice (n_{sp}), în dm³/om zi, și coeficienții de variație zilnică (STAS 1343/1-91)

Nr. crt.	Zone sau centre populate dotate cu instalații de alimentare cu apă	Nevoi gospodărești n_{g_i}	Nevoi publice n_{p_i}	Total $n_{sp_i} = n_{g_i} + n_{p_i}$	K_{zi}
1	Zone în care apa se distribuie prin cișmele amplasate pe stradă	40	25	65	1,3 / 1,40
2	Zone în care apa se distribuie prin cișmele amplasate în curțile caselor	80	30	110	1,20 / 1,35
3	Zone avînd instalații interioare cu apă rece și instalații locale pentru obținerea apei calde	210	85	295	1,15 / 1,30
4	Zone cu clădiri avînd instalații interioare de apă rece și caldă, cu prepararea centrală apei calde (inclusiv termoficare)	280	100	380	1,10 / 1,25

1.4.3. NORME DE NECESAR DE APĂ PENTRU INDUSTRIE

Necesarul de apă pentru industrie este dat în special de cerința pentru asigurarea procesului tehnologic. Din acest punct de vedere, stabilirea necesarului de apă depinde de tehnologia aplicată și produsul realizat, existînd tehnologii uscate (cu consum foarte redus de apă) și tehnologii umede, la care necesarul specific de apă poate fi foarte ridicat.

Cîteva elemente sînt date în tabelul 1.8, valorile fiind orientative.

În industrie, este esențial ca apa să fie recirculată. Astfel, pot fi obținute reduceri de cantități de apă proaspătă pînă la 90—93%.

Ritmul de consum al apei, deci curba caracteristică de utilizare zilnică a apei, precum și coeficienții de variație a consumului sînt stabiliți pentru fiecare industrie în parte, de către tehnolog sau proiectantul general al investiției, întrucît sînt elemente specifice.

Pentru nevoile de apă ale personalului din întreprinderi, valorile pentru necesarul de apă sînt stabilite de STAS 1478—90.

1.4.4. NORME DE NECESAR DE APĂ PENTRU IRIGAȚIE

Agricultura, pentru irigații, folosește cele mai mari cantități de apă. (este însă una din principalele căi pentru sporirea producției agricole în zonele deficitare în apă).

Apa este necesară plantelor, pentru ca, prin evaporarea prin frunze (cca. 90—95%) și menținerea porilor deschiși, CO_2 să fie absorbit din atmosferă, în vederea transformării (sub influența luminii și cu ajutorul apei) în substanță organică asimilabilă și *oxigen* (plantele sînt principalele furnizoare de oxigen și de reciclare a CO_2).

Cantitățile de apă sînt însă apreciabile, ele depinzînd de natura solului, tipul de plante, zona geografică, starea de umiditate din sol, procedeul de distribuire a apei. Foarte important, pentru condițiile țării noastre, este că necesarul de apă cel mai mare este solicitat vara, cînd cantitățile de apă din surse sînt, de obicei, minime.

Tabelul 1.8

Norme specifice de apă pentru industrie

Industria	UM	Cantitate apă [m³/U.M.]
Farmaceutică	t	50
Detergenți	t	0,5
Celuloză	t	500
Oțel	t	250
Stofe de lînă	t	600
Vinificare	t	100
Abatoare	t	0,4—0,6
Motoare termice	1000 CP	50
Sodă	t	100

În continuare sînt date cîteva valori orientative de necesar specific de apă:

— grîu de toamnă	500 ÷ 800 m³/ha;
— porumb	3000 ÷ 4000 m³/ha;
— fasole	1400 ÷ 2800 m³/ha;
— sfeclă de zahăr	3000 ÷ 5000 m³/ha;
— floarea soarelui	500 ÷ 2800 m³/ha.

1.4.5. NECESARUL DE APĂ PENTRU COMBATEREA INCENDIULUI

Deoarece imposibilitatea combaterii eficiente şi rapide a incendiilor poate provoca uneori pagube importante şi pierderi de vieţi omeneşti, au fost preconizate măsuri speciale, de care trebuie să se ţină seama ori de cîte ori se execută un sistem de alimentare cu apă sau noi construcţii în interiorul oraşelor. Şi întrucît pagubele suferite trebuie să fie recuperate, pentru delimitarea atribuţiilor, au fost legiferate o serie de norme obligatorii, conţinute în STAS 1343—91 şi 1478—90, precum şi în normative speciale pentru anumite ramuri industriale [47].

Incendiul se poate produce dacă sînt îndeplinite simultan trei condiţii:

— există un carburant (material care arde);

— există un comburant (mediul care întreţine arderea prin oxigenul natural);

— se asigură temperatura de (auto)aprindere a carburantului.

Pentru combaterea incendiului, trebuie plecat de la posibilitatea de a suprima cel puţin unul din aceşti factori favorizanţi. Primul factor nu poate fi suprimat deoarece construcţiile se execută dintr-un material care poate arde (lemn, carton asfaltat, material textil) sau dintr-un material incombustibil (cărămidă, beton, metal etc.), dar care îşi poate pierde rezistenţa dacă este supus la temperatură ridicată. Pentru a diminua deci posibilitatea de incendiu, trebuie să fie ales un material cu atît mai rezistent la foc, cu cît construcţia este mai mare şi cu o durată mai mare de folosire. Din punct de vedere al rezistenţei la foc, materialele au fost împărţite în 5 grupe de rezistenţă (I, II, III materiale incombustibile şi IV, V materiale combustibile).

Nici al doilea factor nu poate fi suprimat decît rar, deoarece comburantul este de obicei oxigenul din aer. El poate fi înlăturat în încăperi închise, care — în caz de incendiu — pot fi inundate cu abur, sau gaz inert, sau se poate împiedica accesul acestuia la zona de ardere prin izolare cu o „pătură" de spumă mecanică sau chimică (este cazul rezervoarelor de lichide inflamabile, incendii de extindere mică etc.).

Al treilea factor este singurul mai accesibil, din următoarele cauze: se poate influenţa mai uşor asupra lui; există un mijloc uşor de folosit şi ieftin pentru combatere — apa. Apa costă relativ puţin, se manipulează uşor, este şi elementul din natură cu cea mai mare căldură specifică, deci se poate obţine reducerea temperaturii materialului ce arde, prin evaporarea unei cantităţi de apă.

Apa este împroşcată sub formă de jet sau ploaie pe zona incendiată şi prin evaporarea unei părţi se reduce temperatura materialului care arde, sub limita de (auto)aprindere.

Jeturile se obţin de la *hidranţi interiori*, cu debitul Q_{ii} şi pentru folosirea cărora se acordă de obicei durata de 10 minute (T_i) sau de la *hidranţi exteriori*, montaţi lîngă aleile sau drumurile de acces la construcţie (cu debitul Q_{ie}). Timpul de folosire a hidranţilor exteriori este de obicei 3 ore (T_e). În centrele populate, presiunea necesară jetului de apă aplicat de la exteriorul clădirilor se obţine cu motopompe alimentate de la hidranţii exteriori. În cazuri speciale, se pot folosi *tunuri de apă*, instalaţii de *drencere* (perdea de apă care compartimentează o încăpere şi nu permite extinderea focului, iar distribuţia perdelei pe verticală nu produce stricăciuni mari materialului depozitat — bineînţeles cu asigurarea unei posibilităţi de evacuare a apei) sau *sprinklere*. Sprinklerele sînt montate pe o reţea de conducte prevăzute cu dispozitive orientate spre tavanul construcţiei şi care, automat sau manual, intră în folosire asigurînd o „ploaie artificială" de mare intensitate, ploaie care înăbuşă, inundă, materialul care arde (material care nu trebuie să fie degradat de către apă). În aceste cazuri, debitele q_s şi durata de folosire a instalaţiilor T_s se determină după norme deosebite.

Normativele în vigoare prevăd următoarele: în cazul existenţei sistemului centralizat de apă, trebuie creată o rezervă de apă (V_i), care să fie suficientă pentru combaterea tuturor incendiilor teoretice simultane (n), iar după consumarea acesteia să poată fi refăcută într-un timp determinat (T_{ri}).

În aceste condiţii, volumul rezervei intangibile de apă se calculează astfel:

$$V_i = \sum_{i=1}^{n} Q_{ii}T_i + \sum_{i=1}^{n} Q_{ie}T_e + q_sT_s + aQ_{o\ max}T_e \quad [m^3], \qquad (1.6)$$

iar debitul pentru refacerea acestei rezerve, în cazul în care a fost consumată, astfel:

$$Q_{ri} = 24\ (V_i/T_{ri}) \quad [m^3/zi] \qquad (1.7)$$

În relaţiile de mai sus, a este un coeficient de reducere (de regulă 0,7 la reţelele cu distribuţie de joasă presiune), deoarece din debitul orar maxim asigurat pe timpul combaterii incendiului se pot scădea: debitul pentru stropit spaţiile verzi; 85% din necesarul pentru duşuri; alte consumuri neesenţiale în industrie şi care pot fi reduse fără a periclita funcţionarea instalaţiilor. Se menţionează că o parte din consumatori nu vor avea apă, ca urmare a reducerii presiunii în reţea la minimum 7 m coloană apă.

În cazul în care alimentarea rezervorului de la sursă poate avea loc fără întrerupere, chiar în timpul incendiului, cu o parte din debitul pentru incendiu, rezerva poate fi redusă cu volumul asigurat de acest debit.

De regulă, cînd sînt mai multe surse care asigură apa în rezervor, se consideră că numai una dintre ele (cea mai mare) este indisponibilă (temporar), celelalte funcţionînd la capacitatea normală.

Durata de refacere a rezervei de incendiu este 24 sau 35 ore, dar refacerea rezervei de incendiu se poate face şi pe seama restrîngerii consumului normal de apă, atunci cînd condiţiile de exploatare permit acest lucru. Acest lucru trebuie stabilit şi introdus în normele de exploatare a sistemului.

1.5. DEBITELE DE DIMENSIONARE A SCHEMEI DE ALIMENTARE CU APĂ

Debitul pentru dimensionarea rațională a schemei de alimentare sînt date în figura 1.4.

Pentru a ajunge la această schemă se face următorul raționament:

• Dintre cele 3 debite caracteristice calculate anterior $Q_{zi\ med}$, $Q_{zi\ max}$, $Q_{o\ max}$, valoarea cea mai mare o are $Q_{o\ max}$. Rezultă deci că, pentru a avea tot timpul apă la consumator, ar trebui ca sistemul să poată asigura oricînd debitul $Q_{o\ max}$.

Dar acest debit se realizează, ca necesar, un număr redus de ore pe an (cca. 2—3 ore/zi · 5—10 zile/an — zilele cu consumul cel mai mare, deci 10—30 ore/an — față de cele 8760 ore/an cît se consumă apă în incintă). A dimensiona tot sistemul de alimentare la debitul $Q_{o\ max}$ nu este rațional, deoarece, toate construcțiile trebuie dimensionate pentru a putea asigura debitul maxim, iar în marea majoritate a timpului debitul solicitat este mai mic decît acesta. Toate construcțiile au dimensiuni maxime, dar funcționează la debite variabile de la oră la oră, de la zi la zi și costul de investiție este nerațional. Sînt însă și obiecte la care această funcționare cu debite variabile în acest ritm provoacă neajunsuri mari, care pot duce pînă la scoaterea lor din funcțiune (captările cu puțuri, cu drenuri); limpezirea apei se poate complica foarte mult, automatizarea stațiilor de pompare devine foarte costisitoare sau crește consumul de energie.

Dintre toate obiectele sistemului de alimentare cu apă, numai rețeaua de distribuție trebuie dimensionată la debitul maxim cerut de consumator ($Q_{o\ max}$), deoarece beneficiarul trebuie să primească orice valoare a debitului în limita luată în calcul.

• Dacă se dimensionează sistemul de alimentare la debitul $Q_{zi\ max}$, rezultă că, pentru orice secvență de timp din an, necesarul zilnic de apă este asigurat (v. fig. 1.7). În zilele cu consum de apă apropiat de debitul zilnic maxim, necesarul orar de apă depășește media orară, în timp ce în alte ore necesarul este mai mic decît debitul zilnic maxim. Dacă se prevede un rezervor, care să acumuleze apa în orele cu necesar mai mic decît $Q_{zi\ max}$ și să dea apă la consum, din acumulare, la capacitatea solicitată în orele de consum mai mare decît $Q_{zi\ max}$, rezultă că sistemul poate funcționa normal. Rezervorul trebuie să aibă un volum care să poată asigura integral trecerea — compensarea consumurilor orare — de la $Q_{zi\ max}$ la $Q_{o\ max}$.

• Dacă se încearcă dimensionarea sistemului la $Q_{zi\ med}$, ar rezulta necesar un volum de apă pentru compensarea pe o perioadă de cîteva zeci de zile. Acest rezervor, pe lîngă dimensiunile impresionante și un cost ridicat, pune și probleme dificile legate de păstrarea calității apei pe o asemenea perioadă, cunoscut fiind faptul că o apă depozitată nu poate fi păstrată, la calitatea de apă potabilă, în condiții normale mai mult de 6—7 zile.

Rezultă deci că dimensionarea rațională a schemei de alimentare cu apă se poate face cu debitul $Q_{zi\ max}$ pentru toate obiectele pînă la rezervor inclusiv și la $Q_{o\ max}$ pentru obiectele de după rezervor. Dimensionarea la aceste debite prezintă următoarele avantaje importante:

— permite funcționarea obiectelor de pînă la rezervor (care de obicei sînt mai dezvoltate) la un debit uniform pe perioade foarte mari de timp, fapt care conduce la o exploatare mai lesnicioasă și la asigurarea unei durabilități mai mari a construcțiilor;

— existența rezervorului permite, prin mărirea corespunzătoare a volumului, să se păstreze și volumul de apă pentru combaterea incendiului, precum și un volum de apă suplimentar pentru alimentarea consumatorului, în cazul în care unul din obiectele amonte de rezervor au suferit avarii sau întreruperi accidentale de funcționare (căderea sursei electrice la stațiile de pompare, ruperea aducțiunii etc.);

— se realizează construcțiile cu un efort minim, fără a deranja funcționarea bună a beneficiarului apei.

Pentru a ajunge la valorile înscrise în figura 1.8, mai trebuie să fie făcute următoarele precizări:

— deoarece de cele mai multe ori incendiile în fază inițială se combat cu ajutorul hidranților interiori, pentru ca aceștia să funcționeze normal, trebuie să aibă și presiune corespunzătoare; de aceea, la debitul maxim orar trebuie adăugat și debitul pentru combaterea din interior a tuturor incendiilor teoretic simultane;

— întrucît de obicei rețeaua de distribuție nu asigură presiunea necesară pentru combaterea incendiilor din exterior (se folosesc motopompe sau autopompe pentru ridicarea presiunii), în cazul în care debitul crește în rețea (cu debitul necesar combaterii incendiilor), trebuie verificat ca presiunea disponibilă să fie de cel puțin 7 m coloană apă (această valoare asigură amorsarea rapidă a pompelor formațiilor de pompieri);

— sporul tehnologic K_s va avea valori specifice.

Cu aceste precizări și folosind formulările pentru debitele caracteristice, rezultă că *debitele de calcul* pentru schema de alimentare cu apă (pentru centre populate) sînt următoarele:

• pe porțiunea captare-rezervor, inclusiv, valoarea maximă dintre:

$$Q_I = Q_{s\ zi\ max} = K_p K_s \sum_{i=1}^{n} \frac{N_i q_i}{1000} K_{zi,\,i} \quad [\mathrm{m^3/zi}] \tag{1.8}$$

sau

$$Q_I = Q'_{s\ zi\ max} + Q_{ri}, \tag{1.9}$$

în care $Q'_{s\ zi\ max}$ este debitul zilnic maxim, cu restricții;

• pe porțiunea aval de rezervor:

— *debitul de dimensionare*

$$Q^d_{II} = Q_{s\ o\ max} + Q_{ii} = K_p K_s \sum_{i=1}^{n} \frac{N_i q_i}{1000} K_{zi,\,i} K_{o,\,i} \frac{1}{24} + 3{,}6 \sum_{i=1}^{n} Q_{ii} \quad [\mathrm{m^3/h}], \tag{1.10}$$

cu asigurarea presiunii de funcționare la hidranții interiori;

— *debite de verificare*

$$Q^v_{II} = aQ_{s\ o\ max} + \sum_{i=1}^{n} Q_{ie} = aK_p K_s \sum_{i=1}^{n} \frac{N_i q_i}{1000} K_{zi,\,i} K_{o,\,i} \frac{1}{24} + 3{,}6 \sum_{i=1}^{n} Q_{ie} \quad [\mathrm{m^3/h}], \tag{1.11}$$

cu asigurarea presiunii de 0,7 bari în zona incendiului stins din exterior și

$$Q_{II}^{v} = Q_{s\ o\ max} + 3{,}6 \sum_{1}^{n-1} Q_{ie} + 3{,}6 Q_{ii} \ [m^3/h], \qquad (1.12)$$

cu asigurarea presiunii de 0,7 bari la cele $(n-1)$ incendii stinse cu ajutorul hidranților exteriori și a presiunii de utilizare la cel de al n-lea incendiu stins cu hidranții interiori.

Pentru obținerea tehnologiei de lucru și a unui ordin de mărime, poate fi urmărită următoarea aplicație.

Aplicația 1

Să se stabilească schema rațională de alimentare cu apă și debitele de dimensionare pentru a asigura cu apă o localitate. Sînt cunoscute următoarele date:

— localitatea, amplasată în zonă de deal, are $N = 25\,300$ locuitori, din care 50% locuiesc în blocuri noi, în care se asigură apa rece, apă caldă și încălzire în sistem centralizat, iar 50% locuiesc în case care au instalație interioară de apă rece și racodare la rețeaua de canalizare; regimul de construcții este P ÷ P + 3; în localitate sînt prevăzute 2 cinematografe cu maxim 600 locuri, 6 școli, un spital cu 200 paturi, 2 policlinici; în perspectivă se prespune că localitatea se dezvoltă în sistem normal, cu o creștere a populației de 5‰ pe an;

— sursa de apă, de calitate bună, în cantitate suficientă și aflată în apropiere, este apa de rîu (categoria I, conform STAS 4706); apa de rîu va trebui limpezită și dezinfectată înainte de a deveni apă potabilă (rezultă din studiile de laborator, obligatorii pentru orice fază de proiectare).

Stabilirea schemei de alimentare cu apă se poate face urmărind factorii care sînt implicați. Succint, raționamentul este următorul:

- apa se captează din sursă de suprafață:
  - captarea va avea forma specifică;
  - sursa va trebui protejată pentru a menține calitatea apei;
  - apa va trebui tratată;
  - întrucît din tratare rezultă nămol (din suspensiile care produc turbiditatea apei), este rațional ca stația de tratare să fie amplasată lîngă sursă (captare);
  - apa din rîu pentru a fi dusă la stația de tratare trebuie pompată (SP_1);
- apa obținută după tratare este de calitate bună
  - transportul apei va fi făcut prin conductă sub presiune;
- localitatea este în zonă de deal, deci se poate sconta pe existența unei cote de amplasare a rezervorului:
  - construcția de înmagazinare va fi rezervor pe sol;
  - cota rezervorului fiind, de regulă mai mare decît cota stației de tratare, este necesară o nouă pompare (SP_2);
- clădirile au maximum P + 3 nivele, deci presiunea cerută în rețea este circa 18 m (4,5 m/etaj · 4 nivele);
  - rețeaua de distribuție alimentată din rezervor, gravitațional, va avea o sigură zonă de presiune (presiune < 60m);
- pierderea de sarcină pe rețea nu va putea depăși 20—30 m.
  - rețea de joasă presiune.

În concluzie, schema de alimentare cu apă și schema tehnologică va fi cea concretizată în figura 1.8.

Determinarea debitelor de calcul se face conform prevederilor STAS 1341/1—91 (v. tab. 1.7): pentru populația cazată în construcții tip bloc (zona 4), $n_{sp_1} = 380$ dm³/om zi, $K_{zi,1} = 1{,}15$; pentru populația cazată în clădiri obișnuite (zona 3), $n_{sp_2} = 295$ dm³/om zi, $K_{zi,2} = 1{,}20$; mai rezultă $K_p = 1{,}10$; $K_s = 1{,}1$ (ca valoarea 1,02 după tratare, apa fiind curată).

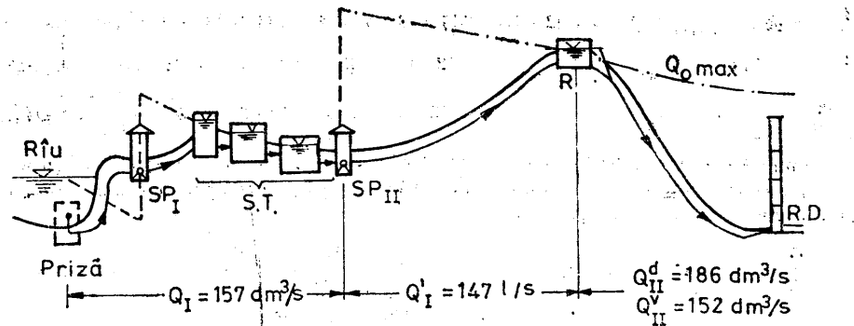


Fig. 1.8. Schema de alimentare cu apă (aplicația 1).

Pentru determinarea coeficientului de variație orară trebuie cunoscută mărimea populației peste 25 ani (calculul este similar și pentru populația actuală, cunoscută).

Se presupune că se păstrează distribuția între cele două tipuri de cazare, deci:

$N_{1,25} = N_{1,0}(1 + p/100)^{25} = 12\,650(1 + 0{,}5/100)^{25} = 14\,300$ locuitori;

$N_{2,25} = N_{1,25}$;

$N_{25} = N_{1,25} + N_{2,25} = 28\,600$ locuitori.

Va rezulta, fără interpolarea care aduce valoare de ordinul sutimilor din tabelul 1.6, $K_o = 1{,}2$.

Folosind relațiile de calcul date anterior, rezultă debitele caracteristice:

$$Q_{n\ zi\ max} = \sum_{i=1}^{n} K_{zi,i}\ Q_{n\ zi\ med,i} = \frac{14\,300 \cdot 380}{1000} \cdot 1{,}15 + \frac{14\,300 \cdot 295}{1000} \cdot 1{,}20 = 11\,310 \text{ m}^3/\text{zi};$$

$$Q_{n\ o\ max} = 1/24 \sum_{i=1}^{2} K_{o,i}\ Q_{n\ zi\ max,i} = \frac{1}{24}\left(\frac{14\,300 \cdot 380 \cdot 1{,}15}{1000} \cdot 1{,}20 + \frac{14\,300 \cdot 295 \cdot 1{,}20}{1000} \cdot 1{,}20 \right) = 565 \text{ m}^3/\text{h}$$

Debitele de calcul rezultă:

$Q_I = K_p K_s Q_{n\ zi\ max} = 1{,}1 \cdot 1{,}1 \cdot 11\,310 = 13\,700$ m³/zi (157 dm³/s), pentru toate obiectele

până la stația de tratare inclusiv și

$$Q'_I = K_p K_s Q_{n\ zi\ max} = 1{,}02 \cdot 1{,}1 \cdot 11\,310 = 12\,690 \text{ m}^3/\text{zi}\ (147 \text{ l/s}),$$

de la stația de tratare până la rezervor inclusiv.

Pentru determinarea debitului de dimensionare a rețelei, este necesar să fie stabilit debitul de incendiu. Din STAS 1343/1—91, pentru o populație de pînă la 50 000 locuitori, rezultă:

$n = 2$ (incendii teoretic simultane); $Q_{ie} = 20$ l/s; $T_{ri} = 24$ ore; $a = 0{,}7$ (rețea de joasă presiune, incendiul exterior se combate cu ajutorul formațiilor de pompieri în a căror dotare există motopompe, deci presiunea în rețea în zona incendiului poate fi minim 7 m coloană apă). Din STAS 1478—90, pentru clădirile publice, rezultă:

— spitale	$Q_{ii} = 5{,}0$ l/s;
— școală	$Q_{ii} = 2{,}5$ l/s;
— cinematograf	$Q_{ii} = 5{,}0$ l/s.

Deci pentru cele *două* incendii teoretic simultane $Q_{ii} = 5$ l/s.

Pe porțiunea aval de rezervor, debitele de dimensionare și de verificare sînt următoarele:

$$Q^d_{\text{II}_{(2)}} = K_p K_s Q_{n\ o\ max} + Q_{ii} = 1{,}02 \cdot 1{,}1 \cdot 565 + 2 \cdot 5 \cdot 3{,}6 = 634 + 36 = 670 \text{ m}^3/\text{h}\ (186 \text{ dm}^3/\text{s});$$

$$Q^v_{\text{II}_{(1)}} = aK_p K_s Q_{n\ o\ max} + nQ_{ie} = 0{,}7 \cdot 1{,}02 \cdot 1{,}1 \cdot 565 + 2{,}20 \cdot 3{,}6 = 547 \text{ m}^3/\text{h}\ (152 \text{ dm}^3/\text{s});$$

$$Q^v_{\text{II}_{(2)}} = K_p K_s Q_{n\ o\ max} + Q_{ie} + Q_{ii} = 1{,}02 \cdot 1{,}1 \cdot 565 + 20 \cdot 3{,}6 + 5 \cdot 3{,}6 = 728 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Valorile debitului de calcul sînt trecute în schema de alimentare cu apă, din figura 1.8.

Se poate determina volumul rezervei intangibile de apă, necesar pentru combaterea incendiului, volum ce va fi păstrat în rezervor ($T_{ii} = 10'$; $T_{ie} = 3$ h):

$$V_i = \sum_1^2 Q_{ii} T_i + nQ_{ie}T_e + aQ_{s\ o\ max} = (10 + 10)10\frac{60}{1000} + 2{,}20 \cdot 3 \cdot 3{,}6 + 0{,}7 \cdot 634 \cdot 3 =$$

$$= 12 + 432 + 1209 = 1653 \text{ m}^3$$

$$Q_{ri} = V_i/T_{ri} = 1653/24 = 69 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Observații:

● Deși valoarea debitului de verificare poate fi mai mică decît valorea debitului de dimensionare, este neapărat necesar să se facă și calculul de verificare al rețelei, întrucît numai valorile maxime ale celor două debite sînt în acest raport; distribuția în rețea conduce la debite mult mai mari, pe conductele de transport a apei în zona incendiului, acolo unde debitul necesar pentru combaterea incendiului este mare (în cazul aplicației, 20%).

● În cazul verificării la incendiu, în toate secțiunile din rețea în care poate apare incendiul, trebuie asigurată presiunea de funcționare a hidranților interiori sau exteriori.

2.

CAPTAREA APEI SUBTERANE

2.1. FORMAREA STRATELOR SUBTERANE DE APĂ (STRATE ACVIFERE)

Apa liberă conținută în roci granulare sau fisurate și care poate fi captată de sub nivelul terenului sau în momentul cînd aceasta iese liber la suprafață, se numește *apa subterană*. Această apă subterană poate fi captată din strate formate în condiții naturale sau din strate alimentate artificial.

În figura 2.1 este redat, schematic și simplificat, modul în care se pot forma stratele acvifere — stratele de apă subterană. Pentru aceasta, trebuie să fie îndeplinite simultan trei condiții:

— să existe un strat de rocă din material granular sau fisurat care să permită circulația și acumularea de apă (strat purtător de apă);

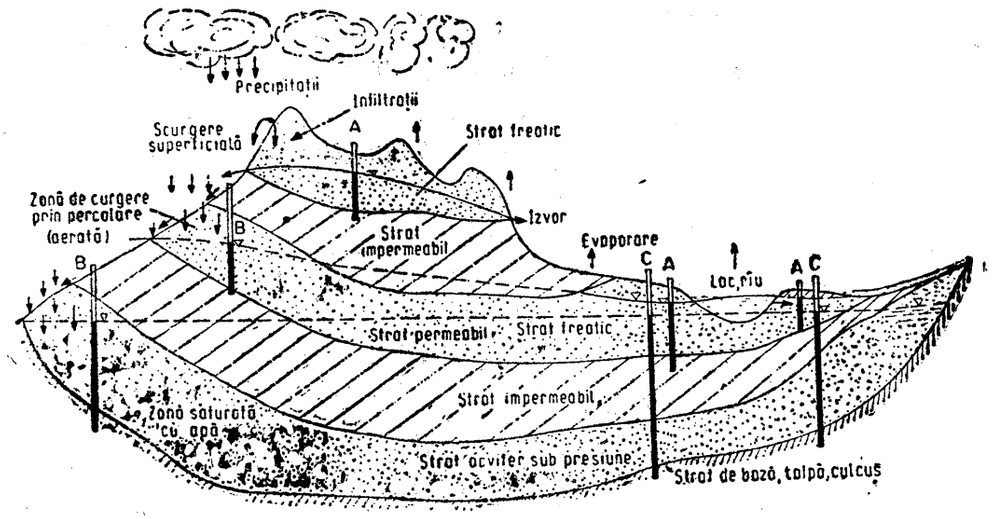


Fig. 2.1. Reprezentare simplificată a modului de formare a stratelor acvifere: *A* — strat freatic; *B* — strat acvifer cu nivel liber; *C* — strat acvifer sub presiune.

— să existe un strat de bază (și uneori și un tavan) practic impermeabil, care să limiteze cel puțin la partea de jos stratul (poros) purtător de apă ;

— să existe posibilitatea alimentării naturale (sau artificiale, în unele cazuri) cu apă din precipitații, din surse de suprafață sau din alte surse subterane a stratului purtător de apă.

Sursele de apă subterană pot fi strate de apă cu nivel liber sau de mică presiune (*A*), numite *strate freatice*, și strate de adîncime numite : strate de *mică adîncime* (sub 50 m) ; de *medie adîncime* (50 —100 m) ; de *mare adîncime* (peste 100 m). În cazul stratelor de adîncime, cota piezometrică a apei în strat poate fi egală cu cota nivelului apei în strat, în cazul stratului fără presiune (poziția *B*), sau poate fi mai mare decît cota nivelului apei în strat, în care caz stratul de apă subterană sub presiune se numește cu nivel *ascendent* (*C*), dacă nu depășește nivelul terenului și *artezian*, dacă depășește nivelul terenului.

Se mai observă că între stratul freatic și cursurile de apă de suprafață este o strînsă legătură. Uneori rîurile, lacurile, alimentează stratele subterane, alteori (la ape mici mai ales) stratele subterane alimentează cursurile de suprafață.

În cazul în care stratul permeabil purtător de apă este mărginit pe o porțiune de nivelul liber al terenului, atunci apa din strat ajunge singură la suprafața terenului, formînd *izvoarele* (de regulă, orice curs de apă de suprafață are la origine un izvor).

Avantajele folosirii apei subterane sînt următoarele : apă mai curată și cu caracteristici calitative mai constante ; apă mai bine protejată împotriva impurificării accidentale (dar odată impurificarea realizată, stratul poate fi afectat pentru perioade mari de timp, uneori definitiv) ; în subsol se poate păstra o anumită cantitate de apă (ca într-un rezervor).

Existența acestei rezerve de apă de calitate bună a făcut ca apa subterană să fie utilizată și căutată cu preferință pentru asigurarea cu apă potabilă a localităților (sînt cunoscute puțuri a căror vechime este de sute de ani, folosite pentru alimentarea cu apă a incintelor fortificate).

În țara noastră au existat resurse importante de apă subterană și au fost realizate captări importante [3], [8]. Existînd încă rezerve importante, este necesar să fie cunoscute principalele probleme legate de captarea apei și păstrarea calității acesteia.

Captarea apei subterane se poate face : cu construcții dezvoltate pe orizontală (axul elementului de captare este aproximativ orizontal) numite *drenuri ;* în construcții dezvoltate pe verticală (axul elementului de captare este vertical) numite *puțuri ;* cu construcții reprezentînd o combinare convenabilă a celor două.

2.2. MIȘCAREA APEI SUBTERANE. APLICAREA RELAȚIEI DARCY

Este cunoscut că apa curge în momentul în care în spațiul în care se află există volume libere de cotă mai joasă. În strate permeabile curge *apă liberă*, gravitațională sau nelegată. Mișcarea apei în mediile poroase este de regulă o mișcare permanentă și laminară. Legea care guvernează această mișcare este legea *Darcy*, lege, care sub forma cea mai simplă (pentru mișcarea laminară, valabilă pentru marea majoritate a cazurilor întîlnite în practică, pentru Re $<2\ldots5$), este dată prin formula :

$$v = ki, \tag{2.1}$$

în care : v este viteza medie aparentă cu care apa circulă în stratul subteran ; i — panta piezometrică a stratului acvifer ; k — coeficientul de permeabilitate Darcy, coeficient dimensional (m/s, m/zi).

Pentru curgerea turbulentă (Re $> 5\ldots10$), realizată de regulă în apropierea unor amenajări constructive ce afectează curgerea naturală, ecuația de mișcare neliniară a apei este dată sub forma :

$$i = av + bv^2, \tag{2.2}$$

în care a și b sînt coeficienți empirici sau rezultați experimental.

Pentru cazul mișcării permanente, laminare, relația dintre debitul captat și caracteristicile stratului acvifer poate fi dedusă simplificat, folosind relațiile cunoscute din hidraulică [17], [23], [4]. Pentru cazuri mai complicate trebuie apelat la rezolvările mai complexe date în literarura de specialitate [22], [18], [17], [4], [23].

2.2.1. MIȘCAREA APEI CĂTRE DREN

Să presupunem că există un strat freatic cu adîncimea H de apă, panta piezometrică i și coeficientul de permeabilitate k (toate cunoscute).

Undeva în strat se execută, imaginar, un dren (un tub perforat așezat aproximativ transversal pe direcția de curgere a apei). Apa care întîlnește acest tub va curge mai ușor prin el, rezistența fiind mai mică decît prin strat, deci, prin intermediul acestuia, apa va fi captată (drenată) și evacuată din strat. Pentru a stabili legătura dintre debitul evacuat (ca debit pe metru liniar de dren q, problema putînd fi considerată plană) și elementele stratului, se fac ipotezele :

— stratul este uniform și izotrop ;

— viteza în secțiune este constantă și orizontală, ca direcție.

În secțiunea situată la distanța x (fig. 2.2), în baza ecuației de continuitate se poate scrie, pentru un metru liniar de strat :

$$q = A \cdot v,$$

în care :

$$A = h \cdot 1$$

$$v = k \cdot i \text{ sau } v = k\frac{dh}{dx}.$$

Va rezulta :

$$q = hk\frac{dh}{dx}\ [\mathrm{m^3/sm}],\ [\mathrm{l/sm}] \text{ sau } qx = \frac{1}{2}kh^2 + C.$$

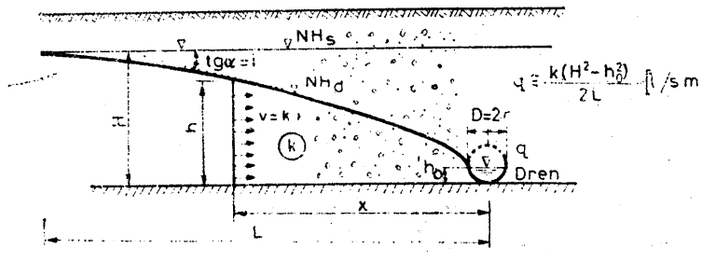


Fig. 2.2. Mișcarea apei către drenul perfect.

Pentru eliminarea constantei C se pun condițiile la limită :

— la marginea drenului : $x = r$, $h = h_0 = H - s$, unde s este denivelarea în strat ;

— la distanța $x = L$, unde nu se mai simte influența drenului (distanță numită și rază de influență), $h = H$.

Înlocuind, rezultă :

$$q = \frac{1}{2} k \frac{(H^2 - h_0^2)}{L - r} . \tag{2.3}$$

și, dacă se ține seama că $r \ll L$, se poate scrie în mod simplificat :

$$q = \frac{k(H^2 - h_0^2)}{2L} . \tag{2.3'}$$

Dacă pentru eliminarea constantei se folosește o singură limită, de exemplu $x \gg r$, $h = h_0$, se obține o relație cu ajutorul căreia se poate determina cota nivelului apei (curba de infiltrație) :

$$q = \frac{k(h^2 - h_0^2)}{2(x - r)} = \frac{k(h^2 - h_0^2)}{2x} . \tag{2.4}$$

Dacă se cunoaște debitul q se poate afla valoarea h în lungul curbei de infiltrație ($h = f(x)$).

2.2.2. MIȘCAREA APEI CĂTRE PUȚ ÎN STRAT CU NIVEL LIBER

Presupunînd că stratul acvifer este format dintr-un bazin foarte mare, cu stratul de bază aproximativ orizontal și alimentat din toate direcțiile (presupunere care nu modifică substanțial calculul decît pentru o zonă suficient de mică în apropierea captării, în schimb simplifică foarte mult relațiile de calcul), în baza ecuației de continuitate se poate scrie, la distanța x de axul puțului (fig. 2.3).

$$q = Av, \text{ unde } A = 2\pi \cdot h \cdot x$$

$$\left(q = 2\pi x h k \frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}x}\right).$$

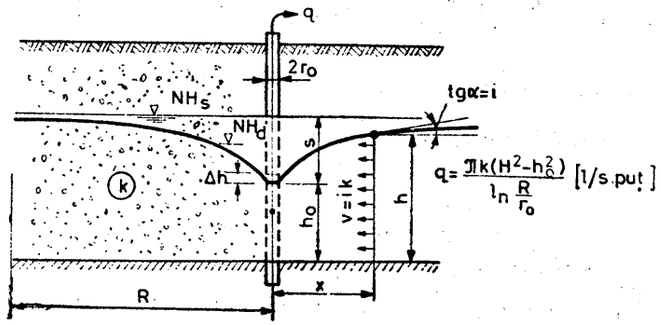


Fig. 2.3. Mișcarea apei către puțul perfect, în strat freatic.

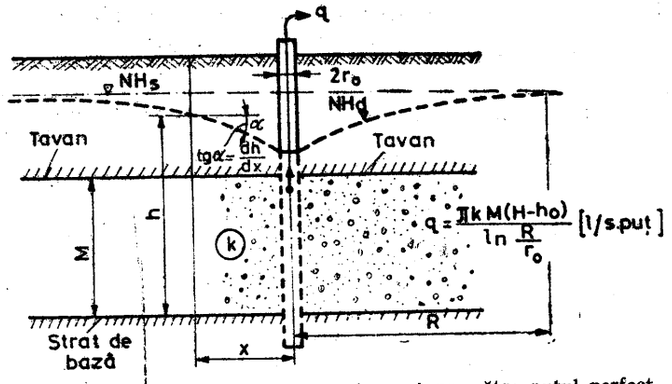


Fig. 2.4. Mișcarea apei, în strat sub presiune, către puțul perfect.

După integrare, cu condițiile la limită $x = r$, $h = h_0$; $x = R$, $h = H$ (unde R este numită *raza de influență*), rezultă :

$$q = \frac{\pi k(H^2 - h_0^2)}{\ln (R/r_0)} . \tag{2.5}$$

Se observă că relația între debit și denivelare este o relație de gradul II, $q = f(s^2)$.

2.2.3. MIȘCAREA APEI CĂTRE PUȚ ÎN STRAT SUB PRESIUNE

Dacă se face același raționament, pentru un strat sub presiune de grosime M (fig. 2.4), se obține relația (dacă se ține seama că $A = 2\pi M x$) :

$$q = \frac{2\pi M(H - h_0) \cdot k}{\ln (R/r_0)} = \frac{2\pi k M \cdot s}{\ln (R/r_0)} . \tag{2.6}$$

Relațiile (2.5) și (2.6) sînt cunoscute în literatură ca relațiile *Dupuit-Thiem*.

Relația $q = f(s)$ este liniară atît timp cît denivelarea din puț nu atinge nivelul stratului purtător de apă. Pentru situația în care $q = f(s)$ nu e liniară, se dau rezolvări în literatura de specialitate.

Se face observația că, pentru ușurința calculelor, s-a presupus că drenul sau puțul străbat întregul strat purtător de apă. În această situație, drenul se numește *dren perfect*, iar puțul — *puț perfect*. Dacă însă drenul sau puțul nu străpung tot stratul purtător de apă, se vor numi *dren* respectiv *puț imperfect*. Pentru asemenea situații, în literatura tehnică sînt date numeroase relații de calcul [18], [21].

2.3. DETERMINAREA ELEMENTELOR HIDROGEOLOGICE ALE STRATELOR ACVIFERE

2.3.1. METODE DE DETERMINARE A ELEMENTELOR STRATULUI

Pentru dimensionarea corectă a captărilor din surse subterane, este necesar să fie cunoscute cît mai bine elementele hidrogeologice ale stratului. Pentru o cît mai bună cunoaștere, ținînd seama de faptul că stratele sub-

terane diferă în fiecare amplasament, se procedează de obicei la determinarea acestora prin măsurători și încercări pe teren.

Determinarea prealabilă a zonei în care se află strate de apă subterană se face după una din metodele următoare:

— se consultă o hartă hidrogeologică (realizată și existentă pentru toate zonele țării);

— se caută informații la institutele care au făcut studii legate de apa subterană (PROED, AQUA, ISPIF etc.);

— se verifică pe teren dacă au mai fost făcute lucrări în zona respectivă, cine le-a făcut și care sînt rezultatele;

— se fac determinări expeditive prin metode:

- electrometrice [5], [40];
- microseismice [5], [40].

Dacă rezultatele acestor investigații conduc la concluzia că există apă subterană, atunci se trece la executarea unui studiu hidrogeologic (de regulă însoțit și de un studiu hidrochimic). Din acest studiu rezultă elementele necesare proiectării și execuției. Acest studiu este cel prin care se precizează valorile de calcul, valori ce vor fi verificate la darea în funcțiune a captării.

Elementele hidrologice ale unui strat acvifer sînt:

— *natura stratului* — cu nivel liber sau sub presiune, din material granular sau rocă fisurată;

— *grosimea stratului* de apă și poziția nivelului hidrostatic (cota nivelului liber al apei în stratul netulburat încă de prezența captării ce se preconizează);

— valoarea medie a *coeficientului de permeabilitate* Darcy;

— mărimea *pantei hidraulice* și direcția de curgere a curentului subteran;

— *porozitatea* stratului purtător de apă;

— *granulozitatea* stratului poros de apă;

— *debitul maxim* (capabil) al stratului;

— *curba de pompare* (curba puțului) $q = f(s)$;

— *transmisivitatea* $T = kH$, $T = kM$;

— *coeficientul de înmagazinare* S.

Pentru determinarea pe teren a acestor elemente se recurge la executarea de *foraje de studiu.*

2.3.2. METODE DE EXECUTARE A FORAJELOR

Forajul este o gaură verticală, de dimensiuni transversale relativ reduse și care se execută (cu utilaje mecanice sau manuale) în scopul străpungerii stratelor succesive din subsolul terenului, pentru a determina caracteristicile acestora, pentru a extrage eșantioane de rocă sau pentru a extrage materiale utile.

- *Pentru găuri de dimensiuni mici* (100—150 mm diametru și adîncime sub 30 m) se poate recurge la:

— *forarea manuală*, care constă în înșurubarea unei așa zise *linguri* — un tub de oțel prevăzut cu cuțite așezate oblic la partea de jos; prin înșurubare, pămîntul tăiat este prins în tub și apoi este scos la suprafață folosind un troliu și un trepied metalic; la adîncirea găurii, lingura se prelungește cu prăjini; dacă terenul se sfărîmă și tinde să astupe gaura pe măsură ce forajul avansează, gaura se tubează provizoriu cu burlane de protecție;

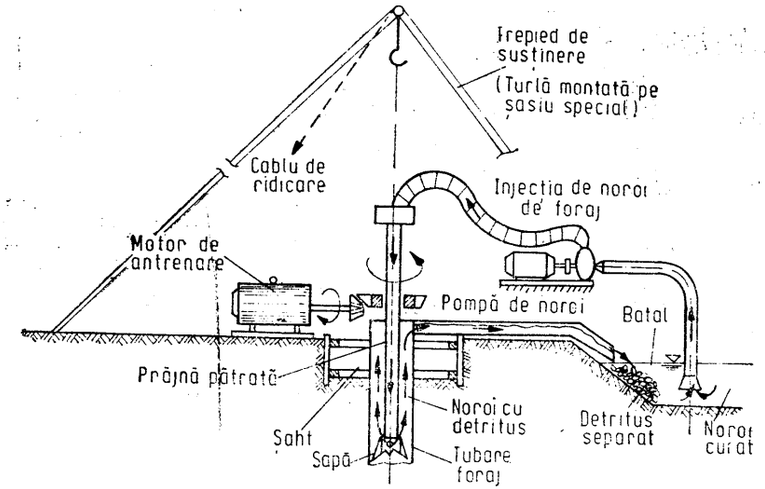


Fig. 2.5. Schemă de principiu pentru executarea forajului prin metoda hidraulică, cu circulație directă.

— *forarea mecanică uscată* (percutantă) dacă roca este tare;

— *forarea mecanică umedă*, rotativă, folosind *procedeul direct* dacă solul este relativ puțin tare (fig. 2.5).

Pentru strate aflate la adîncime de peste 80—100 m, întrucît costul forajului este mare se aplică o soluție mixtă: se forează puțul în regim de foraj de studiu, iar dacă rezultatele sînt favorabile, forajul se transformă în puț de exploatare a stratului de apă. *Forajul* este numit de *explorare-exploatare* și trebuie gîndit de la început pentru așa ceva.

Tehnologia de executare a forajelor pentru găuri mici este bine cunoscută [6].

- *Pentru găuri mari* (mai rar folosite la studii, dar des folosite la execuția puțului definitiv) se folosesc utilaje mecanice care execută *foraje în metoda umedă, procedeul invers.* Principiile de execuție și unele elemente caracteristice sînt arătate în figura 2.6.

Noroiul de foraj (format din apă amestecată cu argilă și eventual bentonită), cu o greutate specifică de 1,05—1,2 daN/dm³, are următoarele roluri: de a răci sapa care sfărîmă materialul; de a elimina materialul sfărîmat (detritusul) din exteriorul forajului, pentru a nu permite înțepenirea utilajului; de a susține pereții găurii forate pe durata forării. La găuri mari, pentru antrenarea materialului sfărîmat este necesară: la circulația directă a noroiului de foraj — o cantitate mare de noroi, pentru a asigura o viteză mare de antrenare a particulelor solide. Pentru a evita însă folosirea unor utilaje mari și costisitoare, s-a adoptat tehnologia de *inversare* a circulației — noroiul încărcat în suspensii este aspirat cu viteză mare, ascendent, prin prăjină, iar atunci cînd este curat, circulă gravitațional prin spațiul dintre prăjină și pereții forajului.

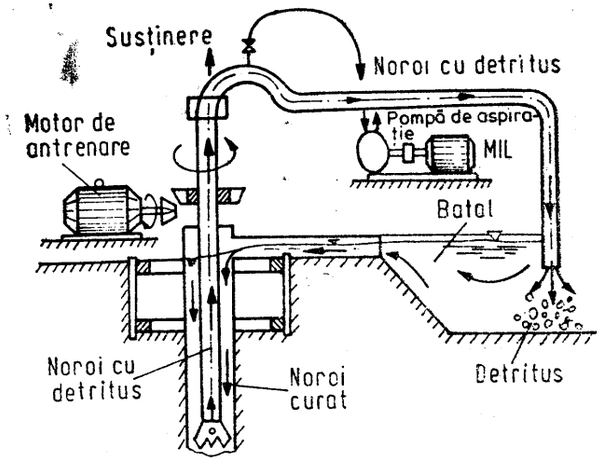


Fig. 2.6. Schemă de principiu pentru executarea forajului prin metoda hidraulică, cu circulație inversă.

Cînd în timpul forării se întîlnesc mai multe strate acvifere, este necesară determinarea caracteristicilor acestora și izolarea lor temporară, dacă rezultatele sînt favorabile, sau definitivă, dacă stratul este nesatisfăcător (calitativ și/sau cantitativ). S-ar putea ca unele strate să pară distincte, dar în realitate să aparțină aceluiași strat acvifer. Acest lucru trebuie neapărat verificat prin calitatea apei și prin pompări experimentale. După cunoașterea completă a forajului, vor fi adoptate măsuri în consecință.

2.3.3. DETERMINAREA CARACTERISTICILOR STRATULUI DE APĂ – CAZUL MIȘCĂRII PERMANENTE

2.3.3.1. Determinarea stratelor de apă subterană. Metodele geofizice aplicate la cercetarea stratelor de apă subterană sînt: metoda geoelectrică și metoda seismică.

Metoda geoelectrică. Se bazează pe măsurarea rezistivității electrice a rocilor străbătute de un curent electric continuu. Dacă se introduce curentul electric de intensitate I prin electrozii E_1, E_2 și se amplasează două sonde S_1S_2 la distanța a între ele (fig. 2.7), atunci rezistivitatea rocii pe spațiul cuprins în spectrul curentului (similar-schematic cu un elipsoid cu axa mare $3a$ și axa mică $2a$) se poate calcula cu relația [40]:

$$\rho = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad [\Omega m], \tag{2.7}$$

în care ΔV este diferența de potențial între S_1 și S_2.

Mărind treptat distanța a (astfel încît în final $a \simeq H$), se poate obține graficul $\rho(z)$. Se poate constata (experiența operatorului este importantă) că, în momentul apariției apei, rezistența la trecerea curentului scade brusc (apa subterană este mineralizată — deci bună conducătoare de curent), iar după valoarea ρ se poate aprecia și ce fel de apă se află (în ce privește mineralizarea).

Metoda microseismică. Șocurile produse pe sol se propagă, prin unde, în toate direcțiile cu o viteză proporțională cu caracteristicile elastice ale

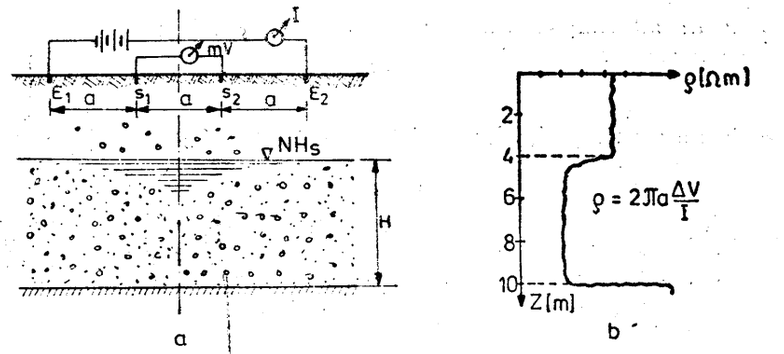


Fig. 2.7. Schemă pentru metoda geoelectrică: *a* — amplasarea sondelor și prizelor; *b* — graficul rezistivitate—adîncime.

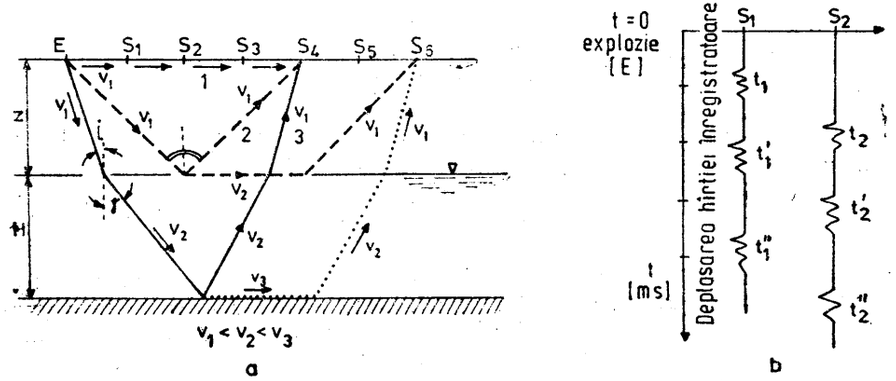
rocilor (o rocă uscată va propaga mai greu unda, față de o rocă îmbibată cu apă).

Se organizează stații după schema din figura 2.8. Se detonează un exploziv E și se măsoară răspunsul (timpul la care apare vibrația și intensitatea acesteia) cu sonde specializate aflate la distanțe diferite l_i. Undele sînt: directe (*1*), reflectate (*2*), refractate (*3*).

În momentul exploziei se declanșează și sistemul de antrenare a hîrtiei pe care se înregistrează vibrația, deci:

- la timpul t_1, vibrația din E ajunge la sonda S_1, situată la distanța l_1:

$$t_1 = l_1/v_1; \tag{2.8}$$



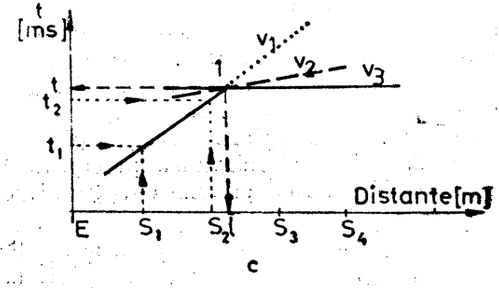


Fig. 2.8. Schemă pentru metoda microseismică: *a* — organizare stație; *b* — rezultatul înregistrărilor; *c* — reprezentarea grafică a rezultatelor $t = f(v_i, s_i)$; *1* — unda directă; *2* — unda reflectată; *3* — unda refractată.

- la un alt timp t_2, ajunge și unda reflectată (2):

$$t_2 = \frac{l_1/\sqrt{2}}{v_1}\ ; \qquad (2.8')$$

- la un alt timp t_2', ajunge și unda refractată (3):

$$t_2' = \frac{2z}{v_1} + \frac{l_1}{v_2}\ . \qquad (2.8'')$$

Pe hîrtia înregistratoare vor apare impulsuri la diferite momente. Se reprezintă grafic relația $t_1 l_1$; $t_2 l_2$. Se constată că unda directă și refractată au un punct l, t comun, deci se poate scrie că:

$$t = l/v_1 = \frac{2z}{v_1} + \frac{l}{v_2}\ , \qquad (2.9)$$

de unde

$$z = \frac{l}{2}\,\frac{v_2 - v_1}{v_2}\ , \qquad (2.9')$$

v_1 și v_2 se determină citind înregistrarea (t) și cunoscînd l_i, iar din grafic se află punctul *1*.

Interpretarea acestor impulsuri permite (experiența este importantă în descifrarea diagramei) să se determine adîncimea z la care se schimbă structura rocii (rocă uscată rocă, umedă, rocă dură etc.), deci permite detectarea poziției stratului de apă.

Dacă rezultatele sînt favorabile, atunci se trece la metoda de cercetare prin foraje de studiu, singura în măsură să ofere elementele cantitative — necesare în calculele de dimensionare a captării.

2.3.3.2. **Determinarea grosimii stratului de apă (H, M) și a nivelului apei** (NH_S). Se măsoară adîncimea de la nivelul terenului pînă unde se află nivelul apei, folosind dispozitive simple sau mai complexe (de la ruletă, pînă la dispozitive cu ultrasunete). Dacă stratul este sub presiune, se află mai întîi cota nivelului tavanului care limitează stratul, verificînd probele de pămînt scoase și calitatea noroiului de foraj. După străpungerea tavanului și stabilizarea nivelului, se poate determina cota nivelului piezometric. Continuarea forajului duce la străpungerea stratului permeabil și la determinarea cotei stratului impermeabil suport (strat de bază). Se poate determina grosimea stratului de apă $H(M)$. Aceste valori (H) depind de: anotimpul în care se fac studiile; cantitatea de precipitații căzute în anul (anii) sau sezonul precedent (după observații de durată s-a constat atcă ploile de toamnă și primăvară influențează nivelul acviferului freatic); caracteristicile stratului. Pentru a putea face calcule corecte, ar trebui determinată grosimea minimă cu asigurarea de calcul corespunzătoare importanței obiectivului ce trebuie alimentat. Dacă se pot face măsurători de lungă durată (cu înregistrarea continuă a nivelului), problema se poate rezolva suficient de corect; în caz contrar, se recurge la reducerea valorii măsurate (H_m) cu raportul între înălțimea precipitațiilor în anul cel mai secetos, cunoscut în zonă (N_{min}) și înălțimea precipitațiilor anuale în anul în care se fac studiile ($N_{măs}$). Deci grosimea stratului de apă, pentru calcul, este:

$$H = H_m \frac{N_{min}}{N_{măs}}\ [\mathrm{m}]. \qquad (2.10)$$

Uneori, se procedează simplificat prin reducerea grosimii stratului de apă măsurat H_m cu 1,0 m sau scăderea NH_S cu 1,0 m, la stratele sub presiune. O asemenea corectare a valorilor măsurate are avantajul că mai compensează o parte din erorile care pot fi făcute din cauză că, de regulă, stratul acvifer este compus din orizonturi de roci neuniforme.

Pentru stratele acvifere de adîncime (peste 50 m), aprecierea corectă a nivelului hidrostatic minim este o problemă complicată. Cel mai bine este să se asigure o rezervă destul de mare la dimensionarea captării (mărind numărul de puțuri), iar exploatarea în timp va arăta capacitatea reală.

Grosimea stratului de apă determinată se extinde pe jumătatea distanței dintre două foraje (stații) de studii vecine.

2.3.3.3. **Determinarea direcției de curgere și a mărimii pantei hidraulice.** În cazul stratelor freatice, pentru determinarea pantei i, se execută de obicei foraje dispuse în triunghi (cu latura de 50—150 m), grupul de 3 foraje fiind repetat în *stații* la circa 500 m, după gradul de uniformitate al stratului.

Se determină în fiecare puț cota nivelului apei, raportată la același sistem de referință (local sau general).

La această distanță mică se poate accepta că nivelul apei din strat se găsește într-un plan. Cunoscînd 3 puncte din acel plan, printr-o construcție grafică simplă, se poate determina mărimea pantei și direcția de curgere normală pe curbele de nivel de pe suprafața apei, curbe numite *hidroizohipse* (fig. 2.9).

Cu ajutorul grupului de puțuri se verifică și grosimea stratului de apă pe toată zona. O parte din aceste foraje de studiu, definitivate, rămîn ca puțuri de observație în perimetrul viitoarei captări.

2.3.3.4. **Determinarea curbei puțului q = f(s).** După executarea forajului și constatarea faptului că există apă, se definitivează puțul, prin echipare cu coloană de filtru și se fac probe de pompare. În foraj, sub nivelul apei, se introduce o pompă, astfel încît aceasta să nu rămînă în uscat la scăderea nivelului apei. Conducta de refulare a pompei se prelungește cu un capăt mobil pînă la o cutie metalică (numită *habă*) al cărui volum este de 1,0 m³. Se introduce în puț un dispozitiv de măsurat nivelul și se dotează echipa cu un cronometru.

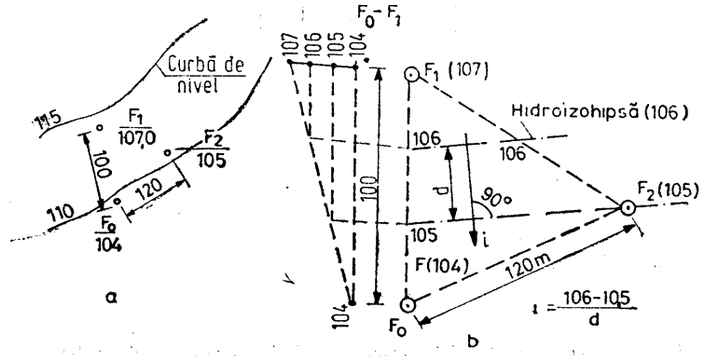


Fig. 2.9. Determinarea grafică a pantei curentului de apă, în stație cu trei foraje: *a* — plan stație; *b* — trasarea hidroizohipselor și aflarea pantei hidraulice.

Se porneşte pompa, reglînd vana de pe conducta de refulare la circa 20% din capacitate. Se aşteaptă stabilizarea nivelului (0,5—3 zile), se măsoară nivelul apei şi timpul în care se umple haba şi apoi se determină debitul ($q = 1{,}0/t$, în m^3/s). Se sporeşte debitul pompei succesiv, obţinînd perechi de valori s şi q, cu care se poate construi curba puţului $q = f(s)$.

2.3.3.5. **Determinarea coeficientului de permeabilitate Darcy.** Coeficientul se poate determina în laborator, prin probe netulburate de teren — luate din foraj în timpul lucrului la adîncimea dorită (în cazul forajului manual — mecanic uscat). Rezultatele nu sînt totdeauna concludente, deoarece probele, cu toată precauţia, sînt tulburate faţă de poziţia din sol. Se recurge, de obicei, la metoda determinării pe teren a coeficientului, făcînd măsurători asupra unor elemente uşor de stăpînit. Cel mai des se foloseşte *metoda pompărilor de probă*. În schema din figura 2.10 este conţinut principiul de calcul.

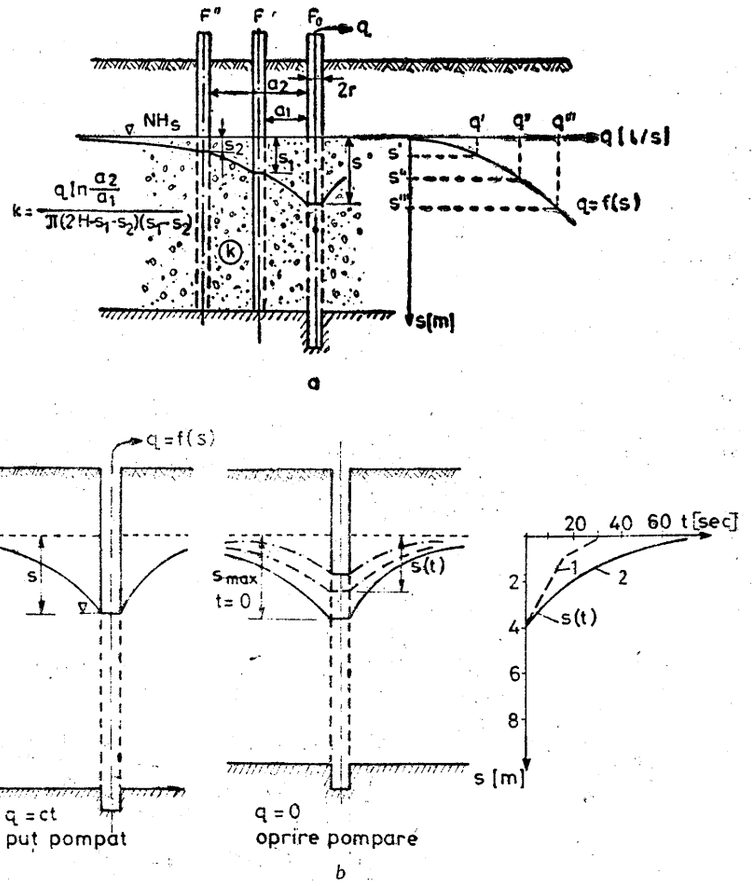


Fig. 2.10. Determinarea coeficientului de permeabilitate k prin pompări de probă: *a* — schema de calcul pe durata pompării; *b* — curba de revenire (denivelarea la un moment dat, denivelarea la diferite debite pompate, ridicarea apei în puţ): *1* — revenire rapidă, permeabilitate mare; *2* — revenire lentă, permeabilitate mică.

Pe lîngă forajul de bază, din care se pompează apa, se vor executa încă 2 foraje, *de observaţie*, la distanţe cunoscute (cel mai bine, amplasate pe direcţia perpendiculară direcţiei de curgere a apei).

Dacă din forajul de bază se execută pompări, debitul de apă extrasă fiind măsurat, în jurul puţului se va produce o *pîlnie de denivelare*, care va avea valori diferite în cele 3 foraje. Pentru o situaţie de regim (o valoare constantă a debitului q), pot fi măsurate simultan nivelele în cele 3 foraje şi deci determina valorile celor 3 denivelări: s, s_1, s_2 (fig. 2.10, *a*). Dacă în relaţia puţului în strat freatic, dedusă anterior (în condiţiile unui strat omogen şi izotrop şi admiţînd că relaţia *Darcy* este valabilă în tot domeniul), se schimbă condiţiile limită pentru eliminarea constantei de integrare C (2.5) cu nişte condiţii de interior ($x = a_1$, $h = H - s_1$; $x = a_2$, $h = H - s_2$), se obţine relaţia simplă:

$$k = \frac{q \cdot \ln (a_2/a_1)}{\pi(2H - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)}, \qquad (2.11)$$

în care numai k este elementul necunoscut. Pentru a se obţine variaţiile valorilor acestui coeficient în strat, se fac de obicei cel puţin 3 determinări cu valori diferite pentru debit (durata de pompare pentru stabilizarea regimului variind între 50—70 ore). Se adoptă o valoare medie pentru k şi o valoare medie pentru lungimea de front aferentă grupului de studiu (de obicei, valorile se extind pe jumătate din distanţa dintre staţii). Pentru a avea erori de maximum 30% la determinarea valorii k pe ansamblu, trebuie să fie făcute măsurători pe minimum 25 foraje. Costul acestor lucrări poate fi însemnat şi de aceea organizarea lor trebuie făcută cu deosebită atenţie.

În multe cazuri, pot fi obţinute observaţii suplimentare asupra capacităţii de debitare a stratului, prin determinarea curbei de revenire (fig. 2.10, *b*).

Măsurînd valoarea nivelului apei în foraj funcţie de timp, la oprirea bruscă a pompajului se obţine o curbă caracteristică a stratului. Astfel de exemplu, curba *1* din figura 2.10, *b* arată o capacitate bună de drenare a stratului — nivelul revine repede la valoarea iniţială, faţă de cazul curbei *2*, cînd stratul se drenează greu, deci şi capacitatea de drenare a stratului este redusă. Curba de revenire are în general două părţi distincte — o parte de revenire rapidă şi o parte de revenire lentă. Cu cît partea de revenire lentă este mai scurtă, cu atît drenarea stratului se face mai repede. Rezultatele sînt de regulă calitative şi ele pot constitui un mijloc de control a eventualelor nepotriviri la valorile măsurate ale lui k.

Aplicaţia 2

Măsurătorile făcute pe un foraj într-un strat freatic au condus la următoarele valori:

$H_m = 10$ m; $a_2 = 20$ m; $a_1 = 10$ m; $NH_s = -2{,}50$ m.

q [l/s]	s [m]	s_1 [m]	s_2 [m]
2	0,7	0,35	0,33
4	2,1	1,10	1,05
6,3	5,0	2,50	2,41

Să se determine valoarea coeficientului de permeabilitate Darcy.

Aplicînd relaţia dedusă mai sus, rezultă:

— pentru $q = 2$ l/s, $k_1 = 1{,}14 \cdot 10^{-3}$ m/s;

— pentru $q = 3$ l/s, $k_2 = 0{,}99 \cdot 10^{-3}$ m/s;

— pentru $q = 5$ l/s, $k_3 = 1{,}02 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Deci $k = \Sigma k_i/3 = 1{,}05 \cdot 10^{-3}$ m/s = 90 m/zi.

Valorile obişnuite ale coeficientului de permeabilitate, pentru strate în care se execută captări, sînt de ordinul 50—600 m/zi.

Valorile $q = f(s)$ determină curba de pompare reală, caracteristică pentru puţ, curba care serveşte la determinarea debitului maxim al puţului (v. fig. 2.10).

În realitate, problema determinării coeficientului de permeabilitate este mult mai complicată. Ea a făcut obiectul a numeroase studii practice şi teoretice, obţinîndu-se formele de calcul teoretice, empirice sau semiempirice, precum şi a factorilor care influenţează valoarea coeficientului (tipul de rocă, temperatura apei, regimul de curgere, granulozitatea rocii etc.). În literatura de specialitate [18] este făcută o trecere în revistă a multora din aceste metode. Una din cele mai simple formule este formula *A. Hazen*:

$$k = Cd_{10}^2, \tag{2.12}$$

unde: C este un coeficient depinzînd de tipul materialului granular (cu următoarele valori: 45, pentru nisipuri argiloase; 140, pentru nisipuri curate); d_{10} — valoarea caracteristică din curba granulometrică a materialului stratului.

2.3.3.6. **Determinarea granulozităţii stratului acvifer.** Granulozitatea stratului acvifer se determină prin probe de cernere (ciuruire) efectuate asupra eşantioanelor luate din materialul scos din foraj. Curbele granulometrice, determinate conform normelor în vigoare, permit să se determine valorile caracteristice pentru strat: d_{10}; d_{60}; d_{70}; d_{50}; d_{40}. Valoarea cea mai des folosită este mărimea d_{40} (diametrul particulelor corespunzător ochiului de sită care permite trecerea a 40% din materialul cernut). Funcţie de această valoare, normativele actuale stabilesc o valoare limită a vitezei de circulaţie a apei, astfel încît nisipul din stratul poros de lîngă puţ să nu fie spălat. Valorile acestei *viteze admisibile* (aparentă) sînt:

$v_a = 0{,}0005$ mm/s, $d_{40} = 0{,}25$ mm;

$v_a = 0{,}0010$ mm/s, $d_{40} = 0{,}50$ mm;

$v_a = 0{,}0020$ mm/s, $d_{40} = 1{,}00$ mm.

Pentru valori mai mari ale granulelor, valoarea vitezei admisibile se poate determina cu relaţia *Sichardt*:

$$v_a = \sqrt{k}/15, \ [\text{m/s}] \tag{2.13}$$

unde k este măsurat în m/s.

2.3.3.7. **Determinarea vitezei reale de circulaţie a apei în strat.** Dacă în zona de studiu, pe direcţia de curgere a apei, se amenajează 2 foraje la distanţă relativ apropiată (5—10)m şi în forajul amonte se toarnă un colorant stabil în apă sau un trasor uşor de identificat (dacă este radioactiv — cu perioada scurtă de înjumătăţire mică, pentru a nu infecta stratul acvifer), măsurînd în forajul aval intensitatea culorii apei sau concentraţia

trasorului, se poate determina momentul cînd concentraţia este maximă. Determinînd timpul scurs între momentul turnării indicatorului şi momentul atingerii concentraţiei maxime şi cunoscînd distanţa între foraje, se poate determina viteza medie reală de curgere a apei în zona respectivă (v_r). Dacă se ţine seama că între viteza aparentă de curgere ($v = q/A$, $v = ki$) şi viteza de curgere (v_r) există relaţia:

$$v_r = v/p, \tag{2.14}$$

rezultă că se poate determina şi coeficientul de porozitate p; valorile curente ale porozităţii se află în limitele 0,05—0,30.

Dacă forajul în care se toarnă colorant (fluoresceină, de cele mai multe ori) nu se află pe direcţia de curgere a apei, amonte de forajul de studiu, ci lateral la o distanţă d, atunci determinarea porozităţii se face tot prin măsurarea timpului. Turnarea colorantului se face în situaţia în care se pompează, în regim constant, din puţ, debitul q. Măsurînd timpul t pînă la apariţia intensităţii maxime a culorii în apa din puţul de pompare, porozitatea se poate afla cu relaţiile:

- pentru strate fără presiune:

$$p = \frac{qt}{\pi d^2(H - s/3 - 0{,}7s_1)}; \tag{2.15}$$

- pentru strate sub presiune [18]:

$$p = \frac{qt}{\pi d^2 M}. \tag{2.15'}$$

Distanţa dintre cele două foraje se alege suficient de mică (5—10 m). Astfel, durata de parcurgere este mică şi nu există riscul ca trasorul să se dilueze la valori care să facă greu de determinat timpul cînd apare concentraţia maximă.

În prezent, există unele metode care permit determinarea vviezei de curgere a apei, prin măsurarea vitezei de antrenare a trasorului chiar în puţul de turnare. Aparatura utilizată fiind mult mai perfecţionată, deocamdată sînt mai rar întrebuinţate.

2.3.3.8. **Determinarea debitului disponibil de captat din strat.** Pentru o porţiune cu caracteristici hidrogeologice relativ apropiate, debitul stratului se poate determina, din relaţia de continuitate:

$$q_i = H_i \cdot k_i \cdot i_i \cdot l_i, \tag{2.16}$$

în care: H_i este înălţimea stratului de apă subterană corespunzătoare lungimii l_i;

K_i — coeficientul de permeabilitate corespunzător lui l_i;

i_i — panta stratului corespunzătoare lui l_i.

Pentru un strat format din segmente (i) cu caracteristici sensibil apropiate, cu o lungime totală $L = \sum_{i=1}^{n} l_i$ (fig. 2.11), rezultă debitul total:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} H_i k_i i_i l_i \ [\text{dm}^3/\text{s}]. \tag{2.16'}$$

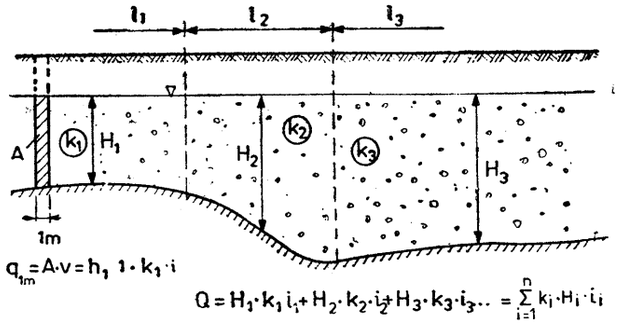


Fig. 2.11. Determinarea debitului stratului acvifer cu caracteristici uniforme pe sectoare.

Se atrage atenţia asupra necesităţii verificării posibilităţilor de alimentare a stratului. Nu este suficient să se determine numai debitul Q, ci şi posibilitatea ca acest debit Q să fie asigurat în timp, de sursele naturale ce alimentează stratul. În cazul în care se preia un debit mai mare decît debitul de alimentare, atunci se consumă din rezerva stratului (rezerva seculară la stratele de adîncime mare), fapt care se răsfrînge în timp asupra capacităţii captării şi prin scăderea nivelului hidrostatic, cu consecinţe uneori grave asupra dispozitivelor de preluare a apei din puţuri.

Studiul trebuie să confirme prin valori *ecuaţia de bilanţ*:

$$P + A = \bar{Q} + Z + E, \tag{2.17}$$

în care: P este precipitaţia medie anuală căzută pe sol pe suprafaţa bazinului, în m³/an (se atrage atenţia că bazinul de recepţie al stratului acvifer poate să nu coincidă cu bazinul de recepţie al cursului de suprafaţă);

A — aport suplimentar din alte surse (infiltraţii din rîuri, lacuri, irigaţii etc.), în m³/an;

$\bar{Q}$ — debitul mediu multianual ce se poate exploata, în m³/an;

Z — plecări din stratul acvifer prin izvoare, alimentare cursuri de suprafaţă, infiltrare în alte strate etc., în m³/an;

E — apa plecată prin evapotranspiraţia vegetaţiei din bazin, în m³/an.

Au fost cazuri în care durata studiilor fiind foarte scurtă, au fost făcute măsurători pe rezerva stratului. La punerea în exploatare a captării, dimensionate pe baza elementelor studiului (nefundamentate), s-a constatat că de fapt debitul real, exploatabil (egal cu capacitatea de alimentare în regim a stratului), era mult mai redus. Remedierile au fost extrem de grele şi uneori numai parţiale.

2.3.3.9. **Determinarea debitului maxim al unui puţ.** În cazul unei captări executate cu puţuri, se pune problema determinării numărului de puţuri pentru acoperirea debitului cerut de consumator. Din punct de vedere economic, pentru a avea un număr mic de puţuri, trebuie obţinut debitul maxim de la fiecare.

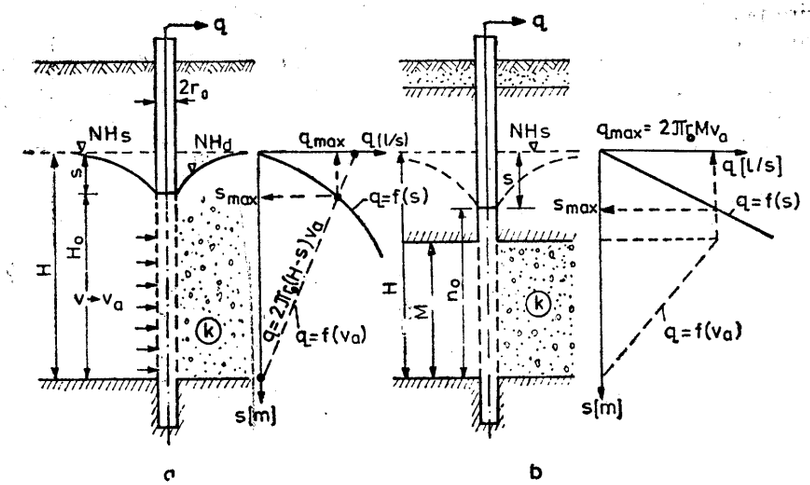


Fig. 2.12. Schema de determinare a debitului maxim al unui puţ (foraj): *a* — în strat freatic cu nivel liber; *b* — în strat sub presiune.

Pentru aceasta, este necesar să se determine *debitul maxim* (numit şi *debit capabil*) pe care îl poate da un puţ în condiţii normale de funcţionare îndelungată (fig. 2.12). Dacă se urmăresc relaţiile $q = f(s)$ Dupuit-Thieme (2.5, 2.6), se observă că, pentru a obţine debitul maxim captat, singurele elemente asupra cărora se poate acţiona sînt: r_0 — raza puţului şi termenul $H^2 - h_0^2$ sau $H - h_0$.

● *Raza puţului* r_0 nu se poate mări foarte mult, deoarece apar complicaţii de execuţie, iar coloana de filtru, sau de protecţie, se execută mai greu — costul crescînd. Pe de altă parte, influenţa razei este relativ mică, întrucît, în relaţia debitului puţului, raza apare sub logaritm. Pentru a se putea acţiona eficient asupra razei, în ultima vreme s-a adoptat o schemă constructivă nouă: se măreşte raza forajului (în ţară se produc instalaţii de foraj cu diametru mare: circa 1300 mm la utilajele FA 12, FA 20, FA 32; circa 1500 mm, cu instalaţia asimilată tip Salzgitter), dar coloana puţului rămîne în limite normale (200—400 mm); spaţiul dintre coloana de filtru şi pereţii forajului se umple cu pietriş mărgăritar. În acest fel, se obţine un efect dublu:

— raza puţului creşte artificial (la valoarea r_1) şi creşte şi valoarea debitului puţului; se poate demonstra că, în acest caz, debitul puţului este dat de relaţia simplificată:

$$q = \frac{2\pi k(H - h_0)M}{\ln (R/r_1)} \tag{2.18}$$

(în această relaţie, raza puţului poate fi luată în calcul ca egală cu raza forajului — deci o mărire artificială a razei puţului);

— obţinerea lîngă peretele coloanei a unui strat cu granule mai uniforme şi mai mari ca cele din strat, fapt care permite un dublu avantaj: mărirea dimensiunilor orificiilor practicate în peretele coloanei (deci o mai uşoară execuţie şi protecţie a acesteia); mărirea coeficientului de permeabilitate în zona de lîngă puţ, în general zona cea mai solicitată (această

mărire permite reducerea *denivelării* lîngă puţ şi mărirea vitezei de intrare în coloană).

• Influenţa termenului $H^2 - h_0^2$ ($H - h_0$ la strate sub presiune) este următoarea : debitul maxim al unui puţ se obţine cînd valoarea acestui termen este maximă, deci $h_0 = 0$. Teoretic, această valoare $H - h_0$ nu poate depăşi o valoare limită numită *înălţime de izvorîre* (valoare care în general este suficient de mică). În mod practic însă, această limită nu se poate atinge (fenomenul se observă cel mai bine la stratul freatic), deoarece cu cît h_0 devine mai mic, creşte debitul, dar în acelaşi timp creşte de două ori mai repede şi viteza de intrare prin pereţii coloanei de filtru (o dată, deoarece creşte debitul şi a doua oară pentru că scade direct proporţional suprafaţa de intrare a apei în puţ, v. fig. 2.10). Se ajunge la un moment dat la o limită a vitezei, notată anterior cu v_a şi numită viteză admisibilă sau viteză limită *de neînnisipare* (2.13). Peste această valoare începe antrenarea nisipului în puţ — antrenare care poate duce la înnisiparea totală a puţului sau la o antrenare continuă de nisip în apa captată — fapt care provoacă deteriorarea utilajului de pompare, colmatarea unor instalaţii la consumator sau prăbuşirea terenului în zona de captare.

Limita de debit peste care se produce înnisiparea se găseşte scriind valoarea acestuia funcţie de viteza admisibilă (v_a) :

$$q = 2\pi r(H - s)v_a. \tag{2.19}$$

Dacă se reprezintă grafic cele două curbe, curba de pompare $q = f(s)$ şi curba care reprezintă debitul limită înainte de înnisipare $q = f(v_a)$,rezultă valoarea maximă a debitului ce poate fi extras dintr-un puţ, în condiţiile date (v. fig. 2.12).

Rezultă totodată şi denivelarea corespunzătoare, numită *denivelarea maximă* sau capabilă. *Întotdeauna, puţul va funcţiona cu un debit sub valoarea debitului maxim,* pentru a evita riscul înnisipării.

Determinarea debitului maxim al puţului după această metodă prezintă următoarele avantaje : se determină debitul pe baza unor probe de pompare determinate direct pe amplasamentul respectiv, $q = f(s)$; se elimină, dacă s-ar folosi relaţia teoretică, determinarea razei de influenţă R (practic ar trebui ca în timpul pompărilor de regim să se execute foraje de observaţie pe distanţe variabile de 50—500 m, în care să se urmărească variaţia nivelului ; acest lucru este costisitor şi cu durată mare de lucru ; totodată, la un moment dat, eroarea de măsurare a nivelului poate fi de acelaşi ordin de mărime cu denivelarea însăşi). Raza de influenţă se poate determina aproximativ folosind unele relaţii empirice :

— relaţia *Sichardt* $R = 3000\, s\sqrt{k}$ [m] (2.20)

— relaţia *Cusachin* $R = 575\, s\sqrt{k \cdot H}$ [m], (2.20')

unde k şi H se măsoară în m/s, respectiv m.

Aplicaţia 3

Dacă pentru puţul pentru care au fost făcute măsurătorile din aplicaţia 2 se determină mărimea $d_{40} = 0{,}6$ mm, să se afle debitul maxim al puţului şi denivelarea corespunzătoare.

Se urmăreşte figura 2.13. Se construieşte grafic curba $q = f(s)$ cu valorile măsurate (scara debitelor 1 cm = 1 dm³/s, scara denivelării 1 cm = 1 m). Se determină valoarea v_a după datele anterioare ($v_a = 0{,}0010$ m/s) şi se calculează valoarea $q = 2\pi r H v_a' =$ $= 2 \cdot 3{,}14 \cdot (0{,}275/2) \cdot 10 \cdot 0{,}001 = 8{,}635$ dm³/s.

S-a adoptat coloană de filtru de 10" 3/4 ≅ 275 mm (1" = 25,4 mm).

Rezultă :

$q_{max} = 5{,}8$ dm³/s

$s_{max} = 3{,}5$ m.

Se face precizarea că, pentru corectitudine, trebuie ca diametrul coloanei forajului din care au fost făcute probele de pompare $q = f(s)$ să fie apropiat de diametrul forajului adoptat pentru puţul definitiv. În caz contrar, curba $q = f(s)$ poate fi în realitate diferită şi deci valoarea debitului eronată (lucru foarte grav dacă valoarea este supradimensionată).

Se menţionează că, atît în figura 2.12, cît şi în figura 2.13, curba $q = 2\pi r(H - s)\, v_a$ a fost notată cu $q = f(v_a)$ şi nu $q = f(s)$. Această notare se foloseşte pentru a atrage atenţia că *dreapta respectivă reprezintă limita pe care o poate avea valoarea debitului puţului, astfel încît să nu fie depăşită valoarea vitezei de neînnisipare* şi deci puţul este protejat. Depăşirea curbei $q = f(v_a)$ duce în timp (mai repede sau mai încet, funcţie de caracteristicile stratului şi corectitudinea execuţiei puţului) la reducerea capacităţii puţului, pînă la pierderea acestuia.

În figura 2.13, apare indicată şi valoarea înălţimii de izvorîre h_i. Aceasta se poate calcula cu formula *Ciarnîi-Sestakov* [40, 18, 23] :

$$h_i = \sqrt{\left(0{,}73 \lg \frac{\sqrt{q/k}}{r_0} - 0{,}51\right)\frac{q}{k} + h_0^2} - h_0 \text{ [m]}, \tag{2.21}$$

în care : q este debitul pompat din puţ, în m³/s ; k — coeficientul de permeabilitate, în m/s ; r_0 — raza puţului, în m ; h_0 — înălţimea apei în forajul de pompare.

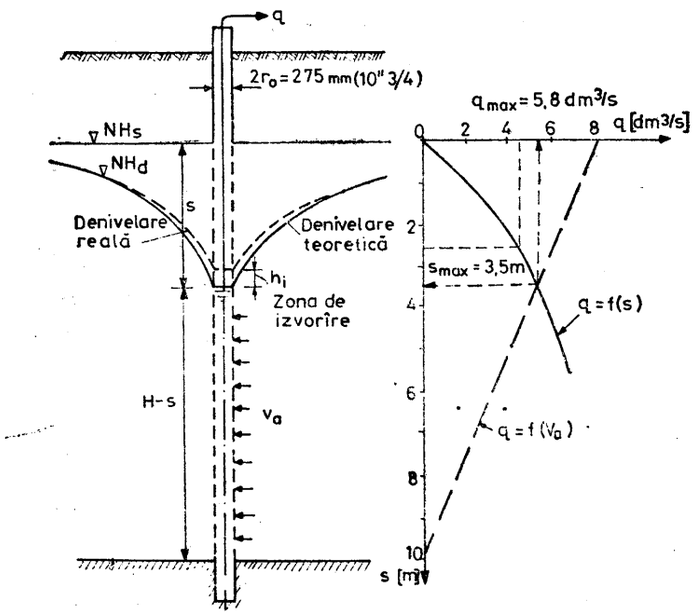


Fig. 2.13. Determinarea grafo-analitică a debitului puţului (aplicaţia 3).

În cazul unor strate de importanță mai *mare* și mai ales a *unor strate sub presiune*, se mai determină și:

— *coeficientul de transmisivitate* T, calculat ca produsul dintre coeficientul de permeabilitate și grosimea stratului acvifer:

$$T = kM \quad [m^2/s]; \tag{2.22}$$

$$T = kH \quad [m^3/s]; \tag{2.22'}$$

— *coeficientul de înmagazinare* S, ca fiind volumul de apă care se poate elibera din volumul de strat acvifer cu baza egală cu o unitate de suprafață, cînd înălțimea piezometrică scade cu o unitate (la stratul sub presiune este de fapt volumul de apă acumulat suplimentar într-un spațiu supteran din cauza compresibilității apei și a materialului rocii); poate fi exprimat prin formula generală:

$$S = -\frac{dV}{dh} \tag{2.23}$$

și calculat simplificat (întrucît compresibilitatea rocii este mai mare ca aceea a apei) cu formula *Ivan* [18]:

$$S = a_0 \gamma \cdot m_v, \tag{2.24}$$

în care: a_0 este grosimea stratului de apă echivalentă presiunii hidrostatice în strat; γ — greutatea specifică a apei; m_v — coeficientul de compresibilitate verticală a rocii. Uzual, valorile coeficientului S sînt de ordinul $10^{-3} \div 10^{-6}$, cu atît mai mari, cu cît stratul este mai adînc.

Orientativ, valorile coeficientului de înmagazinare și de porozitate pentru strate de mică adîncime sînt date în tabelul următor.

Tabelul 2.1

Coeficient de înmagazinare și porozitate

Denumire material din strat	Mărime particule [mm]	Porozitate p [%]	Coeficient de înmagazinare S [%]
Praf argilos	1/8—1/16	45	10
Nisip fin	1/4—1/8	43	15
Nisip fin	1/8—1/2	42	25
Nisip mediu (mijlociu)	0,5—1,0	41	32
Nisip mediu	1,0—2,0	40	32
Nisip grosier	7,0—4,0	38	32
Nisip cu pietriș	4,0—8,0	35	30
Pietriș mărunt	8,0—16,0	33	25
Pietriș mediu	16—32	27	22
Pietriș mediu	32—64	25	20
Pietriș mare	6—128	19	15
Pietriș grosier	128—256	18	15
Pietriș	>256	17	15

Folosind măsurătorile din foraj, coeficientul S se poate calcula cu relația [29]:

$$S = \frac{2{,}25Tt_0}{x^2}, \tag{2.25}$$

în care: t_0 este timpul convențional cît a durat proba de pompare (se obține grafic pentru $s = 0$ pe curba $s = f(\lg t)$; s este denivelarea în puțul de observație aflat la distanța x);

T — timpul de pompare;

x — distanța dintre puțul de pompare și puțul de observație.

2.3.3.10. **Determinarea influenței între puțuri.** Din motive de siguranță în exploatare și datorită capacității reduse de debitare a puțurilor, pentru o captare de apă se execută mai multe puțuri. În formula Dupuit-Thiem și la studii, s-a lucrat însă pe un singur foraj. Dacă se amplasează două puțuri, distanța între ele ar trebui să fie cel puțin egală cu dublul razei de influență (fig. 2.14, *a*); raza de influență poate avea însă valori de sute de metri și amplasarea puțurilor la asemenea distanțe ar conduce la mari complicații constructive și de exploatare. În cazul apropierii puțurilor la distanțe mai mici decît dublul razei de influență ($a < 2R$), se suprapun curbele de infiltrație ale puțurilor (fig. 2.14, *b*), deci automat debitul fiecăruia din cele două puțuri, cînd funcționează împreună, va fi mai mic decît debitul cînd funcționează singure. Procentul de reducere se poate exprima sub forma unui coeficient de reducere:

$$\alpha = \frac{q' - q''}{q'}. \tag{2.26}$$

n care: q' este debitul puțului funcționînd singur;

q'' — debitul puțului funcționînd în grup (la aceeași denivelare).

Cum în timpul efectuării studiilor nu sînt construite toate cele n puțuri necesare pentru captare, soluția se găsește indirect: se realizează un număr mai mare de puțuri (în STAS 1628 se acceptă o sporire a numărului

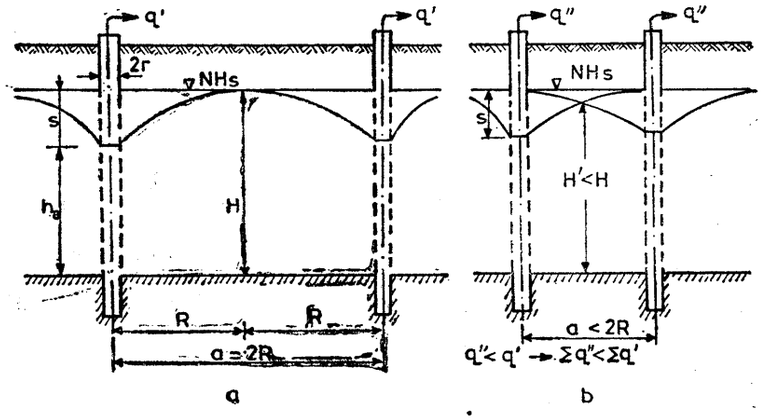


Fig. 2.14. Schemă pentru explicarea influenței între puțuri: *a* — puțuri așezate la limita razei de influență; *b* — puțuri la care distanța dintre două puțuri vecine este mai mică decît raza de influență.

de puțuri teoretic necesare cu 20%) și la punerea în exploatare se modifică debitul fiecărui puț, astfel că, în ansamblu:

$$\sum_{i=1}^{n} q_i = Q_1. \tag{2.27}$$

Din studiile efectuate mai rezultă că puțul este cu atît mai influențat de grupul de puțuri în funcțiune, cu cît este amplasat mai spre centrul captării.

2.3.4. DETERMINAREA CARACTERISTICILOR STRATULUI – CAZUL MIȘCĂRII NEPERMANENTE CĂTRE PUȚ

Sînt destul de frecvente cazurile în care, din motive de urgență sau necunoașterea implicațiilor, măsurătorile sînt făcute pe foraj înainte ca mișcarea să devină permanentă. Ca ordin de mărime, funcție de capacitatea de drenare a stratului, durata de pompare pentru realizarea mișcării permanente este de ordinul a 2—3 zile.

Dacă mișcarea este nepermanentă, atunci elementele determinate trebuie să fie interpretate în consecință. Problema a fost abordată și sînt deja o serie de rezolvări date de Theis (1935), G. E. Jacob (1940), Wen Te Chow. (1952) etc. [18], [40].

Folosind notațiile cunoscute (fig. 2.15), ecuația mișcării *nepermanente* către puț, în condiții *ideale* (strat uniform, izotrop și infinit — orizontal) se poate scrie sub forma polară, pentru un strat sub presiune:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{1}{x}\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{S}{T}\frac{\partial h}{\partial t}. \tag{2.28}$$

După rezolvarea *Theis*, denivelarea poate fi obținută după relația:

$$H - h = \frac{Q}{4\pi k M} \tag{2.29}$$

$$u = \frac{x^2 S}{4Tt}, \tag{2.30}$$

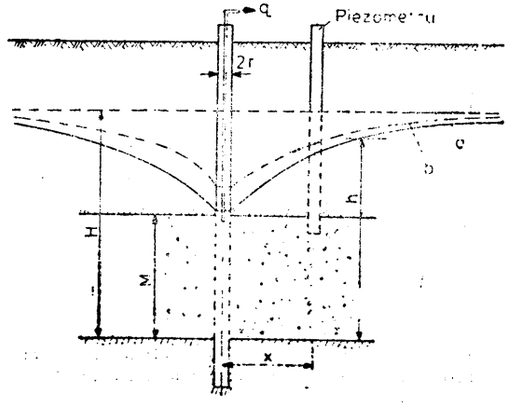


Fig. 2.15. Curba de infiltrare în juru puțului în cazul mișcării: *a* — permanente; *b* — nepermanente.

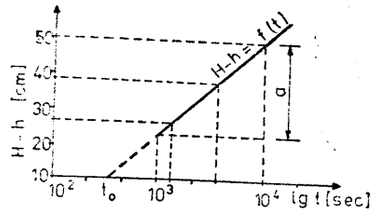


Fig. 2.16. Determinarea parametrului *a* pentru calculul transmisivității ($T = 0.183\ q/a$).

în care: *u* este variabila independentă, iar $W(u)$ este funcția puțului, calculată de Wentzel [42], ale cărei valori sînt date în tabelul 2.2;

M — grosimea stratului acvifer;
T — transmisivitatea hidraulică ($T = k \cdot M$);
S — coeficientul de înmagazinare;
x — distanța de la puțul pompat la piezometru;
t — timpul scurs de la începutul pompării pînă în momentul în care se măsoară denivelarea.

În metoda *Theis* se reprezintă grafic, la scară dublu logaritmică, cele două funcții $W(u) = f(u)$ și $H - h = f(x^2/t)$; se suprapun cele două curbe pînă ce se găsește un segment comun; se adoptă un punct de măsură și pe coordonatele celor două grafice se citesc $W(u)$ și u, respectiv $H - h$ și x^2/t, valori cu care se calculează T, S.

După metoda *Jacob* [42] se calculează:

$$T = \frac{0{,}183q}{a} \tag{2.31}$$

$$S = \frac{2{,}25Tt_0}{x^2}, \tag{2.32}$$

în care: a este denivelarea calculată grafic pentru o diviziune de timp;
t_0 — timp convențional calculat grafic (fig. 2.16), pentru care denivelarea este zero.

Rezolvările, fiind complicate, sînt evitate prin efectuarea măsurătorilor în regim permanent și prin adoptarea unor coeficienți de siguranță în dimensionarea captării.

2.4. CAPTAREA APEI SUBTERANE PRIN PUȚURI

Puțurile sînt construcții pentru captarea apei subterane, cu dimensiunea principală dezvoltată pe verticală. Se utilizează la captarea apelor cu adîncimea stratului de bază mai mare de 7—8 m și cînd grosimea stratului de apă depășește 2—3 m.

După modul de execuție, se deosebesc:

- *puțuri săpate* — utilizate la adîncimi relativ mici, de 10—15 m
- *puțuri forate* — utilizate la orice adîncime, dar mai ales la adîncimi mari și pentru captări cu un număr mare de puțuri;
- *puțuri înfipte* — utilizate pentru captări de mică importanță;
- *puțuri cu drenuri* radiale — utilizate în cazuri speciale.

Tabelul 2.2

Valorile funcției $W(u) = f(u)$ după Wenzel [42]

u	$u\times1,0$	$u\times2,0$	$u\times3,0$	$u\times4,0$	$u\times5,0$	$u\times6,0$	$u\times7,0$	$u\times8,0$	$u\times9,0$
1	0,219	0,049	0,013	$3,8\cdot10^{-3}$	$1,1\cdot10^{-3}$	$3,6\cdot10^{-4}$	$1,2\cdot10^{-4}$	$3,8\cdot10^{-5}$	$1,2\cdot10^{-5}$
10^{-1}	1,82	1,22	0,91	0,70	0,56	0,45	0,37	0,31	0,26
10^{-2}	4,04	3,35	2,96	2,68	2,47	2,30	2,15	2,03	1,92
10^{-3}	6,33	5,64	5,23	4,95	4,73	4,54	4,39	4,26	4,14
10^{-4}	8,63	7,94	7,53	7,25	7,02	6,84	6,69	6,55	6,44
10^{-5}	10,94	10,24	9,84	9,55	9,33	9,14	8,99	8,86	8,74
10^{-6}	13,24	12,55	12,14	11,85	11,63	11,45	11,29	11,16	11,04
10^{-7}	15,54	14,85	14,44	14,15	13,93	13,75	13,60	13,46	13,34
10^{-8}	17,84	17,15	16,74	16,46	16,23	16,05	15,90	15,76	15,65
10^{-9}	20,15	19,45	19,05	18,76	18,54	18,35	18,20	18,07	17,95
10^{-10}	22,45	21,76	21,35	21,06	20,84	20,66	20,50	20,37	20,25
10^{-11}	24,75	24,06	23,65	23,14	22,96	22,96	22,81	22,67	22,55
10^{-12}	27,05	26,36	25,96	25,67	25,44	25,26	25,11	24,97	24,86
10^{-13}	29,36	28,66	28,26	27,97	27,75	27,26	27,41	27,28	27,16
10^{-14}	31,66	30,97	30,56	30,27	30,05	29,87	29,71	29,58	29,46
10^{-15}	33,96	33,27	32,86	32,58	32,35	32,17	32,02	31,88	31,76

2.4.1. PUȚURI SĂPATE

Sînt construcții din beton sau beton armat, cu secțiune de obicei circulară, avînd diametrul de 1—3 m (pentru care există proiecte tip) executate în stil cheson. Se utilizează pentru captări de mai mică importanță și cînd numărul de puțuri este relativ mic, deoarece execuția lor este destul de complicată și uneori nesigură. Sînt de preferat în strate acvifere formate din nisip fin, deoarece avînd o rază mai mare pot asigura o viteză de intrare a apei mai mică.

Elementele componente și fazele de execuție sînt date în figura 2.17.

Săparea se poate face mecanizat (excavator cu cupă greifer specială) sau manual, caz în care trebuie să fie făcute epuizmente. La strate din nisip fin nu se recomandă epuizmentele, deoarece denivelarea mare duce la afuieri importante (spălarea nisipului din strat cu prăbușiri ale stratelor vecine ce pot afecta radical funcționalitatea ulterioară a puțului). În unele cazuri, deși nu se recomandă, se poate recurge la lansarea în cheson cu aer comprimat (soluție aplicată la executarea captării Bragadiru de inginer Elie Radu acum aproape 100 ani).

Pentru ca puțul cheson să coboare sub greutatea proprie, grosimea peretelui de beton este necesar să fie mare; orientativ, grosimea peretelui se poate calcula cu relația:

$$\delta = 0{,}1\,D + 0{,}1 \text{ m}, \tag{2.33}$$

în care D este diametrul interior al puțului, în m.

În tronsoanele de coloană care vor sta în apă se lasă goluri de 25 · 31 cm, în care se amplasează ulterior *barbacane prefabricate* — elemente de beton cu șlițuri orizontale de circa 1—2 cm lățime. Pe timpul lansării, golurile sînt acoperite cu panouri de lemn pentru a evita intrarea nisipului și a reduce cantitatea de apă care intră în puț. După ajungerea puțului la cotă și turnarea saltelei de închidere, de circa 50 cm grosime (în unele cazuri poate lipsi — dacă stratul este format din pietriș cu granulozitatea mare), barbacanele se pot debloca. Deblocarea se face manual după un epuizment prealabil și trebuie avut grijă să se facă *deblocarea tuturor barbacanelor*. În caz contrar, poate scădea mult suprafața de intrare în puț și deci pot apare afuieri ca urmare a creșterii locale a vitezei de intrare a apei în barbacanele libere.

Puțul se închide deasupra cu o placă de beton armat cu grosimea de 10—12 cm, așezată la 50 cm peste nivelul apei în zone inundabile sau 50 cm peste nivelul terenului.

Umplutura se începe cu un strat de argilă de circa 30 cm — care are rolul de a devia apa din precipitații, astfel încît infiltrația să se facă prin stratul natural netulburat — și se termină cu o suprafață taluzată înierbată.

Accesul în puț se face printr-o deschidere protejată cu capac metalic. În puț se prevăd trepte de acces din oțel beton (Ø20) prinse în perete — cu pasul de 0,30 m.

Treptele se termină pe un podest din beton armat amplasat deasupra nivelului maxim al apei din puț, podest pe care se află vana de închidere a conductei pentru captarea apei din puț.

Puțul este ventilat cu ajutorul uni coș din tablă sau țeavă de oțel cu înălțimea de 80—180 cm, asigurat cu cască de protecție contra precipitațiilor și sită de cupru (ochiuri de 1 mm) contra insectelor mici.

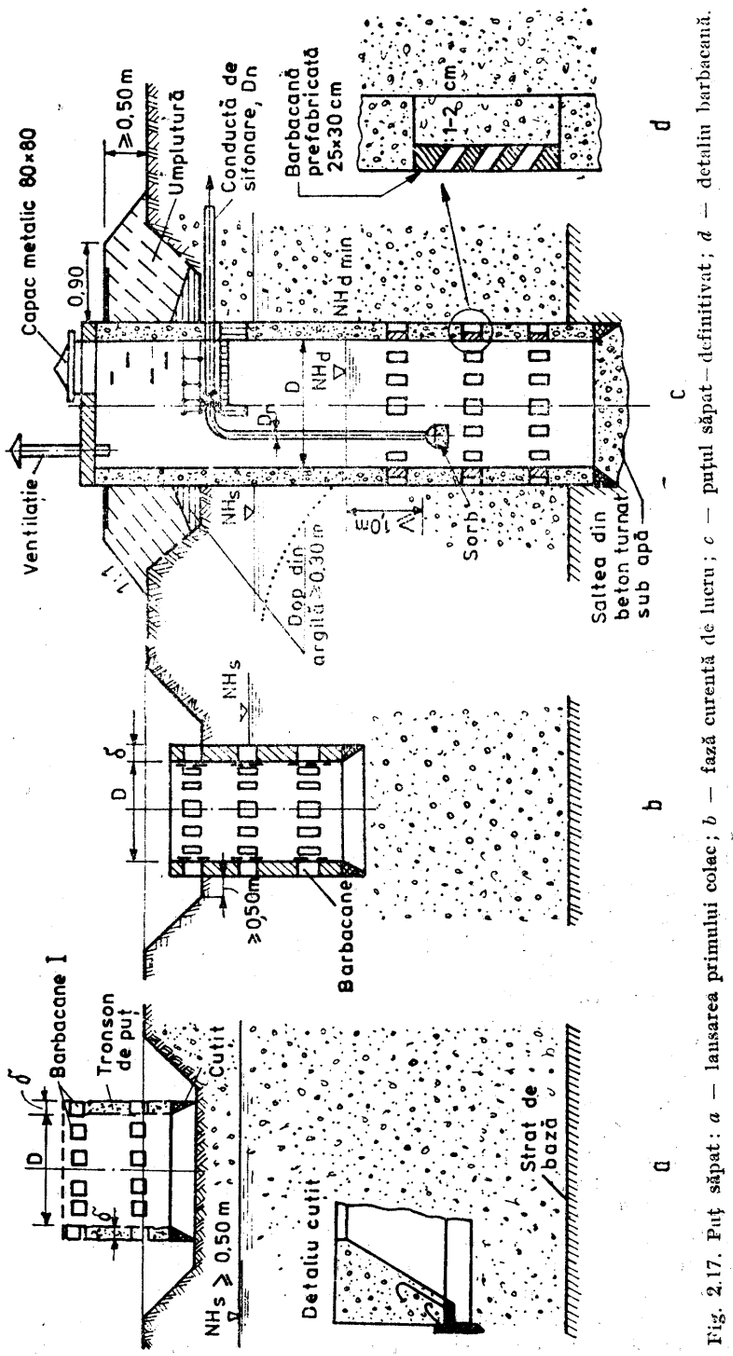


Fig. 2.17. Puț săpat: *a* — lansarea primului colac; *b* — fază curentă de lucru; *c* — puțul săpat—definitivat; *d* — detaliu barbacană.

Instalația hidraulică se compune din: sorb, conductă de sifonare și vană etanșă, în cazul în care apa din puțuri se captează cu un sistem central de sifonare; pompă submersibilă, conductă de refulare, clapet de reținere, vană de reglaj, în cazul în care puțurile sînt echipate cu pompe individuale speciale, submersibile (pompe tip Hebe).

În unele cazuri, puțul poate fi echipat și cu pompe cu ax orizontal așezate peste nivelul apei pe o placă de beton armat. În acest caz, trebuie să fie luate măsuri de siguranță contra deteriorării pompelor, din cauza umezelii, precum și în vederea evitării accidentării personalului care manipulează aceste pompe.

În instalația hidraulică a puțului, ar trebui întotdeauna să fie montat și un debitmetru sau contor de apă (controlînd periodic debitul se poate vedea cum funcționează puțul). Contorul trebuie montat înainte de vana de reglaj pentru a putea fi scos din circuit prin izolarea puțului respectiv, fără a afecta funcționarea celorlalte puțuri ale captării. Totodată, sînt necesare amenajări sau dispozitive pentru măsurarea nivelului apei, în scopul asigurării funcționării puțului cu o denivelare mai mică decît denivelarea maximă calculată sau stabilită la proba finală de recepție a puțului.

Se atrage atenția asupra unei execuții corecte, în vederea evitării colmatării stratului vecin puțului (în unele cazuri, constructorul, pentru a ușura avansarea chesonului și a reduce debitul infiltrat în puț, a prevăzut lîngă peretele puțului un strat de argilă, ceea ce a dus la colmatarea barbacanelor). Un puț greșit executat, cu greu se poate remedia; există cazuri în care puțurile săpate, colmatate, pentru a mai putea fi activate au trebuit să fie transformate în puțuri cu drenuri radiale prin construcții auxiliare improvizate, iar altele au fost abandonate (de exemplu captarea Mihoveni — Suceava).

Captări importante, cu puțuri săpate, realizate în țară, sînt: Bragadiru (pentru cca. 350 dm³/s), Cluj (pentru cca. 800 dm³/s).

2.4.2. PUȚURI FORATE

Avînd un domeniu de aplicație mult mai larg (teoretic se pot face puțuri forate în orice condiții) și beneficiind de o tehnică de lucru mult mai bine pusă la punct (prin preluarea din tehnica forajului pentru țiței), precum și de utilaje astăzi foarte perfecționate, puțurile forate au fost folosite la cele mai multe din captările de apă subterană executate în țară.

Puțurile de mică adîncime (20—30 m) au fost executate cu instalații manuale, procedeul uscat, iar cele de adîncime mai mare (în general nu s-au depășit 300 m, pentru a nu capta o apă prea caldă — peste 25°C) prin foraj hidraulic rotativ — procedeul direct. Abia în ultimii ani s-a folosit și procedeul cu circulație inversă, folosind ca element de antrenare apa sau aerul (sistemul aer-lift).

Elementele componente ale unui puț forat sînt următoarele:

- *Cabina puțului* (cămin din beton, beton armat, zidărie) care adăpostește instalația hidraulică și uneori și instalația electrică de forță și permite executarea de lucrări de remediere și întreținere a puțului. Atunci cînd se găsește total sau parțial sub nivelul apei subterane, se execută cu izolație hidrofugă (fig. 2.18).
- *Coloana definitivă* este o coloană plină (burlan de foraj) de protecție a găurii de foraj, pe zona stratelor uscate sau a căror apă nu se captează.

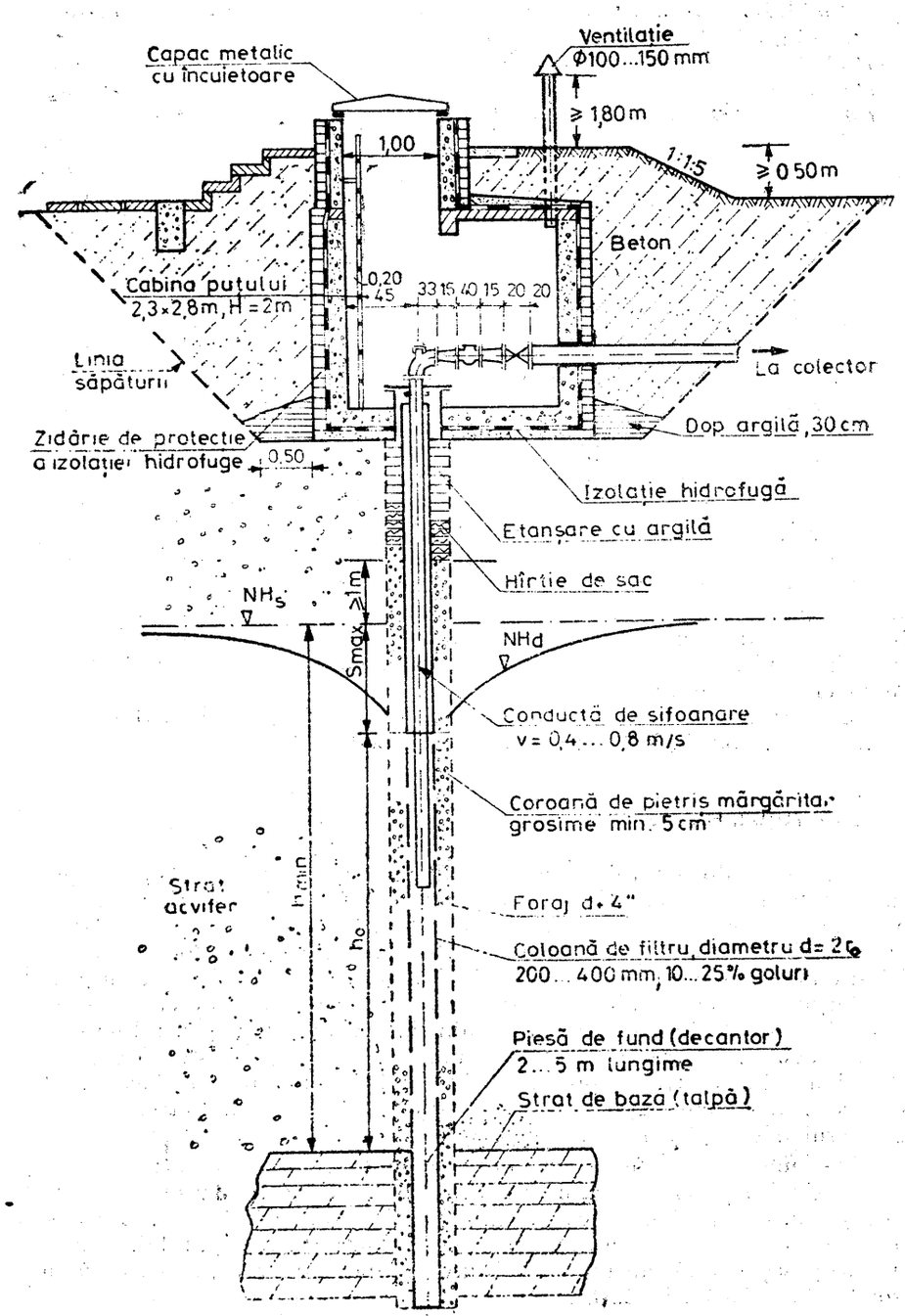


Fig. 2.18. Detaliu de puț forat.

Cînd stratul este relativ puțin adînc, coloana este formată dintr-un singur tronson (maxim 30 m). La stratele adînci, în scopul recuperării acestor coloane, execuția se realizează cu tronsoane telescopice — avansul unei coloane fiind de 25—30 m (fig. 2.19). Capătul de jos al coloanei are o întărire numită *sabot*. Între diametrele a 2 coloane adiacente, trebuie să fie o diferență de minimum 4" (4" ≅ 100 mm), pentru evitarea înțepenirii în timpul lucrului. Primul tronson de coloană introdus în pămînt are un rol important în direcționarea ulterioară a forajului și în închiderea straturilor contra infiltrației de apă superficială. Întreruperea coloanelor se face în strat de rocă impermeabilă sau în dopuri speciale de beton (în gaura realizată se toarnă beton care se reforează pentru coloana următoare), coloanele petrecîndu-se pe 2—3 m. Coloanele se execută, în general, din burlan de foraj rebutat în industria extractivă de țiței (soluție nerațională, deoarece consumul de oțel de bună calitate este mare, grosimea peretelui burlanului fiind de 6÷12 mm). În ultimul timp, au fost căutate și alte soluții, cum sînt: tuburile din tablă roluită și sudată pe generatoare (grosime 4—5 mm); tuburile din azbociment etc. Trecerea coloanei prin radierul căminului se izolează special pentru a proteja apa de calitate din stratul acvifer.

• *Coloana filtrantă* este elementul cel mai important în funcționarea puțului. Are rolul de a susține peretele rocii stratului acvifer și de a lăsa apa din strat să intre în puț. O coloană de filtru bună, trebuie deci să îndeplinească simultan următoarele condiții: (1) să permită amplasarea elementului de captare a apei; (2) să aibă rezistență mecanică suficient de mare pentru a nu se deforma sau rupe la solicitarea din împingerea stratului subteran; (3) să aibă o *suprafață activă* liberă cît mai mare (procentul de goluri notat cu η, cu valori de 5—30%, este un parametru caracteristic al coloanei) și rezistența hidraulică mică la trecerea apei prin perete; (4) să reziste la agresivitatea apei și/sau solului în care se amplasează, pentru a nu fi distrusă sau colmatată; (5) să permită o bună deznisipare a puțului, atît la punerea în funcțiune, cît și în timpul exploatării; (6) să aibă un cost redus; (7) să se poată executa ușor — pe cale industrială.

Ca *material*, coloana se poate executa din: oțel (tub sau tablă roluită), protejat contra coroziunii; fontă (tub găurit); azbociment (tub găurit); masă plastică (tub găurit sau foaie roluită, cu șlițuri); sticlă; porțelan, material ceramic etc.

Din punct de vedere al *modului de execuție*, se deosebesc: *filtre din tuburi găurite* (cu găuri rotunde sau găuri alungite — șlițuri — mai bune deoarece oferă o suprafață activă mai mare η și pot fi protejate anticoroziv relativ ușor; din motive de execuție însă, lățimea orificiului nu poate fi mai mică decît grosimea tablei peretelui, deci $\varepsilon \geq 3—4$ mm; nu va putea fi folosit decît cu filtru din pietriș mărgăritar sau prin protecție cu plasă din sîrmă galvanizată); *filtru tip punte* (similar tipului *Nold*) din tablă ștanțată și ambutisată (mai bun din punct de vedere al mărimii orificiului, $\varepsilon = 1—8$ mm, dar mai greu de protejat anticoroziv; se produce la Timișoara); filtre din bare *tip carcasă* (cel mai răspîndit fiind *filtrul Johnson* — cu bare profilate și *filtrul Gavrilko* — din bare rotunde; în țară se produce la Tîrgu Jiu un filtru similar cu coș simplu sau dublu, din sîrmă rotundă); *filtre speciale* — gravitaționale — formate dintr-o succesiune de talere așezate cu interspații (atunci cînd dimensiunea mare este cea de jos, se formează o suprafață taluzată prin care apa curge liber; în cazul tipului *coș*, talerele sînt așezate cu dimensiunea mare în sus și

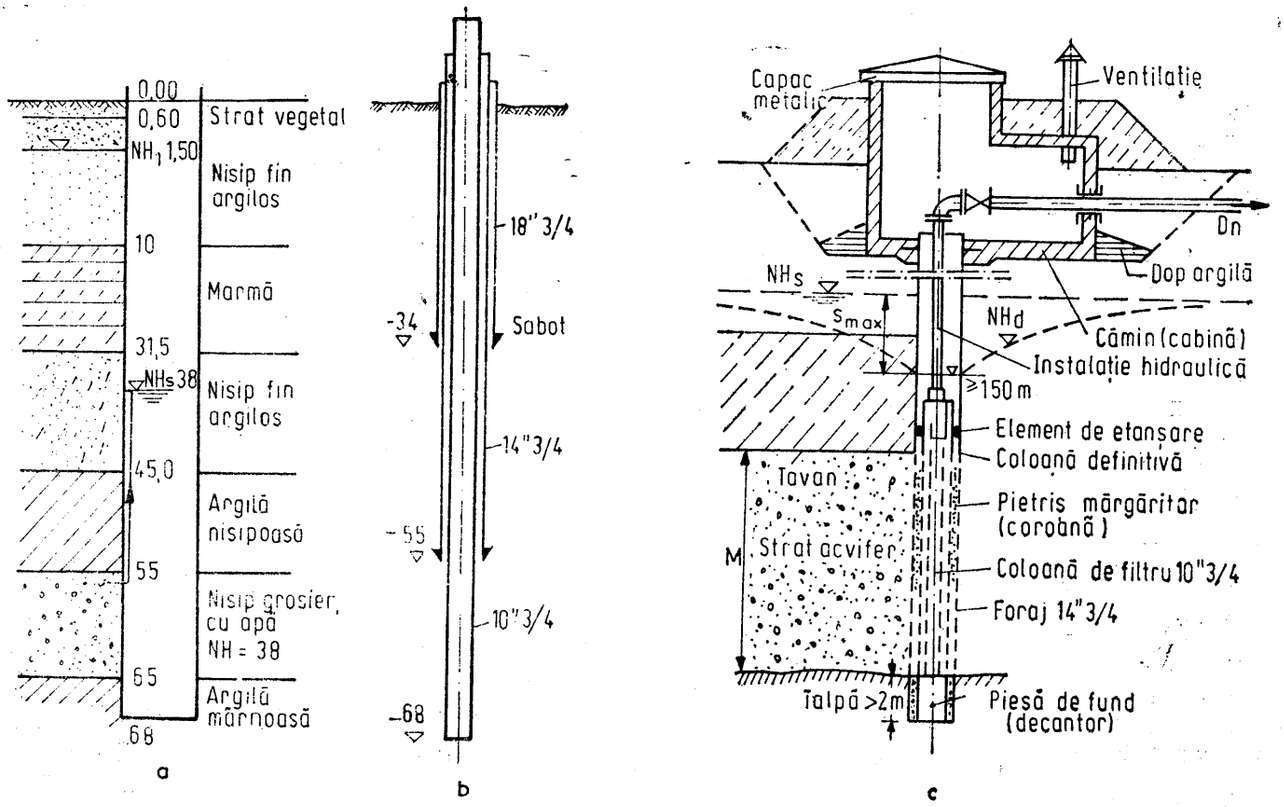


Fig. 2.19. Elemente constructive pentru puțul forat la mare adîncime: *a* — coloana litologică a stratului; *b* — schema de tubare după forare; *c* — puțul definitivat (coloană unică).

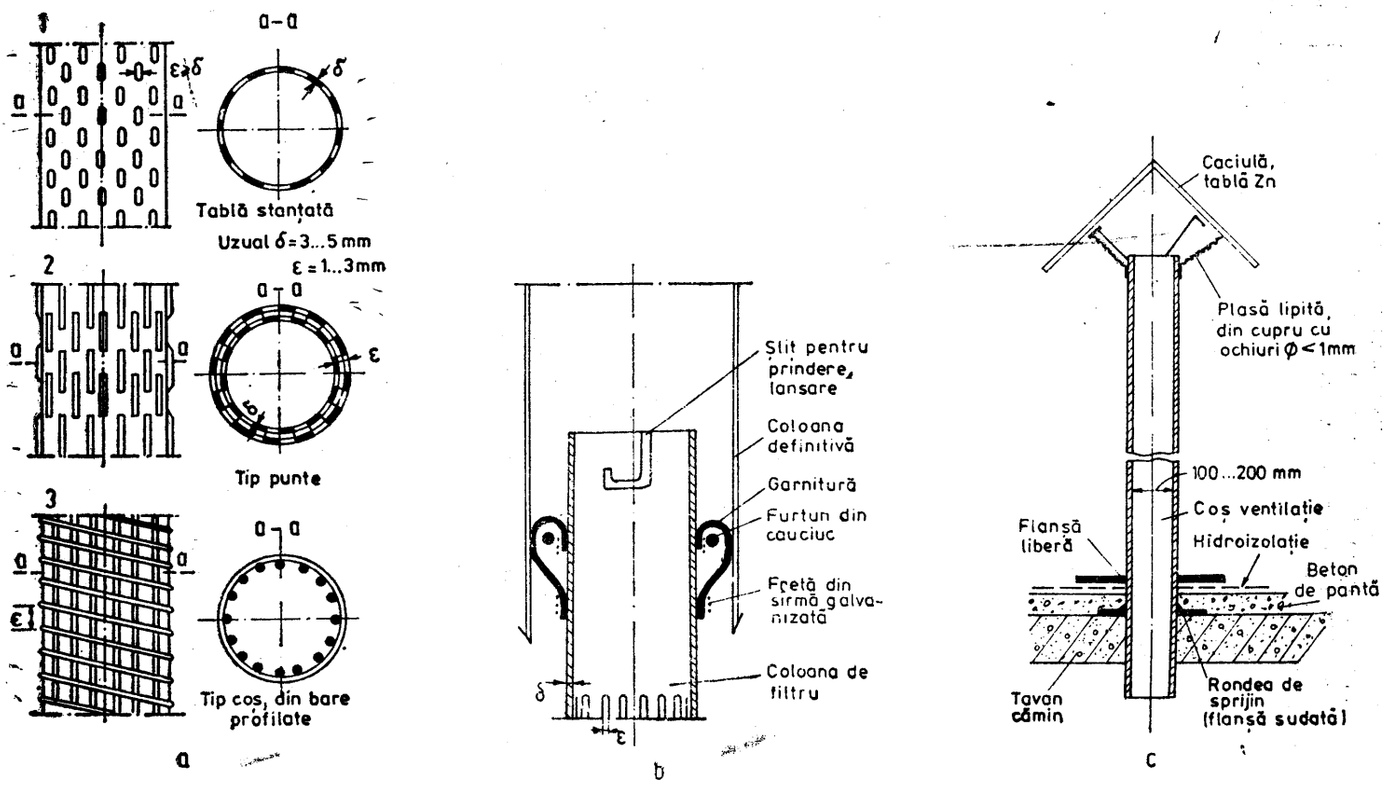


Fig. 2.20. Detalii de execuție la puțul forat: *a* — tipuri de coloane de filtru: *1* — din tablă ștanțată; *2* — tip „punte"; *3* — tip coș (Johnson); *b* — etanșarea coloanei de filtru; *c* — coș pentru ventilația căminului.

în fiecare taler este așezat, la sol, nisip și pietriș mărgăritar, pentru a forma un filtru invers). Unele detalii asupra tipurilor de coloane de filtru sînt date în figura 2.20. În practică, au fost folosite și alte tipuri de coloane de filtru.

Din punct de vedere al echipării puțului forat cu coloană de filtru, pot fi întîlnite următoarele cazuri: (1) *puț fără coloană de filtru*, atunci acesta este forat în rocă stabilă fisurată, purtătoare de apă, sau cînd stratul de nisip este acoperit de un tavan rezistent; se pompează cu debit mare, extrăgînd și un volum de nisip, creînd astfel un spațiu (gol de nisip) cu taluze naturale prin care apa trece liber fără a antrena nisipul; (2) *puț cu coloană de filtru simplă*; (3) *puț cu coloană de filtru protejată* cu sită metalică (cu ochiuri atît de mici, încît nisipul să nu pătrundă) — soluție care s-a abandonat în general, deoarece sita se corodează sau se colmatează ușor; (4) *puț cu coloană de filtru și coroană de pietriș* — soluție recomandată aproape în toate cazurile în care se captează apa din strate formate din nisip.

Cea mai utilizată este soluția cu coroană de pietriș mărgăritar. Dificultatea constă în modul de execuție al acesteia. În cazul în care este suficient un singur strat, acesta se execută prin turnare de sus. Dacă materialul are granule cu mărimi diferite se produce o sedimentare în aer și apă, obținîndu-se un strat neuniform. Pietrișul se poate introduce și prin circulație de noroi — procedeu aplicat la noi cu rezultate bune (în noroiul care spală gaura de detritus, se introduce pietrișul care este transportat în amplasament, rămînînd între peretele forajului și coloana de filtru; se evită astfel sedimentarea materialului neuniform). În cazul în care sînt necesare mai multe strate, acestea se pot executa folosind numai turnarea de sus cu ajutorul unor coloane auxiliare (au fost executate puțuri cu 3 strate, comportarea lor în exploatare fiind foarte bună). Alegerea granulației se face după reguli cunoscute [21], [40], [18]. Pentru ușurință, se poate aplica regula multiplicării cu 4 a mărimii medii a granulelor stratelor vecine (ca la filtrul invers), ultimul strat lîngă coloana de filtru avînd granule mai mari decît golurile din coloană.

Întotdeauna, este bine să se umple cu pietriș sortat spațiul dintre coloana de filtru și coloana de tubare, progresiv, pe măsura extragerii coloanei de tubare provizorie. În acest fel, se evită prăbușirea necontrolată a stratului granular, prăbușire care poate avea ca efect deteriorarea (păpușarea) coloanei de filtru și deci necesitatea reforării puțului.

● *Piesa de fund*, decantorul, este o prelungire a coloanei de filtru cu o lungime de 2—5 m; are rolul de a permite nisipului — care este antrenat de apa din strat, normal sau accidental, în timpul funcționării puțului — să se decanteze. Periodic, aceasta poate fi scos cu o lingură specială sau prin pompare.

● *Instalația hidraulică* este alcătuită în mod similar cu cea de la puțul săpat. Apare în plus o problemă la puțurile în strat freatic cu nivel liber sau cu presiune mică. Pentru a se asigura o colectare relativ uniformă a apei prin toată coloana de filtru, este bine ca elementul de captare a apei din puț (capătul liber al conductei de sifonare, pompă submersibilă) să fie amplasat în jumătatea de jos a coloanei de filtru, într-o porțiune a acesteia fără orificii (de cca. 2 m). Uneori poate fi amplasat și la partea de sus a decantorului — atunci cînd coloana de filtru a puțului are o lungime mică. Piesa care face trecerea de la conducta verticală la cea orizontală

și care se mai numește și *casca puțului* este demontabilă, pentru a putea fi scoasă la deznisipare sau alte operațiuni de întreținere a puțului.

În cazul în care puțurile vor fi echipate cu pompe individuale, este obligatoriu ca, pe conducta de refulare din puț, înainte de vană, să se prevadă un clapet de reținere. Acesta are rolul de a nu lăsa apa din colector să intre în puț, în cazul în care, dintr-un motiv oarecare, pompa nu mai funcționează. În orice caz, după orice oprire, pompele vor fi repornite (după regulile de pornire stabilite ale unei pompe centrifuge), altfel existînd riscul înnisipării și deteriorării puțului, întrucît, din cauza coloanei de apă cu înălțime mică, pompa tinde să absoarbă brusc un debit mare de apă (deci viteza de intrare în coloana puțului poate depăși viteza admisibilă).

Execuția puțurilor forate. Pe amplasamentul ales pentru execuție, se va aduce instalația de foraj. Dacă se execută un foraj hidraulic, în apropiere se realizează un *batal* (o groapă) pentru prepararea noroiului de foraj și eventual depozitul de barită pentru mărirea densității noroiului. Se începe forajul, avînd grijă să se ia probe, periodic, pentru a se observa cu exactitate stratificația terenului. Datele se trec într-o fișă specială și servesc la stabilirea *coloanei litologice* a stratului (v. fig. 2.19). Atunci cînd se întîlnește un strat de apă, se efectuează analiza chimică, se măsoară debitul și nivelul hidrostatic. Dacă stratul se va capta, se închide provizoriu cu o coloană de tubaj și se continuă forajul cu un diametru mai mic. Dacă nu se captează, se tubează definitiv, izolîndu-se de alte strate. Se va da o atenție specială forajelor echipate cu pompe submersibile, pentru a se putea păstra poziția verticală. Altfel, utilajele de pompare construite cu lagăre pentru poziția verticală vor funcționa mai slab și se vor uza mai ușor (în condiții normale, o pompă Hebe se scoate de trei ori pe an pentru revizie).

După terminarea forajului, se tubează gaura pentru a se evita prăbușirea. Se definitivează puțul: (1) se introduce coloana de filtru cu piesa de fund; (2) se introduce pietriș mărgăritar între coloana de tubaj și coloana de filtru, simultan cu ridicarea progresivă a coloanei de tubaj pe măsură ce spațiul se umple (3); cînd petrecerea coloanelor a rămas 2—3 m, se oprește extragerea ei și (4) se etanșează cu o piesă specială coloana de filtru de coloana de prelungire; (5) se extrag coloanele de tubare provizorii; (6) se execută lucrările de la suprafața terenului (cabina); (7) se execută *deznisiparea puțului* după reguli stabilite și (8) se montează instalația hidraulică a puțului; (9) se racordează puțul la instalația hidraulică generală a captării; (10) se poate pune în funcțiune, verificînd ca fiecare puț să lucreze la denivelarea maximă stabilită. Se verifică apoi debitul puțului în condiții reale de stratificație și execuție, inclusiv influența între puțuri.

Observație importantă: Odată cu deznisiparea puțului vor fi executate pompări pentru determinarea curbei de pompare reale a puțului, curbă care va face parte din documentația ce va fi predată beneficiarului; din cauza neuniformității stratului acvifer (execuția mai puțin controlată etc.) este posibil ca între elementele de proiectare și cele reale să fie o diferență mare; acum este posibil să se obțină valorile corecte ale debitului puțului.

Exemple de captări mari cu puțuri din apă subterană [3], [8]:

● Crîngul lui Bot (pentru municipiul Ploiești, 1905; extinsă ulterior, în funcțiune astăzi) — trei foraje de 1,00 m diametru și 60 m adîncime;

● Bragadiru (cea mai veche captare subterană din țară; în funcțiune din 1901) — 20 de puțuri săpate cu diametru de 2,00 m;

● Slobozia—Clinceni (prelungirea captării Bragadiru—București, 1926) — puțuri forate, coloană din oțel zincat sau gresie antiacidă (230 puțuri);

● Ulmi (cea mai mare captare cu circa 230 de puțuri, 1908 și refăcută în 1980) — puțuri forate (150 și 600 mm); sifonare cu cazan de vacuum; alimentează cu apă municipiul București prin sistemul Arcuda;

● Breasta—Craiova (captare pe malul Jiului, 1960—1965; parțial distrusă, prin forfecare, la cutremurul din martie 1977) — circa 280 de puțuri — coloană din PVC — foaie șlițuită, roluită și sudată pe generatoare — comportare foarte bună în apă cu fier; sifonare cu cap autoamorsant;

● Baia—Berchișești (pentru Suceava, 1965—1970) — strat grosier în albia rîului Moldova — burlan oțel șlițuit; echipare cu pompe individuale submersibile, din import;

● Călieni—Suraia (pentru Galați—Brăila și Focșani) — coloane de oțel, protejate prin citomare; pompare cu pompe individuale; au fost semnalate admisii de nisip în puțuri.

● Arcuda (pentru municipiul București, 1968—1970) — coloane din oțel protejate prin emailare în două strate (apă cu Fe, slab);

● Captări importante sînt și: Cișmea Caragea Dermeni (pentru municipiul Constanța; cca. 3300 dm³/s); Nord, Est și Vest (pentru municipiul Ploiești); Florești (pentru Municipiul Cluj); Est (pentru municipiul Timișoara; apă cu Fe în cantitate mare); Făgăraș; Caracal; Arad etc.

2.4.3. PUȚURI ÎNFIPTE

Sînt puțuri executate din conductă perforată (1—4") prevăzută cu un sabot (con metalic special) la partea de jos și înfipte în teren prin batere cu un ciocan special sau prin vibrare. Nu se pot executa decît la adîncimi relativ mici (cca. 10—15 m), cu diametre mici, deoarece altfel forța de înfigere necesară este mare și țeava se distruge. Din cauza dimensiunilor reduse, debitul captat este mic. Se folosesc la alimentarea cu apă individuală a gospodăriilor (echipate cu pompă manuală) sau la captări de mică importanță, deoarece au o tehnologie de lucru simplă. Sînt puțin aplicate la noi în țară.

2.4.4. PUȚURI CU DRENURI RADIALE

Există cazuri în care stratul purtător de apă are o grosime mică și este situat la o adîncime relativ mare (peste 10 m). În această situație, executarea unui dren nu este posibilă, iar executarea puțului simplu are dezavantajul că o denivelare relativ mică în strat lasă o înălțime de lucru (h_0) mai mică, deci face posibilă înnisiparea puțului, colmatarea lui sau exploatarea la un debit foarte redus. De aceea, s-a recurs la executarea puțurilor cu drenuri radiale, construcție de graniță în care drenul este elementul activ, iar puțul cu diametru mare are rol de element ajutător pentru execuția drenului și colectare a apei captate în timpul exploatării (uneori și de stație de pompare). În acest fel, devine posibilă executarea drenului la adîncime mare, iar suprafața de intrare a apei fiind mare, denivelarea necesară pentru obținerea unui debit important este mică (se citează în literatură cazuri cînd un singur puț captează 1—1,5 m³/s; experiența țării noastre este redusă fiind executat un singur puț — la Arcuda, astăzi inutilizabil).

În concluzie deci, se va executa un puț, sistem cheson, pînă la stratul de bază; în zona stratului permeabil se lasă în perete, pe un nivel sau două, găuri închise cu vane cu piese metalice pentru trecerea drenurilor. Numărul găurilor executate este impar și sînt așezate astfel încît punctul simetric de pe peretele opus să fie pe peretele plin. Găurile sînt astupate în timpul execuției cu flanșe oarbe. După turnarea saltelei de beton, se face epuizment — puțul este aproape uscat și se poate începe înfigerea drenurilor.

Drenurile sînt confecționate din elemente metalice de lungime redusă, 2—3 m, care se pot îmbina prin înșurubare cu filet unul în altul. Primul element al drenului are prevăzut în cap o piesă specială numită *pilot* — de forma unei ogive.

Se deosebesc, în principiu, 3 metode de execuție a drenului; (1) metoda *Ranney* (americană), în care drenul este elementul metalic — tub găurit — care se introduce de la început și rămîne în strat; riscul este de a executa orificii pentru un strat de material necunoscut; (2) metoda *Fehlmann* (elvețiană), în care gaura se execută ca în metoda Ranney, dar folosind un tub neperforat; în pilot se găsește un orificiu prin care se lasă să curgă apă cu nisip; nisipul colectat este analizat și, pe această bază, se stabilește granulozitatea stratului perforat; pe baza granulozității reale se execută coloana de filtru (tot din bucăți); coloana de filtru se introduce în tubul existent și după detașarea pilotului se recuperează coloana (inițială) cu care s-a perforat gaura, coloană care se refolosește la găurile următoare; metoda este mai economică și realizează o construcție mai bună, dar este mai laborioasă și durează mai mult; (3) metoda *Preussag* (germană), care realizează la execuția forajului și un filtru invers în jurul drenului; coloana perforată se execută ulterior.

În unele cazuri, pentru ușurința înaintării, s-a recurs la injectarea apei prin conducte sub presiune în vîrful pilotului. Din cauza dificultăților de execuție și a randamentului neconvenabil, s-a convenit că nu este rațională executarea de drenuri cu lungimi mai mari de 30—50 m și diametre peste 200—300 mm, însă este rațional să se prevadă mai multe drenuri (cca. 5 pe un rînd). Aflat în poziție orizontală și mereu sub apă, drenul se colmatează mult mai greu decît o coloană de filtru a puțului. După terminarea execuției, drenul se închide cu o vană, care se poate manevra de la suprafață. Debitul unui asemenea puț se poate calcula cu metode empirice.

Există însă situații în care acest sistem de captare poate fi preferat altor soluții, în special la captarea apei infiltrată prin malul rîului, unde o parte din drenuri pot fi împinse ca niște raze în patul aluvionar de sub rîu — sporind astfel mult debitul captat din cauza permeabilității albiei (v. fig. 2.27).

Avantajele pe care le prezintă aceste lucrări sînt următoarele: gruparea construcțiilor în cîteva puncte; captarea de debite mari la un număr mic de puțuri; solicitarea mai redusă a stratului; suprafețe expropriate mai mici; uneori, constituie soluții pentru remedierea puțurilor săpate, cu diametre de 2—3 m.

2.5. SISTEME DE COLECTARE A APEI CAPTATE ÎN PUȚURI

Deoarece captările au în general un număr de n puțuri, așezate la zeci de metri distanță între ele și întrucît captarea poate fi amplasată și la distanță mare de rezervor, se pune problema colectării apei de la

toate cele *n* puțuri ale captării și trimiterea în mod centralizat a acesteia la consumator.

Au fost imaginate și executate în general 2 sisteme de colectare a apei:

- sistem de colectare prin sifonare, cu puț colector sau cu cazan de vacuum;
- sistem de colectare prin pompare cu pompe submersibile amplasate în puțuri (soluție mai nouă, dezvoltată odată cu diversificarea tipurilor de pompe).

2.5.1. SISTEMUL DE COLECTARE PRIN SIFONARE

Schemele posibile ale captărilor cu puțuri prin sifonare sînt de următoarele tipuri: sistem de colectare prin sifonare clasică; sistem de sifonare cu cap autoamorsant. Pentru rezolvarea unor situații la care nu s-a putut aplica sistemul de colectare prin sifonare clasică cunoscut (fig. 2.21), a fost realizat *sistemul de sifonare cu cap autoamorsant* (fig. 2.22).

Din figura 2.21, se observă că sistemul de colectare prin sifonare clasică este format dintr-o conductă colectoare așezată în pămînt la circa 1,0—1,50 m, cu pantă (în rampă) de minimum 1‰ spre puțul colector sau cazanul de vacuum. La acest colector se racordează cîte o conductă formată din: o parte verticală așezată în puț, cu capătul liber la minim 1,0—1,50 m sub nivelul cel mai scăzut al apei; a doua parte așezată în rampă și legată la colector. Capătul final al colectorului este introdus în

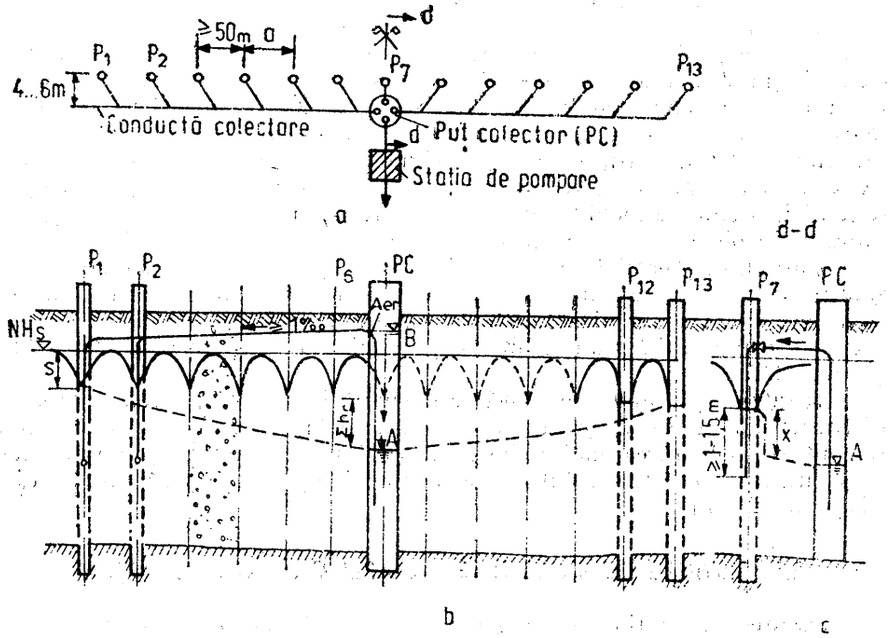


Fig. 2.21. Colectarea apei din puțuri prin sifonare cu puț colector; *a* — plan; *b* — secțiune longitudinală prin linia puțurilor; *c* — secțiunea *d*—*d*.

puțul colector sau în cazanul de vacuum. Funcționarea sistemului se asigură astfel: după o execuție foarte îngrijită, pentru a obține *un sistem etanș*, se umple cu apă puțul colector pînă la nivelul apei din strat sau se închide vana de pe conductele de refulare a pompelor submersibile; se scoate cu o pompă de vacuum aerul din spațiul închis în colector (apa din strat umplînd sistemul — *sistemul se amorsează*); se pornesc pompele care încep să evacueze apa din cazan sau puțul colector, nivelul apei în puțul colector coborînd; se creează o diferență de nivel, față de nivelul apei din puțuri și apa începe să curgă spre puțul colector; nivelul apei în sistem scade progresiv, pînă cînd fiecare puț asigură debitul calculat; pe colector se stabilește o anumită linie piezometrică, iar în puțul colector un *nivel hidrodinamic (A) de lucru.*

Pentru ca sistemul să funcționeze, este necesar ca diferența de nivel între vîrful conductei sifonului *(B)* și nivelul de lucru din puțul colector *(A)* să nu depășească 6—7 m, deoarece, prin vaporizarea puternică a apei și neetanșeității, sifonul se dezamorsează. Asupra acestei înălțimi se poate acționa prin: dimensionarea mai largă a colectorului (pentru a obține o sumă a pierderilor de sarcină mai mică — viteza apei în conductă este 0,4—0,8 m/s); reducerea denivelării de lucru *(s)*; îngroparea conductei colectoare la adîncime mai mare (în orice caz, aceasta nu va depăși 3—4 m, deoarece se execută greu, iar eventualele remedieri pun probleme deosebite).

Colectorul va avea neapărat pantă de minimum 1‰ pentru a da posibilitatea aerului, care se degajă din apă datorită scăderii presiunii sub presiunea atmosferică, să curgă în același sens cu apa și să poată fi evacuat prin sistemul de vacuum (amplasat tot în stația de pompare). Cantitatea de aer evacuată la un vacuum de 6—7 m este de circa 0,8÷1,0 dm³/s la 1000 m³/zi apă (după *Prinz*), ceea ce înseamnă circa 10% din debitul de apă [40].

Dacă se cercetează cu atenție linia piezometrică, se observă că la fiecare puț (cu excepția primului) există un decalaj între cota piezometrică în puț și cota piezometrică de pe colector (în fig. 2.21 notat cu *x*). Această diferență se reglează prin vana puțului, introducînd o pierdere locală de sarcină de mărimea diferenței *x*. În timp ce sistemul de colectare intră în regim, personalul de exploatare măsoară cota apei în puț și închide vana fiecărui puț pînă cînd *denivelarea în toate puțurile se menține în limitele stabilite.* Există astfel siguranța că toate puțurile vor da debitul stabilit prin curba de pompare cunoscută după definitivarea puțului. Dacă sînt montate debitmetre sau contoare de apă, se poate verifica direct și debitul fiecărui puț.

Este rațional ca așezarea puțului colector să se facă la mijlocul liniei de puțuri; în felul acesta, denivelarea obținută din pierderea de sarcină pe colector va fi mai mică și funcționarea va fi mai sigură, iar consumul de energie mai redus. Trebuie ținut seama că nivelul coborît al apei în puțul colector obligă și stația de pompare să fie așezată mai jos, pentru a se asigura înălțimea de aspirație a pompelor, conducînd astfel la complicații de execuție. În cazuri justificate (număr redus de puțuri, înălțimi mici de aspirație, așezare convenabilă față de consumator, linie electrică de alimentare, drum de acces etc.) se poate așeza puțul colector și la unul din capetele liniei de captare. În acest caz, distanța puțului colector față de ultimul puț va fi de minim 10 m, dar nu mai mare de 20—30 m. Aceeași distanță se recomandă și pentru stația de pompare.

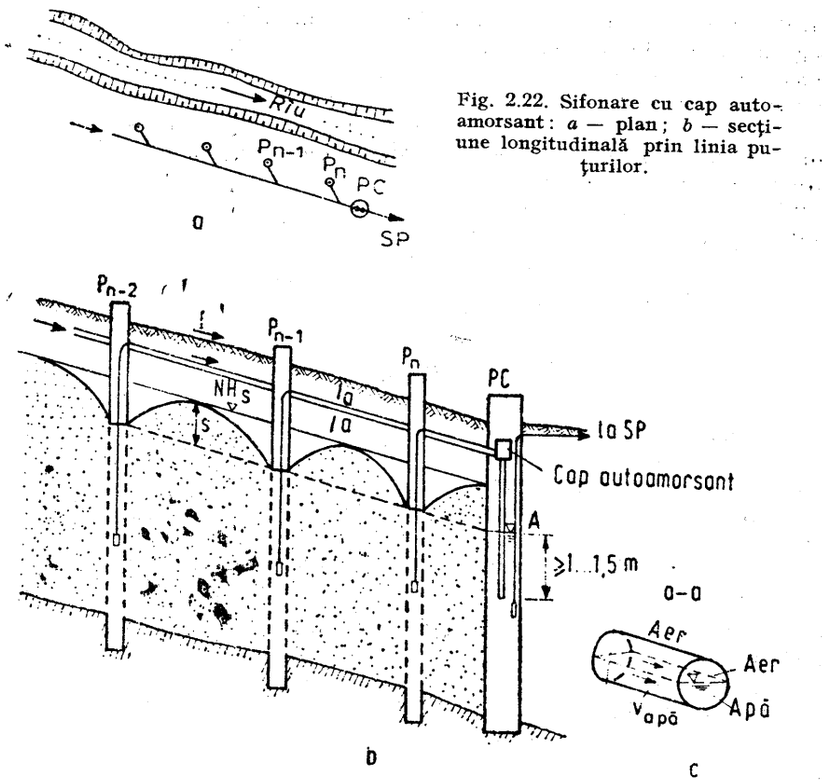


Fig. 2.22. Sifonare cu cap autoamorsant: *a* — plan; *b* — secțiune longitudinală prin linia puțurilor.

Sînt cazuri în care linia puțurilor nu permite așezarea în rampă a conductei colectoare (cazul liniei de puțuri așezate paralel cu malul unui rîu pentru captarea apei infiltrate prin mal); în această situație, așezarea colectorului paralel cu linia terenului face ca aerul să aibă un sens invers de mișcare față de cel al apei și să se strîngă în punctele înalte ale colectorului, împiedicînd o bună funcționare a acestuia. Au fost propuse mai multe soluții, dintre care cea mai simplă și economică este aceea cu *cap autoamorsant* (aplicată și la noi în țară la captarea Breasta pentru orașul Craiova).

Funcționarea sistemului este următoarea: colectorul trebuie executat în pantă și dimensionat astfel încît să funcționeze cu un grad de umplere de maxim 0,8. Spațiul de aer de deasupra asigură circulația aerului degajat din apă, circulație care are loc atît datorită antrenării de către curentul de apă, cît și datorită unui sistem constructiv special cu care se termină conducta colectoare în puțul colector, sistem numit *cap autoamorsant* (fig. 2.22).

Acest dispozitiv este format din 2—3 conducte verticale asamblate etanș la conducta colectoare și închise hidraulic la partea de jos. Atunci cînd se face vacuum în colector (deci sistemul se amorsează artificial), apa se ridică din puțuri și, ajungînd în conductă, curge prin aceasta ca printr-un jgheab (canal). Ajungînd la prima conductă verticală, forțată și de un mic prag aval, intră prin aceasta și formează în zona de intrare un efect de sucțiune. Pentru a folosi acest efect, se racordează capătul liber al unui

știut, aflat cu celălalt capăt la partea de deasupra a colectorului. Prin efectul de sucțiune se elimină automat o parte din aerul din conducta colectoare, deci crește vacuumul din colector precum și debitul captat pînă la limita cerută. După intrarea în regim *dacă sistemul este etanș* nu mai este nevoie de pompă de vacuum, sistemul autoreglîndu-se. Din figura 2.22 rezultă că: linia piezometrică este paralelă cu conducta; vacuumul în conductă este mai mic decît la sistemul clasic; toate puțurile funcționează la fel, cu aceeași denivelare; puțul colector trebuie așezat neapărat după ultimul puț aval. După unele recomandări, la dimensionarea colectorului și la execuție trebuie să fie alese astfel de dimensiuni, încît să asigure o viteză de maxim 1,2 m/s; altfel, din cauza capacității crescînde de antrenare a aerului de către apă, crește și vacuumul din colector, fapt care duce la: sporirea debitului captat și deci la depășirea în unele cazuri a debitului maxim al fiecărui puț; la dezamorsarea sistemului prin aspirarea de aer din puț întrucît nivelul apei scade sub capătul liber al conductei; la înecarea sistemului prin depășirea capacității de transport.

În cazul ambelor sisteme de sifonare trebuie dată o atenție deosebită, executării foarte etanșe a colectoarelor — în caz contrar sistemul nu se poate amorsa sau se dezamorsează ușor. Fisura în conductă sau neetanșeitatea constructivă la îmbinări poate fi amplasată în orice punct al colectorului, practic cu același efect. Pentru executarea remedierilor sau avariilor, fără a scoate din funcțiune întreaga ramură a captării, se preconizează ca puțurile să fie legate în grupe de 4—6 la un mic colector secundar și acest colector, trecînd printr-o vană, să se lege la colectorul care ajunge la puțul colector. În acest fel, se pot face reparații izolînd numai colectoarele secundare.

Se recomandă în general sistemul cu puț colector și numai în cazuri bine justificate cel cu cazan de vacuum, deoarece puțul colector produce o uniformizare a debitului de alimentare a pompelor prin volumul mare pe care poate să-l aibă; în același timp, permite și separarea nisipului transportat accidental de către apă din unele puțuri care funcționează defectuos.

2.5.2. SISTEMUL DE COLECTARE PRIN POMPARE

Există unele situații în care, din cauza nivelului coborît al apei subterane (mai ales la puțurile ce captează apa stratelor de adîncime medie sau mare) nu se poate realiza sistemul de sifonare; în acest caz colectorul ar trebui executat la adîncimi mari (10—50 m), adîncimi care ar impune construcții dificile și neeconomice; sistemul s-a aplicat la noi — la captarea Crîngul lui Bot pentru orașul Ploiești, acum circa 80 ani, cînd s-a executat o galerie la circa 40 m sub nivelul terenului, în care se aflau colectorul de sifonare și stația de pompare (soluția s-a aplicat într-o perioadă în care pompele cu ax vertical erau puțin dezvoltate).

Astăzi, în asemenea situații, se recurge la echiparea fiecărui puț cu pompe corespunzătoare, pompe care refulează apa, fie direct la rezervor (fig. 2.23, *a*), printr-o conductă colectoare comună, fie la un rezervor tampon amplasat convenabil la sol, de unde apa este preluată cu pompe cu ax orizontal (fig. 2.23, *b*). Colectorul, lucrînd sub presiune, este mai puțin sensibil la eventualele neetanșeități (se pierde apă, dar sistemul funcționează), iar fiecare puț funcționează independent.

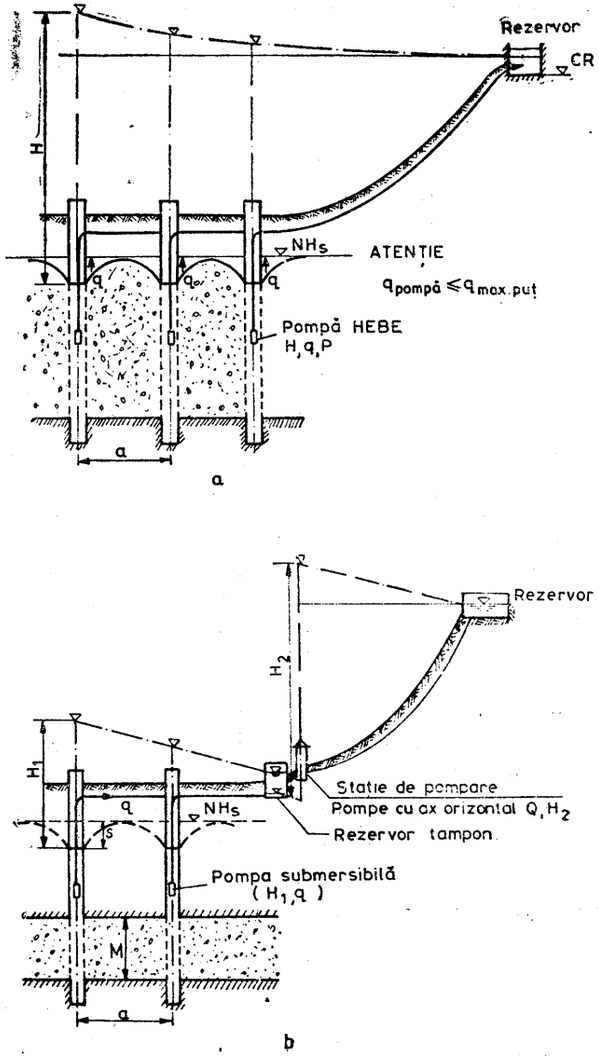


Fig. 2.23. Scheme de pompare a apei din puțuri cu pompe submersibile: *a* — pomparea directă în rezervorul utilizatorului; *b* — pomparea în rezervor tampon și repomparea în rezervorul final.

În general, la sistemul de colectare prin pompare, se recurge numai atunci cînd sistemul de sifonare nu poate funcționa normal. Motivele determinante sînt următoarele: sistemul cu sifonare este clasic, tradițional și deci mai des aplicat; din lipsă de pompe, în general, și, în particular, de pompe cu ax vertical cu caracteristici corespunzătoare cu ale puțului; din motive economice (pompele cu ax vertical au un randament mai redus decît pompele cu ax orizontal; din cauza gabaritului mic al pompelor și deci a construcției speciale; cele mai multe dintre pompe sînt pompe cu motor

submersibil); în cazul echipării puțului cu pompă, diametrul coloanei trebuie să fie mai mare — deci un cost ceva mai ridicat al puțului.

Trebuie precizat că, la debite mici și adîncimi ale apei peste 20 m, se folosesc pompe submersibile (pompa și motorul sînt executate monobloc și introduse în puț, fiind susținute de conducta de refulare), iar pentru debite mari și la adîncimi sub 20 m, se folosesc pompe cu ax vertical cu motorul în mediu uscat (amplasat în cabină supraterană) și pompa cufundată în apă (fig. 2.23, a). În ultimul caz, transmiterea cuplului motor se face prin intermediul unui arbore amplasat în axul conductei de refulare. Linia piezometrică la sistemul de colectare cu pompe este arătată în figura 2.23.

În acest caz, conducta colectoare și de aducțiune la rezervor va avea caracteristicile unei conducte forțate și va fi executată similar. Pentru un șir mai lung de puțuri, problema dimensionării corecte a pompelor este mai dificilă și trebuie făcută cu deosebită atenție, pentru ca, dintr-o greșită proiectare sau construcție, să nu se reducă și mai mult randamentul ansamblului pompă—conductă de refulare.

În cazul echipării cu pompe, *este esențial ca*: (1) debitul pompei să fie cel mult egal cu debitul maxim al puțului; (2) pompele să funcționeze în regim constant în timp; (3) după oprirea pompelor, repornirea să se facă manual, cu respectarea regulilor generale și deschiderea vanei de refulare să nu permită trecerea unui debit mai mare decît debitul puțului.

2.6. CAPTĂRI CU DREN

După cum s-a arătat la începutul capitolului, în anumite situații favorabile, este indicată construcția unui dren pentru captarea apei subterane.

Drenul este un element constructiv permeabil, orizontal, *nevizitabil* (dren propriu-zis) sau *vizitabil* (galerie), care așezat în calea curentului subteran de apă îl captează și conduce apa captată spre unul din capete, la un puț colector. Prin urmare, rolul dublu pe care îl are drenul este de: (1) captarea apei din strat; (2) transportul acesteia la puțul colector. Elementele principale ale drenului sînt date în figura 2.24.

Pe o direcție aproximativ perpendiculară pe direcția de curgere a curentului de apă subterană se sapă un șanț de lățime convenabilă — săpătură taluzată în cazul în care debitul stratului este mic, iar stratul este format din material grosier (pietriș, nisip mare) sau săpătură sub protecția a doi pereți de palplanșe din lemn, metal sau beton armat (mai rar), înfipte în prealabil pînă la stratul de bază, dacă stratul acvifer este puternic (bogat), iar materialul din strat conține în cantitate mare fracțiuni fine. Săpătura se execută pînă la stratul de bază, cînd *drenul perfect* se așează chiar pe strat sau nu, cînd drenul se așează deasupra stratului de bază *(dren imperfect)*, el captînd numai o parte din apa stratului.

Dacă drenul este amplasat la baza unui strat acvifer a cărei pantă piezometrică în regim natural este mai mare de 0,01, drenul se numește *dren de coastă* și se consideră că primește apă dintr-o singură parte, iar dacă drenul este amplasat în strat acvifer cu panta piezometrică mai mică ($i < 0{,}01$), drenul se numește *dren în bazin* și se consideră că primește apă din ambele părți.

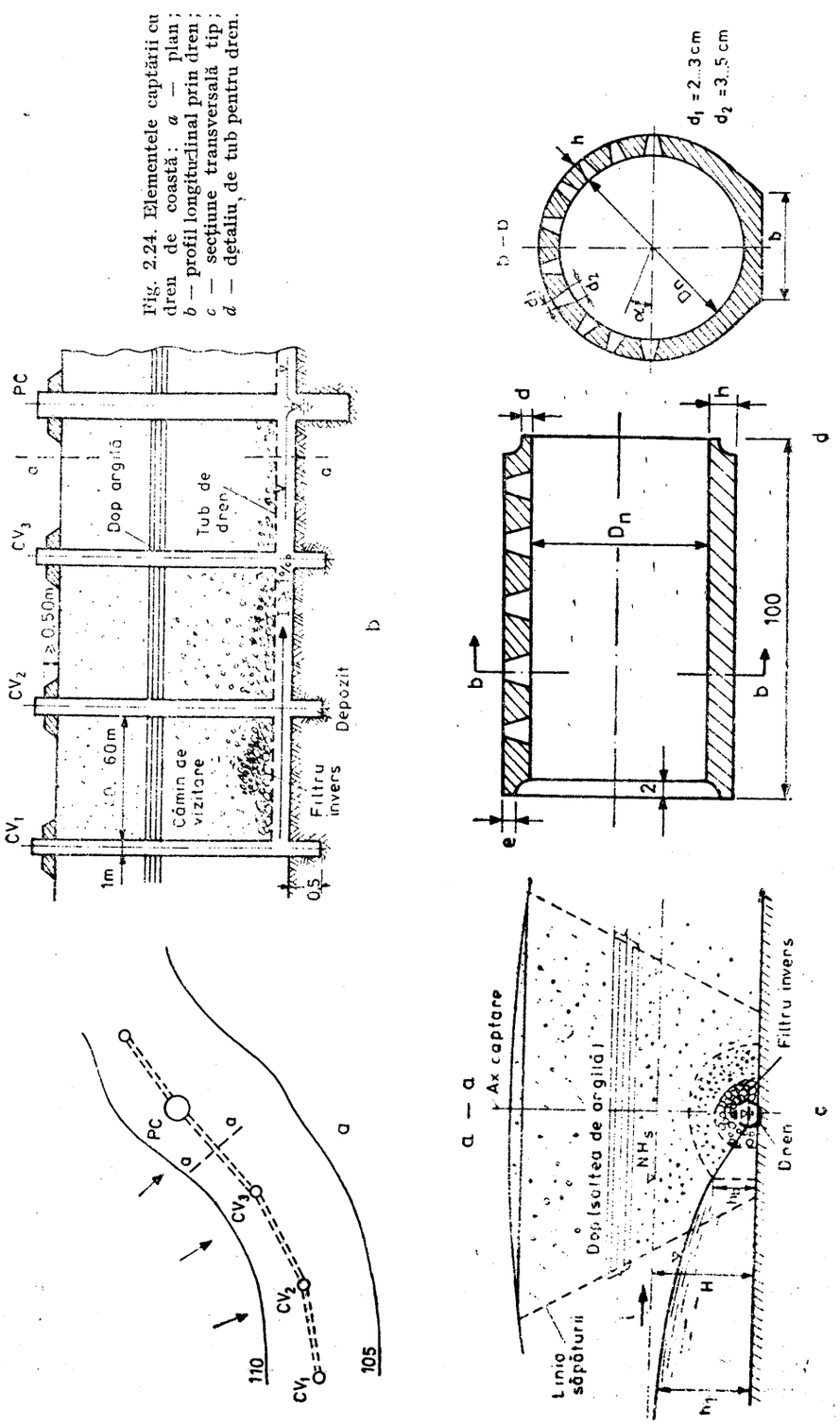


Fig. 2.24. Elementele captării cu dren de coastă: *a* — plan; *b* — profil longitudinal prin dren; *c* — secțiune transversală tip; *d* — detaliu de tub pentru dren.

După nivelarea fundului săpăturii (executată cu pantă de minim $1^0/_{00}$, dată în proiect), se montează tuburile de drenaj, de obicei din beton, dar pot fi și de argilă arsă, zidărie de piatră, azbociment, bazalt etc.

Dacă se consideră necesar, se execută în prealabil un strat de beton de egalizare (de cca. 10÷20 cm). Tuburile se așează cap la cap (preferabilă folosirea tuburilor cu talpă), făcînd sau nu etanșarea capetelor. La circa 50 m distanță se lasă loc pentru executarea căminelor de vizitare, care au radierul cu circa 50 cm mai coborît decît cota radierului tubului, pentru a asigura un mic volum de depozitare a nisipului (antrenat, eventual, de apă). Diametrele tuburilor cresc spre puțul colector; schimbarea de diametre se face obligatoriu în dreptul unui cămin. Între 2 cămine, traseul drenului trebuie să fie rectiliniu, dar pe ansamblu drenul poate fi format dintr-o serie de aliniamente care se intersectează sub diferite unghiuri (mai mari de 90°). Tubul de drenaj (de obicei din beton, executat după proiecte tip) are orificii în jumătatea superioară; orificiile sînt conice, cu dimensiunea mai mică la exterior, pentru a permite materialului granular, care a intrat în orificii, să cadă în dren. Jumătatea de jos a drenului servește pentru transportul apei.

În jurul tubului-dren, se prevede un filtru invers din straturi de minim 10 cm grosime. Stratele au mărimea granulelor stabilită ca la un filtru invers.

Dimensiunile tuburilor de drenaj, respectînd notațiile din figura 2.24, sînt date în tabelul 2.3.

Tabelul 2.3

Dimensiunile tuburilor de drenaj din beton, în cm

D_n [m]	h	b	d_1	d_2	e	d	α [°]	Volum [m³]	Greutate [daN]
30	6	28	3,7	2	2,5	1,8	23°	0,073	176
40	8	32	4,3	2	3,0	2,0	17°15′	0,129	310
50	10	48	4,9	2	3,0	2,0	13°45′	0,202	485

Un filtru invers este o succesiune de strate din material granular, așezate astfel încît granulele unui strat să nu treacă prin golurile stratului următor, în sensul în care circulă apa. Pentru a avea îndeplinită această condiție, este suficient ca raportul între diametrele medii a două strate adiacente să fie maxim 4—5.

Peste straturile filtrului invers, se face umplutură din material local bine compactat, dacă este cazul extrăgînd și palplanșele o dată cu avansarea umpluturii; acestea se pot scoate și ulterior, folosind însă un utilaj mai puternic și avînd grijă să nu se deterioreze stratul interior de material.

La circa 50 cm deasupra nivelului stratului de apă, se execută, cu una sau două pante, o saltea de argilă de circa 30 cm grosime. Rolul său este de a devia apele din precipitații ce tind să se infiltreze spre dren direct prin zona de umplutură, care este mai permeabilă. Se continuă umplutura peste saltea, se compactează și se lasă cu bombament, pentru ca, la o eventuală tasare în timp, să nu rămînă un șanț superficial în care să bălțească apa. Se amenajează căminele, cu umplutură de 50 cm peste nivelul apei de inundație la asigurarea de 1%, se execută puțul colector și se echipează cu o stavilă de perete și un deversor triunghiular la debușarea drenului. În cazul drenurilor lungi, puțul colector se așează la jumătatea frontului,

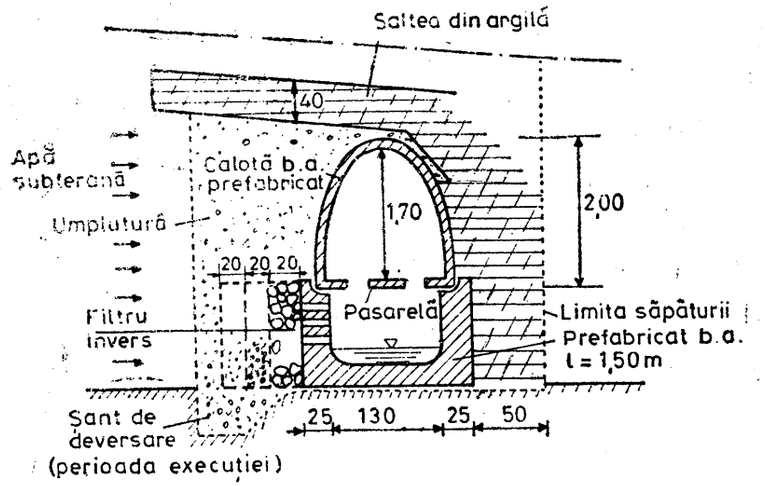


Fig. 2.25. Captare cu galerie — secțiune tip prin galeria captării Timișești.

obținînd un dren cu două ramuri, care pot fi sau nu simetrice, după particularitățile terenului. Puțul colector poate servi numai ca bazin de aspirație pentru pompe (înălțimea stratului de apă de circa 1,0 ÷ 1,20 peste sorb și 1,00 m sub sorb), cît și ca stație de pompare, în care caz partea de deasupra se amenajează corespunzător.

Dacă apa captată conține substanțe care precipită ușor în contact cu aerul (săruri de fier, mangan) și se depun pe pereții drenului, riscînd să-l colmateze în timp, atunci drenul se execută vizitabil. Pentru a permite circulația personalului de întreținere, se execută și o mică pasarelă, paralelă cu drenul. La drenuri ce captează apă potabilă vor fi luate măsuri de protecție sanitară.

Captări cu dren mai importante, executate în țară, sînt: la Timișești (pentru orașul Iași; captarea veche este executată la începutul secolului, iar captarea nouă — galerie — din fig. 2.25, executată în anii '70 este cea mai mare din țară); Oradea (pentru orașul Oradea); Gioroc (pentru orașul Craiova); Babele (pentru Focșani); Bucecea (pentru orașul Botoșani) etc.

2.7. CAPTĂRI DIN APA INFILTRATĂ PRIN MALURILE RÎURILOR

În decursul anilor, pe anumite zone de deal și șes, rîurile și-au format o albie majoră cu un pat aluvionar suficient de gros și permeabil, plin cu apă. Între apa care se scurge superficial prin albia rîului și stratul subteran, există o strînsă legătură: la ape mici în rîu, apa din substrat este drenată de rîu; la ape mari, apa rîului alimentează substratul albiei majore sub terasă (fig. 2.26)..

Dacă într-un asemenea mal (poate fi în albia majoră, — îndiguită convenabil), la o distanță corespunzătoare, se execută o captare cu dren sau un șir de puțuri și aceasta funcționează, *apa rîului*, din cauza denivelării

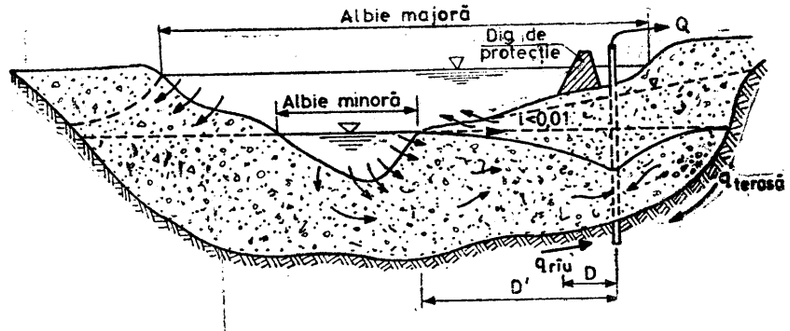


Fig. 2.26. Captarea apei infiltrate prin malul rîului (secțiune transversală pe rîu).

pronunțate ce se creează, va fi atrasă spre captare, *se va infiltra prin mal* corectîndu-și parțial unele caracteristici calitative.

Captarea va furniza apă cu caracteristici apropiate de cele ale apei subterane, terenul permeabil avînd rol de stație de tratare și înlocuind-o pe aceasta (total sau parțial).

Această circulație forțată pe direcție aproximativ normală pe direcția de scurgere superficială în albie face ca, în timp, malul rîului să se colmateze cu materialul aluvionar reținut (în special cu material în suspensie, conținut de apa rîului) și poate duce, dacă stratul este forțat, la scoaterea din funcțiune a captării. Pentru evitarea acestui inconvenient, se recomandă ca panta curbei de infiltrație la mal să nu depășească 0,01 ÷ 0,015, iar studiile care se fac în zonă pentru determinarea caracteristicilor apei și stratului trebuie să precizeze și gradul de colmatare al malului.

Aceasta se poate face prin executarea de șiruri de 2—3 foraje așezate pe direcții perpendiculare pe albie și determinînd nivelul hidrostatic și hidrodinamic în aceste foraje. Studiul ar trebui să precizeze și capacitatea de decolmatare a rîului la ape mari (cînd viteza în albie crește apreciabil), precum și eventualele măsuri de decolmatare artificială, dacă este cazul (dragaje, scarificări etc.).

Distanța de așezare a captării față de mal se stabilește prin calcul tehnico-economic. În balanță, se apreciază pe de o parte cheltuielile pentru o captare mai dezvoltată, în cazul cînd distanța D este mai mare, iar pe de altă parte, calitatea mai bună a apei. În cazul apei captate în scopuri potabile, distanța se alege astfel încît să fie parcursă de curent în cel puțin 20 de zile. Nu se recomandă însă distanțe mai mici de 50 m. Zona de captare trebuie apărată de inundații în caz de viitură (debite și nivele cu asigurarea de 1%).

În cazul captării apei infiltrate prin mal, se constată o schimbare însemnată, favorabilă, a caracteristicilor apei din rîu: limpezirea prin filtrare; uniformizarea temperaturii (10 ÷ 14 °C); creșterea conținutului în săruri minerale. În ultimele cazuri însă, în apa captată apar compuși de fier, mangan, pentru eliminarea cărora este nevoie de stație de tratare specială. Au fost cazuri (exemple: Breasta, pentru Craiova; Mihoveni, pentru Suceava) cînd față de o tratare directă a apei captate din rîu, s-a preferat o captare cu infiltrare a apei prin mal și deferizare ulterioară, deoarece deferizarea se putea face mai ușor decît tratarea apei de rîu;

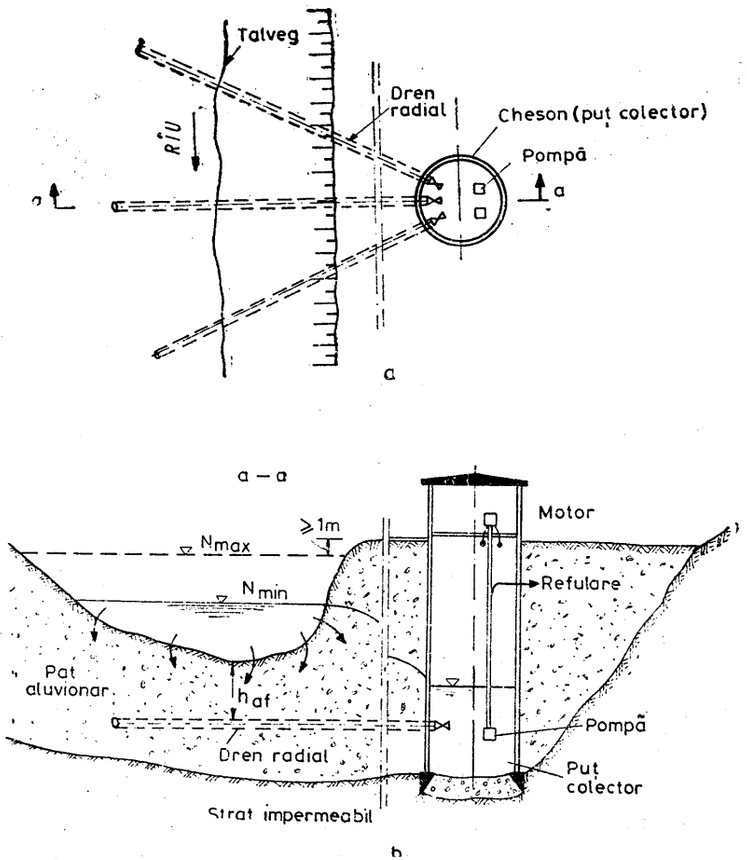


Fig. 2.27. Captarea apei din rîu prin puț cu drenuri radiale: *a* — plan; *b* — secțiune verticală *a—a*.

pe ansamblu soluția s-a apreciat ca fiind mai sigură și mai economică. Acest lucru trebuie însă analizat de fiecare dată, evaluîndu-se costurile și siguranța în exploatare a celor 2 scheme: captarea apei direct din albie (mai ieftină) și tratarea completă a apei (mai scumpă) sau captarea apei infiltrate prin mal (mai scumpă) și tratarea parțială (mai ieftină).

Captarea apei infiltrate prin mal constituie o soluție bună, în general pentru debite reduse și cînd nu este necesară o tratare ulterioară, deși în țară, s-au executat și captări pentru debite importante (Mihoveni pentru Suceava, Breasta pentru Craiova, Suraia — Călieni pentru Galați, Timișești pentru Iași etc.), cu sau fără tratarea ulterioară a apei. Dacă se apelează și la folosirea de puțuri cu drenuri radiale (fig. 2.27), se poate obține o soluție robustă și economică. Totodată, trebuie urmărită calitatea apei întrucît, în unele cazuri, calitatea apei s-a înrăutățit în timp din cauza unor procese (de natură bio-chimică în special), care se produc în stratul acvifer (apar compuși de fier).

2.8. ÎMBOGĂȚIREA STRATELOR DE APĂ SUBTERANĂ

La o serie de captări executate, s-a constatat, în timp, o scădere a debitului captat din cauza colmatării stratului, a reducerii sau a aprecierii inițiale insuficient de corecte a grosimii stratului de apă sau mai ales a posibilităților de alimentare a stratului. În unele cazuri, au fost constatate și greșeli de execuție, care au făcut ca debitul realizat să fie uneori mult mai mic decît cel preconizat în proiect.

Una din soluțiile de remediere a fost prevederea de construcții suplimentare, cu ajutorul cărora să se introducă în subteran apă preluată din surse de suprafață. Analizarea mai atentă a acestei soluții a condus la concluzia că metoda prezintă importante avantaje, care fac ca ea să fie aplicată chiar în cazuri favorabile, la captările ce funcționează normal. Aceste avantaje sînt: (1) folosirea mai completă a instalațiilor de captare existente; (2) transformarea apei de suprafață în apă subterană, fără a recurge la procedee complicate de tratare artificială; (3) transportul apei prin subteran de la locul de injecție la captare, pe distanțe uneori foarte mari; (4) posibilitatea creării de rezerve de apă în subteran, care să poată fi folosite în perioadele dificile, fără construcții suplimentare; (5) o protecție sanitară mai ușor de făcut etc. Procedeul are și unele dezavantaje: construcții suplimentare; nu se poate infiltra orice fel de apă (o apă cu produse petroliere poate murdări stratul și-l poate scoate din funcțiune pentru ani de zile); bazinul subteran al stratului acvifer trebuie să aibă o formă convenabilă etc.

În țări cu economie dezvoltată și cu dificultăți în asigurarea unor resurse de apă proaspătă, soluția de infiltrare a apei s-a transformat într-o treaptă suplimentară de tratare a apei uzate — epurate. După epurare controlată, apa se injectează în sol și se recaptează ca apă bună.

Infiltrarea s-a efectuat cu apă brută de rîu adusă în bazine deschise cu fund permeabil (viteza de infiltrare de cca. 1 $m^3/zi.m^2$) sau cu apă bine limpezită și injectată prin puțuri de infiltrație (fig. 2.28).

În acest caz, debitul de apă infiltrată prin puț se calculează cu o relație similară relației Dupuit-Thiem:

$$Q = \frac{1{,}36(h^2 - H^2)k}{\lg (R/r_0)} . \qquad (2.34)$$

Pentru un grup de n puțuri (v. fig. 2.28) cu debit egal ($q_1 = q_2 = \ldots = q_n$), debitul total infiltrat poate fi apreciat prin aplicarea relației:

$$Q_2 = \frac{\pi k(h^2 - H^2)}{\frac{1}{n} \frac{\ln r_1 r_2 r_3 \ldots r_n}{r_0}} , \qquad (2.35)$$

în care: $r_1, r_2 \ldots r_n$ sînt distanțele de la puțul în care se calculează debitul pînă la fiecare din puțurile în funcțiune;

r_0 — raza puțului în care se calculează debitul.

În țara noastră, au fost executate bazine de infiltrație, în special pentru suplimentarea debitului captărilor unde s-a produs colmatarea stratului subteran (de exemplu la: Mihoveni—Suceava, Luduș, Oradea, Cluj, Breaza). Efectele au fost favorabile, obținîndu-se un spor inițial de debit cu pînă la 50%. Apar însă unele complicații legate de curățirea bazinelor de infiltrație, care se înnămolesc uneori destul de repede.

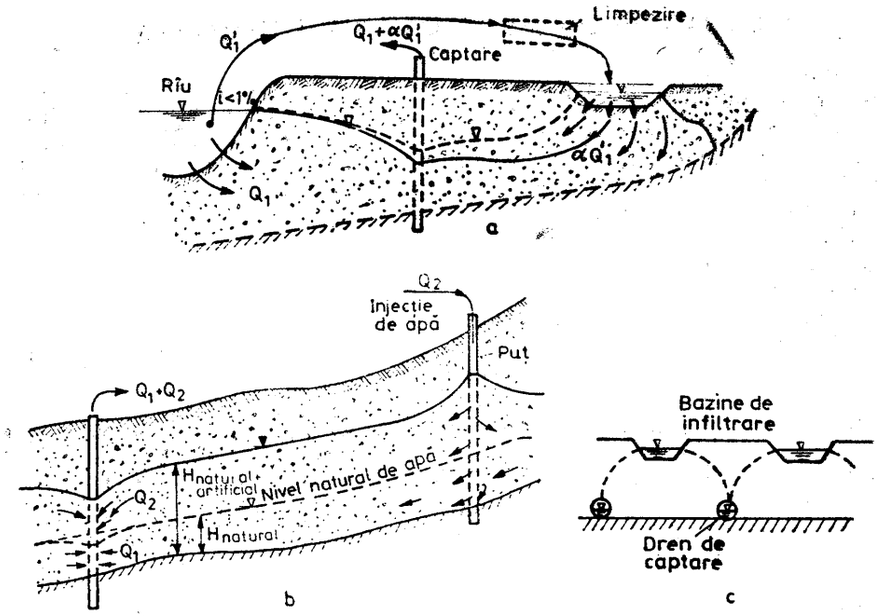


Fig. 2.28. Îmbogățirea artificială a stratelor acvifere: *a* — cu bazine de infiltrare; *b* — cu puțuri de infiltrare; *c* — cu șanțuri (bazine) de infiltrare și drenuri sistematice.

La Oradea, s-a executat o captare sistematică în masa granulară dezvoltată a rîului Criș. Apa captată superficial a fost limpezită în decantoare și apoi infiltrată în bazine alungite, de formă dreptunghiulară, așezate paralel și prevăzute între ele cu drenuri colectoare. Apa obținută este de bună calitate. O soluție asemănătoare, la scară mult mai mică, s-a aplicat pentru orașul Breaza și orașul Caransebeș.

2.9. PROTECȚIA SANITARĂ A CAPTĂRILOR PENTRU APĂ POTABILĂ

După cum se precizează în STAS 1342—91, o apă pentru a putea fi potabilă trebuie să îndeplinească o serie de caracteristici (cap. 1). Cum în cazul apei subterane de obicei nu se prevede stație de tratare, ci se recurge numai la o dezinfectare de siguranță, rezultă că sursa de alimentare trebuie protejată astfel încît apa obținută să aibă caracteristicile unei ape potabile. Protecția trebuie asigurată împotriva impurificării superficiale prin infiltrarea apelor din precipitații.

O primă măsură de protecție se ia prin alegerea amplasamentului captării. Toate captările care captează apa din stratul freatic sau din stratele acvifere de mică adîncime se așează amonte sau lateral de localitatea alimentată sau de alte localități, industrii vecine, astfel încît apa superficială, care spală incintele respective, să nu ajungă în perimetrul captării. Excepție fac puțurile de adîncime (peste 100 m), unde se consideră că succesiunea de strate de deasupra stratului acvifer asigură o protecție suficientă și deci acestea se pot amplasa chiar în perimetrul incintei de alimentat (cazul orașului București, unde sînt forate circa 500 de puțuri

la 120 ... 200 m adîncime). Aceasta presupune că pachetul de roci de deasupra nu a fost perforat pentru alte scopuri sau, după perforare, au fost luate măsurile de protecție adecvate (betonarea tuturor forajelor și puțurilor).

S-a constatat că, la o impurificare naturală cu substanțe chimice sau organice biodegradabile, dacă apa curge printr-un strat poros, curat, timp de 20 zile, atunci, datorită procesului natural de autoepurare al solului, apa se purifică și capătă caracteristicile unei ape potabile. Aceasta presupune că suprafața de teren aferentă acestei distanțe de curgere trebuie păstrată curată din punct de vedere sanitar și apărată împotriva oricăror impurificări accidentale. Această suprafață, care a fost numită *perimetru de regim sever*, se împrejmuiește, accesul făcîndu-se numai cu autorizația beneficiarului. Zona se înierbează și nu se folosesc nici un fel de îngrășăminte sau ierbicide și insecticide, pentru întreținere. Amonte de captare, distanța nu va fi mai mică de 50 m, iar aval de 20 m (conform Decretului 1059—67). În jurul acestei suprafețe, se marchează prin borne o zonă, aleasă astfel încît apa să parcurgă subsolul pînă la captare în minim 50 de zile, zonă numită *perimetru de restricție;* amplasarea oricăror construcții se face numai cu avizul organelor sanitare, la fel ca și folosirea unor eventuale îngrășăminte, dacă terenul este utilizat pentru agricultură. În general, nu vor fi folosite îngrășăminte a căror degradare este lentă sau care formează compuși dăunători organismului.

În general, beneficiarul captării sau cel care exploatează captarea, răspunde direct numai de perimetrul de regim sever, iar organele sanitare de ambele zone — dar trebuie făcută o asemenea colaborare încît să nu rezulte, în nici un caz, o impurificare accidentală a apei din sursă (există cazuri de impurificare care au scos din funcțiune stratul acvifer pentru zeci de ani — în special cu produse petroliere).

Foarte periculoase sînt unele complexe de îngrășare artificială pentru creșterea porcilor, taurinelor și unele industrii care nu au stații de epurare cu exploatare corespunzătoare. În unele cazuri, irigațiile și adaosul nerațional de îngrășăminte pot conduce la creșterea conținutului de azotați peste limita normală (50 mg/l); unele substanțe chimice nedegradabile care sînt evacuate, pot ajunge în apa captărilor cu infiltrare prin mal (cianuri, cromați, săruri, Hg etc.). Aceste lucruri trebuie strict controlate și evitate.

Mărimea perimetrului de regim sever trebuie calculată cu destulă exactitate, deoarece suprafața delimitată se dezafectează altor folosințe și ea nu trebuie să fie nici insuficientă, dar nici exagerat de mare. Evaluarea mărimii se poate face prin calcul sau studii pe teren.

Cazul cel mai simplu îl prezintă puțul în bazin sub presiune alimentat din toate părțile. În timpul $T = 20$ zile, puțul, funcționînd cu debitul maxim, trebuie să scoată toată apa conținută în cilindrul de rază D_1, grosime M și porozitate p. Din ecuația de continuitate, rezultă:

$$Tq_{max} = p\pi D_1^2 M \qquad (2.36)$$

și

$$D_1 = \sqrt{\frac{q_{max}T}{\pi \cdot pM}} \quad [\mathrm{m}]. \qquad (2.36')$$

Pentru un puț în strat freatic (fig. 2.29, *a*) problema este similară, cu observația că din cilindrul cu raza D_1 și înălțimea H trebuie scăzut volu-

mul conului de depresiune, fără apă în cazul funcționării curente (pentru siguranță se consideră volumul $0{,}5\pi D_1^2 s_{max}$). Rezultă deci:

$$D_1 = \sqrt{\frac{q_{max} T}{\pi p (H - s/2)}} \quad [\mathrm{m}], \tag{2.37}$$

în care: q_{max} este debitul de exploatare al puțului sau debitul maxim al puțului, în m^3/s;

T — durata de parcurgere a drumului de către apă ($T = 20$ zile pentru zona de regim sever și 50 zile pentru zona de observație), în s;

p — porozitatea stratului acvifer (pentru zone carstice, calculele sînt orientative, măsurătorile pe teren cu trasori dau rezultate bune);

s — denivelarea corespunzătoare debitului de calcul;

H — grosimea stratului de apă cu nivel liber, în m.

Pentru un șir de puțuri, problema este mai complicată, dar se poate rezolva suficient de bine folosind diagramele din figura 2.29, *a* [40].

Cu distanța D_1 și cu a — distanța între două puțuri — se calculează raportul D_1/a. Cu raportul D_1/a se intră pe ordonata graficului din figura 2.29, *a* și se determină, la intersecția cu curba ce indică numărul de puțuri, rapoartele D_{am}/a, D_{av}/a, D_{lat}/a.

Cu valorile găsite se determină distanțele D_{am} (distanța amonte), D_{av} (distanța aval) și D_{lat} (distanța laterală), distanțe care materializează un dreptunghi ce împrejmuiește captarea. Dacă aceste valori obținute sînt mari, iar terenul pe care este amplasată captarea este cu productivitate mare, nu se poate scoate din circuit toată suprafața, ci se reduce aceasta la un minimum de 20 m aval și 50 m amonte și lateral. În acest caz însă, nu mai pot fi garantate caracteristici bacteriologice favorabile pentru apa captată; trebuie neapărat prevăzută cel puțin clorizarea apei, pentru a se asigura dezinfectarea artificială.

În cazul puțurilor de adîncime, dacă grosimea stratului de roci de deasupra stratului de apă este mare (40 ÷ 50 m), atunci nu este necesară prevederea unui perimetru de regim sever decît din motive constructive și acesta are dimensiuni minime de 10 ÷ 20 m.

În cazul drenurilor, problema se rezolvă diferit, după cum drenul este *de coastă* sau *în bazin*.

La drenul de coastă, distanța amonte se ia egală cu lungimea drumului parcurs de apă în 20 de zile:

$$D = v_r T = \frac{ki}{p} T \tag{2.38}$$

sau se reduce la 50 m amonte și 20 m aval, dacă rezultă mai mare, asigurîndu-se totodată dezinfectarea artificială (v_r este viteza reală de curgere a apei).

La drenul în bazin, problema este mai complicată și se rezolvă prin încercări conform cu graficul din figura 2.29, *b*. Relația de calcul este:

$$D = \frac{H}{i}\left[\frac{h_0}{H} - \frac{h_1}{H} + \ln\frac{H - h_0}{h - h_1}\right], \tag{2.39}$$

în care: $h_1 = \eta_1 H$, coeficientul η_1 fiind calculat cu ajutorul graficului din figura 2.29, *b* în funcție de η_0; h_0 — înălțimea stratului de apă în dreptul drenului; H — grosimea stratului de apă.

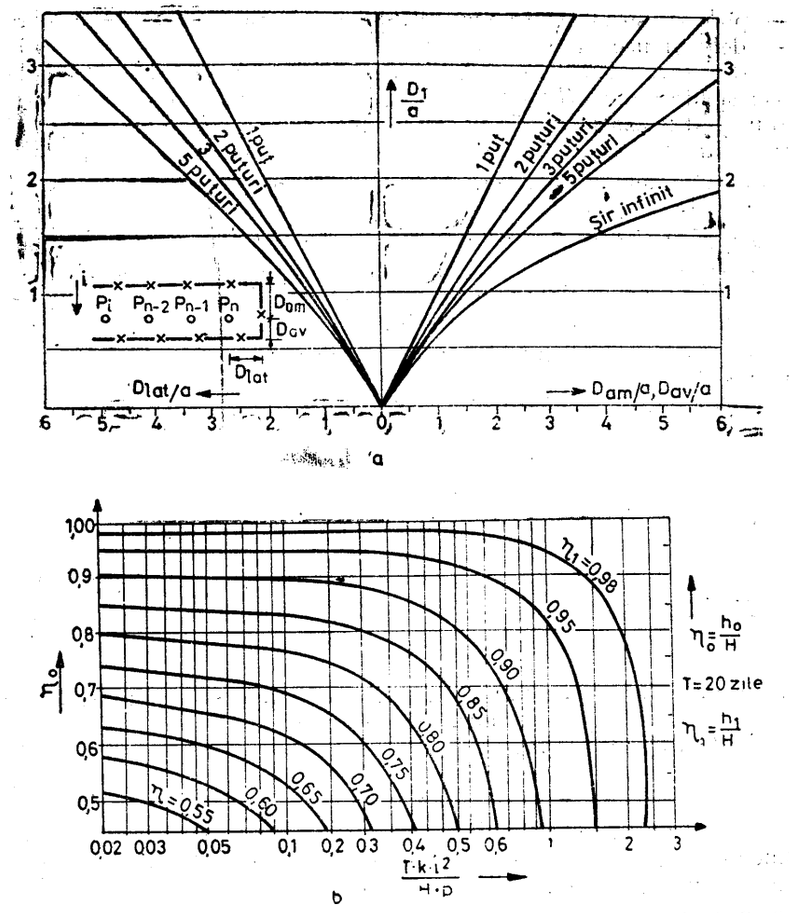


Fig. 2.29. Grafice pentru calculul simplificat al distanței de protecție sanitară:
a — pentru puțuri; *b* — pentru dren.

La captări importante sau captări în bazine de formă complicată, se recomandă studierea cu modele matematice, analogice, a formei și mărimii perimetrului de regim sever.

2.10. DIMENSIONAREA TEHNOLOGICĂ A CAPTĂRILOR DE APĂ SUBTERANĂ

2.10.1. DIMENSIONAREA CAPTĂRII CU PUȚURI

Pentru dimensionarea captării, proiectantul trebuie să aibă la dispoziție următoarele elemente (determinate de instituții de specialitate sau precizate de beneficiar):

— plan de situație al regiunii, care să cuprindă bazinul posibilei captări (scara 1 : 5000 ... 1 : 25.000);

— plan de situație în zona de captare (scara 1 : 500 ... 1 : 2000);
— debitul necesar a fi asigurat, Q_I;
— rezultatul măsurătorilor pe teren făcute în cadrul studiului hidrogeologic și hidraulic: H; k; i; q_{max}; s_{max}; q_{strat}; direcția de curgere a apei din strat; poziția nivelului apei sub nivelul terenului; curbele granulometrice caracteristice; calitatea apei din strat; debitul asigurat de strat etc.

Cu aceste elemente, trebuie să fie dimensionată și poziționată în plan captarea.

Înainte de definitivarea proiectului, este întru totul recomandabil ca proiectantul să vadă la fața locului *amplasamentul captării*, pentru a putea ține seama în proiect de unele detalii care pot scăpa planului de situație sau ridicărilor topografice mai vechi.

Elementele care trebuie să fie determinate pentru a avea concretizată captarea sînt:

— *Lungimea frontului captării L*, care se poate calcula cu relația:

$$L = \frac{Q_I}{q_{strat}} = \frac{Q_I}{Hki} \quad [\text{m}]. \tag{2.40}$$

Se va considera captarea extinsă pe tot acest front, deși debitul captat poate fi ceva mai mare, întrucît la capete (din cauza denivelării produse de captare) este atras un debit suplimentar din zonele vecine;

— *Numărul de puțuri:*

$$n = 1,2\,(Q_I/q_{max}), \tag{2.41}$$

care se rotunjește la un număr întreg, superior. Coeficientul 1,2 este un coeficient de siguranță, conform STAS 1629;

— *Distanța între puțuri:*

$$a = L/n, \tag{2.42}$$

care trebuie limitată inferior la 50 m, pentru puțuri în strate freatice sau cu adîncime redusă și la 150—200 m, pentru strate de adîncime (pentru a reduce la valori rezonabile influența între puțuri).

La distanțe prea mici, pîlniile de denivelare provocate între puțuri se interferează la valori importante, ducînd în final la o scădere locală a nivelului apei pe toată linia puțurilor și la reducerea debitului captat; pentru asigurarea debitului, trebuie să fie executate un număr suplimentar de puțuri (se poate face un calcul teoretic al influenței între puțuri, după metode indicate de literatură). Dacă se păstrează distanțele minime indicate, din experiență, se constată că influența este mică (sub 5%).

Dacă din calcul, distanța a rezultă sub 50 m, se mărește la distanța minimă, $a = 50$ m și se recalculează lungimea frontului de captare:

$$L = 50\,n \quad [\text{m}]. \tag{2.40'}$$

— *Sistemul de colectare a apei din puțuri.* Pentru puțuri în strat freatic, se începe întotdeauna cu sistemul de sifonare sau cu cap autoamorsant; se leagă puțurile, în grupe de 4—6, la colectorul general, așezînd convenabil puțul colector. Dimensionarea conductelor se face la viteza de 0,4 ÷ 0,8 m/s pentru sifonul clasic și pentru o viteză corespunzătoare pantei terenului I (egală cu panta colectorului cu cap autoamorsant) la un grad de umplere de maxim 0,8. Dacă sifonul poate funcționa (se asigură un vacuum maxim

de 6 ÷ 7 m), se adoptă sistemul; în caz contrar, se recurge la sistemul cu pompe individuale în puț.

În ultimul caz, se alege o *pompă al cărui debit* la randament normal (optim) este apropiat (egal sau mai mic) cu debitul puțului și care are o înălțime de pompare adecvată. Se recalculează numărul de puțuri pentru noul debit unitar al puțurilor (pompelor) și denivelarea în puțuri și apoi se dimensionează conducta colectoare. Racordarea puțurilor la conductă se face uniform, iar viteza normală de circulație a apei se adoptă de 0,8 ÷ ÷ 1,0 m/s, dar se ține seama ca în final să nu se depășească înălțimea de pompare maximă acoperită de pompe, neexistînd alte pompe la dispoziția proiectantului sau beneficiarului (sau nu se pot procura în timp util). Dimensionarea se poate face sistematizat, în tabele de forma celor date în aplicația 4.

— *Distanța de protecție sanitară — respectiv mărimea perimetrului de regim sever.* Se calculează distanța D_1 și raportul D_1/a, iar din graficul din figura 2.29 se determină D_{am}, D_{av}, D_{lat}, cu reducerea la dimensiunile minime indicate (50 m amonte, 20 m aval).

— *Alegerea coloanei de filtru.* Problema coloanei de filtru este una din cele mai importante probleme ale puțului, întrucît de eficiența acesteia depinde viața puțului.

De regulă, puțurile au o singură coloană — coloană într-un singur strat cu lungimea egală cu grosimea stratului purtător de apă. Sînt rare cazurile în care stratul de apă, foarte gros, este captat printr-o coloană mai scurtă (puț imperfect). În acest caz însă, trebuie recalculat debitul puțului, debit care este mai redus decît debitul puțului perfect. Astfel, de exemplu, dacă într-un strat sub presiune de grosime M coloana de filtru, aflată lîngă tavanul stratului, are lungimea l, atunci debitul captat de puț (celelalte elemente fiind identice cu cele ale puțului perfect $l = M$) este [6]:

$$Q_l = Q\sqrt{\frac{2M - l}{M}} \cdot \sqrt{\frac{l}{M}} \quad [\text{m}^3/\text{s}]. \tag{2.43}$$

Sînt însă și cazuri în care stratul acvifer este format dintr-o succesiune de strate permeabile separate de lentile impermeabile. În acest caz, coloana este multiplă (dintr-o bucată sau mai multe bucăți etanșate). Prin această schemă de coloană, se poate rezolva și problema evitării captării fîșiilor de strat cu granulație fină, fîșii intercalate între stratele bune, precum și problema asigurării unui spațiu de coloană plină în dreptul căreia se amplasează elementul de captare a apei (sorbul conductei de sifonare sau pompa submersibilă).

Dacă problema lungimii coloanei se rezolvă relativ ușor, nu același lucru se întîmplă cu alegerea tipului de coloană de filtru. Primul aspect este legat de tipul de material pentru coloană, ușor de prelucrat mecanic și avantajos hidraulic. Se ține seama că materialul trebuie protejat contra coroziunii deci, ori se alege un material anticoroziv (oțel inox — tablă sau sîrmă, masă plastică etc.) și execuția se poate face în scopul obținerii unei anumite mărimi de fantă (orificiu) sau se alege oțelul — mai ieftini dar care trebuie protejat, iar materialul de protecție reduce din mărimea orificiilor (funcție de materialul de protecție — galvanizare, vopsire, citomare, acoperire cu rășini epoxi, emailare etc.), mergînd pînă la obturarea

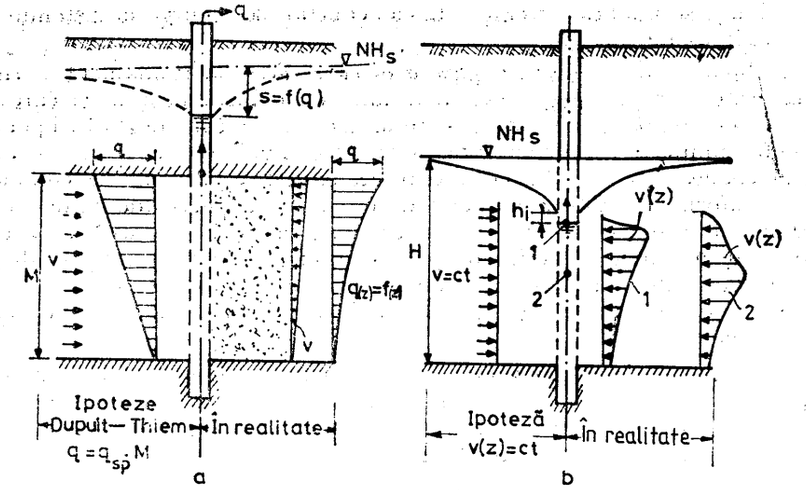


Fig. 2.30. Curgerea apei în apropierea puțului — distribuția vitezei în lungul coloanei: *a* — puț în strat sub presiune, elementul de captare în afara coloanei perforate; *b* — puț în strat freatic cu elementul de captare în zona coloanei de filtru: *1* — cazul evacuării perfecte la partea de sus a coloanei; *2* — cazul evacuării uzuale.

acestora dacă sînt prea mici. Se poate alege o coloană tip *punte* executată din oțel inox sau oțel protejat. La orificii cu deschiderea de 3—4 mm, este necesară executarea unei coroane de pietriș (forajul va avea diametrul mai mare).

Aspectul cel mai complicat al problemei este legat însă de mărimea suprafeței libere de trecere a apei sau procentului de goluri (η), calculat ca raportul între suprafața activă și suprafața laterală totală a coloanei. O suprafață activă mare este favorabilă hidraulic, dar defavorabilă în ceea ce privește rezistența mecanică a coloanei și a protecției contra intrării nisipului; pentru procentul minim de goluri care să favorizeze curgerea în coloană, au fost făcute numeroase studii [25].

Analizînd fenomenul curgerii apei lîngă coloana puțului (fig. 2.30), se constată că există o legătură între modul de intrare al apei în puț și curgerea apei în puț. Deci, sînt legate între ele: diametrul puțului, lungimea coloanei, procentul de goluri. Se constată că ipotezele acceptate pentru dimensionarea puțului, de fapt nu sînt valabile — viteza apei în strat, în apropierea puțului, nu este constantă și nu este orizontală ca direcție.

Pentru o coloană cu lungimea egală cu grosimea stratului M (puț perfect) analiza teoretică și încercările pe model [25] au arătat că, pentru a avea o colectare relativ uniformă a apei pe întreaga coloană, este necesar ca:

$$M \cdot N \cong 0{,}5 \ldots 1{,}0, \tag{2.44}$$

iar pentru a avea o rezistență hidraulică redusă:

$$NM < 1, \tag{2.45}$$

cu

$$N = \frac{4\mu \cdot \eta}{D}, \tag{2.46}$$

în care: μ este coeficientul de debit la curgerea prin orificiile coloanei (cu nisip sau pietriș mărgăritar); η — procentul de goluri; D — diametrul coloanei de filtru.

De asemenea, s-a constatat că: (1) la coloana cu lungimi pînă la 5—6 m se poate accepta o colectare uniformă a apei pe toată lungimea; (2) la un procent de goluri de peste 10%, rezistența hidraulică a filtrului curat este foarte redusă (de ordinul centimetrilor).

Încercările la solicitări mecanice din împingerea pămîntului au arătat că o coloană metalică bine roluită poate avea grosime de 3—4 mm, la o adîncime de amplasare pînă la 40—50 m. Neuniformitățile geometrice sau împingerea neuniformă a pămîntului pot avea unele efecte defavorabile (coloana se păpușează), de aici rezultînd rolul important pe care îl poate avea coroana de pietriș introdusă uniform între coloana de filtru și gaura de foraj.

2.10.2. DIMENSIONAREA CAPTĂRILOR CU DREN

Pentru dimensionarea captării, se determină următoarele elemente:

— *Lungimea frontului de captare* — se calculează identic ca la puțuri:

- dacă este un dren de coastă

$$L = \frac{Q_I}{Hki} \tag{2.47}$$

- dacă drenul este în bazin ($i < 0{,}01$)

$$L = \frac{Q_I}{2Hki}. \tag{2.47'}$$

Lungimea drenului se consideră egală cu lungimea frontului de captare. În felul acesta, există o rezervă de debit, un debit suplimentar captat, ca urmare a fluxului lateral de apă provocat de denivelare la capetele drenului.

— *Panta longitudinală a drenului* se adoptă funcție de configurația terenului și de mărimea drenului; la drenuri mai mici se poate adopta o pantă mai mare, iar la drenurile lungi o pantă mai mică. În orice caz, viteza apei în dren nu trebuie să fie mai mică de 0,7 m/s și mai mare de 3 m/s. Panta longitudinală nu va fi mai mică de $I = 0{,}001$, din motive constructive. Funcția de pantă, debit și teren se adoptă și forma drenului — cu o ramură sau cu două ramuri.

— *Secțiunea transversală a drenului* D_n se calculează după metodologia de dimensionare a conductelor cu grad de umplere. Se pleacă de la capătul extrem liber al drenului, unde $q = 0$. Se cunoaște I, se adoptă gradul de umplere maxim, $h/D = 0{,}5$, și diametrul minim al tubului de 25 cm. Se calculează debitul maxim transportat de această secțiune și lungimea acoperită de acest diametru. Se presupune că drenul colectează apa din strat cu debit uniform pe toată lungimea, deși în realitate, la capete, diferențele sînt mari. Se trece succesiv la diametrele 30,

40, 50 cm și se determină lungimile corespunzătoare, până când debitul asigurat de ultima secțiune este egal sau mai mare decît debitul drenului în secțiunea de lîngă puțul colector.

— *Distanța de protecție sanitară* se determină cu relația:

$$D_{am} = \frac{Tki}{p},$$

pentru drenuri de coastă și cu ajutorul graficului din figura 2.29, pentru drenuri în bazin.

Se calculează raportul h_0/H și $\frac{Tki^2}{Hp}$ și din grafic rezultă $\eta_1 = h_1/H$. Din relația (2.39) se deduce D_{am}.

Dacă terenul este limitat, valorile D_{am}, D_{av}, D_{lat} pot fi reduse, dar nu mai mult de 20 m. În acest caz, pentru captările de apă potabilă apa se clorizează.

Aplicația 4

Pentru beneficiarul precizat în aplicația 1, să se dimensioneze captarea cu puțuri, în zona în care au fost făcute măsurătorile date în aplicațiile 2 și 3.

Se cunosc datele: debitul necesar $Q_1 = 13651$ m³/zi $= 158{,}0$ dm³/s; $H = 10$ m; $k = 90$ m/zi; $i = 0{,}005$; $q_{max} = 5{,}8$ dm³/s; $s_{max} = 3{,}5$ m (v. aplicația 3); $q_{strat} = Hki =$ 4,5 m³/zi m; $p = 0{,}30$.

Dimensiunile captării vor fi:

$L = Q_1/q_{strat} = 13651/4{,}5 = 3033$ m;

$n = 1{,}2(Q_1/q_{max}) = 1{,}2(158/5{,}8) = 32{,}7$ (rotund 33 de puțuri);

$a = L/n = 3033/33 = 91{,}9$ m ($a > 50$ m, deci rotund $a = 90$ m);

$$D_1 = \sqrt{\frac{q_{max}\,T}{\pi p(H - s/2)}} = \sqrt{\frac{5{,}8 \cdot 86{,}4 \cdot 20}{3{,}14 \cdot 0{,}3(10 - 3{,}5/2)}} = 36 \text{ m};$$

$D_1/a = 36/90 = 0{,}4$.

Din figura 2.29 rezultă:

$D_{am}/a = D_{av}/a = 0{,}5$ m; $D_{lat}/a = 0{,}5$ m; deci $D_{am} = D_{av} = D_{lat} = 45$ m.

Varianta A. Se adoptă schema de așezare a puțurilor cu puțul colector la mijlocul captării și sifonare clasică (v. fig. 2.31, *a*). Se poate dimensiona o jumătate din captare pentru conductele de legătură și afla cota apei în puțul colector (tab. 2.4 și fig. 2.31). Pentru calcul, se consideră situația cea mai dezavantajoasă cînd toate cele 20% puțuri suplimentare sînt în reparație și se află pe o singură parte a puțului colector.

Tabelul 2.4

Sifonare cu puț colector (20% puțuri avariate)

Tronson	l [m]	Q [dm³/s]	D_n [mm]	v [m/s]	i	$h_r = i \cdot l$ [m]
$P_1 - P_2$	90	5,8	150	0,34	0,0013	0,12
$P_2 - P_3$	90	11,6	150	0,64	0,0047	0,42
$P_3 - P_4$	90	17,4	200	0,55	0,0024	0,22
$P_4 - P_5$	90	23,2	200	0,73	0,0043	0,39
$P_5 - P_6$	90	29,0	250	0,60	0,0022	0,20
$P_6 - P_7$	90	34,8	250	0,70	0,0030	0,27
$P_7 - P_8$	90	40,6	300	0,58	0,0015	0,13
$P_8 - PC$	90·9	46,4	300	0,65	0,0020	1,62

$\sum h_r = 3{,}37$ m

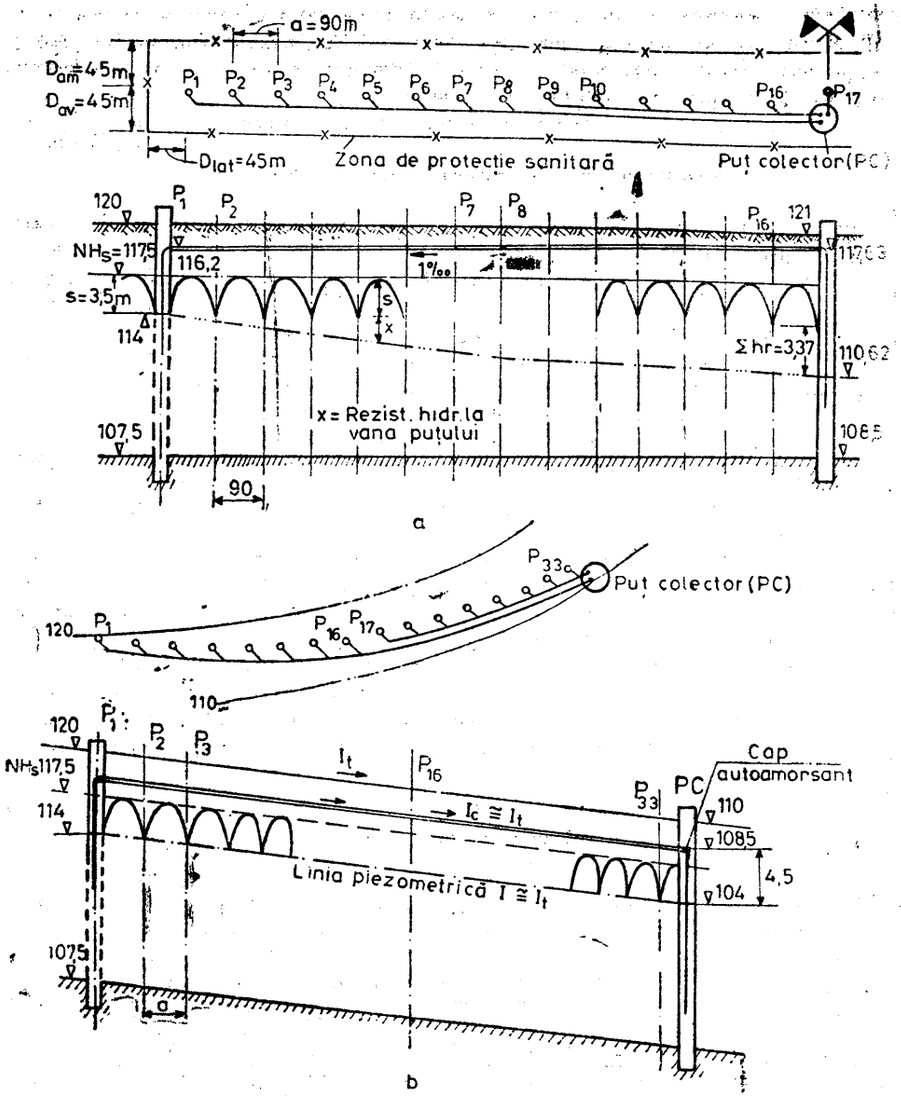


Fig. 2.31. Schițe pentru calculul sistemelor de colectare a apei din puțuri (aplicația 4): *a* — colectarea cu sifon și puț colector (plan și secțiune); *b* — colectare cu sifon și cap autoamorsat (plan și asecțiune).

Calculele au fost făcute pentru conducta metalică, pentru a putea fi bine etanșată. Vacuumul fiind de maximum 7, rezultă cotele din figura 2.31.

Observație: Captarea realizează, la acești parametri, debitul total de 33 · 5,8 = 192 dm³/s (în loc de 158 dm³/s), întrucît au fost luate cu 20% mai multe puțuri; pentru debitul de 158 dm³/s, se realizează normal un debit de 4,78 dm³/s puț; în consecință, linia piezometrică va fi mai ridicată decît cea desenată în figura 2.31, *a* și aceasta se poate recalcula

considerînd diametrele din tabelul 2.4; această linie piezometrică, deci cota cea mai de jos în puțul colector, se realizează atunci cînd toate cele 20% puțuri în plus sînt în revizie și sînt în ramura cealaltă față de puțul colector; diferența de cotă piezometrică se calculează în tabelul 2.5, iar denivelarea devine $s = 2{,}5$ m.

Tabelul 2.5

Sifonare cu puț colector (toate puțurile în funcțiune)

Tronson	l [m]	Q [dm³/s]	D_n [mm]	v [m/s]	i	$h_r = i \cdot l$ [m]
$P_1 - P_2$	90	4,64	150	0,28	0,00082	0,08
$P_2 - P_3$	90	9,28	150	0,53	0,0033	0,30
$P_3 - P_4$	90	13,92	200	0,45	0,0016	0,15
$P_4 - P_5$	90	18,56	200	0,69	0,0027	0,24
$P_5 - P_6$	90	23,20	250	0,46	0,0013	0,12
$P_6 - P_7$	90	27,84	250	0,68	0,0020	0,18
$P_7 - P_8$	90	32,48	300	0,46	0,0009	0,08
$P_8 - PC$	810	37,18	300	0,53	0,0012	0,972

$\sum h_r = 2{,}12$ m

Cota piezometrică în puțul colector va fi cu 2,25 m mai sus (3,50 − 2,50 + 3,37 − 2,12= = 2,25), în regim normal de funcționare uniformă cu toate puțurile.

Varianta B. Dacă se încearcă realizarea colectării apei prin sifonare folosind sistemul de cap autoamorsant, atunci schema de legare a puțurilor este cea din figura 2.31, *b* (cu două colectoare pentru siguranță), iar calculele sînt date în tabelul 2.6. Se observă că, în puțul colector, nivelul apei este mai sus (față de cota terenului), dar în valoare absolută nivelul este mai jos (109 față de 112,16 în varianta precedentă). Se poate hotărî, în funcție de investiție și de cheltuielile de exploatare, soluția optimă. Și aici este necesară observația de reducere a debitului.

Tabelul 2.6

Sifonare cu cap autoamorsant

Tronson	l [m]	Q [dm³/s]	i	D_n [mm]	Q_{pl} [dm³/s]	v_{pl} [m/s]	$\frac{Q}{Q_{pl}}$	$\frac{v}{v_{pl}}$	$\frac{h}{D_n}$	v [m/s]
$P_1 - P_2$	90	5,8	0,0035	150	9,5	0,55	0,61	1,05	0,56	0,58
$P_2 - P_3$	90	11,6	0,0035	200	21,0	0,66	0,55	1,05	0,54	0,69
$P_3 - P_4$	90	17,4	0,0035	200	21,0	0,66	0,83	1,12	0,70	0,74
$P_4 - P_5$	90	23,2	0,0035	250	38,0	0,77	0,61	1,05	0,56	0,81
$P_5 - P_6$	90	29,0	0,0035	250	38,0	0,77	0,76	1,10	0,65	0,97
$P_6 - P_7$	90	34,8	0,0035	300	61,0	0,88	0,57	1,05	0,54	0,85
$P_7 - P_8$	90	40,6	0,0035	300	61,0	0,88	0,67	1,08	0,60	0,95
$P_8 - P_{16}$	720	46,4	0,0035	300	61,0	0,88	0,76	1,10	0,65	0,97
$P_{16} - PC$	17·90=1530	92,8	0,0035	400	140,0	1,05	0,66	1,08	0,60	1,13

Dimensiunile puțului colector. În cazul sifonării cu puț colector, în puț vor pătrunde următoarele conducte (v. fig. 2.31 și 2.32): conductele de legătură la puțuri; conducte de aspirație pentru pompe.

Se amplasează conductele, în cazul de față simetric, și se asigură dimensiunile minime constructive:

— 20 cm între conductă și perete sau flanșe și perete;

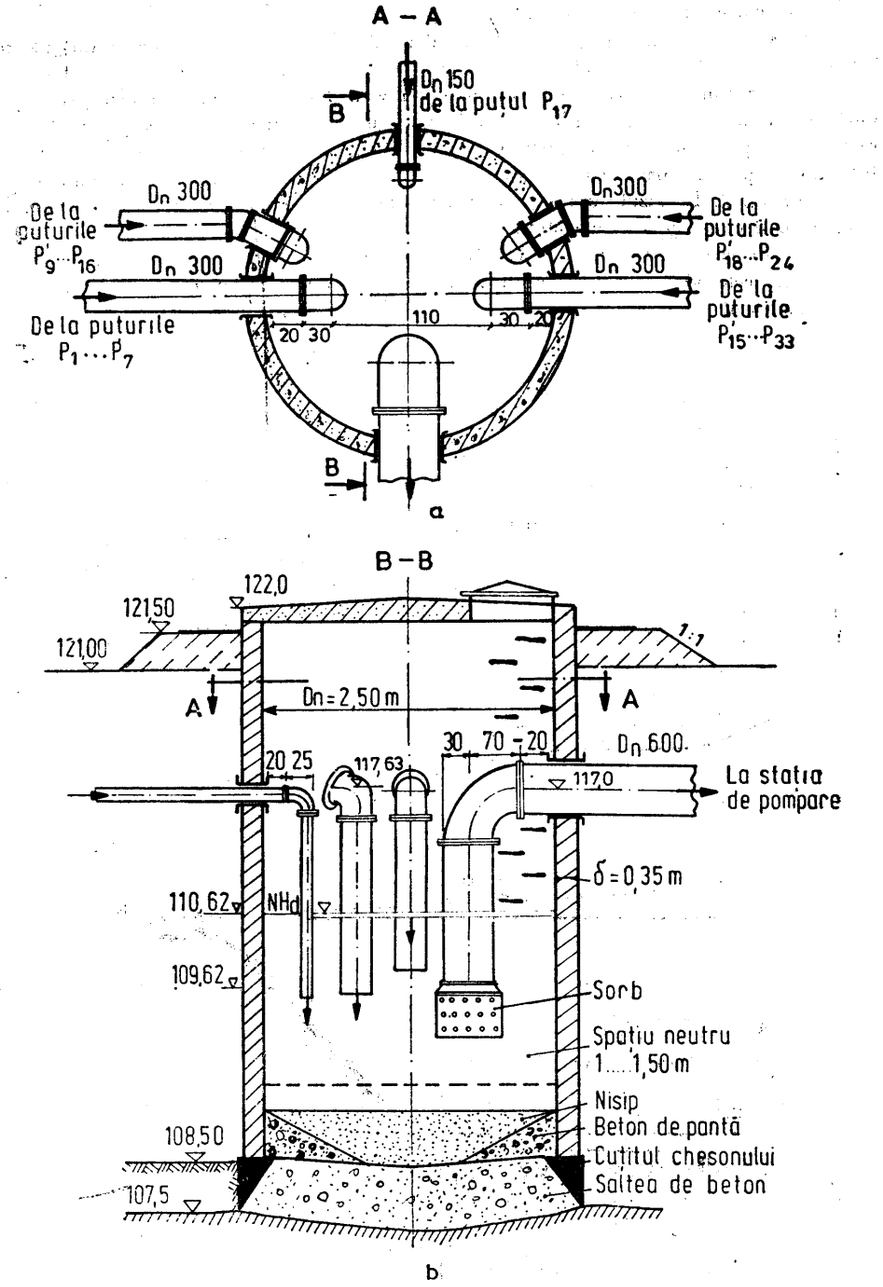


Fig. 2.32. Dimensiuni pentru puțul colector (aplicația 4): *a* — secțiune orizontală *A*—*A*; *b* — secțiune verticală *B*—*B*.

— 60 cm între conducte;

— 80 cm pentru acces personal.

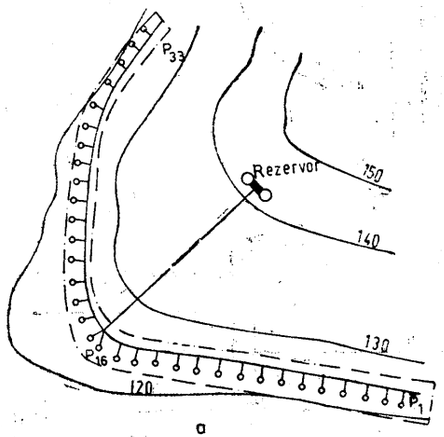
Din compararea dimensiunilor pe cele două direcții D_1, D_2, se stabilește dimensiunea interioară $D = 2{,}50$ m. Se poate aprecia și grosimea peretelui $\delta = 35$ cm (v. fig. 2.32).

Într-o secțiune verticală, se poate stabili nivelul hidrodinamic, poziția debușării conductelor (minim 1 m sub nivelul apei) și se asigură un spațiu neutru de circa 1 ÷ 1,5 m sub care se află spațiul de nisip. Se poate determina și cota saltelei de beton, precum și poziția betonului de pantă ce permite amenajarea necesară pentru evacuarea ușoară a nisipului depus.

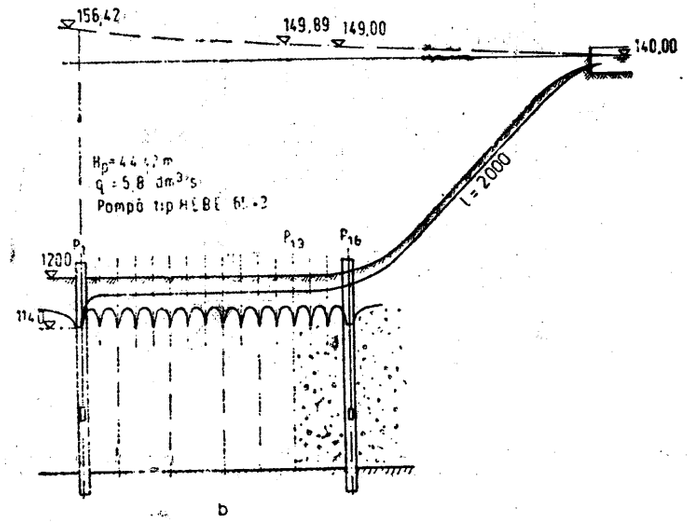
Varianta C. În cazul cînd s-ar preconiza echiparea puțurilor cu pompe submersibile calculul ar decurge în felul următor:

— toate cele 33 de puțuri se leagă la o singură conductă colectoare (fig. 2.33);

— din cele 33 de puțuri, vor funcționa numai puțurile strict necesare (33/1,2) adică 27 (randamentul pompelor fiind mic, nu este rațional să funcționeze toate în același timp);



a



b

Fig. 2.33. Echiparea puțurilor cu pompe submersibile (aplicația 4): *a* — plan; *b* — secțiune longitudinală prin conductă.

— pentru dimensionare, situația cea mai dificilă este aceea în care primele 27 puțuri sînt în funcțiune;

— dimensionarea este dată în tabelul 2.7, iar linia piezometrică, în varianta în care refularea apei se face direct în rezervor, dată în figura 2.33 (pentru exemplificare se adoptă lungimea conductei de aducțiune $l_a = 2000$ m, iar cota rezervorului 140).

Tabelul 2.7

Dimensionarea sistemului de colectare cu pompe individuale

Tronson	l [m]	Q [dm³/s]	D_n [mm]	v [m/s]	i	$h_p = i \cdot l$ [m]	Cota piezometrică
$P_1 - P_2$	90	5,8	100	0,75	0,012	1,08	156,42
$P_2 - P_3$	90	11,6	150	0,65	0,005	0,45	155,34
$P_3 - P_4$	90	17,4	150	1,00	0,012	1,08	154,89
$P_4 - P_5$	90	23,2	200	0,73	0,0042	0,38	153,81
$P_5 - P_6$	90	29,0	200	0,92	0,0066	0,60	153,43
$P_6 - P_7$	90	34,8	200	1,00	0,0095	0,86	152,83
$P_7 - P_8$	90	40,6	250	0,85	0,0042	0,38	151,97
$P_8 - P_9$	90	46,4	250	0,95	0,0052	0,47	151,59
$P_9 - P_{10}$	90	52,2	250	1,08	0,0068	0,61	151,12
$P_{10} - P_{11}$	90	58,0	300	0,84	0,0032	0,29	150,51
$P_{11} - P_{12}$	90	63,8	300	0,90	0,0037	0,33	150,22
$P_{12} - P_{13}$	90	69,6	300	0,90	0,0045	0,41	149,89
$P_{13} - P_{14}$	90	75,4	300	1,05	0,0050	0,45	149,48
$P_{14} - P_{15}$	90	81,2	350	0,85	0,0026	0,23	149,03
$P_{15} - P_{16}$	90	87,0	350	0,88	0,0028	0,25	148,8
$P_{16} - R$	2000	158,8	400	1,20	0,0450	9,00	148,55 139,55

Pentru înălțimea de pompare $H = 156{,}42 - 114 = 42{,}42$ și debitul puțului $Q = 5{,}8$ dm³/s rezultă (din catalogul de pompe) pompe tip HEBE 65×3, cu puterea, de 7,5 kW.

2.11. PUNEREA ÎN FUNCȚIUNE ȘI EXPLOATAREA CAPTĂRILOR DE APĂ SUBTERANĂ

O captare de apă subterană bine proiectată (la parametrii reali ai stratului), bine executată și exploatată are o durată de viață foarte lungă. O captare gîndită neadecvat sau executată în condiții necorespunzătoare, poate fi compromisă total sau parțial chiar de la început (se poate da ca exemplu captarea Bragadiru-București — cu puțuri săpate, executate în condiții foarte bune, sub conducerea inginerului Elie Radu — captare care funcționează și astăzi la cca. 90 ani de la punerea în funcțiune; în schimb, la o parte a captării pentru o întreprindere din apropierea municipiului București — cu puțuri forate de 100 ÷ 150 m adîncime, care a fost prevăzută cu coloană de filtru din burlane de foraj șlițuit, cu orificii cu lățime de minim 5 mm, protejate cu plasă de sîrmă galvanizată — s-a declanșat un proces de electrocoroziune, ce a făcut ca, în mai puțin de doi ani, plasa să fie complet obturată — ochiuri rețea sub 1 mm și puțurile să fie scoase din funcțiune).

Prima operațiune, înainte de darea în exploatare, este *deznisiparea puțurilor*. Este necesară, întrucît între începerea execuției și finalizarea lucrărilor trece o perioadă mare de timp și în puț se poate strînge nisip (din strat sau rămas de la execuție). Operațiunea de deznisipare

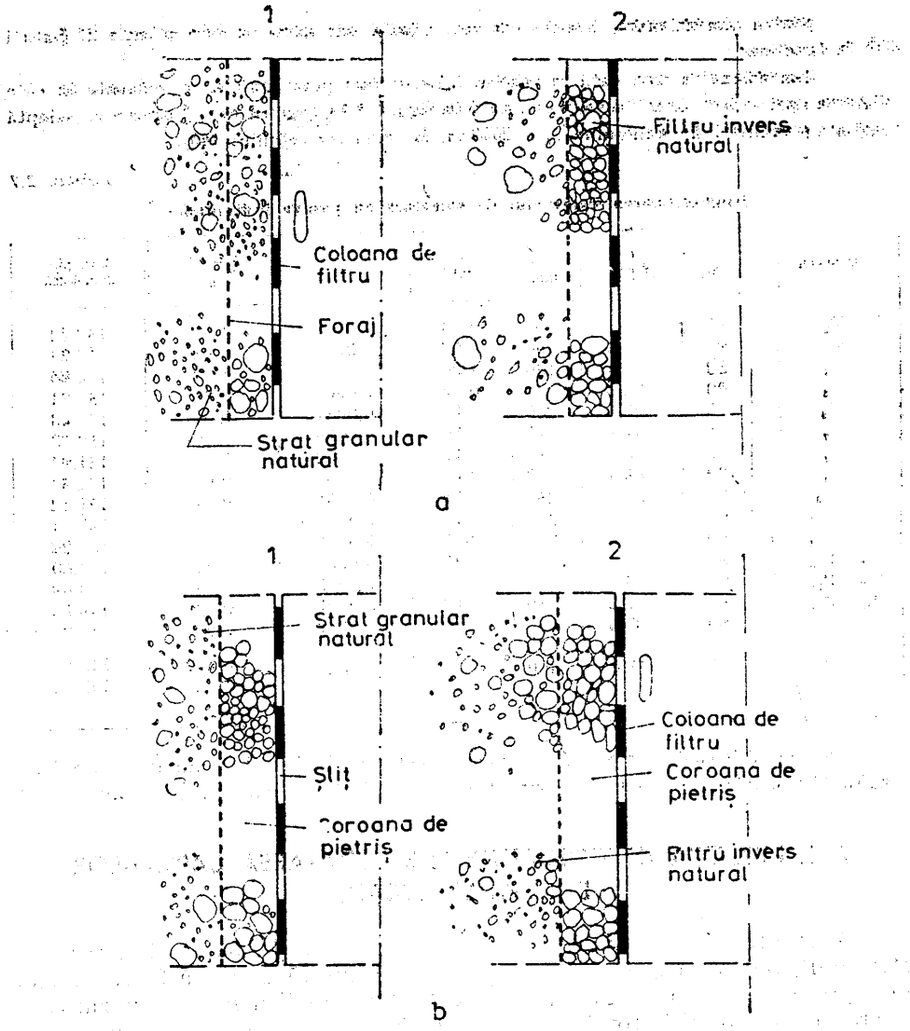


Fig. 2.34. Efectul deznisipării puțului: *a* — puț fără coroană de pietriș; *1* — înainte de deznisipare; *2* — după deznisipare; *b* — puț realizat cu coroană de pietriș: *1* — înainte de deznisipare; *2* — după deznisipare.

se repetă periodic, pentru a realiza eliminarea nisipului fin de lîngă puț, nisip transportat de apă. După definitivarea puțului, este rațional să se facă o deznisipare și pentru a stabili parametrii reali de funcționare ai acestuia. În cazul în care se constată neconcordanțe mari, pot fi luate măsuri de remediere, toate utilajele de execuție fiind încă pe amplasament.

Dacă după montarea coloanei s-a făcut o deznisipare, atunci deznisiparea făcută înainte de punerea în funcțiune este mai simplă, cantitatea de nisip care trebuie extrasă fiind în general mai mică.

Prin deznisipare, se realizează de fapt un filtru invers natural în imediata vecinătate a coloanei de filtru. Acest filtru invers favorizează funcționarea puțului, prin protejare contra antrenării nisipului (nisipul fin este eliminat din zona de viteză mare de curgere) și prin reducerea pierderii de sarcină lîngă puț (deci avantaje energetice întrucît apa se pompează). Schematic, efectul deznisipării este arătat în figura 2.34.

Deznisiparea puțurilor. Cu ocazia deznisipării, se mai realizează încă o operațiune importantă — se spală pereții puțului de noroiul de foraj care a pătruns eventual în stratul acvifer, în timpul executării forării.

Extragerea apei se face în general cu două tipuri de pompe:

- pompă clasică pentru apă, de preferat pompă centrifugă;
- pompă cu ejecție cu aer — pompă-mamut (fluidul motor este aerul comprimat).

Nu se recomandă folosirea pompelor cu piston, deoarece funcționarea cu șocuri a acestora poate conduce la *colmatarea mecanică*, compactarea nisipului lîngă peretele puțului în asemenea grad, încît se poate compromite puțul.

În cazul deznisipării, nu se recomandă folosirea pompelor submersibile deoarece acestea se pot deteriora rapid din cauza abraziunii nisipului captat. Este de preferat pompa cu aer comprimat numită și *pompă mamut* sau *aer-lift*; neavînd nici o piesă în mișcare în apă cu nisip, aceasta este foarte robustă. Schema pompei este dată în figura 2.35, *a*.

Printr-o conductă cu diametru mic se trimite aer comprimat, obținut, de obicei, de la un compresor mobil. Aerul este injectat într-o cameră de amestec, (fig. 2.35, *b*) unde, din cauza presiunii relativ mari și a înecării camerei, se produce o emulsie apă-aer, a cărei densitate este mult mai mică decît a apei. Din această cauză, pentru a se asigura aceeași presiune în coloana care conține emulsia, cu presiunea hidrostatică din exteriorul coloanei, (plină cu apă), coloana de emulsie trebuie să fie mult mai lungă. Lungimea este astfel aleasă încît capul de sus al coloanei să poată ajunge deasupra solului, într-un vas de măsură, jgheab de evacuare, unde aerul se degajă. Înălțimea coloanei de emulsie — deci înălțimea de pompare va fi:

$$\gamma_{ems}\, H_{ems} = \gamma_{apă}\, H_{apă}. \tag{2.48}$$

$$H_{ref} = H_{apă}(\gamma_{apă}/\gamma_{ems} - 1). \tag{2.49}$$

Mărind debitul de aer, se micșorează greutatea specifică a emulsiei (γ_{ems}) și se poate mări fie înălțimea de pompare, fie debitul de apă pompat. Între parametrii hidraulici ai instalației există o strînsă legătură; nu se poate pompa la orice înălțime, decît dacă se asigură o cantitate anumită de aer la o presiune minimă și dacă se cufundă suficient de mult camera (capul) de amestec. În tabelul următor sînt date cîteva dintre aceste valori [34].

Tabelul 2.8

Necesarul de aer la pomparea cu pompa mamut

Înălțimea geodezică H_{ref} [m]	$k = \frac{H}{H_{ref}}$	Coeficientul de folosire a presiunii	Adîncimea de cufundare $H_{apă}$ [m]	Volumul de aer [Nm³aer/m³ apă]
15	3,00	0,59	30	1,5...3,0
30	2,5	0,54	45	3,0...4,5
60	2,2	0,50	90	4,5...7,0
90	2,0	0,41	90	7,0
120	1,75	0,40	90	7,0

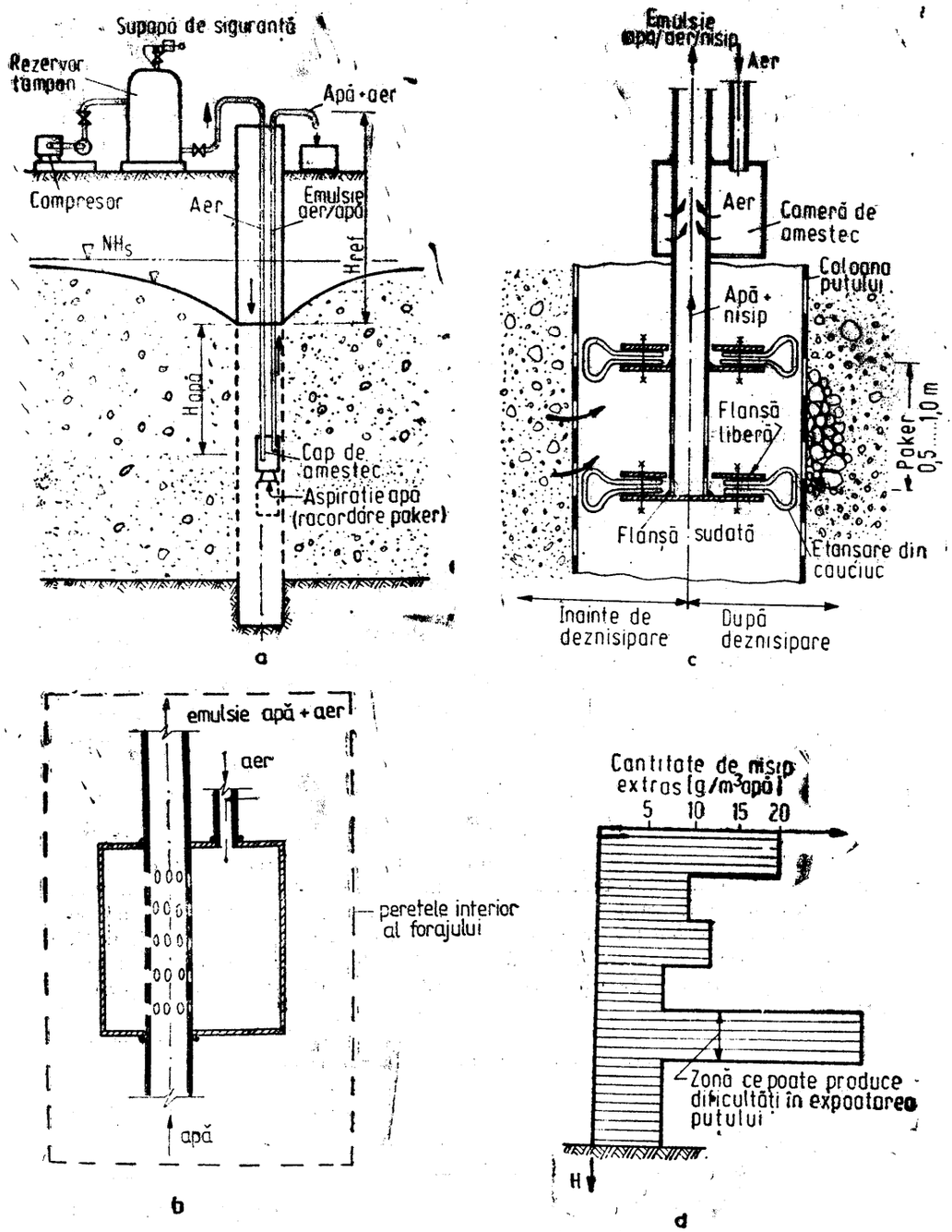


Fig. 2.35. Deznisiparea puțului: *a* — echiparea puțului cu pompă-mamut; *b* — detaliu de cameră de amestec; *c* — detaliu de paker; *d* — curba cantității de nisip scos din puț, în funcție de poziția pakerului.

Operațiunea de deznisipare se poate face în două moduri:

- deznisiparea cu poziție fixă a sorbului pompei — procedeu des folosit;
- deznisiparea cu poziție reglabilă a sorbului pompei; sorbul pompei este înlocuit cu un dispozitiv special numit paker; (procedeul este mai laborios, dar mult mai corect și mai eficient).

— *Deznisiparea în poziție fixă* pentru a fi corectă, trebuie astfel făcută încît poziția sorbului aer-liftului să coincidă aproximativ cu poziția elementului de captare a apei din puț, în timpul exploatării.

În acest fel, filtrul invers creat prin deznisipare va corespunde solicitării ulterioare a apei din strat (distribuție de viteze în vecinătatea puțului). În poziția respectivă, se începe pomparea cu debite în trepte (0,5 q; 1,0 q 1,5 q; 2,0 q) pe o durată de 10, 20, 60 ore, astfel încît, la sfîrșitul treptei de pompare, în apa pompată să nu rămînă decît o cantitate extrem de mică de nisip (practic, nisipul trebuie să lipsească). După executarea ultimei trepte, se revine la treapta 1,0 q și se verifică din nou calitatea apei pompate; practic apa nu trebuie să conțină nisip. Datele privind debitul pompat, denivelarea de lucru și durata de pompare se notează și se predau beneficiarului *în cartea construcției*. Curba $q = f(s)$, refăcută după fiecare deznisipare, va fi curba de referință a puțului.

Măsurarea debitului se face volumetric, folosind o cutie metalică cu volumul de 1,0 m³, numită și *habă*. Se fac de obicei cîte 2—3 măsurători succesive, pentru evitarea erorilor.

Cu acest procedeu se obține un filtru invers bun pentru o porțiune foarte limitată a elementului de captare și nu o deznisipare completă a puțului.

— *Deznisiparea cu pakerul* permite eliminarea nisipului de pe întreaga coloană a filtrului la valorile dorite, putînd cunoaște totodată suficient de exact, după cantitatea de nisip extras, comportarea stratului granular purtător de apă. *Pakerul* (fig. 2.35, *c*), este un tronson de țeavă găurită și limitată la capete cu cîte două flanșe, între care se prinde un manșon special de cauciuc pentru etanșare pe coloana filtrului. Lungimea dispozitivului este de 0,5 ÷ 1,0 m, după lungimea coloanei de filtru, grosimea stratelor permeabile și capacitatea utilajelor cu care se lucrează. Dispozitivul se racordează la pompă și se lasă pe coloana de filtru, etanșîndu-se într-o anumită poziție. Se începe de obicei de sus în jos, dar se poate proceda și invers. Se deznisipează complet această porțiune, măsurîndu-se și cantitatea de nisip extrasă, după care se trece la poziția imediat inferioară. Cu cantitățile de nisip extrase se trasează diagrama similară celei din fig. 2.35, *d*.

Dacă se constată că, la o anumită treaptă, apa pompată conține în permanență nisip, în aproximativ aceeași cantitate, la o durată mare de pompare, se oprește pomparea și se analizează cauza, întrucît poate fi vorba de o defecțiune de construcție (coloana spartă), sau este prezent un strat de nisip fin care se spală la viteze mici (v. zona specificată în fig. 2.35, *d*).

Pentru aprecierea situației, se fac probe repetate de determinare a curbei granulometrice a nisipului. Dacă se constată prezența numai a nisipului fin, este evident că, în pachetul de strate permeabile, există un strat de nisip fin care se afuiază. Se poate recurge la blocarea coloanei de filtru pe acea porțiune și se reface ulterior proba de deznisipare sau se poate reduce debitul pompat din puț, pînă la o limită care să nu pună în stare de mișcare nisipul din acest strat. În acest caz, puțul va funcționa cu debit redus. În nici un caz nu se va da în exploatare puțul cu nisip, întrucît afuierea stratului poate compromite total puțul, prin prăbușirea rocilor din strat în

golul lăsat de nisipul extras. Dacă în nisipul extras se constată o cantitate mare de granule cu dimensiuni mari, se poate trage concluzia că, la lansarea coloanelor sau la etanşarea coloanei de filtru, în coloana definitivă s-a produs o avarie sau coloana s-a rupt între timp (coroziune combinată). Dacă alte procedee nu dau nici un rezultat, se poate merge pînă la înlocuirea coloanei de filtru sau dublarea coloanei cu altă coloană în bună stare, dar de diametru mai mic.

După deznisiparea tuturor puţurilor, cu notarea debitelor reale de funcţionare şi a denivelărilor corespunzătoare (curbele de pompare de referinţă pentru fiecare puţ), se face legătura completă cu instalaţia hidraulică şi se pregăteşte pentru amorsare.

Punerea în funcţiune. Dacă toate lucrările aferente sistemului de alimentare cu apă sînt complete şi au fost verificate din punct de vedere al funcţionării normale, atît de executant cît şi de comisia de recepţie, se poate trece la *punerea în funcţiune*. Operaţiunea se execută de către personalul de exploatare, care cunoaşte lucrările încă din timpul execuţiei, cît şi din schemele de funcţionare ce îi stau la dispoziţie ; este, de asemenea, indicat ca proiectantul să fie de faţă.

Se porneşte instalaţia de vacuum pentru amorsarea sistemului de colectare. Se verifică nivelul apei în fiecare puţ şi se stabileşte, funcţie de curba reală de pompare a fiecăruia, denivelarea de lucru şi debitul. La dren, se deschide vana de legătură între dren şi puţul colector.

Se amorsează pompele treapta I şi se pun în funcţiune. Cînd au ajuns la turaţia de regim, se începe deschiderea vanei de pe conducta de refulare (dacă sînt mai multe pompe în staţia de pompare, acestea se pornesc pe rînd, în măsura în care debitul pompat creşte). Se urmăreşte denivelarea în puţuri, închizînd din vane, pînă cînd se ajunge la denivelarea stabilită la început. În tot acest timp, se verifică nivelul apei în puţul colector, pentru a nu se dezamorsa pompele. Se verifică debitul total pompat şi se compară cu valoarea preconizată. Eventualele mici neconcordanţe pot fi justificate de debitul mai mic al puţurilor datorită influenţei reciproce (în limita a 5%). Se determină nivelul apei şi în puţul colector, comparîndu-l cu cel de calcul. Se pot depista astfel eventuale blocări pe conducta colectoare.

În cazul drenului, după atingerea debitului de regim, se verifică nivelul apei în puţul colector şi în fiecare cămin, pentru a se putea verifica gradul de umplere în tub. De asemenea, se verifică, la regim, conţinutul de nisip în apă pentru a se putea determina dacă nu sînt eventuale deficienţe de execuţie — în această situaţie, deznisiparea nu se poate face decît în anumite cazuri.

O atenţie deosebită se va da la *pornirea pompelor* din puţurie echipate cu pompe submersibile. Pompele vor fi pornite *individual, cu vana de pe conducta de refulare închisă, deschiderea făcîndu-se progresiv, fără ca debitul pompat să depăşească debitul puţului.*

După intrarea în regim, se deschide vana progresiv, pînă la atingerea debitului puţului şi denivelării de calcul. Se fac eventuale corecturi după pornirea tuturor pompelor, astfel încît puţurile să funcţioneze la debitul normal.

Toate elementele caracteristice ale puţurilor sau drenului se notează într-un carnet, conform unei convenţii stabilite iniţial, precum şi pe o fişă întocmită special pentru fiecare puţ.

Exploatarea captării. Este operaţiunea cu cea mai mare durată, care are drept scop asigurarea tuturor măsurilor necesare pentru a obţine de la captare debitul preconizat, cu remedieri — deci cheltuieli, cît mai puţine. Pentru obţinerea acestui deziderat, trebuie avute în vedere cîteva măsuri, impuse de la început :

— personalul beneficiarului lucrării să nu se schimbe des (dacă se poate, să rămînă acelaşi care a urmărit lucrarea din timpul execuţiei) ;

— captarea să fie sub supravegherea unui tehnician capabil şi conştiincios ;

— personalul de exploatare să funcţioneze perioade cît mai îndelungate pe aceleaşi posturi (în special şeful captării) ;

— personalul de exploatare să cunoască în toate amănuntele componenţa lucrărilor, manevra şi reacţia la manevră a tuturor instalaţiilor ; în general, să nu se permită manevre în sectoare străine de cele normale de lucru şi, în acest caz, numai la dispoziţii scrise date de şeful ierarhic ;

— să se evite manevrările bruşte cu oscilaţii mari ale parametrilor de funcţionare ai captării, deoarece se pot produce perturbaţii care se atenuează greu şi uneori, cu consecinţe imprevizibile ;

— să se consemneze zilnic evenimentele principale şi parametrii de lucru ; în anumite situaţii, este preferabil ca aceste notaţii să la facă chiar şeful captării ;

— în incinta captării va fi interzis accesul persoanelor neautorizate ;

— toate dispoziţiile date vor fi consemnate în carnetul de exploatare al captării, notîndu-se totodată şi modul de realizare al lor ;

— verificarea zilnică a lucrărilor care se fac în perimetrul de restricţie şi semnalarea şi către organele sanitare a tuturor neregulilor constatate;

— toate operaţiunile, obligaţiile şi îndatoririle personalului vor fi conţinute în *regulamentul de exploatare*, elaborat de beneficiar sub îndrumarea şi cu aprobarea de principiu a proiectantului sau a unui organ de specialitate în cunoştinţă de cauză ;

— beneficiarul trebuie să deţină cel puţin un exemplar din documentaţia tehnică, în care să fie clar reprezentate, cu detaliile respective, toate *construcţiile real executate* pe teren, cu indicaţii privind reperarea acestor construcţii în spaţiu.

În timpul exploatării, personalul de exploatare (stabilit numeric după mărimea şi complexitatea instalaţiilor de captare) verifică parametrii de funcţionare ai captării (debit, denivelare, niveluri în puţurile de observaţie, însemnări asupra calităţii apei etc.), ia măsuri de remediere a micilor deficienţe constatate sau semnalează şi solicită ajutor pentru remedierea defecţiunilor mai importante, participă la executarea lucrărilor periodice de curăţire, notînd cu exactitate (în carnet sau fişe speciale) : data, natura operaţiei, cine a efectuat-o şi rezultatele obţinute.

De asemeni, personalul de exploatare trebuie ţinut permanent la curent cu realizările din tehnica de specialitate [31], [34], [47], [50].

2.12. LUCRĂRI DE ÎNTREŢINERE ŞI REMEDIERE A CAPTĂRILOR DE APA SUBTERANĂ

Ca la orice construcţie, pentru o bună funcţionare, trebuie să fie efectuate lucrări de întreţinere periodică, sau remedieri în cazul unor avarii. Pentru ca efectul să fie optim, este necesar ca aceste lucrări să se execute

operativ şi cu maximum de corectitudine, pentru a fi preîntîmpinată tendinţa de deteriorare.

Deznisiparea. În timpul exploatării, în imediata vecinătate a puţului, în spaţiul deznisipat la punerea în funcţiune, sau în zona coroanei de pietriş, se produce o aglomerare a nisipului fin. Blocarea golurilor cu nisip conduce la o colmatare, deci la o reducere a coeficientului de permeabilitate şi, în final, la reducerea debitului puţului. De aceea, periodic — funcţie de tipul captării (de 1—2 ori pe an, pînă la 1—2 ani) — se izolează fiecare puţ din front, se desface casca puţului, şi, cu ajutorul pompei mamut, se efectuează deznisiparea după procedeul cunoscut. După deznisipare, se verifică de fiecare dată curba de pompare a puţului. În unele cazuri, debitul puţului revine la normal, la valoarea iniţială. În alte cazuri, se produce o reducere treptată a debitului (trebuie ştiut acest lucru, pentru a lua măsuri, în scopul evitării forţării puţului).

Spălarea cu jet de apă. În unele cazuri, colmatarea mecanică a puţului se completează cu o colmatare chimică. Se produce o crustă pe perete, crustă care nu permite deznisiparea, iar debitul puţului scade substanţial.

În acest caz, se introduce un paker în puţ şi se pompează apă sub presiune. Apa ţîşneşte în jet puternic, rupînd (prin deplasare şi izbire) crusta formată. Dacă se face o spălare urmată de deznisipare, operaţia repetîndu-se de cîteva ori, se obţin în general rezultate favorabile. La sfîrşitul operaţiunii, se verifică din nou curba de pompare. Dacă operaţiunea nu dă rezultate, trebuie încercat alt procedeu.

Curăţirea mecanică folosind perii sau discuri din lemn. Există situaţii în care apa conţine compuşi de fier şi mangan, care — prin oxidare — se depun pe pereţii coloanei, formînd o peliculă, greu de rupt la spălarea cu apă. Ruperea se face, în acest caz, folosind o perie metalică sau discuri din lemn fixate de o prăjină. Prăjina este acţionată pentru a avea o mişcare alternativă sus-jos (pentru o intervenţie uşoară, capacul de acces la puţ este situat deasupra coloanei puţului). Prăjina, susţinută de trepied, poate fi lăsată în coloană, dacă se îndepărtează capacul căminului şi casca puţului.

Decolmatarea cu mijloace chimice. Dacă apa captată conţine o cantitate mare de bicarbonaţi, aceştia se pot descompune şi carbonaţii formaţi, puţin solubili, se depun pe pereţii coloanei de filtru, atît în interior, în exterior, cît şi în orificii. În acest caz, spălarea mecanică nu este posibilă sau efectele sînt reduse. Se recurge la spălare cu *acid clorhidric*. Acidul se introduce în coloană, de către personalul specializat, cu măsuri adecvate de protecţie, se lasă să se dizolve crusta şi apoi se pompează pînă la eliminarea completă. Dacă protecţia anticorozivă a coloanei nu rezistă la atacul acidului clorhidric, se pot adăuga şi cantităţi reduse de inhibitor de coroziune.

Înlocuirea coloanei de filtru. În cazul puţurilor echipate cu coloană de filtru cu sită sau protecţie din alt material (existente încă), cu timpul, sita este corodată sau blocată cu o crustă de compuşi chimici care cimentează granulele de nisip, crustă care practic nu se mai poate îndepărta de pe amplasament. Dacă puţul este de adîncime, se recurge la înlocuirea filtrului. Dacă puţul este de mică adîncime, se poate lua în considerare abandonarea puţului şi reforarea altuia în amplasament vecin, deoarece costul de refacere al coloanei reprezintă un procent ridicat din costul total al puţului. În acest caz, este obligatoriu ca *puţul vechi să fie betonat*, pentru a se evita impurificarea accicidentală a stratului acvifer.

Schimbarea coloanei se face astfel: se extrage coloana veche, care poate rezista sau nu la smulgere (se poate scoate în orice caz cu instrumente speciale [34]); se reforează gaura pe lungimea coloanei (cu care ocazie, se îndepărtează crusta rămasă între coloană şi stratul acvifer); se sprijină (se tubează) gaura nou forată; se introduce o coloană nouă, preferabil şi indicat, mai bună decît cea extrasă şi se extrage tubajul de protecţie.

Coloana nouă se confecţionează după scoterea celei vechi, pentru a se putea determina mai exact punctele slabe şi lua eventuale măsuri de îmbunătăţire.

În literatura de specialitate, se indică şi un procedeu de distrugere pe poziţie a coloanei colmatate, prin explozie, după o prealabilă dublare cu coloană nouă (este o operaţiune mai lesnicioasă, dar foarte dificil de executat fără o bogată experienţă; trebuie, de asemenea, prevăzută la început, o coloană cu diametru mai mare).

Etanşarea conductei de sifonare. În unele cazuri, se poate produce o avarie pe colectorul de sifonare (undeva, o conductă a fost perforată din cauza tăsării terenului, o mufă ştemuită a cedat etc.). Scăderea vacuumului în colector, pătrunderea aerului se constată astfel: (1) pompele de vacuum, care de regulă funcţionează circa un minut şi stau în repaus 5 ÷ 10 minute, încep să funcţioneze mai des sau nu se mai opresc; (2) pompele de vacuum funcţionează la capacitatea maximă, dar pompele de apă se dezamorsează sau funcţionează cu zgomot (turaţia este variabilă şi se produc lovituri în conductă); (3) nivelul apei în puţul colector scade şi rămîne la aceeaşi cotă, dacă se reduce debitul pompat.

Dacă avaria este mare, se scoate din circuit ramura de captare afectată. Se face întîi detectarea locului avariei. Se pornesc pompele de vacuum şi se închid pe rînd vanele de pe colector, plecînd de la puţul colector. În momentul în care pompele nu mai realizează vacuum, s-a găsit tronsonul avariat. Se face descoperta şi se remediază avaria. În acest timp, porţiunea de captare neafectată de avarie poate fi pusă în funcţiune, pentru a nu lipsi total oraşul sau industria, de apă.

Astuparea drenului pe un tronson. Din cauza unei înnisipări locale puternice sau ruperea unui tub mai slab, se poate produce o blocare a unei porţiuni de dren. Aceasta se observă fie prin scăderea debitului captat, fie prin înrăutăţirea calităţii apei (apa conţine nisip în cantitate mare). Verificînd nivelul apei în cămine, se găseşte porţiunea afectată. Se blochează cu capace etanşe (din lemn) intrarea şi plecarea din căminele de la capetele tronsonului şi se încearcă o deblocare cu unelte percutante (sîrmă, prăjini etc.). În caz de nereuşită (se poate acum şti cu exactitate unde s-a produs blocarea), se poate ajunge pînă la săparea pămîntului de deasupra şi înlocuirea tronsonului. Se va verifica în permanenţă calitatea apei în timpul remedierii, pentru ca restul captării să nu fie afectat.

2.13. CAPTAREA IZVOARELOR

Prin *izvor* se înţelege locul în care apa subterană, întîlnind condiţii naturale favorabile, iese la suprafaţa terenului. Deşi este o sursă subterană, prin faptul că se captează la suprafaţa terenului, construcţiile au o formă specială cu totul diferită.

După calitatea apei pe care o dau, izvoarele se împart în 3 mari grupe: izvoare de apă dulce — captate pentru alimentarea cu apă potabilă a centrelor populate; izvoare de apă minerală, a căror apă este puternic mineralizată, în general au debit redus și servesc pentru cură medicală internă sau externă; izvoare termominerale, a căror apă, pe lîngă un conținut ridicat de săruri (peste 3000—4000 mg/l), uneori și cu un conținut ridicat de gaze, au și o temperatură ridicată (40—60 °C) și care servesc pentru tratament. După o apreciere generală, în țara noastră există circa 30 000 de izvoare cu apă minerală sau termominerală, din care sînt folosite abia cîteva sute. În cele ce urmează, se vor face referiri numai la izvoarele de apă dulce, cele minerale și termo-minerale avînd elemente specifice [43].

Caracteristicile principale ale izvorului sînt: (1) calitatea apei acestuia; (2) variația debitului în timp; (3) influența precipitațiilor din bazin; (4) modul de apariție al izvorului.

Calitatea apei captate. În general, au fost captate izvoarele cu apă de bună calitate (plastic vorbind „bună ca apa de izvor" poate servi ca etalon de comparație, în ceea ce privește calitatea apei captate).

Variația debitului izvorului. Apa captată la izvor provenind tot din apa din precipitații (v. fig. 2.1), este normal ca debitul izvorului să fie influențat de mărimea și regimul de precipitații din bazinul de alimentare. Cu cît bazinul de alimentare va fi mai mare, iar drumul parcurs de apă în subteran mai dezvoltat, cu atît izvorul va avea un debit mai constant și va fi mai bun de captat; pentru aprecierea posibilității de captare a izvorului, a fost introdusă noțiunea de *indice de variație a debitului* izvorului I, ca fiind raportul între debitul maxim al izvorului și debitul minim; dacă $I < 10$, izvorul este bun de captat; dacă $10 < I < 20$, izvorul se poate accepta pentru captare numai atunci cînd soluția pentru sistemul de alimentare cu apă este mai avantajoasă; cînd $I > 20$, izvorul nu se recomandă a fi captat.

Durata minimă de influență a precipitațiilor în bazin. Sînt situații în care, deși bazinul de alimentare are o suprafață importantă, izvorul să fie captat cu reticență sau chiar abandonat. Aceasta deoarece, după începerea precipitațiilor în bazin, la scurt timp, apa izvorului își modifică rapid calitatea (fig 2.36); se produce variația rapidă a temperaturii apei izvorului, uneori apare chiar o tulbureală a apei, o modificare a mineralizării apei și o creștere rapidă a debitului. Se observă ușor că, dacă drumul parcurs de apa din precipitații este redus, apar inconveniente: (1) nu se poate asigura o protecție sanitară bună a izvorului, deoarece posibilitatea de murdărie este mare, iar drumul parcurs nu permite apei să se purifice prin procese naturale; (2) variația debitului este mare, fapt care poate da un indice mare al izvorului și complicații mari la captare; (3) o variație mare a calității apei izvorului: temperatura variază în limite largi comparabile cu cele de la o sursă de apă de suprafață (5 ÷ 20 °C), iar gustul apei poate ajunge de la gustul unei ape subterane, la gustul apei de ploaie (fadă), atunci cînd apa nu a avut timp suficient să se mineralizeze în strat. Pentru a verifica influența precipitațiilor, trebuie să fie făcute măsurători de debit și determinate caracteristicile apei (temperatură, culoare, turbiditate, gust, conductivitate, substanțe agresive etc.), pe o perioadă de cel puțin un an. Se va putea determina astfel, o valoare a debitului mai apropiată de debitul minim ce se poate lua în calcul. Totodată, izvorul cu un bazin redus poate ușor seca în anii deficitari în precipitații.

Modul de apariție al izvorului. Izvoarele se clasifică în două mari grupe: (1) izvoare care apar în zone restrînse — numite și *izvoare concentrate* sau (2) izvoare care apar pe o zonă mai largă — *izvoare distribuite;* după felul cum apar la zi, există: izvoare care apar la baza unor taluze, apa curgînd descendent — din care cauză izvoarele au fost numite *descendente* (fig. 2.36, *a*) sau izvoare care apar în locuri joase, apa circulînd de jos în sus (ca dintr-un puț artezian), izvoare *ascendente* (fig. 2.36, *b*). Forma de apariție influențează asupra tipului de construcție pentru captarea izvorului.

Captarea izvorului prezintă, față de alte surse, următoarele avantaje:

— construcția de captare este relativ mai simplă și mai ușor de executat (se execută la zi);

— izvorul fiind în general caracteristic zonelor de munte sau deal, deci de cotă înaltă, se poate evita cel puțin o treaptă de pompare, deci se poate obține o soluție mai economică;

— calitatea apei fiind bună, nu mai este nevoie de o stație de tratare a apei.

Bineînțeles, că soluția poate avea și dezavantaje:

— izvoarele se găsesc greu, sînt rare și uneori la cote înalte, greu accesibile și depărtate de localitate;

— necesitatea unor aducțiuni lungi, deoarece apar în general în zonele muntoase care sînt mai puțin locuite.

• Captarea izvoarelor *descendente* se poate face printr-o construcție, care în alcătuire completă este arătată în figura 2.36, *d*. Construcția are 3—4 camere: camera *1*, de deznisipare, în care apa admisă din strat, prin pertele cu barbacane, se decantează (nisipul reținut se evacuează printr-o conductă specială de golire într-o depresiune apropiată) — tot debitul izvorului intră în această cameră; debitul de apă necesar la consumator trece peste un deversor de măsură și ajunge în camera *2*, iar excesul de debit este eliminat la golire peste un prag deversor cu rol de preaplin (camera *2* are rol de *cameră de încărcare* pentru conducta de alimentare); camera *3* este o cameră uscată, care conține vanele pentru închiderea conductelor ce deservesc captarea. Deasupra acestor camere, se execută o pasarelă de acces, cu rebord, pe care personalul de serviciu poate inspecta starea construcției și modul de funcționare, precum și indicațiile deversorului de măsură. Uneori, la izvoare cu variație mare a debitului, evacuarea excesului de apă se face printr-o cameră specială.

În unele cazuri, această construcție poate fi simplificată sau extinsă, astfel: (1) dacă izvorul apare dintr-o rocă fisurată camera *1* poate lipsi, peretele din spate ca și radierul construcției și chiar tavanul să fie formate chiar din roca naturală, tăiată convenabil; (2) dacă dimpotrivă izvorul apare distribuit, atunci construcția se completează cu unul sau două drenuri — ca aripi laterale care colectează izvorul și debușează în camera *1* sau în stratul de pietriș din spatele peretelui cu barbacane; pentru a nu pierde apa, aceste drenuri pot fi ecranate spre aval cu un zid de beton, argilă, zidărie cu mortar de ciment; (3) cînd apa izvorului este agresivă (conținînd CO_2 în cantitate mare), pentru metale, se poate executa o cameră suplimentară — camera *1* se împarte în două (una din camere se umple cu calcar în granule mari, peste care apa trecînd se neutralizează).

• Captarea izvoarelor *ascendente* importante se face în construcții de tipul celei arătate în figura 2.36, *e*. Construcția, a cărei mărime depinde de mărimea debitului și întinderea izvorului, este formată în general din

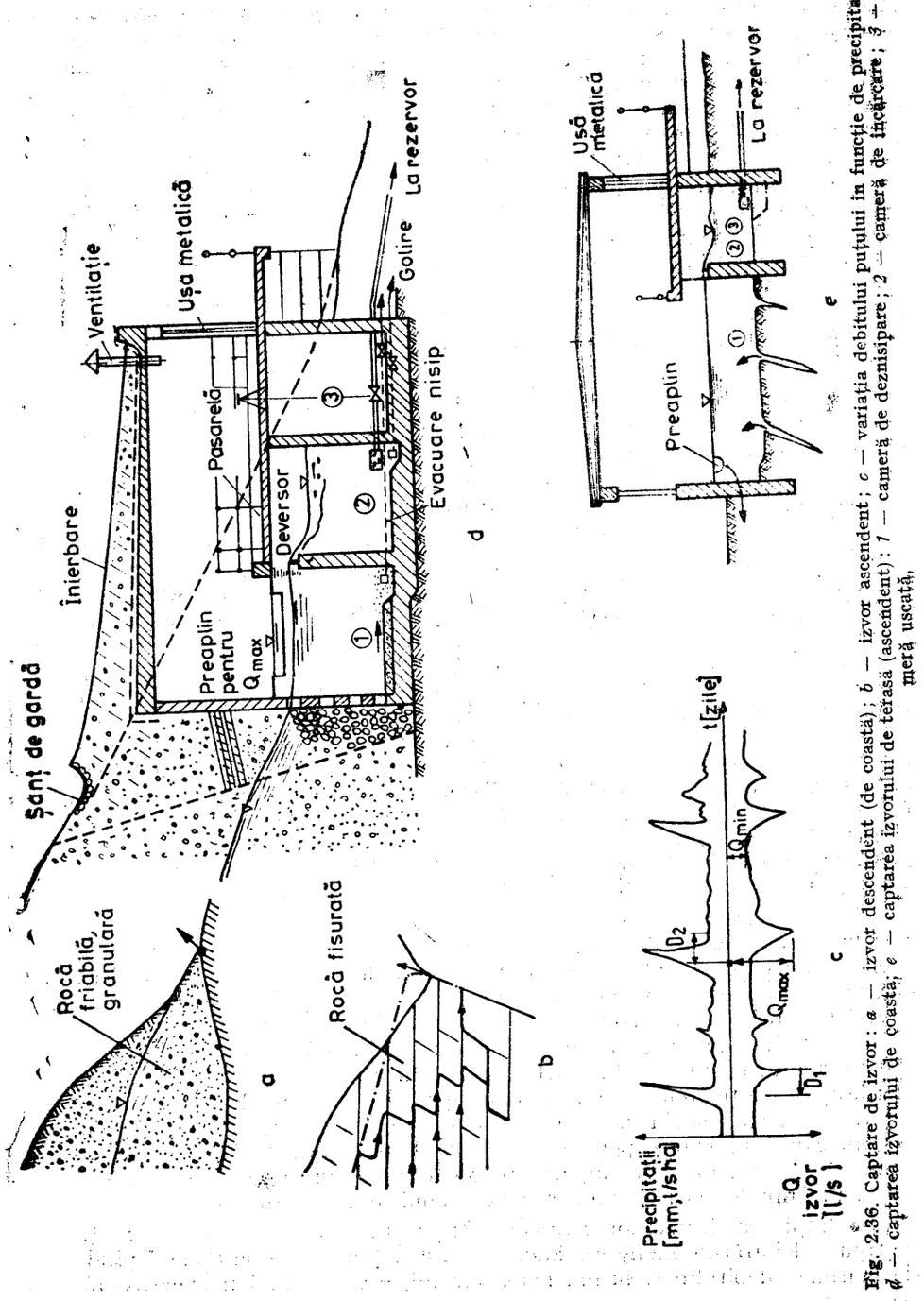


Fig. 2.36. Captare de izvor: *a* — izvor descendent (de coastă); *b* — izvor ascendent; *c* — variația debitului puțului în funcție de precipitații; *d* — captarea izvorului de coastă; *e* — captarea izvorului de terasă (ascendent): *1* — cameră de deznisipare; *2* — cameră de încărcare; *3* — cameră uscată.

2 sau 3 camere : o cameră de primire a apei, care poate juca rol și de cameră de încărcare (sau această cameră poate fi separată) și o cameră de vane.

Dacă izvorul ascendent apare dintr-o rocă permeabilă, se poate executa pe fundul camerei de primire un filtru invers convenabil alcătuit. În această situație, este preferabil să se execute camera de încărcare separat. Și în acest caz se captează tot debitul izvorului, iar excesul de apă se elimină prin preaplin.

La alegerea schemei construcției și execuția efectivă, este necesar să se țină seama de următoarele reguli fundamentale :

— izvorul să fie captat la punctul real de ieșire din rocă ; acest punct se află făcînd cu cea mai mare atenție o descoperită pentru îndepărtarea rocii sfărîmate în timp și care a acoperit punctul real de izvorîre ;

— construcția să fie capabilă să primească tot debitul izvorului, urmînd ca excesul de apă să fie îndepărtat dirijat-controlat din interiorul construcției ; altfel, prin porțiunea de izvor rămasă necaptată se poate scurge în timp tot debitul, izvorul ocolind captarea ;

— construcția de captare trebuie să fie astfel construită încît să nu se modifice cu nimic regimul natural de curgere ; schimbarea locului de ieșire din rocă prin obturarea, cimentarea unora din fisuri, ridicarea sau coborîrea nivelului apei în bazinul de sosire peste nivelul inițial de curgere, pot duce chiar la pierderea izvorului ;

— executarea lucrărilor de construcție cu asemenea mijloace încît să nu se producă vibrații care ar putea schimba mărimea și traseul fisurilor în masivul de rocă ; folosirea explozivilor nu se face decît în cazuri speciale la derocări importante, sub controlul personalului de specialitate și folosind numai cantități reduse de exploziv ;

— luarea unor măsuri de protecție pentru îndepărtarea sau sistarea unor eventuale lucrări vecine care produc vibrații importante în apropierea izvorului (cariere, mine, lucrări de construcții masive), ce pot periclita existența izvorului.

Izvorul constituie elementul esențial al sistemului de alimentare și pierderea lui ar putea duce la o compromitere a întregii lucrări ; de aceea, acestea trebuie să fie ocrotite, prin asigurarea unei zone de protecție sanitară eficiente (mărimea acestor zone nu se poate determina cu exactitate, decît prin studii laborioase, folosind uneori trasori radioactivi adecvați).

În țara noastră există cîteva captări de izvoare pentru asigurarea alimentării cu apă a unor orașe ca : Sinaia ; Predeal ; Brașov (izvorul Ciucaș) ; Tîrgu Jiu (izvorul de la Runcu — cca. 1 m³/s — apă limpede cu temperatură 9°C) ; Craiova (izvorul de la Izvarna — la 100 km, cca. 1 ÷ 2,5 m³/s — apă cu temperatură 11°C) ; Zărnești (izvoarele de la Stîncile Domnului) etc. Mai există și izvoare de debite mici, care sînt executate și funcționează în bune condiții.

2.14. MĂSURI DE PROTECȚIA MUNCII LA LUCRĂRILE DE CAPTARE A APEI SUBTERANE

Regulile de protecția muncii sînt date în actele normative în vigoare.

În acest paragraf sînt reamintite cîteva din cele mai importante reguli, care prin nerespectare pot conduce la accidentarea personalului sau la executarea unor *lucrări calitativ slabe :*

• Lucrările fiind complexe şi de diferite categorii, este absolut necesar să se facă o coordonare a execuţiei, astfel încît într-un loc să se execute acelaşi gen de lucrări;

• Deşi şantierul captării este relativ izolat, este foarte bine să se procedeze la împrejmuirea generală şi, în orice caz, a locurilor periculoase; toate gropile descoperite vor fi împrejmuite cu parapet, iar chesoanele adînci vor fi acoperite cu elemente rigide, fixe;

• Se va asigura orice stivă de material tubular, astfel încît să nu se poată produce rostogolirea necontrolată a tuburilor (la vibraţii ale solului, naturale sau artificiale);

• Toate sursele de energie vor fi sub control permanent;

• Toate utilajele de lucru vor fi parcate în locuri sigure şi sub supraveghere;

• La executarea *epuismentelor:* pompele vor fi amplasate pe postamente bine fixate şi prevăzute cu balustrade robuste, accesul la pompe va fi permis numai personalului calificat; la acţionare electrică, se va asigura o bună punere la pămînt şi siguranţa cablurilor de alimentare (nu vor fi în nici un caz în raza de lucru a utilajelor); apa evacuată va fi dirijată spre exterior, astfel încît să nu pună în pericol stabilitatea malurilor săpăturii; pompele vor fi protejate contra intemperiilor, în special contra inundării;

• Toate sculele-utilajele acţionate electric vor fi verificate periodic;

• Sprijinirile malurilor vor fi făcute cu cea mai mare atenţie; nu se va permite depozitarea materialelor sau accesul oamenilor în groapă folosind şpraiţurile; zilnic, şeful punctului de lucru va verifica starea sprijinirii, evacuînd personalul la cea mai mică neregulă semnalată; se va face o protecţie specială la zona de lansare a tuburilor în şanţ, printre şpraiţuri; în zona de lansare, nu se vor afla decît strict necesari pentru operaţiunea respectivă;

• La folosirea compresoarelor pentru funcţionarea pompei mamut, vor fi luate măsuri de protecţie speciale: verificarea supapelor de siguranţă; controlul circulaţiei aerului liber pe furtun; evitarea circulaţiei utilajelor grele; supravegherea continuă a funcţionării;

• La lucrările în spaţii reduse (chesoane, puţuri colectoare, cămine de vizitare adînci), va exista o supraveghere continuă din exterior, pentru a se putea interveni rapid; cînd lucrările au fost întrerupte mai multă vreme, vor fi luate măsuri de ventilare a spaţiului, întrucît pot fi gaze acumulate în timp (de exemplu CO_2); de asemeni, nu vor fi utilizaţi decît oameni care au o stare a sănătăţii bună.

3.

CAPTAREA APEI DIN SURSE DE SUPRAFAŢA

3.1. GENERALITĂŢI

După cum a fost menţionat în introducere, ţara noastră dispune de importante surse de apă de suprafaţă. Acestea sînt constituite din rîurile interioare, cu un volum mediu anual al scurgerilor de circa $38 \cdot 10^9$ m³, la care se mai adaugă fluviul Dunărea cu o parte din cei 200 km³ apă/an. Folosirea apei Dunării este mai dificilă, deoarece: are o poziţie marginală faţă de consumatori şi este situată la cotă joasă, deci orice folosire se face prin pompare; este un fluviu cu regim internaţional de folosire multiplă (energie, irigaţii, navigaţie, receptor pentru o mare parte din apele uzate — epurate mai mult sau mai puţin — evacuate din Europa Centrală). Lacurile naturale sînt puţine, de volum mic, greu accesibile şi ele sînt păstrate ca monumente ale naturii, iar marea nu poate încă să constituie o sursă de apă, din cauză că este marginală ca poziţie, deci trasportul apei este foarte costisitor, iar desalinizarea apei este o soluţie încă foarte scumpă şi cu un consum forte ridicat de energie (de cel puţin 10 ori faţă de alte soluţii).

Gospodărirea raţională a apei din reţeaua hidrografică interioară permite însă o dezvoltare bună pe o perioadă destul de mare, cu două condiţii: (1) *cantitativ*, să fie executate lacuri de acumulare pentru regularizarea debitelor (astăzi sînt executate peste 1600 lacuri cu un volum total de peste $10 \cdot 10^9$ m³); (2) *calitativ*, să fie luate măsurile necesare pentru protecţia calităţii apei [51].

În momentul de faţă, protecţia calităţii apelor este una dintre marile probleme tehnice care trebuie rezolvată. Pentru aceasta, sînt necesare *măsuri educaţionale*, cel mai greu de aplicat şi *măsuri tehnice*, legate de: sporirea numărului de staţii de epurare; modernizarea şi exloatarea corectă a celor peste 4000 staţii de epurare existente; modernizarea proceselor tehnologice industriale, astfel încît nici o cantitate de apă neepurată să nu ajungă în rîurile noastre; o chimizare raţională în agricultură.

Conform precizărilor STAS 4706—88, apele curgătoare din ţara noastră se împart în 3 categorii:

— *rîuri categoria I*, care pot servi ca surse de alimentare cu apă centralizată pentru centre populate, industrie alimentară, ştranduri organizate, piscicultură salmonicolă;

— *rîuri categoria a II-a*, care pot servi ca surse de apă pentru alimentare cu apă industrială, irigații, piscicultură, scopuri urbanistice și agrement;

— *rîuri categoria a III-a*, care pot servi pentru navigație, irigații, apă industrială.

În afara limitelor prevăzute de STAS, există porțiuni mari din lungimea rîurilor interioare care au un grad de murdărire peste limita categoriei a III-a, porțiuni din care apa prelevată nu mai poate fi întrebuințată pentru nici o folosință importantă [51]. Aceste porțiuni produc totodată, mari dificultăți consumului neorganizat (animale). De aceea acțiunile importante trebuie să fie coordonate în cadrul unui program național de combatere a poluării mediului înconjurător (în literatură sînt menționate și cazurile unor țări puternic industrializate, care au avut o preocupare redusă, relativ la calitatea apelor folosite și care sînt în situația de a încerca importul de apă dulce, curată).

Deoarece *construcția de captare* depinde de mărimea debitului, de siguranța în exploatare, de caracteristicile albiei rîului și regimul debitelor, fenomenele de iarnă etc., modul de realizare efectivă diferă foarte mult. Pentru sistematizare, aceste tipuri de construcții pot fi clasificate în funcție de nivelul și mărimea debitului minim din rîu, față de debitul captat, astfel:

1 — captări în curent liber

- fără regularizarea albiei:

$$Q_{riu}^{min} > Q_{captat};\ H_{riu}^{min} > H_{nec}$$

- cu regularizarea albiei:

$$Q_{riu}^{min} > Q_{captat};\ H_{riu}^{min} < H_{nec}$$

2 — captări cu bararea albiei:

- cu baraj de derivație

$$Q_{riu}^{min} > Q_{captat};\ H_{riu}^{min} < H_{nec}$$

- sub albia rîului (cazuri speciale)

$$Q_{riu}^{min} > Q_{captat}$$

3 — cu baraj pentru lacuri de acumulare (baraj de lac)

$$Q_{riu}^{min} < Q_{captat};\ Q_{riu}^{med} > Q_{captat}$$

— captări din lac (în baraj sau amonte de acesta)

— aval de lac — posibilă una din variantele 1 sau 2

În formulele anterioare: Q_{riu}^{min} este debitul minim pe rîu în secțiunea de captare, cu asigurarea de calcul precizată în actele normative (STAS 4273-83 — Construcții Hidrotehnice) — pentru localități, asigurarea de calcul este de 90—95%; H_{riu}^{min} — înălțimea apei în rîu în secțiunea de captare,

corespunzătoare debitului minim; $Q_{captat} = Q_I$ — debitul maxim necesar (în perspectivă) beneficiarului pentru care se realizează construcția de captare; H_{nec} — înălțimea minimă de apă în secțiunea de captare pentru a se putea realiza derivarea (extragerea) debitului de apă din rîu.

3.2. CONDIȚII GENERALE DE AMPLASARE A CAPTĂRII

Din cauza avantajelor majore pe care le prezintă un curs de apă pentru o localitate (o sursă ușoară de apă; realizarea unui microclimat și peisaj folosibil; realizarea căilor mai ușoare de acces), toate localitățile mari sînt așezate în lungul cursurilor de apă. Cum însă numai o parte din apa luată din rîu se consumă, cealaltă parte (cea mai mare) murdărită întorcîndu-se în rîu, putînd produce dificultăți pentru localitatea aval, necesitatea epurării corecte este de cea mai mare importanță.

De aceea, amplasamentul prizei trebuie stabilit funcție de ansamblul general al bazinului hidrografic respectiv.

Pentru a avea o captare ușoară și sigură este bine să se respecte cîteva reguli generale:

- captarea se amplasează *amonte* de localitate; apa sursă este protejată împotriva apelor din precipitații care pot spăla localitatea respectivă, impurificarea lor fiind maximă în zona localității; trebuie reamintit că, din motive tehnice, dar mai ales economice, canalizarea apelor uzate dintr-o localitate se realizează numai pentru ploi cu o anumită frecvență; deci, la ploi mai mari decît cele de calcul, apa meteorică nu mai ajunge în canalizare și în nici un caz nu este epurată, ori, prin apa rîului pot fi transportate o serie întreagă de germeni ce produc boli (numite *boli hidrice*), ca: febra tifoidă, dezinteria, holera, poliomielita, hepatita epidemică, conjunctivita etc. [34], [40]; bacteriile și virușii acestor boli rezistă în apă zeci sau sute de ore și, la o apă de rîu, care curge cu viteze de peste 1 ÷ 2 m/s la viitură, distanța afectată poate fi considerabilă (la 1 m/s, durata 50 ore — distanța este 180 km);
- captarea se așează pe un *amplasament stabil, neinundabil*, pe aceeași parte cu localitatea, pe malul concav al unui sector de rîu; apa trebuie în mod natural să se apropie de mal pentru a nu necesita lucrări mari de protecție a prizei sau acces la priză;
- în zona captării, albia minoră trebuie să aibă o mare stabilitate, pentru a nu fi necesare lucrări importante de regularizare; din cauza schimbării cursului de apă, trebuie eliminat riscul ca priza să rămînă *pe uscat*;
- captarea trebuie să fie amplasată într-o zonă ușor accesibilă, apropiată de căile de comunicație și de sursele de energie;
- poziția captării trebuie să fie încadrată în planul general de gospodărire cantitativă și calitativă a apelor rîului respectiv.

În figura 3.1 sînt marcate cîteva dintre pozițiile de captare posibile. Aceste amplasamente au unele avantaje și dezavantaje. Astfel:

— pozițiile *1* și *2* sînt apropiate de oraș, deci ușor accesibile, dar au cotă apropiată de a orașului, deci apa va trebui pompată la o înălțime mai mare;

— pozițiile *3* și *7* sînt situate pe malul opus și dacă traversarea cursului de apă se face greu, pozițiile pot fi abandonate;

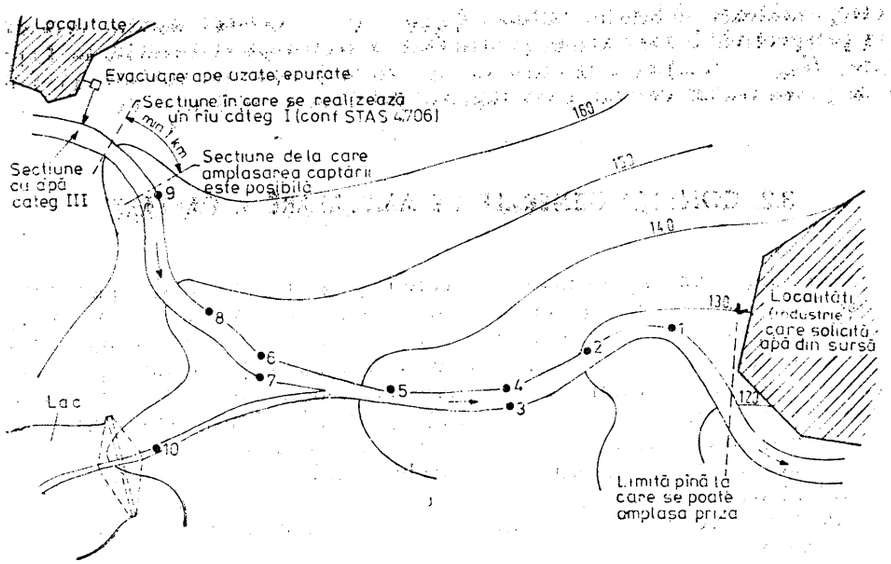


Fig. 3.1. Alegerea amplasamentului captării în lungul unui rîu : *1 ... 10* — poziții de captare posibile.

— pozițiile *4, 5* și *6* sînt în amplasamente pe mal convex (*4, 6*) sau imediat aval de confluența cu afluenții (*5*) ; în aceste cazuri pot apare poluări importante sau turbidități ridicate pe un afluent, cu dificultăți pentru priză ; asemenea amplasamente nu sînt favorabile ;

— pozițiile *8* sau *9* pot fi luate în considerare, avînd avantajul unor cote mai ridicate, deci un consum mai mic de energie, dar și dezavanjtajul unor aducțiuni mai lungi și riscul unei poluări necontrolate de la evacuarea apelor uzate ale beneficiarilor din amonte ;

— poziția *10* poate fi luată în considerare în unele cazuri speciale — apa afluentului este mult mai bună decît a rîului de bază (rîul Doftana față de rîul Prahova; rîul Uz față de rîul Trotuș; rîul Sebeș față de rîul Mureș ; rîul Lotru față de rîul Olt etc.).

O problemă deosebită a captării apei din rîu, deci și a amplasamentului captării, este aceea a protecției contra poluării. Dacă la o poluare constantă (beneficiar amonte al apei curente sau exploatare agricolă în bazin) pot fi făcute intervenții și luate măsuri în timp, pentru menținerea unei anumite calități a apei, nu același lucru se poate spune despre poluările accidentale (posibile și prin evacuările de ape ale utilizatorilor din amonte) ca : evacuări necontrolate de substanțe toxice ; accidente rutiere, CF sau aviatice (cu scăpări de produse chimice, petroliere în apa rîului) ; accidente nucleare cu poluarea radioactivă directă sau prin scurgerea apelor care spală versanții. Cu cît alimentarea cu apă afectează mai mulți utilizatori, cu atît măsurile ar trebui să fie mai importante. Soluțiile și măsurile posibile sînt următoarele :

• *măsuri de avertizare* — amonte de localitate (priză), sînt necesare sisteme de avertizare care să permită luarea de măsuri în timp util (oprirea alimentării cu apă din sursa respectivă sau pregătirea stației de tratare pentru funcționare în noua situație) ;

• *măsuri constructive*, precum : realizarea prizelor pe mai multe cursuri de apă ; realizarea unei alimentări cu apă combinată (apă subterană — apă de suprafață) ; realizarea de rezerve speciale de apă (bazine de rezervă — lacuri) pentru un volum de apă necesar beneficiarului pe perioada scurgerii apei poluate de pe rîu — sursă de apă ; realizarea de rezerve speciale de apă ce permit depășirea mai ușoară a anilor secetoși în care debitul sursei este sub limita debitului asigurat (asigurarea calității apei unor asemenea rezerve este o problemă deosebită care trebuie tratată cu toată atenția).

În cazul prezenței unui lac de acumulare pe rîu, priza poate fi aval de baraj, cînd folosința energetică este importantă sau în lac, atunci cînd folosirea apei pentru alte utilizări este mai importantă (apa este limpede, calitatea mai constantă în timp ; calitatea se poate deteriora prin *eutrofizarea lacului*).

3.3. STUDII NECESARE PENTRU PROIECTAREA CAPTĂRII

Pentru realizarea în bune condiții a unor captări importante, cu funcționare de lungă durată (captările pot fi clasificate ca *prize provizorii* — durată scurtă de viață — sau *captări definitive* — cu durata de funcționare de peste 5 ani), sînt necesare elemente de bază sigure și complete. După *parcurgerea cu piciorul* și stabilirea amplasamentelor posibile, se realizează studiile care vor da o imagine completă asupra proiectării captării (amploarea este în funcție de mărimea captării și calitatea apei cerute), organizate după cum urmează :

Studii topografice. Se realizează planuri de situație ale zonei de captare, la scări convenabile 1 : 500 ... 1 : 5000 cu secțiuni transversale pe mal în toate zonele caracteristice ; pe aceste planuri vor fi marcate construcțiile existente, zonele inundabile, poziția albiei minore și orice alt element caracteristic. Planurile vor conține și reperele de nivel folosite și marcate stabil pe teren pentru a putea fi folosite ulterior.

Studii hidrologice. Au drept scop furnizarea datelor care să permită stabilirea valorilor caracteristice ale debitului (și înălțimii apei) în secțiunea respectivă (debite medii, debite minime zilnice, lunare, debite maxime de asemenea cu o anumită repetabilitate). Studiul se bazează pe *măsurători directe* (care se vor concretiza o cheie limnimetrică în secțiunea respectivă), cercetări de arhivă și calcule de estimare pentru a putea determina valorile mari sau mici (debitul cu frecvența 1%, de exemplu, numai cu totul întîmplător va putea fi măsurat pe teren, în perioada studiilor). Colaborarea cu Institutul Național de Meteorologie și Hidrologie permite obținerea de date adecvate. Studiul trebuie să conțină și recomandări pentru necesitatea regularizării cursului de apă/și a debitului. În cele mai expeditive cazuri măsurătorile trebuie să se extindă pe cel puțin un an, pentru a putea ține cont și de fenomenele din timpul iernii și de perioadele de debite reduse.

Studii hidrochimice. Aceste studii trebuie să asigure două categorii de elemente :

• aprecierea agresivității apei din rîu și din patul rîului (și din mal, dacă este cazul) față de elementele de construcție ;

• calitatea apei din sursă, compararea cu calitatea apei cerută de beneficiar şi propuneri de scheme ale staţiei de tratare, pentru corectarea calităţii apei. Prelevarea probelor trebuie făcută în perioade caracteristice pe durata cel puţin a unui an. Analiza lor trebuie făcută conform prescripţiilor în vigoare.

Studiul trebuie să includă şi o prognoză a modificărilor calităţii apei în perspectivă, ca urmare a sporirii utilizării apei sau a unor avarii la utilizatorii amonte etc. De asemenea, sînt necesare şi recomandări asupra unor restricţii ce trebuie făcute în legătură cu evacuarea apelor uzate în amonte.

Studii geotehnice şi geologice. Pentru amplasarea în condiţii bune a construcţiilor necesare captării, sînt necesare aprecieri corecte asupra caracteristicilor pămîntului din zonă. Vor fi date elemente de calcul pentru dimensionare, coordonate cu studiile hidrochimice, biochimice şi asupra agresivităţii terenului, elemente asupra comportării rocilor în timp, asupra stabilităţii malului rîului (eventual şi asupra comportării malului cînd nivelul apei va creşte, la unele tipuri de captare); se va face o apreciere şi asupra influenţei cutremurului asupra stabilităţii terenului sau/şi vitoarelor construcţii.

Studii de impact. Preluarea unei cantităţi de apă din surse naturale şi eventual restituirea acesteia în anumite condiţii, conduce la unele modificări în ecosistemul zonei respective. Prin aprecierea tuturor aspectelor problemelor, trebuie evaluate consecinţele care pot apare şi măsurile necesare pentru a reduce la minimum aceste consecinţe (modificări mai mari sînt de aşteptat în momentul în care se realizează lacuri de acumulare).

Toate aceste studii, analizate în concordanţă şi comparate cu cerinţele beneficiarului, vor putea conduce la obţinerea unei soluţii bune pentru captare. Aceste soluţii vor fi supuse (în cadrul proiectului respectiv) spre aprobare organului general care se ocupă de gospodărirea apelor. Orice captare trebuie să aibă un asemenea aviz prin care sînt stabilite şi unele condiţii suplimentare, printre care şi costul apei captate (o cotă parte pentru recuperarea cheltuielilor făcute în secţiunea amonte pentru stabilizarea cursului de apă, regularizarea debitului, îmbunătăţirea condiţiilor de autoepurare etc.).

3.4. TIPURI DE CAPTĂRI

În funcţie de importanţa prizei, mărimea debitului captat, siguranţa în funcţionare, condiţiile locale de amplasare (caracteristicile hidrogeologice ale rîului, malului etc.), captarea poate avea forme specifice. În cele ce urmează, vor fi detaliate cîteva tipuri de captări mai des aplicate în ţara noastră, cu observaţia că acestea pot fi multiplicate, cu respectarea unor reguli generale:

• construcţia trebuie să fie stabilă sub împingerea apei şi pămîntului;

• construcţia trebuie să fie stabilă la acţiunea dinamică a apei şi gheţii (şi eventual a plutitorilor mari, la viitură);

• priza trebuie să permită accesul a cît mai puţine suspensii din apă;

• exploatarea prizei în perioada de iarnă să nu fie foarte dificilă;

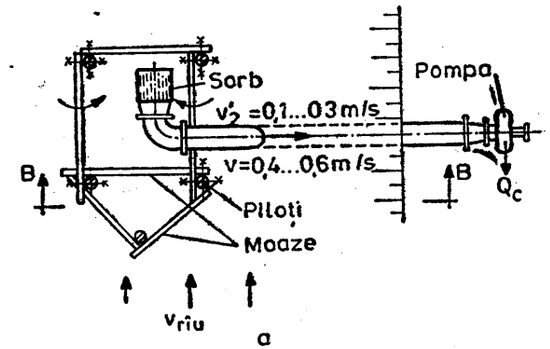
• accesul la priză să fie lesnicios.

3.4.1. CAPTĂRI ÎN ALBIE

Captarea cu sorb. Se recomandă pentru captări provizorii, mobile sau sezoniere. Constă într-un sorb amplasat convenabil în apă şi stabilizat pentru protecţie contra plutitorilor mari.

În figura 3.2 este schiţată o captare fixă cu sorb.

Sorbul este o confecţie metalică specială, închisă la un capăt, legată, cu flanşă, la conducta de aspiraţie cu celălalt capăt şi prevăzută cu orificii pe suprafaţa laterală (cu dimensiuni suficient de mici pentru a nu intra plutitorii sau suspensiile mari). Pentru a avea viteze mici de intrare, diametrul sorbului este de 1,5 ori mai mare decît diametrul conductei



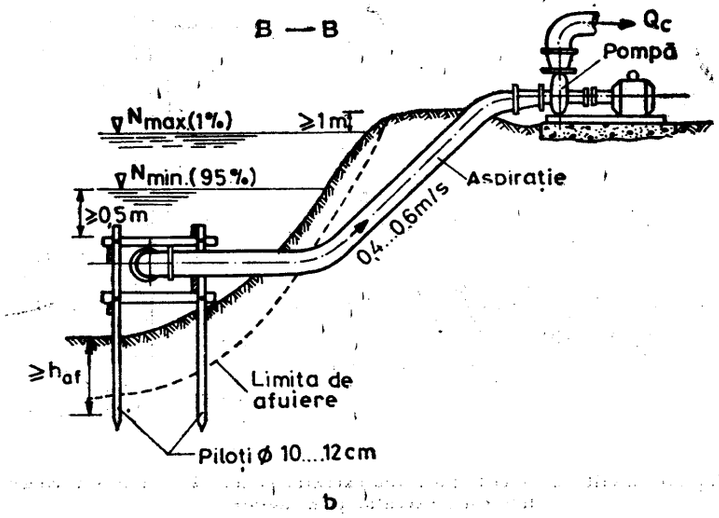


Fig. 3.2. Captare cu sorb: *a* — plan; *b* — secţiune verticală.

de aspirație. Pentru a nu aspira plutitori (care să-l înfunde) sau a fi blocat în gheață ($h_g = 0{,}3 \div 0{,}4$ m) și pentru ca gheața, care se sparge în bucăți la o viitură de primăvară, să nu se *împiedice*, blocheze, de sorb și să-l distrugă, sorbul trebuie să fie așezat la minimum 0,5 m sub nivelul minim al rîului, la asigurarea normată. Pentru a capta aluviuni cît mai puține și de dimensiuni mai mici, sorbul trebuie să fie așezat la minimum 0,50 m peste fundul albiei. Rezultă că *sorbul se poate prevedea* în condiții normale *în ape* a căror *adîncime* depășește *1,20 m* (considerînd că sorbul are o dimensiune minimă de 200 mm, la un debit relativ mic). Tot în scopul reducerii cantității de aluviuni antrenate, sorbul se așază cu ajutorul unui cot, în sensul de curgere al apei, astfel încît apa să intre în sorb prin întoarcere. Sorbul se stabilizează în albie cu ajutorul unor piloți din lemn, cu diametrul de Ø 10 ÷ 12 cm, bătuți sub *adîncimea de afuiere* în albie. În cazul captărilor mobile (folosite în special la irigații) conducta de aspirație se poate lăsa aproape vertical, în apă, neîngropată în mal, cu asigurarea că efectul dinamic al apei este atît de mic, încît eforturile rezultate pot fi preluate de îmbinări și conducte. Sprijinirea se face prin amenajarea malului în trepte (trebuie avut grijă să nu fie depășită înălțimea de aspirație a pompei amplasată pe mal).

Captarea cu crib. Este o captare, la care sorbul este protejat cu o construcție fixă, stabilă, numită *crib*. Cribul poate fi executat din elemente detașabile (grinzi din lemn, elemente din beton armat de tip grindă) sau turnat pe loc (cu sorbul separat sau sorbul încorporat în construcție).

În cazul în care nu se pot asigura condiții pentru execuția pe loc, *în uscat* (fig. 3.3, *a*), din cauza dificultăților de execuție a *batardoului* (element constructiv ce *îngrădește* — *pune la uscat* — spațiul de execuție) pentru a evita accesul apei din rîu, se poate recurge la executarea unor criburi din

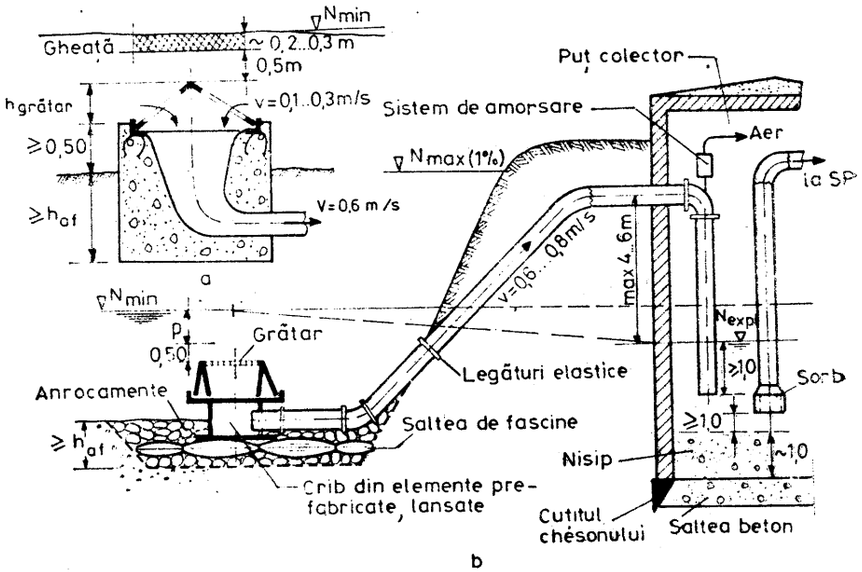


Fig. 3.3. Captare cu crib: *a* — crib din beton executat pe loc; *b* — crib din elemente prefabricate, executat prin lansare.

elemente prefabricate și lansate în apă (este cazul criburilor pe Dunăre, Siret, Mureș, unde execuția unui batardou este scumpă și adîncimea de afuiere foarte mare, fig. 3.3, *b*). În cazul în care patul albiei nu are capacitate suficientă de rezemare, aceasta se poate corecta cu ajutorul unor construcții intermediare, elastice, de tip *saltea de fascine, gabion* tip saltea etc. Dacă porțiunea de rîu (fluviu) este navigabilă, atunci adîncimea grătarului cribului trebuie amplasată sub pescajul maxim (p) al ambarcațiunilor.

Apa captată prin crib poate fi aspirată de o pompă sau, cel mai bine, sifonată într-un puț colector cu rol de deznisipator și cameră de aspirație pentru pompe. Vacuumul maxim pe conductă nu trebuie să depășească 4—6 m.

Pentru sporirea siguranței construcției pot fi realizate mai multe criburi, așezate în șah, la 10—20 m în albie, legate separat la puțul colector; în cazul unor utilizatori importanți, pot fi prevăzute și criburi de rezervă. Este esențial ca toate criburile să fie în stare de funcționare, altfel, din cauza nisipului, conductele de legătură și captarea se blochează. Periodic, conducta și cribul pot fi spălate, prin aspirarea apei prin $(n-1)$ criburi și refularea acesteia (sau a unei părți) prin cribul n, care se spală. Pentru aceasta, instalația hidraulică în puțul colector trebuie gîndită adecvat.

Grătarul cribului se dimensionează la o viteză medie de trecere de $0{,}1 \div 0{,}3$ m/s; grătarul se execută din bare rezistente la șocul cu plutitorii, iar amplasarea lor se face pe partea laterală sau aval a cribului (șoc din cauza plutitorilor redus, acces redus al aluviunilor din cauza întoarcerii curentului de apă, aluviunile trec avînd inerție mai mare).

Dacă malul este inundabil și puțul colector nu se poate depărta pentru a ieși din zona inundabilă, vor fi luate măsuri de îndiguire a zonei sau de ridicare a puțului la o cotă cu minimum 0,50 m peste nivelul inundabil și apărare contra efectului dinamic al apei (accesul la puț se va asigura pentru orice condiții).

Pentru executarea criburilor se folosesc, în general, două metode: execuția la adăpostul unor incinte apărate de batardouri din palplanșe, diguri (cînd albia majoră este fără apă o perioadă lungă) sau execuția prin prefabricare pe mal, transportul făcîndu-se prin plutire, pînă la amplasament și scufundarea prin lestare cu arocamente (pentru criburi din lemn) sau umplere cu apă; racordarea conductelor și dirijarea lansării se face cu scafandri. Pentru execuție, se va face o asemenea organizare de șantier, încît toate operațiunile să poată fi executate într-o singură etapă, la ape mici în rîu. Se va lucra cu echipe specializate în lansări (cazul Dunării) sau cu echipe bine instruite, utilizînd materialele de protecție a muncii. Excavațiile se fac cu unelte sau mașini terasiere obișnuite (preferabile sînt excavatorul cu draglină, care are rază mare de lucru sau draga, în cazul lansării chesonului). Trebuie avut grijă ca, între executarea săpăturii prin dragare și lansarea saltelei de sprijin a cribului, să nu treacă mult timp, deoarece groapa se poate astupa din nou cu nisip.

Saltelele se confecționează pe mal, după un procedeu special; sînt aduse pe amplasament, prin tractare cu șalupele (saltelele plutesc) și se scufundă prin încărcare cu arocamente sau elemente de beton, care sînt aduse în vase speciale numite *gabare*. Scufundarea începe cu capul amonte, pentru a se folosi și efectul dinamic de apăsare al apei. În tot acest timp salteaua este ținută de cel puțin 3 remorchere (șalupe), cu forța de trac-

țiune necesară pentru a putea asigura păstrarea poziției deasupra amplasamentului.

În cazul în care nu se poate asigura adîncimea pentru navigație, cu acordul beneficiarului zonei de navigație, se poate amplasa cribul mai sus, luîndu-se măsuri corespunzătoare pentru marcarea poziției criburilor prin balize.

Captări importante cu sorb au fost executate la: Călărași, Giurgiu; Corabia; Turnu Severin; Galați; Turnu Măgurele; Brăila.

3.4.2. CAPTĂRI ÎN MAL

Captarea în mal se adoptă în cazul unor debite foarte importante, cu o mare siguranță în funcționare și cînd situația locală nu permite executarea de criburi.

Captarea de mal are mai multe variante de construcție, în funcție de debitul captat și de destinația apei captate. Astfel, pentru centre populate sau industrii, unde debitul este totuși redus, iar apa urmează să suporte o tratare pentru corectarea calității, pot fi prevăzute *captări cu cheson de mal*. Pentru debite mari de apă (mari unități industriale, centre populate mari, irigații, CET-uri etc.) se prevăd *captări în mal de tip deschis*.

Captarea cu cheson este o construcție monolită, care de obicei cuprinde și stația de pompare — echipată cel mai bine cu pompe cu ax vertical. Schematic, construcția unei captări de mal este arătată în figura 3.4.

Construcția este formată dintr-un cheson de dimensiuni mari, așezat în malul rîului, astfel încît, în fața ferestrelor de priză, să fie asigurat în permanență un nivel suficient de apă.

Din cauza dimensiunilor și adîncimii mari de fundare, de obicei, lansarea chesonului se face cu aer comprimat, în partea de jos asigurîndu-se o cameră de lucru, betonată ulterior. Construcția este compartimentată vertical pe linii tehnologice, dintre care una este întotdeauna de rezervă. În interior, se deosebesc 4 camere (compartimentate) cu următorul rol: *1* — camera de admisie și deznisipare a apei (cu posibilități de evacuare a nisipului depus); *2* — camera sitelor rotative; sitele rotative sînt formate din panouri de sită cu ochiuri relativ mici, de 1—3 mm, articulate și trecute peste 2 tamburi — unul sus (motor) și altul jos (pasiv); apa trece prin panourile de sită, sînt reținute pe sită impuritățile mari, plutitori în general, și apoi panoul încărcat se ridică permanent, ajungînd deasupra nivelului apei în fața unui jet de spălare; *3* — camera cu rol de bazin de aspirație pentru pompele din camera 4; camera *4* este o cameră uscată, care adăpostește pompele treapta I (care trimit apa de la sursă la stația de tratare). În cazul în care nu se dispune de pompe cu ax vertical (care au motoarele montate pe platforma superioară), pot fi prevăzute și pompe cu ax orizontal, cu luarea unor măsuri importante de păstrare uscată a camerelor.

Cînd sînt disponibile pompe cu ax vertical, camerele *3* și *4* pot fi unificate.

În partea superioară a construcției, se prevăd: camera de comandă; camera de manevră a vanelor și pompelor de epuisment; camera motoarelor pompelor verticale și sala transformatoarelor (dacă este cazul). Nivelul planșeului se execută de obicei cu circa 0,7 m peste nivelul maxim

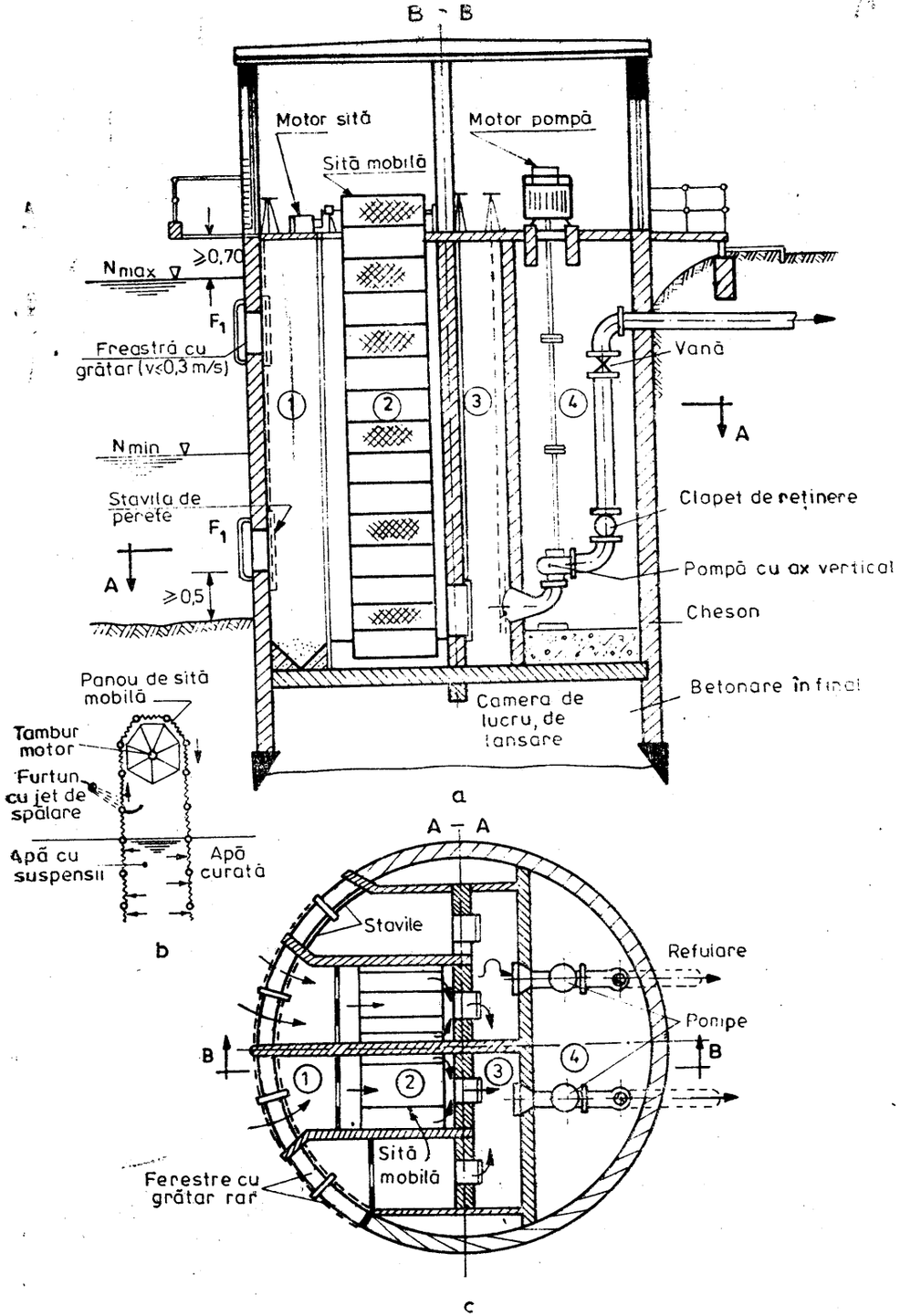


Fig. 3.4. Captare de mal, cu cheson: *a* **— secțiune verticală** *B—B*; *b* **— detaliu sită;** *c* **— secțiune orizontală** *A—A*; *1* **— camera de admisie și deznisipare a apei;** *2* **— camera sitelor rotative;** *3* **— cameră cu rol de bazin de aspirație pentru pompe;** *4* **— cameră uscată pentru pompe.**

al apelor rîului, cu asigurarea 1%. În fața prizei, se execută o pasarelă de acces a personalului pentru curățarea grătarelor de la priză și îndepărtarea plutitorilor și gheții. Grătarele sînt rare, cu distanțe între bare de 3—10 cm.

Admisia apei în priză se face prin 2 serii de ferestre — o fereastră sub nivelul minim și o fereastră sub nivelul maxim.

Viteza de trecere a apei este de 0,2 ÷ 0,3 m/s, iar nivelul de apă, peste marginea de sus a ferestrei, de minimum 0,50 m.

La nivelurile mari în rîu, se lucrează cu fereastra de sus, pentru a evita antrenarea în priză a aluviunilor mari, care sînt tîrîte de apă la partea de jos a albiei. Pentru închidere, fiecare fereastră are în spate o stavilă plană, manevrabilă de la suprafață. În fața ferestrelor, grătarele sînt rare, din bare rotunde (țeavă) sau profile, și se pot curăța cu greble mecanice (la prizele mari) sau manual. Grătarele trebuie să fie executate cu atenție și iarna se pot înlocui cu grătare din lemn sau se pot lua măsuri speciale pentru a se evita prinderea zaiului de barele metalice (bune conducătoare de căldură).

Zaiul este gheața în cristale fine, formată pe suspensiile din apă, și care plutește în masa de apă. Pentru a evita blocarea cu gheață, au fost imaginate mai multe sisteme, toate fiind însă perfectibile. Astfel, la centralele termice sau industriile, unde există abur rezidual sau apă caldă, se transformă grătarul în radiator, prin interiorul țevilor circulînd agentul de încălzire, sau se toarnă apă caldă înaintea grătarului, astfel încît apa care trece prin grătar să aibă 0,1 ÷ 0,5 °C. În alte cazuri, s-a transformat grătarul în rezistență electrică, legîndu-l la o sursă de tensiune convenabilă (putere instalată de cca. 1 kW/m²); consumul de energie este relativ mare, iar pericolul de accidentare este ridicat. S-a recurs și la îmbrăcarea barelor grătarului în cauciuc, ebonită, masă plastică etc., în scopul împiedicării zaiului să se prindă de bare. În foarte multe cazuri însă, se sparge gheața la priză cu unelte manuale, atunci cînd se constată că nu mai intră apă suficientă, operațiune foarte grea și riscantă.

În cazul în care apa rîului conține, în anumite perioade, o cantitate mare de suspensii, se poate așeza priza, nu pe malul rîului, ci într-un bazin (sau pungă) executat pe malul rîului, iar apa rîului parcurgîndu-l, se produce deznisiparea (asemenea rezolvări s-au dat la: Galați, priza din Siret pentru Combinatul Siderurgic; Brăila pentru CET etc.).

Foarte importante sînt forma sub care se amenajează intrarea apei din rîu în bazin (existînd riscul înnisipării) și modul în care se reușește să se facă evacuarea depunerilor din bazin. În literatura de specialitate se citează și alte posibilități de folosire a acestor bazine. Uneori, aceste bazine au fost executate sub formă de canale lungi, cu priza la capătul cel mai depărtat. Curățirea canalului se face prin dragare (CET Brăila).

Captări importante cu priza în mal au fost executate, în țară, la: Brăila (Combinatul de Celuloză și Hîrtie — Chiscani); Turnu Măgurele (Combinatul de Îngrășăminte Azotoase); Galați (pe Siret și pe Dunăre pentru Combinatul Siderurgic); Iași (pe Prut la Tutora); Govora (pe Olt, pentru Complexul Industrial); Arad (pe Mureș) etc.

În literatura de specialitate se indică și posibilitatea executării de captări în albie — sub forma unor pile; captarea este legată de mal printr-un pod special, ce susține și conductele pentru transportul apei.

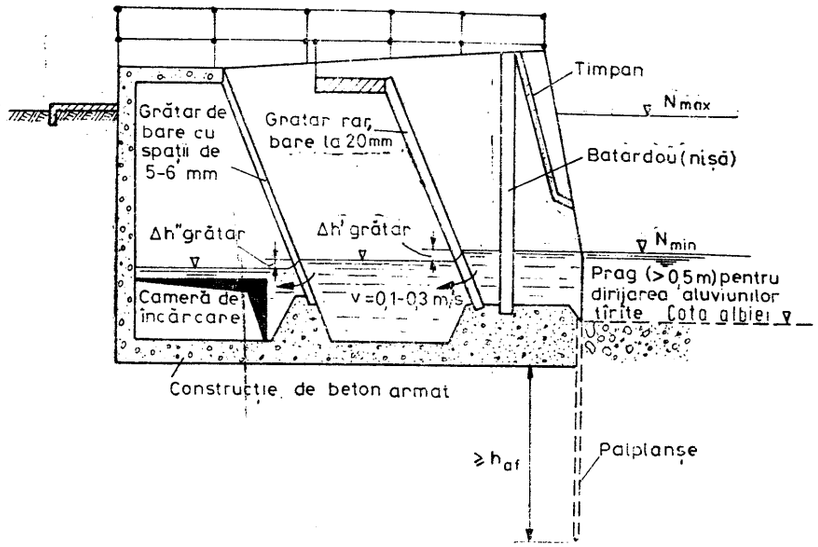


Fig. 3.5. Captare de mal, cu nivel liber.

Sînt situații însă, în care, din motive locale, debit mare și curgere gravitațională, captarea poate fi mai simplă. Un exemplu este dat în figura 3.5.

Captarea poate avea un singur compartiment, pentru debite mici, sau poate fi organizată pe linii pentru ușurința exploatării (se poate gîndi o linie de rezervă). Intrarea apei se face pe sub un timpan, care evită șocul plutitorilor cu grătarul și dirijarea acestora în aval. Pentru punerea la uscat, fiecare compartiment se prevede cu batardou demontabil. Priza poate avea două grătare în serie: un grătar rar și un grătar des. Pierderea de sarcină prin grătar se calculează cu relația cunoscută:

$$\Delta h_g = \beta (s/b)^{4/3} (v^2/2g) \sin \theta \ [\mathrm{m}], \qquad (3.1)$$

în care: β este un coeficient care ține seama de forma barelor grătarului (2,42 pentru bare din platbandă; 1,67 pentru bare din platbandă cu muchiile rotunjite; 1,79 pentru bare din oțel rotund); s — lățimea spațiului ocupat de bară (dimensiunea barei expusă atacului de apă), în m; b — spațiul fizic liber dintre bare, în m; v — viteza medie de curgere a apei printre bare (0,1 ÷ 0,3 m/s); θ — unghiul de înclinare al barelor grătarului, măsurat față de orizontală.

Valoarea calculată se poate multiplica prin 2, 3, pentru a ține seama de eventuala înfundare a grătarului cu plutitori (frunze, paie, gheață etc.).

O mare importanță o are direcția de așezare a grătarului față de direcția circuitului de apă; așezarea corectă este dată de condițiile locale și uneori, sînt necesare studii detaliate pe model în laborator. Grătarul se poate așeza paralel cu curentul de apă, puțin oblic (fig. 3.6), astfel încît apa să atace grătarul sub unghiul cel mai favorabil, sau frontal (fig. 3.7).

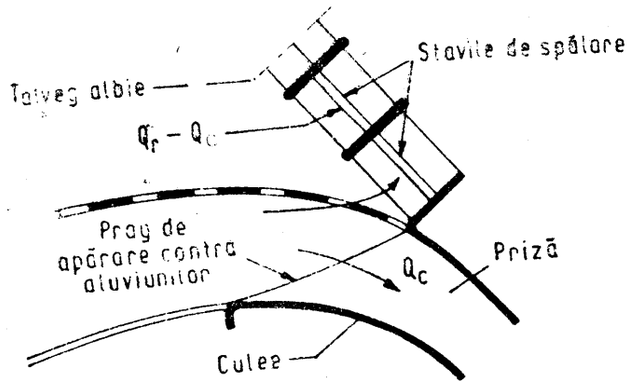


Fig. 3.6. Captare cu grătar oblic față de curentul apei în riu [32].

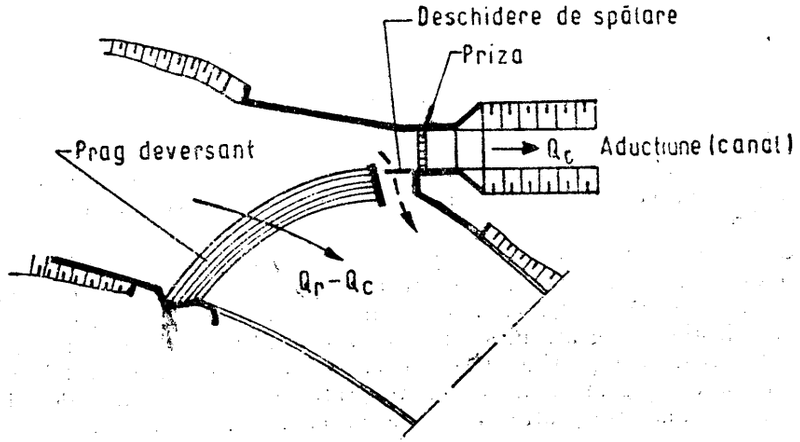


Fig. 3.7. Priză frontală [32].

Pentru industrii și termocentrale, au fost executate unele prize de mari dimensiuni; cele mai mari sînt pentru CET de pe Valea Jiului și de pe Mureș, pentru debite de 40 ÷ 45 m³/s [32], [35].

3.4.3. CAPTĂRI CU REGULARIZAREA ALBIEI

Sînt situații în care pe rîu există debitul de apă necesar pentru captare, dar albia este atît de dezvoltată, încît înălțimea apei nu permite derivarea debitului necesar. În această situație, este nevoie de înălțarea (creșterea) nivelului apei. Una din soluții este de a îngusta albia, prin lucrări artificiale de regularizare. Întrucît asemenea lucrări de regularizare pot fi necesare și în alte cazuri (stabilizarea albiei minore, de exemplu), vor fi date cîteva elemente generale, urmînd ca în caz de necesitate să se apeleze la lucrări de specialitate [24], [32], [37].

Lucrările de regularizare se prevăd și se execută cu respectarea următoarelor reguli generale:

- la ape mici, curgerea să fie cea dorită (stabilă către priză), iar la ape mari să nu se producă inundații în zonele vecine (să nu se reducă din capacitatea de transport a albiei);
- lucrările să se execute în etape, pentru a se putea cunoaște reacțiile la noile condiții și pentru a se putea face corectări în etapele următoare;
- tipurile de lucrări să se încadreze în peisaj;
- lucrările să nu stînjenească circulația apei pentru alte folosințe sau să producă băltirea apei, cu efecte de insalubritate;
- să se prevadă lucrări cu materiale din zonă;
- să fie folosită tendința naturală de curgere a apei, puterea și capacitatea colmatantă a curentului.

În figura 3.8 sînt schițate tipurile de lucrări mai des utilizate: lucrări în albie (diguri de dirijare, traverse de colmatare, epiuri) și lucrări de apărare și consolidare a malurilor. Elementele constructive tip sînt în general executate printr-o asamblare rațională de:

— combinație de lemn cu piatră (căsoaie, suluri și saltele de fascine);
— combinație de piatră cu metal (gabioane);
— anrocamente (piatră mare, spartă);
— beton, beton armat sub formă de construcții masive sau elemente prefabricate;
— construcții vii formate din înierbare, vegetație mică (se ia în considerare capacitatea de transport a albiei la ape mari).

Apărările de mal sînt lucrări de consolidare a malului rîului împotriva efectului de eroziune al apei la viteze mari. Acestea pot fi lucrări foarte simple, cum sînt taluzele înierbate, cu unele elemente simple de fixare, sau lucrări mai complicate ca: taluz pavat cu elemente de beton; zidărie de piatră rostuită sau nu; ziduri de sprijin din zidărie, beton sau beton armat. La construcțiile de mal, trebuie ținut seama că, în afară de efectul de erodare și de afuiere a patului de sprijin, acționează și împingerea malului.

Digurile longitudinale sînt lucrări executate în albie care au rolul de a dirija pe o porțiune, un spațiu relativ fix, apa rîului. Se realizează din: anrocamente, cu mărime suficientă pentru a nu fi antrenate de apă; prefabricate de beton; gabioane (piatră de rîu, balast închis în casete de sîrmă zincată pentru a obține o stabilitate generală mare — elemente simple ieftine și stabile, atîta timp cît sîrma *de la coș* nu cedează sub efectul eroziunii și coroziunii); căsoaie din lemn; blocuri de beton legate elastic etc. Capetele acestor diguri trebuie să fie bine apărate, eventual legate cu cîte un epiu, astfel încît curentul de apă să nu pătrundă în spatele digului. Dacă digurile sînt deversate, vor fi luate măsuri constructive contra afuierii sau spălării patului cu efect imediat asupra stabilității construcției.

Epiurile sînt, ca și digurile, construcții permeabile, rezistente la acțiunea apei, insubmersibile sau nu, care dirijează apa rîului pe un anumit spațiu și favorizează colmatarea treptată a spațiului dintre ele. Ca poziție, pot fi dirijate spre aval, normal pe albie sau orientate spre amonte. Se execută din aceleași materiale ca și digurile. Dacă albia are un pat ușor afuiabil, înainte de execuția digului propriu-zis, se amenajează un pat elastic din saltele de fascine, sau numai rulouri de fascine. O atenție deosebită se dă capului epiului (partea terminală dinspre apă), care este elementul cel mai solicitat. Totdeauna, coada epiului trebuie bine încastrată în mal, pentru a nu permite apei să-l ocolească.

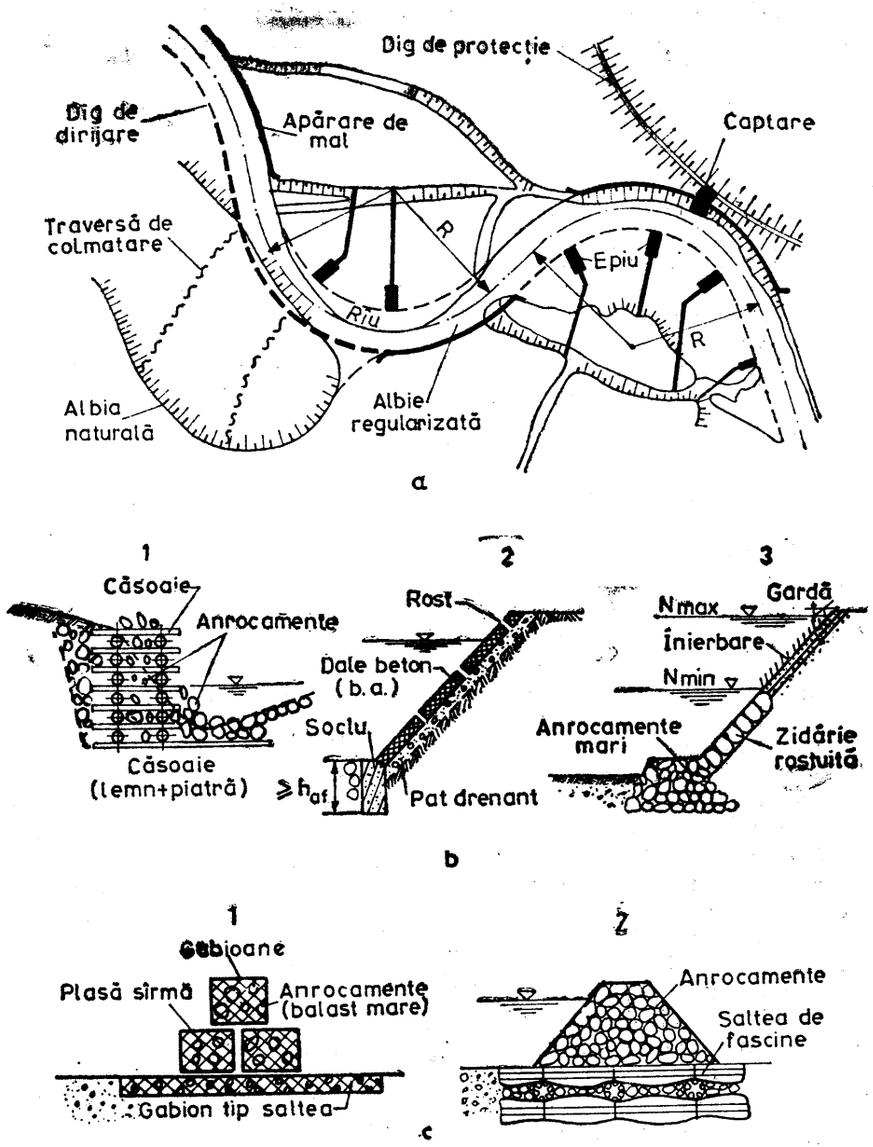


Fig. 3.8. Lucrări de regularizare a albiei, în zona prizei: *a* — plan cu tipurile de lucrări; *b* — tipuri de apărări de mal: *1* — cu căsoaie; *2* — cu dale din beton armat; *3* — cu elemente mixte (zidărie de piatră și înierbare); *c* — diguri, epiuri executate din: *1* — gabioane; *2* — anrocamente.

Traversele de colmatare sînt diguri scurte, executate din umplutură de material local, protejată cu anrocamente mari, pe albia minoră ce trebuie părăsită sau pe brațele auxiliare care trebuie să fie colmatate. La ape mari, spațiul dintre traverse se umple cu aluviuni și, în timp, traseul vechi al albiei minore dispare.

Toate construcțiile enumerate anterior și altele asemănătoare imaginate de specialiști trebuie să fie verificate și la efectul gheții (în perioada de primăvară nu trebuie să se permită formarea de zăpoare — blocuri de gheață spartă, aglomerată, care favorizează inundațiile).

Pe zonele de rîu regularizate, tipurile de construcții pentru captarea apei sînt similare cu cele pentru albia neregularizată, dar cu adîncime suficientă a apei. De altfel, totdeauna cînd se execută construcții legate de apă, vor fi luate și măsuri de stabilizare a albiei în zona afectată.

3.4.4. CAPTĂRI CU BARAJ DE DERIVAȚIE

În cazul în care pe rîu nu se poate asigura nivelul minim necesar pentru captarea apei, iar regularizarea albiei nu este posibilă sau rațională, se recurge la executarea unei construcții pentru ridicarea artificială a acestuia, dacă debitul captat este important, iar fenomenele de iarnă nu pun probleme deosebite. Pentru a nu crea prejudicii pentru alți beneficiari, construcția numită *stăvilar* sau *baraj de derivație* trebuie să asigure concomitent următoarele condiții:

— să fie stabilă la acțiunea dinamică a apei;

— să permită evacuarea debitelor mari fără a provoca inundații sau deteriorarea altor construcții;

— să permită evacuarea gheților de primăvară;

— să asigure navigația, plutăritul, circulația peștilor sau alte folosințe etc.

Forma captării depinde de:

— mărimea debitului captat, raportul debit captat/debit rîu;

— variația debitului rîului și aluviunilor transportate;

— posibilitățile de execuție;

— amplasamentul efectiv al prizei (natura albiei, adîncimea stratului impermeabil, înălțimea malurilor etc.).

În continuare sînt date cîteva exemple de construcții caracteristice pentru asemenea prize:

• *Captarea pentru debit mare*, realizabilă pe un rîu mare pentru localități, industrii, irigații, energie etc. are alcătuirea generală din figura 3.9.

Între două culei (o *culee* este o construcție de legătură între construcția din albie și mal) se execută elementul de barare a albiei, adică de ridicare a nivelului apei la cota minimă necesară. Aceasta poate fi un prag — baraj deversor, dacă lungimea disponibilă și cota malului permit evacuarea debitelor mari de rîu, sau baraj cu stavile mobile (stăvilar) care se pot ridica sau culca (într-un locaș special prevăzut) în radier, lăsînd liberă secțiunea pentru evacuarea apelor mari. Sînt și cazuri în care, din cauza deschiderii mari a albiei, s-a adoptat o soluție mixtă: parțial cu stavile, parțial cu baraj deversor, uneori și cu baraj nedeversant [32].

Pe malul opus captării se execută, dacă este cazul, ecluza pentru navigație sau plutărit, cu dimensiunile cerute de beneficiar și aproape totdeauna o scară de pești, pentru a asigura circulația liberă a peștilor între cele două biefuri (un *bief* este zona de rîu aflată *amonte* sau *aval* de construcția considerată).

Pe același mal cu priza se găsesc *două deschideri de spălare*, prevăzute cu vane plane care *stau totdeauna parțial deschise*, astfel încît debitul de apă care nu se captează să nu deverseze peste baraj, ci să treacă pe sub aceste stavile.

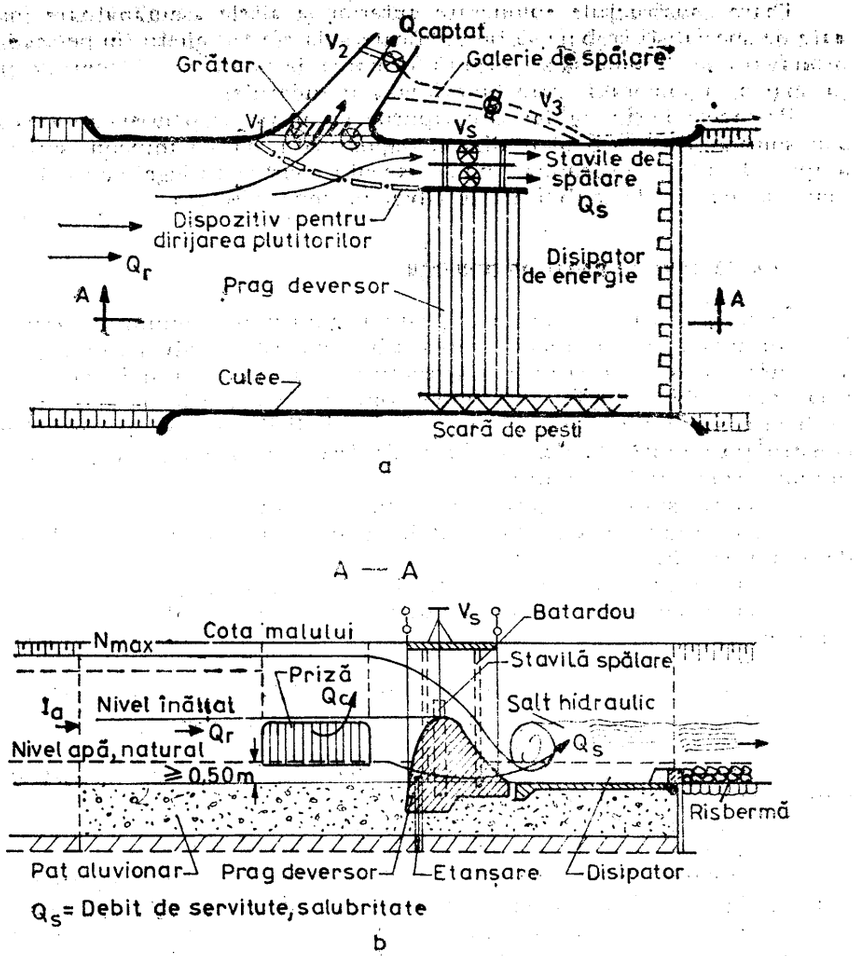


Fig. 3.9. Captare cu baraj de derivație: *a* — plan; *b* — secțiune verticală prin pragul deversor.

Se reamintește că, în nici un caz, nu este permisă captarea integrală a debitului rîului în secțiunea respectivă; o parte a debitului rîului trebuie să treacă în aval, pentru menținerea într-o stare salubră a zonei (altfel devine depozit de gunoaie pe timp de ape scăzute), asigurarea apei pentru viețuitoare și vegetație. Debitul rămas în albie este numit *debit de servitute* (Q_s). Spălarea este necesară, întrucît, prin ridicarea locală a nivelului apei, s-a realizat în amonte o reducere a pantei energetice a curentului de apă. Această reducere conduce la micșorarea capacității de transport, deci micul lac, ce se creează în spatele barajului, se umple repede cu aluviuni. Umplerea se face și în dreptul grătarului, fiind periclitată adîncimea de intrare minimă, altfel spus se realizează ridicarea locală a fundului albiei. Lăsînd liberă circulația apei lîngă grătar, se produce continuu o spălare a depunerilor din cauza vitezei mari realizate sub stavilele de spălare.

În unele cazuri, prima pilă a barajului a fost prelungită cu un pinten, formînd un fel de canal în fața prizei. Apa, circulînd cu o viteză comparabilă cu cea existentă în rîu înainte de barare, evită producerea de depuneri în fața prizei.

Atît în dreptul stavilelor de spălare, cît și al barajului deversor, în aval, se execută un *disipator de energie*, al cărui rol este de a reduce viteza apei la o limită care să nu producă spălări în aval de construcție, spălări care ar putea periclita stabilitatea acesteia.

Priza este o dechidere în culee, protejată cu un grătar contra plutitorilor. Pentru a evita antrenarea aluviunilor mari în priză, aceasta se prevede cu un prag (grătarul se așază deasupra fundului albiei la 0,5 ÷ 1,0 m). Pentru a nu favoriza blocarea grătarului cu plutitori, viteza de trecere este redusă, 0,1 ÷ 0,5 m/s, din care cauză priza are o formă de pîlnie. Intrarea poate fi închisă cu stavile. Dacă deschiderea totală este mare, ea se poate reduce cu ajutorul unor pile intermediare. Lungimea unei stavile nu va depăși 2,50 m, altfel dispozitivele de ridicare a stavilelor devin greoaie. În pile, înaintea nișei stavilei, se lasă profile U înglobate în beton, cu deschiderea spre apă, pentru a se putea lansa batardoul (umplutură din elemente, grinzi de lemn sau metal), în scopul punerii la uscat a incintei pentru eventuale reparații. Deoarece, după grătar viteza apei scade mult, se produc depuneri, care pot afecta circulația pe canalul de legătură. Spălarea lor se poate face cu o golire secundară — de spălare (v. fig. 3.9). Dacă se închide plecarea spre beneficiar (stavila V_2) și se deschide stavila V_3, se poate asigura o circulație forțată cu o viteză, mare (diferența de nivel amonte-aval este mare). Dacă debitul pe rîu este suficient, iar grătarele au o suprafață ămai mare decît cea strict necesară, se poate merge cu vana V_3 parțial deschisă — spălarea făcîndu-se continuu.

Pentru evitarea antrenării plutitorilor mari și a gheții în sloiuri, la grătar se amenajează un perete de lemn scufundat parțial (0,5 m) sau o linie de bușteni legați articulat (care plutesc). Fenomenele de iarnă sînt cele mai dificile la aceste prize.

Captări de acest tip — cu bune rezultate în funcțiune — există pentru: București (Crivina—Ogrezeni); Pitești, din Argeș; CET Craiova, din Jiu; CTE Rogojelu, din Jiu; CEIL Suceava, din Suceava; Tîrgu Mureș, din Mureș etc.

• *Captarea tiroleză* este o captare cu grătar pe creastă (fig. 3.10, *a*), care se adoptă în cazul în care debitul rîului la ape mici este redus și nu poate asigura spălarea zonei din fața prizei, iar debitul captat fiind mic, captarea în mal se face greu (la această construcție de captare se execută și o priză de iarnă, în cazul în care grătarul îngheață). Captarea se aplică în zone de munte, la rîuri cu caracter torențial pentru debite nu prea mari (sub 1 m³/s). În unele situații, masivul de beton nu se vede din albie, fiind alcătuit dintr-un prag de fund — cu grătar la nivelul fundului albiei (grătarul este înclinat aval pentru a evita blocarea cu aluviuni mari).

• *Captarea sub albie* se adoptă în situația unor localități de munte pentru care singura sursă de apă o constituie rîul sau pîrîul care izvorăște de la cote înalte, al cărui debit scade foarte mult în perioadele de iarnă și vară, și în cazul în care fenomenele de îngheț durează timp îndelungat. În această situație, o captare în albia rîului va fi serios stînjenită, iar exploatarea va pune probleme deosebite. Pentru evitarea unora din aceste probleme, au fost imaginate și executate captări sub fundul albiei, într-o zonă în care albia este bine dezvoltată și are un pat de 2 ÷ 3 m de aluviuni. Construc-

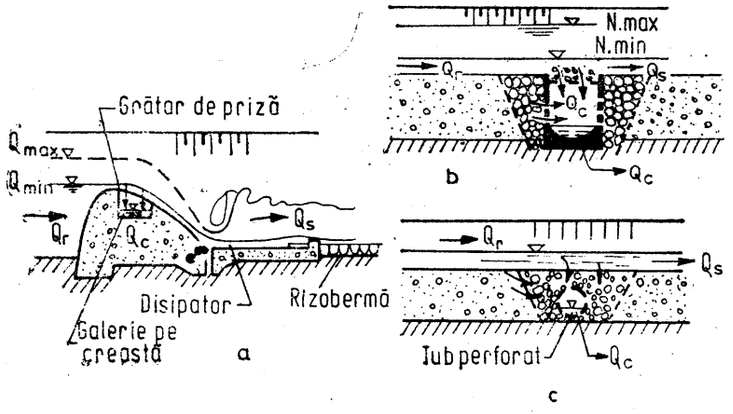


Fig. 3.10. Captări speciale: *a* — captare tiroleză; *b* — captare cu galerie transversală pe fundul albiei; *c* — dren sub fundul albiei.

ţia transversală drenează apa la unul din capetele sale, unde pe malul rîului, dintr-un puţ, este prelevată şi transportată. Această captare se deosebeşte însă de captarea subterană a apei infiltrate prin mal sau sub fundul albiei (cu drenuri radiale), deoarece apa captată are tot caracteristicile unei ape de suprafaţă, drumul parcurs prin patul aluvionar fiind foarte scurt o asemenea apă are o turbiditate mai mică decît apa captată direct din rîu.

Schema unei captări sub albie, numită uneori şi *caucaziană*, este dată în figura 3.10, *b*, iar schema unei captări proiectată pentru extinderea provizorie a alimentării cu apă a unei localităţi din ţară — la un debit de 10 dm³/s în figura 3.10, *c*.

Din figură se observă că, în patul aluvionar al rîului, se execută o construcţie permeabilă care drenează apa ce se scurge prin subteran sau care se infiltrează direct asupra construcţiei. În faţa acestei construcţii şi deasupra ei, se execută un blocaj din anrocamente, care să permită accesul mai bun al apei şi totodată să stabilizeze construcţia contra efectului dinamic la ape mari (captarea lucrează ca un prag de fund stabilizator). Captarea este relativ simplă, uşor de executat şi cu rezultate bune în exploatare. Trebuie însă dată o atenţie deosebită posibilei colmatări a zonei de acces la elementul drenant, din cauza apei ce conţine fibre de dimensiuni mici (celuloză şi hîrtie), material ce se colmatează etc.

3.4.5. CAPTĂRI DIN LAC

După cum a fost menţionat, ţara noastră nu dispune de lacuri naturale de volume importante care să poată folosi drept sursă de apă. Din această cauză, captările vor fi analizate din punct de vedere al prelevării apei din lacurile *artificiale*.

În etapa actuală, în ţara noastră, executarea de captări cu debite importante din majoritatea rîurilor interioare nu se mai poate face fără o regularizare a debitului, deoarece, deşi regimul precipitaţiilor este relativ uniform (200 ÷ 2000 mm/an), distribuţia în timp este foarte neuniformă. Aceasta face ca, în perioadele de primăvară şi toamnă, să se scurgă pe rîuri majoritatea cantităţii de apă, iar în perioada de vară şi mai ales iarna, debitele să

scadă la valori extrem de mici, cu totul insuficiente pentru alimentarea folosinţelor. Regularizarea debitelor se face *prin lacuri de acumulare* special create (rezervoare uriaşe cu volume de zeci de milioane-miliarde de metri cubi), care acumulează apa din rîu în perioadele de viitură şi permit folosirea acesteia la debitele dorite (fig. 3.11); un exemplu îl reprezintă realizarea lacurilor de acumulare pe rîul Argeş, caz în care debitul mediu anual utilizabil s-a dublat faţă de debitul minim, permiţînd alimentarea cu apă a municipiului Bucureşti în condiţii mult mai bune.

Este însă evident că un asemenea lac nu se poate crea decît printr-o construcţie specială de blocare a albiei — numită *baraj* — construcţie care prin amploare şi efort de investiţie pune probleme deosebite. Din această cauză, executarea unor asemenea lucrări se face prin cooperare cu alţi beneficiari, lacul urmînd să aibă o folosinţă complexă, ca de exemplu: (1) reducerea viiturilor permite protejarea localităţilor şi scoaterea unor suprafeţe de sub efectul inundaţiilor, redîndu-le circuitului agricol; (2) volumul de apă acumulat conţine o cantitate mare de energie hidraulică, energie care poate fi transformată în centrale hidroelectrice şi dată în circuitul energetic al ţării; (3) o parte din volumul de apă acumulat poate fi preluat pentru irigarea unor importante suprafeţe de teren; (4) parte din lac poate fi amenajat ca zonă de agrement, dezvoltînd zona din punct de vedere turistic; (5) se poate îmbunătăţi regimul de curgere în aval, cu efect şi asupra calităţii apei.

Din punct de vedere al alimentării cu apă, lacul are cel puţin în prima perioadă, un efect favorabil, apa prelevată fiind în general mai limpede şi mai constantă sub raport calitativ. Aceasta presupune însă preluarea apei direct din lac (varianta *I* din fig. 3.11), lucru care poate dezavantaja pe alţi beneficiari (cei care se ocupă de producerea energiei, de exemplu).

Pe de altă parte, apa staţionînd mult timp în lac îşi reduce conţinutul în oxigen, iar prin descompunerea depunerilor şi dezvoltarea unor vieţui-

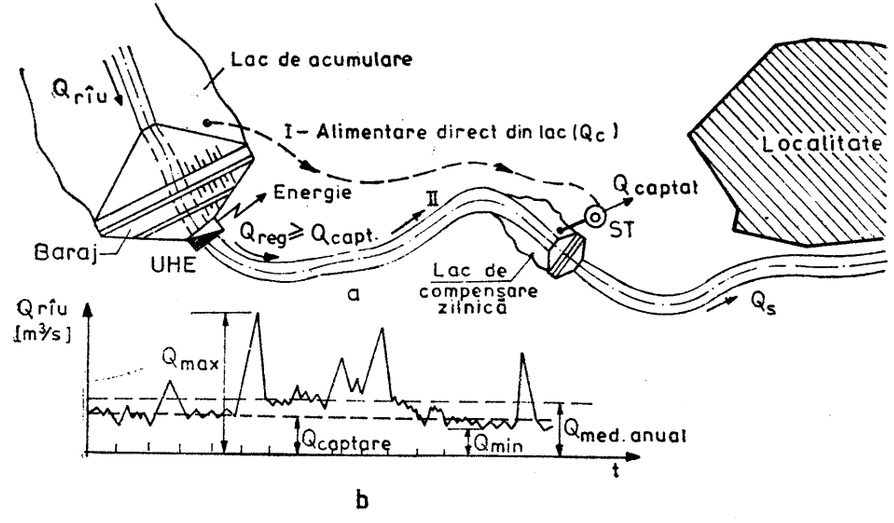


Fig. 3.11. Captare pe rîu regularizat prin lac de acumulare; *a* — planul amenajării; *b* — hidrograful debitelor pe rîu în secţiunea barajului, înainte de executarea lacului.

toare specifice, apa poate să capete gust neplăcut (gustul este diferit de cel al apei de rîu, care este apă curgătoare). De aceea, uneori, apa este acumulată, dar nu este captată din lac, ci *uzinată* și lăsată să curgă pe vechea albie pentru a se reaera (varianta a *II*-a din fig. 2.11). Soluția este favorabilă în cazul în care utilizatorul de apă se află la distanță mare.

Dacă centrala funcționează continuu, atunci captarea se poate face în curent liber ; dacă însă centrala (UHE) funcționează în regim de vîrf (cum de obicei funcționează asemenea centrale, cîteva ore în cursul serii), atunci aval, înainte de priză, trebuie prevăzut un lac de compensare zilnică a debitelor, lac care să rețină apa uzinată în regim neuniform și să permită captarea unui debit relativ constant.

Cele două variante, arătate schematic în figura 3.11, trebuie comparate ca avantaje și dezavantaje.

Într-o asemenea amenajare, construcția principală o constituie barajul. Pentru detalii asupra alcătuirii, dimensionării, pot fi consultate manuale și cărți de specialitate [32], [18].

Priza de apă poate fi realizată în *corpul barajului, în aval de baraj sau în lac*. Elementele care conduc la stabilirea soluției sînt :

— poziția utilizatorului de apă față de lac : captare din lac, dacă acesta este amplasat amonte și departe de baraj ; în baraj sau aval, pentru un consumator aval sau din alt bazin hidrografic ;

— mărimea lacului, variația nivelului apei în lac ;

— existența unei salbe de lacuri pe rîul respectiv ;

— utilizarea rațională complexă a apei acumulate (de regulă, la stabilirea amplasamentului lacului se statuează și modul de folosire a apei) ;

— tipul de baraj și simultaneitatea execuției barajului cu priza pentru folosințe de apă ; în general, după executarea barajului priza poate fi numai în aval sau în lac ;

— condițiile reale de teren ; trebuie ținut seama că barajele cu lacuri mari de acumulare sînt situate în zona de deal-munte ;

— condițiile raționale de tratare a apei obținute din lac.

Priza în aval de baraj. Se poate executa oricînd, înainte și după execuția barajului, în forme și la debite adecvate.

Sînt posibile două tipuri de captări :

— *captări în curent liber*, de forma celor descrise anterior, pe rîul pe care debitul regularizat prin lac are valori mult mai mari (de exemplu, pe rîul Dîmbovița, cel mai mare debit măsurat la priza Brezoaiele pentru municipiul București a fost de 1600 m³/s, iar cel mai mic debit de 0,5 m³/s ; dacă ar exista lacuri de acumulare suficiente — există numai lacurile Pecineagu și Văcărești — în locul debitului de 1600 m³/s dintr-o singură zi s-ar asigura un debit mediu anual de utilizare de cca. 4,4 m³/s ; pentru că nu există încă lacuri de acumulare suficiente, în perioadele de ape mici, este adusă la Arcuda, prin pompare, apă din rîul Argeș, rîu care este în mare măsură regularizat, v. fig. 1.5) ;

— *captări în baraj sau în lac*, în cazul în care lacul are ca principală folosință alimentarea cu apă sau cînd barajul este realizat pentru un lac de compensare a debitelor rezultate de la funcționarea unor centrale hidroelectrice din amonte ;

— *captări în lac*, în cazul în care lacul compensează folosința energetică, iar beneficiarul este departe de baraj, în amonte.

Prize în baraj [20], [18]. Sînt gîndite și executate odată cu barajul, astfel încît să nu pericliteze siguranța în funcționare a acestuia, dar să poată prelevа apa de calitatea cea mai bună existentă la un moment dat în lac.

În figura 3.12 sînt date exemple de captări de apă executate în baraj. Dacă barajul este din beton, priza este comună cu barajul (barajul de beton Poiana Uzului, fig. 3.12, *a*, în bazinul Trotușului — pe rîul Uz — are prize la 3 cote diferite, astfel încît, în funcție de nivelul apei în lac — lacul are cca. 10^3 m³ — și calitatea apei, să permită prelevarea apei necesare pentru toate localitățile de pe valea Trotușului pînă la Onești și recent și pentru municipiul Bacău, în bazinul hidrografic al Bistriței).

În figura 3.12, *b* este dat un exemplu de captare a apei din barajul Paltinu (baraj în arc — cu rost perimetral). Întrucît beneficiarul este mult în aval, apa captată este trecută prin turbine și apoi lăsată să devină apă curgătoare. Amonte de Cîmpina există un lac de compensare de circa 200 000 m³ (colmatat în mare parte) din care se realizează captarea propriu-zisă. Barajul care realizează lacul de compensare este din materiale locale cu un sistem de stavile pentru spălarea depunerilor la viitură (fig. 3.12, *c*).

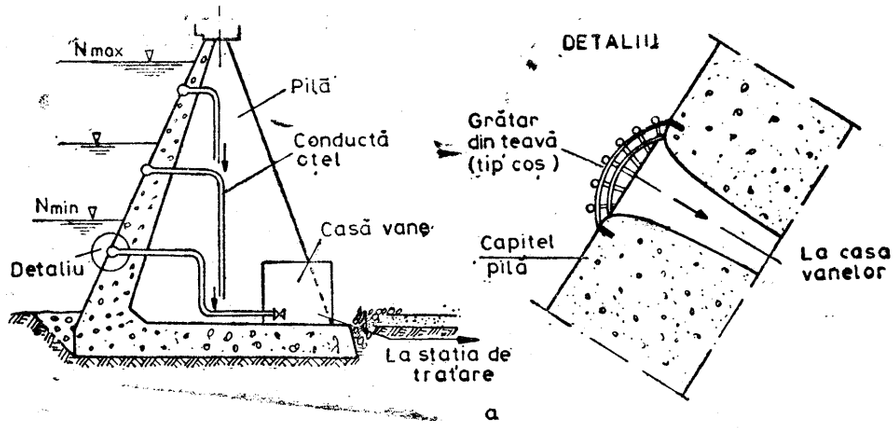
În figura 31.2, *d* este schițată captarea dintr-un lac al cărui baraj este executat din materiale locale — cu miez de etanșare din argilă. Captarea se execută total izolat de baraj (în malul natural sau în lac, fig. 3.12, *e* — pentru a nu-i produce dificultăți barajului prin exfiltrarea apei pe lîngă sistemul de transport al apei) și pentru ca priza să nu aibă dificultăți la tasări neuniforme ale barajului. Apa captată din priza turn — de la cote diferite, funcție de calitatea acesteia — este evacuată prin conducte sau galerii amplasate în malul natural.

Acest tip de captare poate fi aplicată și în altă poziție în cuprinsul lacului pentru beneficiari riverani — amonte de baraj (captări similare sînt la Brașov-Tîrlung, Valea de Pești, pe Jiu).

Cînd principala folosință a lacului este de combatere a undei de viitură, captarea poate avea o formă specială (fig. 3.12, *f*). Captarea este amplasată la o cotă deasupra rezervei destinată acumulării depunerilor din lac și trebuie să evite blocarea cu corpuri mari ce pot cădea prin apă, întrucît nu este accesibilă decît la ape mici — lac gol sau lac golit.

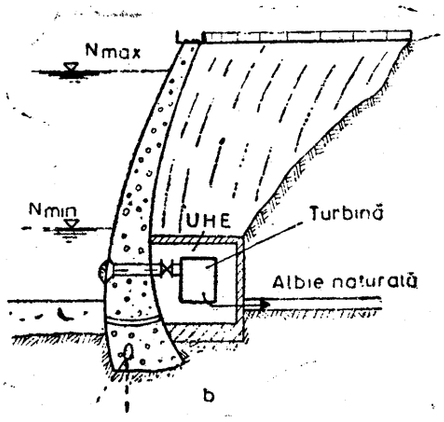
Captări în lac se practică atunci cînd în amplasament nivelul apei este asigurat întotdeauna deasupra unei valori limită. Se pot practica : o captare de tip turn (fig. 3.12, *e*), cînd debitul captat este important, iar nivelul lacului relativ constant ; o captare plutitoare, cînd alimentarea cu apă este sezonieră sau condițiile de iarnă nu sînt severe ; o captare de fund, cînd lacul este de adîncime mare și cu un volum de apă important (fig. 3.13).

Captarea de fund este formată dintr-un sorb (pot fi prevăzute mai multe asemenea construcții separate) așezat pe o confecție metalică stabilă de tip tetrapod. Se amplasează deasupra nivelului (apreciat) de colmatare și sub nivelul minim al apei din lac (acoperire mai mare pentru a o feri de plutitori). Zona captării va fi balizată pentru a fi ferită de accesul plutitorilor și a putea fi ușor reperată pentru control ; se marchează și zona de protecție, dacă este cazul. La apă limpede și adîncime mică se poate face un control vizual. Conducta de legătură (suficient de elastică dacă are lungime mare) se lansează prin plutire și poate permite ridicarea prizei în caz de nevoie. Captarea va fi amplasată la o asemenea adîncime, încît să nu fie deplasată de valuri și totodată, nu într-o zonă în care valurile pot pune în mișcare depunerile de pe fund și deteriora calitatea apei. Captarea este tipică pentru

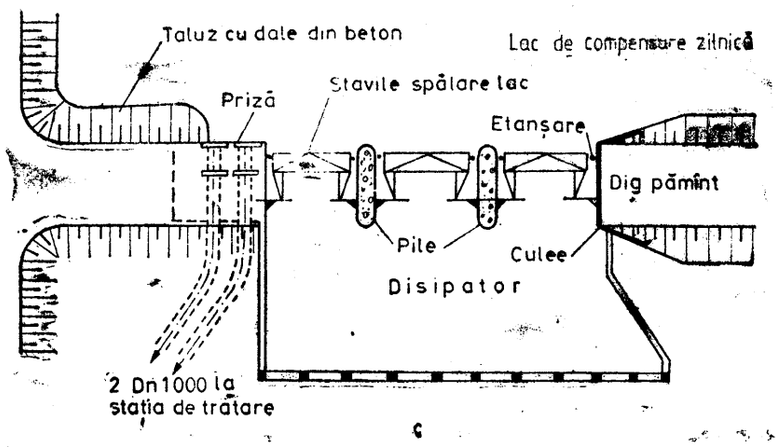


a

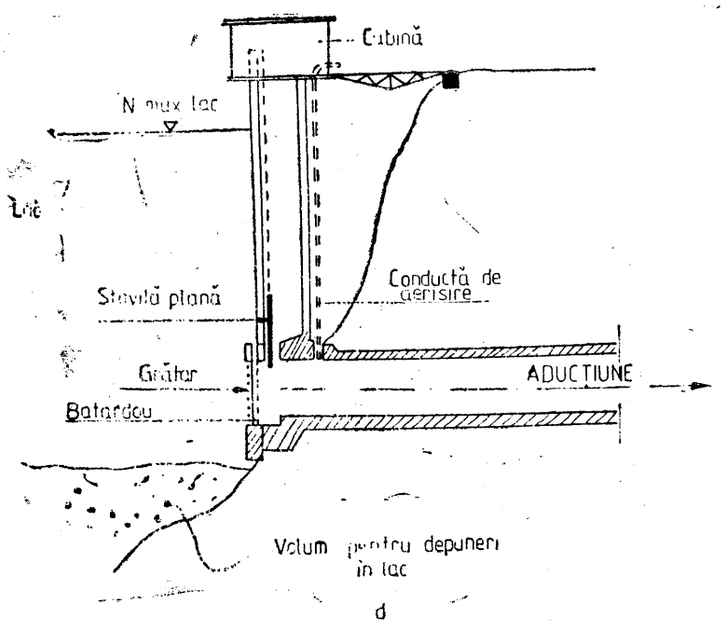
Fig. 3.12. Prize în barajul lacului de acumulare: *a* — în baraj cu contraforți; *b* — în baraje arcuite: *c* — în baraje din pământ;



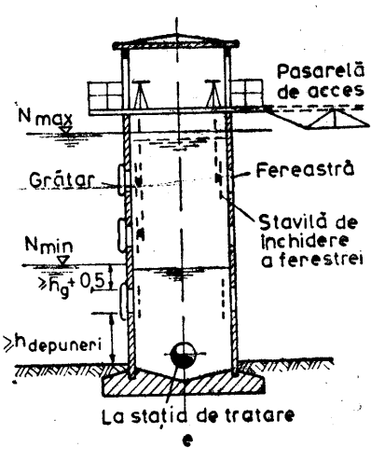
b



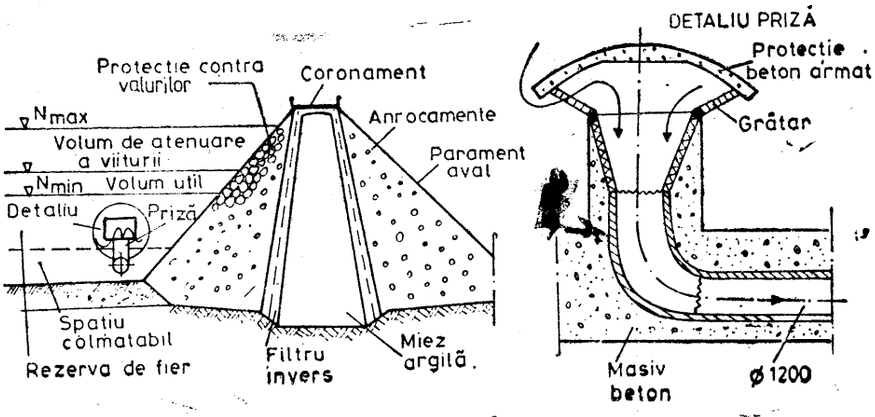
c



d



e



f

Fig. 3.12. (continuare): *d* — în malul lacului de acumulare; *e* — în lacul de acumulare; *f* — în lacuri de acumulare cu rol preponderent de atenuare a viiturii.

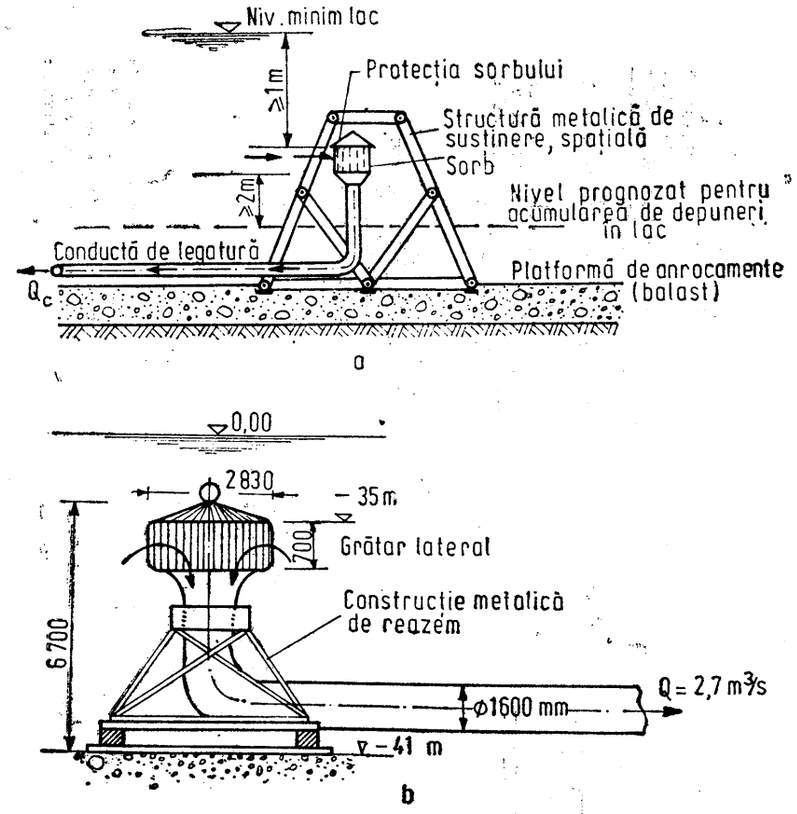


Fig. 3.13. Captare de fund în lac: *a* — schema generală de amplasare; *b* — captare din lacul Geneva (pentru 2,7 m³/s).

prelevarea apei din lacurile naturale. În figura 3.13 este dat exemplul prizei pentru orașul Geneva (Elveția), pentru debitul de 2,7 m³/s.

Existența lacurilor de acumulare ridică probleme importante sub trei aspecte generale, aspecte care pot influența calitatea apei captate, siguranța în funcționare a prizei sau și a zonelor vecine:

— pentru lacurile mici, problema cea mai importantă este legată de colmatarea cu aluviuni; lipsa măsurilor de protejare, amenajare și stabilizare a solului în bazinul hidrografic conduce la antrenarea unei mari cantități de sol (mai ales fertil), care blochează în scurt timp volumul lacului;

— pentru lacurile cu volum mediu (milioane de m³), problema cea mai importantă o constituie *eutrofizarea* apei lacului;

— pentru lacurile mari (sute milioane m³), problema importantă este *îmbătrînirea lacului* (o eutrofizare lentă avînd ca punct final obținerea unei ape de calitate total deosebită de aceea a rîului din care provine).

• *Eutrofizarea lacurilor* este o problemă acută a multor lacuri din zone de șes și colinare. Cauza principală este aportul de substanțe fertilizante (fosfor, carbon, azot). Fosforul (adus în apă în special din apele uzate orășenești — neepurate adecvat) în cantități mici favorizează randamentul

de funcționare a *fitoplanctonului*, care la rîndul lui favorizează fixarea azotului cu ajutorul bacteriilor. Dezvoltarea fitoplanctonului favorizează dezvoltarea *zooplanctonului* și deci a populației de pești.

Dacă fluxul energetic și aportul de substanțe este moderat, atunci ciclul se încheie, devine stabil și lacul își păstrează calitatea de *lac oligotrof* (fig. 3.14, *a*).

În cazul în care cantitatea de fosfor crește, crește volumul de fitoplancton, deoarece nu există suficient azot, și lanțul se rupe. Zooplanctonul și peștii mor, substanța organică crește, bacteriile consumă oxigenul și lacul devine *eutrof*, acoperindu-se cu vegetație (care are rădăcinile în mîlul situat pe fundul lacului și frunzele la suprafață, realizînd fotosinteza, fig. 3.14, *b*). Consumarea oxigenului de către substanțele în descompunere și capacitatea redusă de aerare fac ca apa lacului să aibă de regulă un conținut mai redus de oxigen.

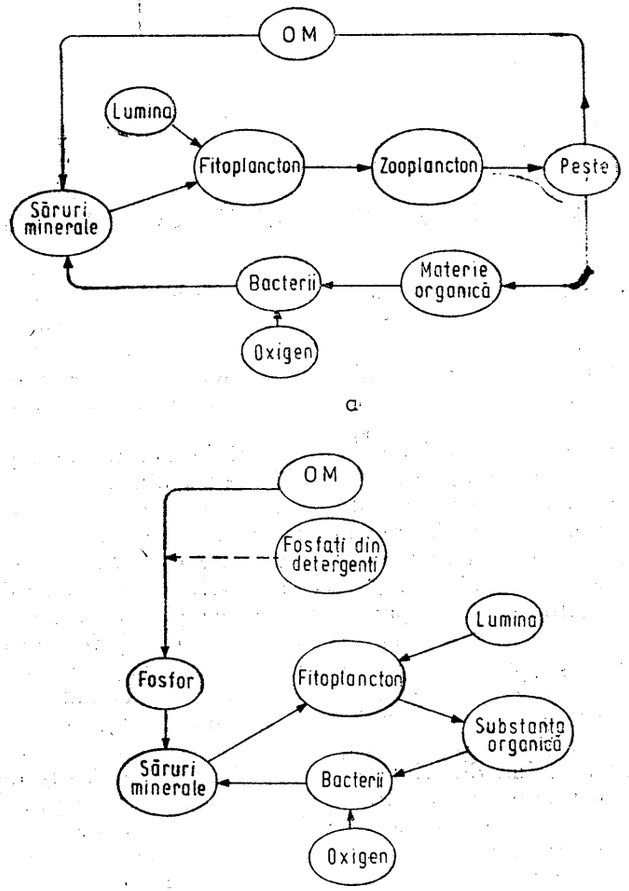


Fig. 3.14. Circuitul energiei și substanțelor în: *a* — lacul oligotrof; *b* — lacul eutrofizat.

Dacă se reduce cantitatea de nutrient (în special fosforul), după un timp, calitatea apei se îmbunătățește, neajungînd însă la calitatea inițială (se consideră că un conținut în fosfor de 10 ÷ 20 mg/l este acceptabil).

• *Îmbătrînirea lacurilor* este fenomenul de modificare continuă a calității apei lacului, ca urmare a noului echilibru ce se realizează între aportul de substanțe și circulația apei. Apa care ajunge în lac este o apă cu conținut ridicat de substanțe minerale și organice. Acestea se depun, se descompun, intră în reacție, formînd substanțe noi cu conținut de Fe, N, S, C (H_2S, CH_4), substanțe care modifică chimismul apei. Pe baza aportului de substanțe și sub influența luminii, crește producția de masă organică (schema lacului oligotrof). Apare un fenomen nou de circulație a apei în lac : vara, apa de la suprafață este caldă, deci, mai ușoară ; toamna însă, apa se răcește, devine mai rece decît apa de la fundul lacului (are cca. 4 °C ; sub 15 ÷ 20 m temperatura rămîne relativ constantă), deci devine mai grea (densitatea crește la scăderea temperaturii) și coboară, înlocuind apa mai caldă de adîncime, apă care se ridică (depunerile mai pot fi agitate și de valurile de la suprafață).

Poziția captării în lacurile adînci trebuie să fie totdeauna în zona medie cu temperatura relativ constantă (6 ÷ 12 °C) și unde nu se simte direct influența descompunerilor ce se produc la fundul lacului (sau tulbureala dată de depunerile răscolite).

3.5. LUCRĂRI COMPLEMENTARE LA LUCRĂRILE DE CAPTARE

Captarea este un element esențial pentru sistemul de alimentare cu apă (chiar și denumirea de *captare* semnifică necesitatea realizării acesteia ca un punct de plecare fix și rezistent în timp). Deteriorarea captării conduce la inutilitatea întregului sistem de alimentare cu apă. Întrucît este și unul dintre elementele cele mai solicitate și în perioade mari de timp este inaccesibilă în partea cea mai utilă, priza propriu-zisă, sînt necesare măsuri corespunzătoare.

Grupa cea mai mare de lucrări o constituie lucrările de regularizare și stabilizare a albiei și de apărare și stabilitate a malurilor.

Dintre cele mai importante dificultăți în ceea ce privește prizele, cele mai multe sînt legate de afuierea malurilor și a construcțiilor de retenție. Astfel, priza Ogrezeni pentru municipiul București (captare cu baraj de derivație, stăvilar parțial, prag deversor parțial), din cauza dimensionării necorespunzătoare a disipatorului de energie, a ajuns în situația fisurării pilelor de reazem a stavilelor [35]. Remedierea, prin refacerea și consolidarea disipatorului de energie, în două etape, și reconsolidarea pilelor prin injecție, a necesitat un efort important — lucrîndu-se sub sarcină, întrucît nu era posibilă scoaterea prizei din funcțiune. Un accident similar s-a petrecut și la captarea pentru Tîrgu Mureș. Captarea pentru orașul Cîmpina din rîul Doftana a fost de două ori distrusă din cauza alcătuirii necorespunzătoare : în etapa întîi s-a rupt pragul deversor care *nu avea* disipator de energie și apoi a fost din nou distrusă din cauza insuficienței disipatorului la viitura din 1970. Actualmente, priza s-a comasat cu priza din sistemul Paltinu pentru municipiul Ploiești.

În concluzie deci, sînt necesare lucrări de protecție și consolidare a malurilor și o dimensionare și execuție foarte atentă a disipatorilor de energie. Se atrage atenția că dimensionarea acestor elemente se face pentru debite normate. Frecvența acestor debite este atît de mică, încît rareori

ele au o confirmare practică. De multe ori, ca urmare a modificărilor intervenite în bazin, debitul maxim crește, periclitînd construcția. Astfel, pentru captarea Brezoaiele (apă din Dîmbovița pentru București — prin stația de tratare Arcuda), debitul de verificare (captarea gîndită acum aproape 100 ani) a fost de 1200 m^3/s, iar la viitura din 1970, debitul măsurat a fost de 1600 m^3/s.

Lucrările cele mai ample sînt însă cele care trebuie efectuate în bazinul hidrografic al rîului din care se face captarea apei. Lipsa unor lucrări adecvate conduce la două mari grupe de efecte :

— *erodarea terenului* și transportul materialului în albie, avînd ca efect *tulburarea apei* — deci eforturi mari de limpezire a acesteia, *colmatarea rapidă* a lacurilor de acumulare pînă la scoaterea prizei din funcțiune, *exploatarea grea* ca urmare a depunerilor din albie (nu pot fi îndepărtate ușor, iar neîndepărtarea lor poate pune captarea în pericol sau poate produce inundații (este cunoscut cazul prizei pe rîul Doftana în sistemul hidrotehnic Paltinu ; apa rîului Doftana are, la ape mici, turbidități de 10 ÷ 20° SiO_2 ; cînd plouă însă, turbiditatea ajunge în cîteva ore la 20 000 ÷ 50 000 mg/l suspensii și ca urmare, stația de tratare trebuie oprită, întrucît nu poate funcționa în asemenea condiții — lacul de compensare la priză, ce asigură rezerva de o zi, este practic colmatat, deci nu mai poate reține din suspensii) ;

— *spălarea stratului vegetal*, care se formează în ritmul de 1 cm la 20 ÷ 100 ani și ca urmare, nereținerea apei pe sol, deci formarea unor unde de viitură cu debite mari, ce pun în pericol așezările din aval (cazul cel mai grav este ruperea barajului de la Belci), și asigurarea unor debite foarte reduse după trecerea viiturii ; după aprecierile făcute pe baza observațiilor în cazul unor avarii importante [35], a rezultat că anual spălarea poate antrena între 0,5 pînă la 30 t sol/an ha.

Un exemplu îl constituie lacul Bascov — sursa de apă pentru municipiul Pitești — care și-a redus în circa 5 ani volumul de la 5,3 10^6 m^3 la circa 0,7 10^6 m^3 ; aluviunile au fost reținute în proporție de 0,9 10^6 m^3/an ; s-a redus substanțial volumul de compensare și au rezultat mari greutăți în exploatarea prizei. În situații similare se află și lacurile : Curtea de Argeș (86% colmatat) ; Racova (pe Bistrița — colmatat 46%) ; Dăești (pe Olt — 52% colmatat) etc. ; mai trebuie menționat că sedimentarea în lacuri conduce la creșterea capacității de eroziune în aval, cu periclitarea imediată a stabilității construcțiilor.

Suprapuse peste o spălare defectuoasă a aluviunilor din lac (o manevră deficitară a deschiderilor stavilelor — de multe ori se deschid stavilele de pe partea opusă captării pentru „a atrage" apa cu suspensii) conduce la ridicarea nivelului depunerilor, iar în caz de viitură plutitorii mari pot bloca sau deteriora stavilele, grătarele, cu efect de inundație. O asemenea blocare la priza Paroșeni a condus la inundarea unei părți din localitate (1,50 m apă) [35].

Construcțiile din apropierea prizei trebuie să fie exploatate astfel încît să se mențină podul de gheață. Ruperea podului de gheață conduce la formarea de zăpoare pe aducțiune — cu blocarea totală a apei sau blocarea grătarelor — întreruperea alimentării cu apă etc. Deblocarea grătarului este foarte dificilă în perioada de iarnă. Asemenea dificultăți au existat la alimentarea cu apă a unor mari obiective : municipiul București — priza Crivina ; Brăila ; CET Paroșeni ; CET Brazi etc. [35].

Trebuie menționat că multe din deficiențele semnalate au avut loc ca urmare a lipsei de informare. În general, s-a scris foarte puțin despre avariile produse și analiza cauzelor lor, fapt care a condus la repetarea lor prin necunoașterea mijloacelor de combatere.

În cazul prizelor care asigură apă pentru potabilizare, este necesar să se asigure și o zonă de protecție sanitară. În cazul lacurilor de acumulare, zona de protecție se constituie din suprafața cu dimensiunea de 50 ÷ 100 m amonte-lateral și minimum 50 m aval. Zona va fi balizată. În cazul lacurilor mici, tot lacul va fi protejat (este interzisă orice activitate cu excepția pescuitului autorizat și controlat).

În cazul rîurilor, practic întregul sector de categoria I amonte trebuie să fie sub control.

3.6. EXPLOATAREA CAPTĂRILOR DE APĂ DIN SURSE DE SUPRAFAȚĂ

În exploatarea captărilor din surse de suprafață, două sînt problemele importante asupra cărora trebuie îndreptată în special atenția: funcționarea corectă a grătarului și evitarea admisiei de aluviuni de dimensiuni mari și în cantitate mare, în priză.

Grătarul se poate întreține relativ simplu dacă este bine dimensionat și executat. Acesta se va curăța periodic cu unelte manuale sau mijloace mecanizate, astfel încît să se evite înfundarea cu plutitori, frunze, crăci, plante etc. În perioada de iarnă, trebuie acționat pentru împiedicarea înghețării grătarului; un personal permanent, conștiincios și cu experiență, poate deduce în timp măsurile cele mai eficiente pentru asigurarea funcționării corecte a grătarului. În perioadele cu apă limpede, grătarele se pot scoate, pe panouri, pentru a se verifica dacă nu cumva au fost deteriorate sau rugina a distrus parțial barele.

Împiedicarea intrării în priză a aluviunilor se poate face numai printr-o corectă manevră a stavilelor de la deschiderile de spălare și eventual a stavilelor din cîmp, atunci cînd construcția are prevăzute asemenea elemente. Prin menținerea unui șenal (porțiune adîncă de albie) curat în faza prizei, există siguranța că în priză vor intra relativ puține aluviuni mari, tîrîte pe fundul albiei; acest lucru se face menținînd *permanent stavilele de spălare parțial deschise.*

În cazul barajului cu prag deversat, trebuie să fie luate măsuri ca periodic să se recurgă la îndepărtarea aluviunilor depuse în lac, prin dragare, spălare cu hidromonitorul (jet de apă obținut la un utilaj special) sau excavare în perioadele de ape mici.

În perioada de formare a gheților trebuie evitată formarea de blocaje (zăpor) de gheață, care să pericliteze stabilitatea captării și să provoace inundații.

Periodic, trebuie urmărit dacă disipatorul de energie funcționează normal. Acest lucru se poate observa prin efectele apei asupra albiei în aval și asupra mărimii gropilor săpate dincolo de disipator. Dacă aceste gropi avansează, înseamnă că disipatorul nu funcționează corect, viteza apei la plecare fiind suficient de mare pentru a produce afuieri importante și trebuie să fie luate urgent măsuri de remediere pentru a nu compromite lucrarea.

Indicații importante asupra funcționării prizei se pot obține și prin urmărirea funcționării deznisipatorului — construcție care de obicei intră în complexul de captare și care se află tot sub supravegherea personalului de exploatare a captării.

Indicat este (deși încă nu se practică) să existe un personal cu pregătire corespunzătoare, care să poată face o apreciere rapidă asupra calității apei, comunicînd urgent la stația de tratare modificările importante intervenite în calitatea apei. Personalul din stație poate astfel să intervină în mod eficient. Altfel, constatarea la intrarea în stație că turbiditatea apei a crescut este uneori tardivă, procesul de decantare fiind serios stînjenit. În lipsa unor aparate speciale de semnalizare pe rîu, se poate recurge la această avertizare uneori foarte eficientă, în cazul în care priza se află la distanță relativ mare de stația de tratare, iar debitul de apă captată, este mare.

3.7. MĂSURI DE PROTECȚIA MUNCII LA EXECUȚIA PRIZELOR DIN APĂ DE SUPRAFAȚĂ

Cea mai importantă lucrare de protecție se referă la starea de siguranță pe care o prezintă batardoul. Vor fi luate măsuri de avertizare zilnică împotriva apelor mari și în cazuri de risc ridicat (batardoul se dimensionează de regulă la ape cu asigurare de 10%), se vor lua măsuri speciale pentru evacuarea rapidă a oamenilor și asigurarea utilajelor.

Pentru evitarea accidentelor, organizarea de șantier va fi executată pe amplasament neinundabil, iar în perioadele de noapte, cînd nu se lucrează, este bine ca utilajele să fie scoase din zona inundabilă.

Epuismentele în gropile adînci vor fi făcute continuu, pentru a nu realiza zone solicitate alternativ la nivele ridicate-joase, deci cu posibilități de alunecare sau afuiere.

Folosirea utilajelor se va face numai de către personalul autorizat și cu verificarea periodică a acestuia.

După producerea de debite mari pe rîu, se vor face verificări și consolidări la toate lucrările afectate (mai ales dacă incinta a fost inundată).

Vor fi luate măsuri pentru împrejmuirea și semnalizarea tuturor lucrărilor adînci, cu acces la apă, precum și asigurarea mijloacelor normale de acces pentru personalul de lucru.

În zona apelor mari, vor exista materiale de intervenție și elemente suplimentare de siguranță (plute, haine colorate, iluminat corespunzător).

Alimentarea cu energie electrică se va asigura, astfel încît să fie evitată scurtcircuitarea prin apă. Tensiunea de lucru la utilaje e neprotejate va fi de maximum 24 V.

La folosirea chesoanelor cu aer comprimat, vor fi luate cele mai sigure măsuri pentru păstrarea unei presiuni controlate în interiorul camerelor de lucru și pentru introducerea și mai ales ecluzarea controlată a personalului la ieșirea din cheson (o scoatere bruscă poate avea urmări catastrofale). Va fi folosit numai personal tehnic supus unui control medical riguros.

În cazul lansărilor sub apă a elementelor de construcție (chesoane, criburi, saltele, conducte), se va lucra cu personal sigur și antrenat, cu o coordonare foarte bună. Se vor asigura măsuri speciale de comunicație (evitînd orice confuzie care se poate solda cu pierderea construcției și afectarea personalului).

La baterea palplanșelor (sau scoaterea lor), personalul care nu este strict folositor se evacuează din zonă. Lucrul în incintă apărată se va face după controlul lucrărilor finale de către șeful punctului de lucru.

Pentru lucrări speciale vor fi urmărite indicațiile date în proiect, iar cînd acestea lipsesc, vor fi cerute de executant.

4.

ADUCȚIUNI

4.1. SCHEME HIDRAULICE DE FUNCȚIONARE. DIMENSIONAREA ECONOMICĂ A ADUCȚIUNILOR

Prin *aducțiune* se înțelege totalitatea construcțiilor și instalațiilor cu ajutorul cărora apa este transportată, în condițiile cerute, de la captare la rezervoarele de înmagazinare ale folosinței.

Schemele hidraulice de funcționare a aducțiunilor, numite și *apeducte*, sînt date în figura 4.1.

- *Aducțiunile gravitaționale* funcționînd *sub presiune* se adoptă în cazul în care cota captării este mai ridicată decît aceea a rezervorului, debitul nu depășește valori mari ($5 \div 6$ m³/s), apa transportată este de calitate bună (calitate care trebuie să fie păstrată), relieful terenului pe traseul între captare și rezervor este accidentat (fig. 4.1, *a*).
- *Aducțiunile gravitaționale* funcționînd cu *nivel liber* se adoptă atunci cînd cota captării este mai ridicată decît cota rezervorului, terenul are o pantă relativ uniformă, calitatea apei este indiferentă consumatorului (o înrăutățire redusă a calității nu dezavantajează pe consumator sau apa captată într-o sursă de suprafață intră în stația de tratare aflată la capătul aval al aducțiunii), siguranța în funcționare — în special în perioada de iarnă — satisface pe beneficiar, debitul transportat este mare. Dacă siguranța în funcționare trebuie să fie ridicată, calitatea apei trebuie să fie păstrată sau dacă terenul prezintă denivelări importante, se poate recurge la aducțiuni închise de tip canal sau galerie, funcționînd tot cu nivel liber (fig 4.1, b).

Teoretic, cel puțin în cazul unei captări de cotă ridicată, se poate amenaja, fie o aducțiune tip conductă sub presiune, fie o aducțiune cu nivel liber (închisă sau deschisă). Alegerea uneia dintre soluții trebuie să fie făcută printr-o comparație tehnico-economică, în care să intre în bilanț: o lungime mai redusă și cu material mai bun pentru conducta sub presiune, o lungime mai mare (pentru a asigura o pantă hidraulică relativ constantă și egală cu panta fundului canalului), dar cu material mai ieftin pentru execuția secțiunii canalului. Trebuie luate în considerare și posibilitățile de execuție (utilaje necesare, durată de execuție, lucrări de artă, materiale disponibile), pagubele produse de suprafața de teren scoasă din circuit pe durata execuției aducțiunii (sau definitivă), precum și lucrările de artă (poduri etc.) necesare pentru legarea celor două maluri.

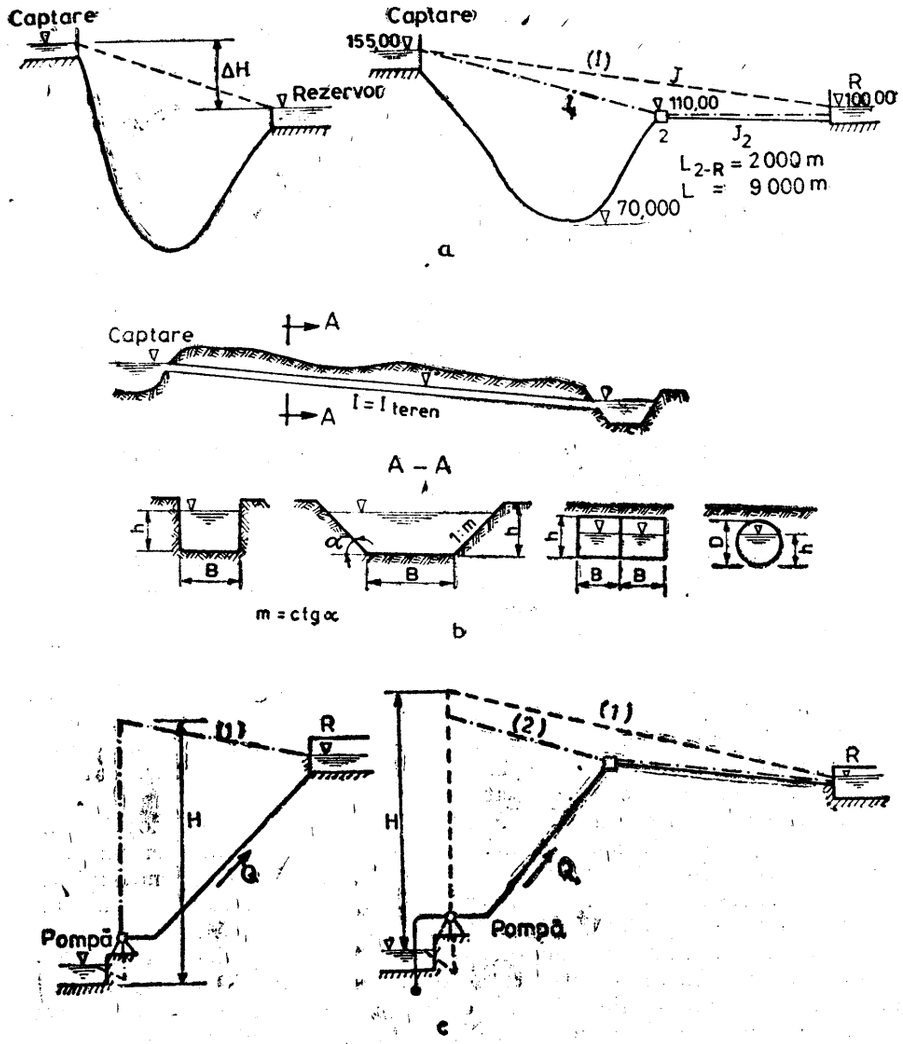


Fig. 4.1. Scheme hidraulice pentru aducțiuni: *a* — aducțiune gravitațională sub presiune; *b* — aducțiune gravitațională cu nivel liber; *c* — aducțiune funcționînd prin pompare.

• *Aducțiunile dinconducte sub presiune, funcționînd prin pompare,* se adoptă ori de cîte ori captarea se află la o cotă mai mică decît cota rezervorului. Cota de energie suplimentară necesară se asigură cu ajutorul unei mașini hidraulice speciale numită *pompă.* Pomparea se poate face într-o singură treaptă, ca în figura 4. 1, *c*, sau în mai multe trepte,dacă diferența de nivel care trebuie adoptată depășește înălțimea *H* de pompare a utilajelor disponibile.

Aducțiunile cu schemă mixtă sînt des întîlnite, din considerente tehnico-economice fiind aplicate rațional la trasee cu profile complicate sau de lungimi mari. În figura 4.2 sînt date două exemple de aducțiuni mixte. Primul

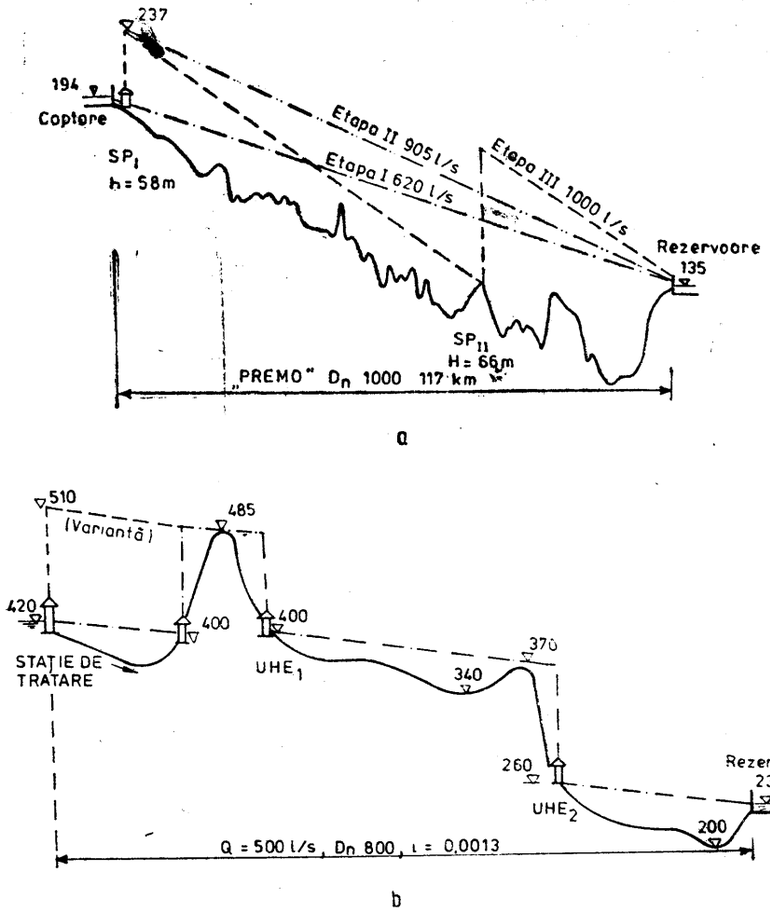


Fig. 4.2. Exemple de aducțiuni cu scheme complexe: *a* — aducțiunea Izvarna, Craiova; *b* — aducțiunea Poiana Uzului, Bacău.

exemplu aparține aducțiunii din izvorul Izvarna pentru municipiul Craiova, cu cele 3 etape de dezvoltare, iar la doilea reprezintă schema de alimentare cu apă a municipiului Bacău din sistemul Poiana Uzului (uzina hidro-electrică, UHE, recuperează o parte din energia sistemului, pentru a nu produce viteze prea mari pe aducțiune).

Dimensionarea hidraulică economică a aducțiunilor se face diferit pentru fiecare din cele 3 tipuri de aducțiune.

În general, *sînt cunoscute* următoarele elemente: debitul transportat; amplasamentul și relieful terenului între cele 2 puncte între care trebuie să fie asigurată circulația apei, inclusiv cotele punctelor de capăt; există de asemenea, documentație asupra materialelor care se produc în țară, precum și a utilajelor de pompare.

Trebuie să fie determinate următoarele *elemente:* diametrul aducțiunii (sau dimensiunile secțiunii canalului); panta hidraulică și viteza de circulație a apei; tipul de aducțiune; materialul de execuție; mărimea și tipul pompelor necesare; tipul construcțiilor accesorii.

4.1.1. DIMENSIONAREA HIDRAULICĂ A ADUCȚIUNILOR GRAVITAȚIONALE SUB PRESIUNE

Dimensionarea se va face astfel încît, la o lungime minimă, executabilă, de conductă să fie folosită integral toată diferența de cotă ΔH pentru învingerea rezistențelor hidraulice. Pentru materialul ales nu trebuie depășită limita maximă admisă pentru viteza de curgere a apei și presiunea normată. Respectînd aceste indicații, se obține soluția optimă.

Determinarea diametrului conductei se face cu ajutorul relației Chézy:

$$v = C\sqrt{RJ} \tag{4.1}$$

sau

$$Q = AC\sqrt{RJ}, \tag{4.2}$$

în care: A este secțiunea transversală *vie*, a conductei (apa umple complet secțiunea conductei);

R — raza hidraulică, $R = A/P = D_n/4$, raportul între secțiunea vie a curentului (A) și perimetrul muiat (P);

C — coeficientul Chézy, care se calculează de regulă după relația Maninng, $C = (1/n)\ R^{1/6}$;

n — coeficientul de rugozitate, notat uneori cu $1/n = K$;

J — panta hidraulică disponibilă ($J = \Delta H/l$).

Valorile utilizate, conform datelor din literatură, sînt: $K = 83$, pentru conducte metalice și din beton sclivisit; $K = 90$, pentru conducte de azbociment, PVC, PE.

Dimensionarea se poate face prin calcul analitic, uneori mai laborios, sau folosind diagramele care reprezintă transcrierea grafică a relațiilor de mai sus [46], [40]. Diagramele sînt date în figurile 4.3, 4.4, 4.5 și 4.6.

În cazul în care nu se dispune de diagrame, se poate rezolva problema folosind valorile modulului de debit K (a nu se confunda ca notație cu inversul coeficientului de rugozitate n), ale cărui valori se găsesc în tabelul 4.1 (K — modul de debit; s_0 — coeficient specific de rezistență, $s_0 = 1/K^2$; λ — coeficient de rezistență hidraulică) sau în literatura de specialitate [4], [17], [22].

Debitul se calculează cu relația:

$$Q = K\sqrt{J}. \tag{4.3}$$

În cazul în care pentru panta piezometrică disponibilă nu se găsește un diametru adecvat, se poate recurge la prevederea convenabilă a conductei formată din tronsoane cu diametre diferite, astfel încît suma pierderilor de sarcină totală să fie aproximativ egală cu diferența de cotă disponibilă. Se vor alege totdeauna (dacă nu sînt alte considerente) diametre mai mici de conductă pentru zonele cu presiune mai mare de pe traseu.

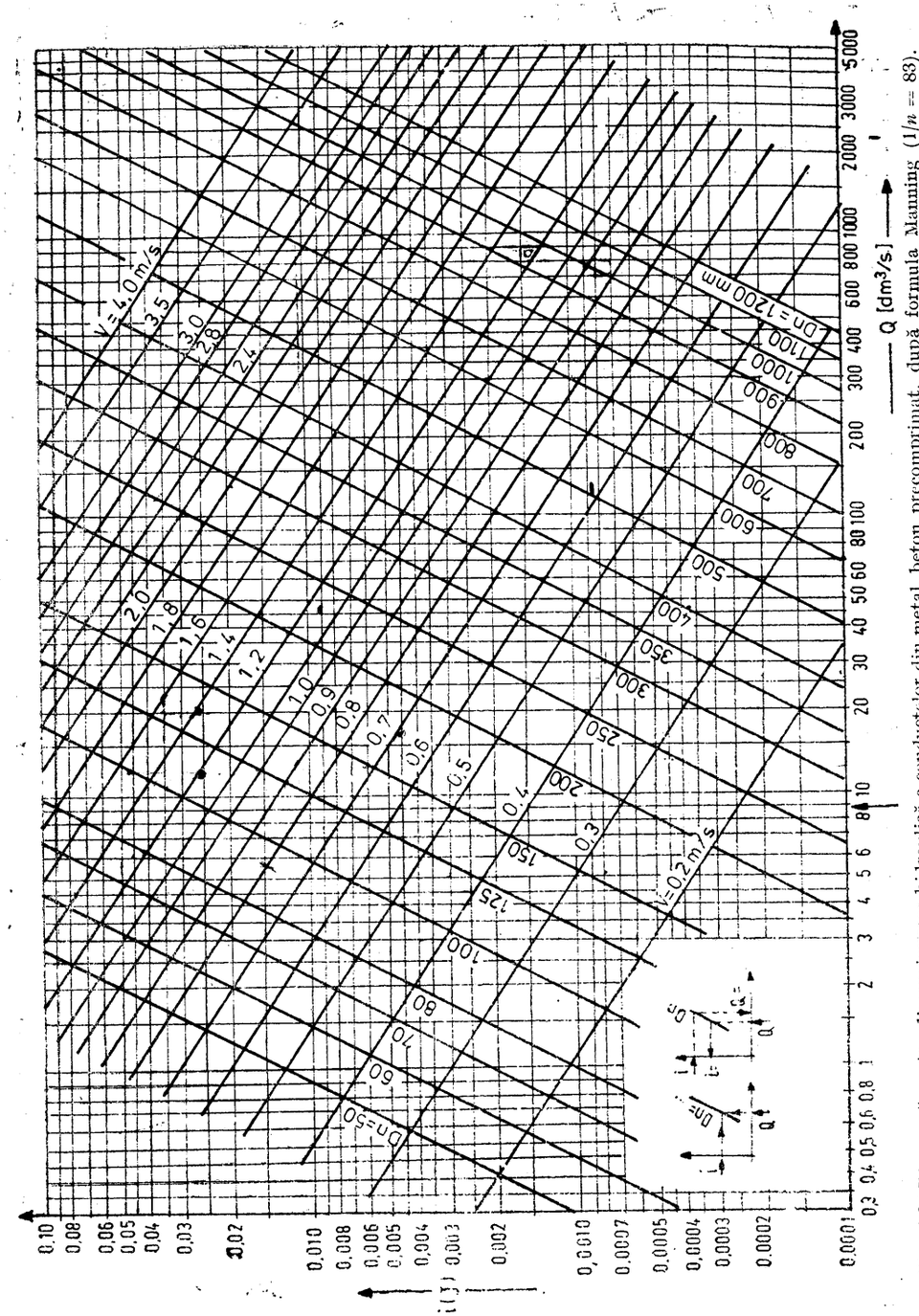


Fig. 4.3. Diagramă pentru dimensionarea hidraulică a conductelor din metal, beton precomprimat, după formula Manning ($1/n = 83$).

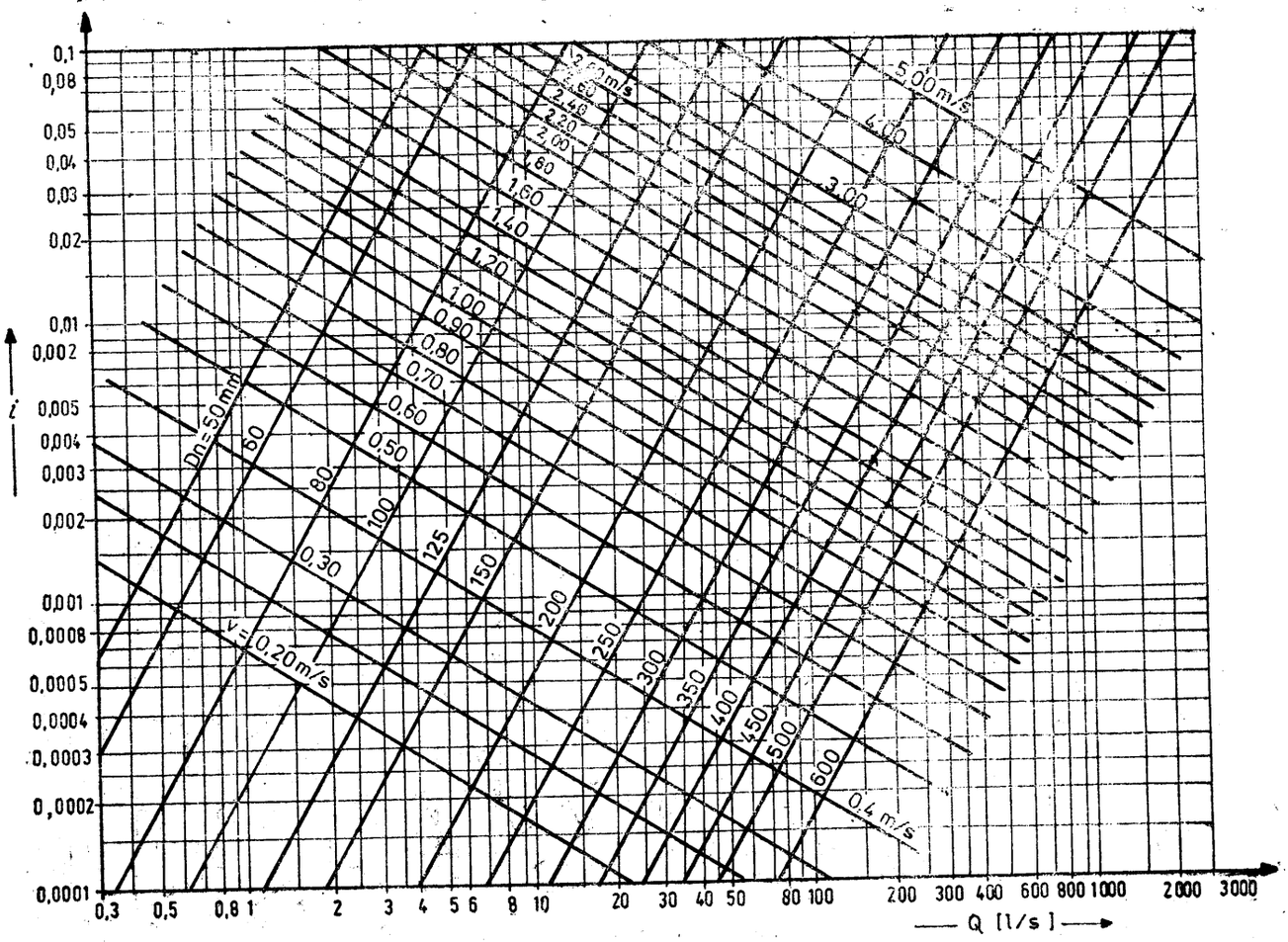


Fig. 4.4. Diagramă pentru dimensionarea hidraulică a conductelor din azbociment, după formula Manning ($1/n = 90$).

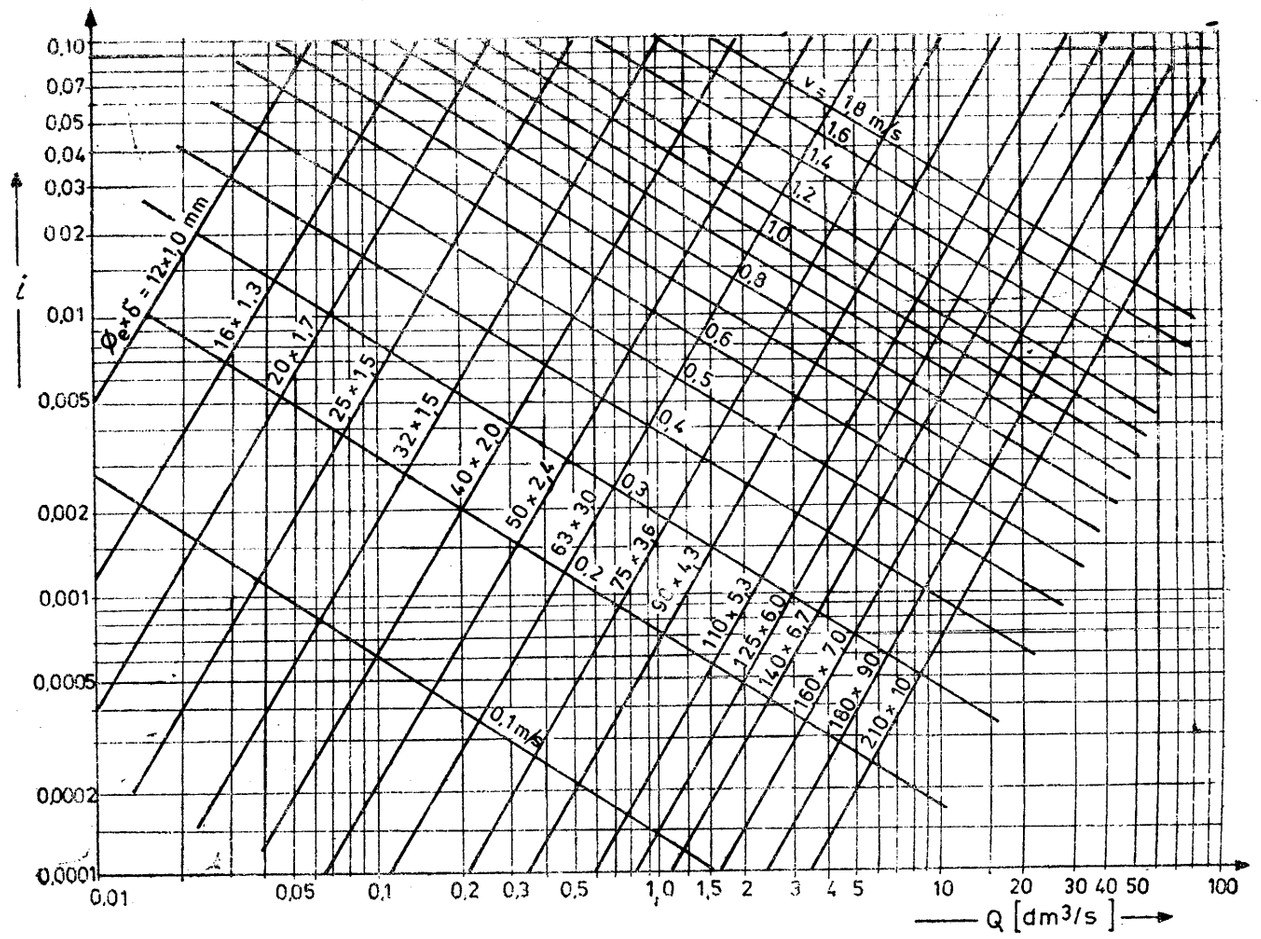


Fig. 4.5. Diagramă pentru dimensionarea hidraulică a conductelor din PVC tip 3, după formula Colebrook-White ($n = 0{,}01$).

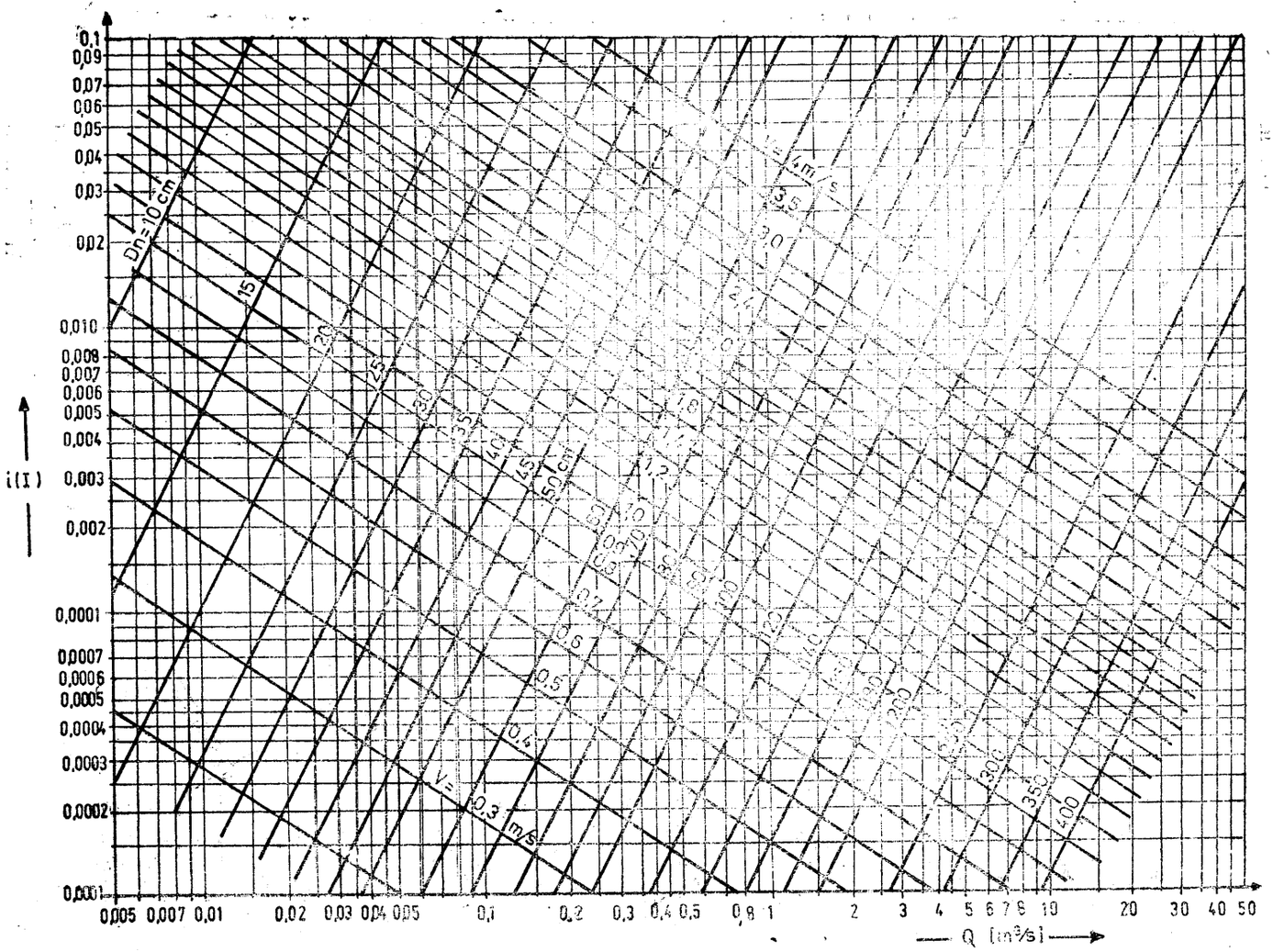


Fig. 4.6. Diagramă pentru dimensionarea conductelor (canalelor) din tuburi din beton, prefabricate, după formula Manning ($1/n = 74$)

Tabelul 4.1

Valorile modulului de debit K

D_n [mm]	Conducte din: BETON (1/n=74)			OȚEL ($1/n$=83)			AZBOCIMENT ($1/n$=90)		
	λ	K [m³/s]	s_0 [s²/m⁶]	λ	K [m³/s]	s_0 [s²/m⁶]	λ	K [m³/s]	s_0 [s²/m⁶]
50	0,0617	0,00783	16300	0,0491	0,00878	13000	0,0417	0,00962	11000
75	0,0539	0,02310	1880	0,0429	0,02590	1490	0,0365	0,02810	1270
100	0,0490	0,04970	405	0,0389	0,05570	322	0,0331	0,0604	274
125	0,0455	0,09100	123	0,0362	0,10100	97,9	0,0307	0,11000	83,3
150	0,0428	0,14700	46,6	0,0340	0,16400	37,0	0,0289	0,17800	31,5
200	0,0389	0,31600	10,0	0,0309	0,35400	7,98	0,0263	0,38400	6,79
250	0,0361	0,57200	3,06	0,0287	0,64200	2,43	0,0244	0,69600	2,07
300	0,0340	0,93000	1,16	0,0270	1,04000	0,918000	0,0230	1,13000	0,781000
350	0,0323	1,40000	0,508000	0,0257	1,57000	0,404000	0,0218	1,71000	0,343000
400	0,0309	2,00000	0,249000	0,0245	2,25000	0,198000	0,0209	2,44000	0,168000
450	0,0297	2,74000	0,133000	0,0236	3,08000	0,106000	0,0201	3,34000	0,089900
500	0,0287	3,62000	0,075800	0,0228	4,07000	0,060200	0,0194	4,42000	0,051200
600	0,0270	5,91000	0,028700	0,0214	6,63000	0,022800	0,0182	7,18000	0,019400
700	0,0256	8,91000	0,012600	0,0204	9,99000	0,017300	0,0173	10,80000	0,008510
800	0,0245	12,70000	0,006180	0,0195	14,30000	0,004910	0,0166	15,50000	0,004180
900	0,0236	17,40000	0,003300	0,0187	19,50000	0,002620	0,0159	21,20000	0,002230
1000	0,0227	23,10000	0,001880	0,0181	25,90000	0,001490	0,0154	28,10000	0,001270
1200	0,0241	37,50000	0,000711	0,0170	42,10000	0,000565	0,0145	45,60000	0,000480
1400	0,0203	56,60000	0,000312	0,0162	63,50000	0,000248	0,0137	68,80000	0,000210

Pentru determinarea pierderii de sarcină pe tronsoane, în cazul în care nu se dispune de diagrame, se poate aplica relația Poiseuille:

$$h = \frac{\lambda \cdot l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [\text{m}], \tag{4.4}$$

în care: λ este un coeficient de rezistență, dat în tabelul 4.1; l — lungimea tronsonului, în m; D — diametrul conductei, în m, dat ca diametrul nominal, Dn; v — viteza apei în conductă în m/s.

De obicei, se prevede ca aducțiunea să fie executată din tuburi prefabricate sau preuzinate, cu secțiunea circulară. Această formă a secțiunii oferă condiții optime atît din punct de vedere hidraulic (raza hidraulică este maximă, deci viteza va fi maximă pe conductă, conducînd la un diametru minim pentru un debit dat), cît și din punct de vedere al rezistenței mecanice (forma circulară este forma optimă la presiunea aproximativ uniformă a apei din interior). Grosimea pereților conductei se poate determina expeditiv folosind *formula cazanelor* (dedusă la Hidraulică din presiunea apei pe suprafețe, pereți, curbe):

$$\delta = \frac{pD}{2R_i}, \tag{4.5}$$

în care: δ este grosimea peretelui; p — presiunea maximă a apei în conductă, în secțiunea de calcul; D — diametrul conductei; R_i — rezistența la întindere a materialului din care este confecționată conducta.

Atunci cînd, pentru debitul transportat, nu este suficientă o conductă de diametrul cel mai mare care se produce curent, soluția optimă va rezulta din analiza următoarelor variante: mărirea vitezei pe o conductă (fără a depăși valoarea maximă admisă), prin prevederea unei stații de pompare care să mărească panta liniei energetice; prevederea a două sau mai multe conducte în paralel (legate de regulă între ele).

În cazuri bine justificate, conducta se poate executa și pe loc, din beton armat sau metal — însă numai la dimensiuni mari ale diametrului (peste 2,00 m), tronsoane scurte și locuri greu accesibile utilajelor.

NOTĂ:

Dimensionarea hidraulică a unui sistem de transport de oarecare importanță (debit, lungime sistem) trebuie făcută cu suficient de mare atenție, deoarece o apreciere incorectă, în minus, a necesarului de energie pentru curgerea apei, conduce la nerealizarea parametrilor ceruți (se asigură în final un debit mai mic decît cel cerut), iar o apreciere în plus poate conduce la un consum nejustificat de energie sau de energie și material.

Elementul esențial în dimensionarea (și verificarea) corectă a sistemului este aprecierea rugozității materialului elementului de transport (canal, conductă). Rugozitatea poate fi apreciată direct prin stabilirea valorii rugozității absolute k, în mm, sau prin includerea acestei rugozități fizice în formulările care dau coeficienții de rugozitate — cel mai cunoscut fiind λ. În literatura de specialitate și în tratatele de Hidraulică [23], [4], [12], [17], [7] sînt date valori pentru aprecierea lui k, λ sau C. Cele mai cunoscute relații sînt:

- relația lui Darcy pentru curgere în zona laminară:

$$\lambda = 64/\text{Re} \tag{4.6}$$

- relația Chézy:

$$\lambda = 8g/C^2, \tag{4.7}$$

în care, pentru coeficientul Chézy, există formulele:

$C = (1/n)R^{1/6}$ (relația Manning — curgere în zona pătratică);

$C = (1/n)R^y$ (relația Pavlovski, în care y se stabilește empiric).

- relația Colebrook-White pentru curgere în zona de tranziție:

$$1/\lambda = -2\log\left(\frac{k}{3{,}7D} + \frac{2{,}51}{\text{Re}\sqrt{\lambda}}\right). \tag{4.8}$$

În formulele anterioare: Re este numărul Reynolds $\left(\frac{v \cdot D}{\nu}\right)$; C — coeficientul Chézy; R — raza hidraulică; D — diametrul conductei.

La un calcul foarte corect ar trebui ținut seama și de variația temperaturii apei transportate (apă mai rece — vîscozitate mai mare, deci consum mai mare de energie).

Pentru aprecierea concretă a importanței rugozității (tuburile din fabricație au rugozitate peste valorile date în literatură, protecția anticorozivă mărește sau micșorează această rugozitate, depunerile de rugină, piatra, sedimentele, în timp, modifică rugozitatea), în diagrame, sînt date valorile lui λ [9], [11], respectiv debitul transportat, funcție de rugozitatea k pentru valorile 0,003 mm, 0,03 mm, 0,3 mm, 3 mm, 30 mm. Valorile k sînt utilizabile astfel:

$k = 0{,}003$ mm — pentru conducte din aluminiu, cupru, sticlă, plexiglass etc.;

$k = 0{,}03$ mm — pentru conducte din oțel curat (inox), azbociment, PVC, conducte emailate, fibre de sticlă;

$k = 0{,}3$ mm — pentru conducte de oțel neprotejat, beton îmbinat cu mufă și inel de cauciuc, oțel galvanizat;

$k = 3$ mm — pentru conducte de oțel ruginit, conducte vechi cu depuneri ușoare de rugină, piatră din duritatea apei (pînă în 20 ani vechime), canale de zidărie de piatră, tencuite;

$k = 30$ mm — pentru conducte vechi (peste 40—50 ani vechime).

Pentru exemplificare, se dă debitul transportat de o conductă, curgere gravitațională, la panta hidraulică de 1% și diametrul 500 mm pentru diferite rugozități de conductă [9]:

Q [l/s]	600	540	450	350	220
k [mm]	0,003	0,03	0,3	3	30

Rezultă de aici necesitatea: (1) unui control foarte riguros al calității fabricației tuburilor; (2) unei protecții anticorozive cu material neted, aderent și fără rugozități; (3) a unor îmbinări cît mai netede; (4) spălării sau

curățirii conductei la un interval de timp; (4) înlocuirea conductei sau refacerea protecției interioare (există astăzi tehnologii de aplicare, în interiorul conductelor mari, a unui strat de mortar de ciment — un fel de torcretare — pentru protejarea conductei, obturarea orificiilor și reducerea rugozității — grosimea stratului de circa 0,5 ÷ 1,0 cm).

Una din cauzele care conduc la creșterea rugozității conductelor este agresivitatea apei. Agresivitatea este cauzată de prezența bioxidului de carbon liber (CO_2), lipsa durității, o valoare scăzută a alcalinității. Sînt acceptate diferite moduri de apreciere a acțiunii agresive. În figura 4.7 sînt date diagramele Mündlein pentru determinarea agresivității în prezența CO_2 liber și diagramele Langelier — pentru aprecierea agresivității funcție de alcalinitate [7], [40]. Indicele Langelier se calculează astfel:

$$I = pH - \log (Ca) + \log (A) - K - 0{,}93, \qquad (4.9)$$

în care: Ca este conținutul în ioni de Ca din apă, exprimat în ppm (mg/l); K — coeficient ce variază funcție de reziduul sec (105°C) al apei, cu valori de 2,12—2,61, pentru un reziduu de 0—800 mg/l; A — alcalinitatea apei, exprimată în mg/l.

Dacă indicele Langelier are valori:

- negative, apa este agresivă pentru materiale;
- nule — apa este neutră (echilibru ionic);
- pozitive — apă saturată, încrustantă (în condiții favorabile poate depune săruri de Ca, Mg pe pereții conductei).

În literatură sînt date și cîteva grafice reprezentînd concretizarea experienței forurilor de specialitate asupra influenței conductelor care transportă apă de diferite calități [7], [4].

Rugozitatea conductei funcție de agresivitatea apei se poate calcula cu relația [22]:

$$k = k_0 + \alpha t \quad [\text{mm}], \qquad (4.9')$$

unde: k_0 este rugozitatea materialului nou; t — durata de serviciu a țevii; α — coeficient ce caracterizează viteza de creștere a rugozității, în mm/an, apreciată astfel: 0,025 pentru ape slab mineralizate, necorozive, cu conținut redus de fier; 0,07 pentru ape slab mineralizate, corozive, cu un conținut de fier sub 3 mg/l; 0,20 pentru ape foarte corozive, cu conținut mic de sulfați-cloruri, cu fier pînă la 30 mg/l; 0,50 pentru ape corozive cu conținut mare de sulfați și cloruri (peste 500 mg/l), ape netratate cu conținut mare de substanțe organice; 0,6 ÷ 1,0 pentru ape puternic mineralizate, corozive, cu duritate carbonică mare și reziduu fix mare (peste 2000 mg/l).

Aplicația 5

Să se dimensioneze aducțiunea al cărui profil tehnologic este dat în figura 4.1, *a*. Debitul transportat este de 500 dm³/s.

Soluția 1. Conducta funcționează gravitațional, deci:

$$J = \Delta H/L = 55/9000 = 0{,}0061$$

Presiunea maximă în conductă este de ordinul a 80 m, iar debitul relativ mare, poate fi luată în considerare o soluție cu conductă din tuburi PREMO.

Din diagrama Manning (fig. 4.3), pentru $J = 0{,}006$ și $Q = 500$ dm³/s, rezultă Dn 600 mm, $v = 1{,}8$ m/s.

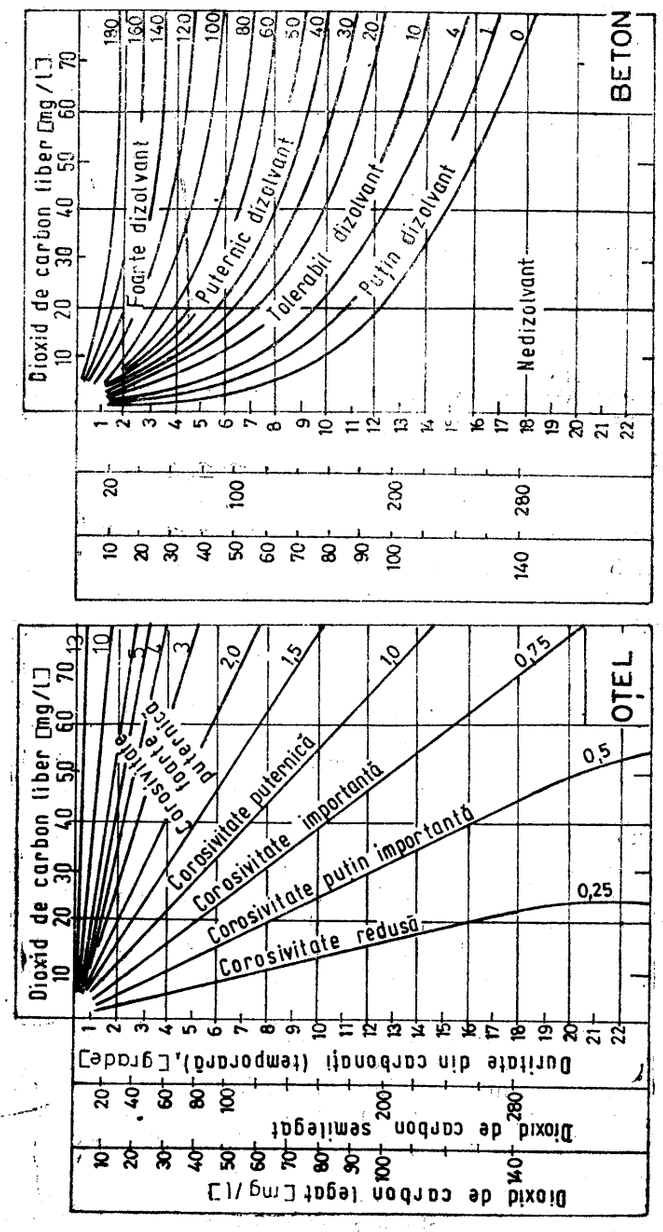


Fig. 4.7. Diagrame pentru determinarea acțiunii agresive a apei față de: *a* — oțel; *b* — beton [40], [39].

Soluția 2. Analiza profilului longitudinal al conductei arată că, pe ultima porțiune, presiunea necesară în conductă este mică, dar crește, în caz de avarie la 100 — 155 m.

Dacă în punctul 2 s-ar realiza o construcție de limitare a cotei piezometrice *(cămin de rupere a presiunii)*, atunci linia piezometrică s-ar frînge și conducta ar avea două tronsoane distincte:

$C - 2$, $l = 7000$ m, cu $J_1 = 45/7000 = 0{,}0064$;

$2 - R$, $l = 2000$ m, cu $J_2 = 10/2000 = 0{,}005$.

Tronsonul $2 - R$ avînd în toate cazurile presiune mică (curgerea poate fi chiar cu nivel liber), conducta poate fi realizată din material mai slab (tuburi PREMO declasate — mai ieftine).

Din diagrama 4.3 rezultă: pe tronsonul 1, Dn 600, $v = 1{,}8$ m/s; pe tronsonul 2, Dn 800, $v = 1{,}35$ m/s; $J = 0{,}0028$, grad de umplere 0,8.

Evaluarea economică a celor două variante va conduce la soluția cea mai bună.

4.1.2. DIMENSIONAREA HIDRAULICĂ A ADUCȚIUNILOR GRAVITAȚIONALE CU NIVEL LIBER

În acest caz dimensionarea este ceva mai laborioasă, deoarece forma secțiunii aducțiunii poate fi mult mai variată, întrucît intervin mai mulți factori (v. fig. 4.1, *b*).

Dimensionarea efectivă a secțiunii se face utilizînd relația Chézy, cu coeficientul n apreciat ca mai înainte. Literatura conține multe date referitor la acești coeficienți [4], [17], [22].

În acest caz, dificultatea constă în a stabili dimensiunile optime ale secțiunii.

Pentru toate cazurile trebuie verificată viteza apei în canal, viteză care nu trebuie să depășească valoarea limită, de neerodare a materialului de protecție a pereților. Problema se poate pune și sub aspect economic. Astfel, dacă se prevede o secțiune cu pereții protejați cu dale de beton (de exemplu), care costă relativ mult, va rezulta o secțiune mai mică, deoarece se poate accepta o viteză mare pe canal (în general sub 3 m/s). Dacă se adoptă o secțiune cu taluz — numai în săpătură (presupunînd că apa transportată nu este afectată calitativ), din cauza vitezei mici de circulație (peste 0,7 m/s, dar nu mai mare de 1,0 ÷ 1,2 m/s) va rezulta o secțiune mai mare, o cantitate de săpătură mai mare, o suprafață de teren mai mare scoasă din circuit, o întreținere mai costisitoare, pierderi de apă prin infiltrație mai mari etc.

Pentru rezolvarea problemei, se pleacă, în general, de la o lățime cunoscută a fundului canalului. Aceasta se alege constructiv, funcție de: lățimea minimă de execuție; lățimea utilajului de săpare; dimensiunile dalelor de protecție etc. Cu această lățime se calculează înălțimea apei și se verifică dacă valoarea rezultată este sau nu acceptabilă. Pentru secțiunea trapezoidală, se demonstrează că secțiunea optimă este secțiunea a cărei înălțime de apă este egală cu dublul razei hidraulice. Cu mijloace manuale rezolvarea directă a problemei nu este posibilă și de aceea, se recurge la o rezolvare grafo-analitică (construind cheia *limnimetrică*).

Cazul secțiunilor cu profil de curbă continuă este mai complicat de rezolvat pe cale analitică, deoarece evaluarea secțiunilor pentru un anumit

raport h/H (numit grad de umplere), precum și a perimetrului muiat este dificilă. De aceea, au fost construite diagrame ale gradului de umplere; pentru un grad de umplere dat se poate determina raportul Q/Q_{plin} și v/v_{plin}, respectiv debitul și viteza pentru secțiunea a cărei înălțime este h și debitul și viteza cînd secțiunea este plină (cînd pot fi folosite graficele din fig. 4.3 ··· 4.6), pentru aceeași pantă hidraulică.

În figura 4.7 este dat graficul gradului de umplere pentru secțiunile curent folosite. Pentru alte secțiuni, acestea pot fi construite sau obținute din literatura de specialitate. Calculul se face folosind concomitent diagramele 4.3 ··· 4.6 și 4.8. Gradul de umplere se va alege după considerente constructive: aerarea apei; rezerve pentru eventuale dezvoltări ulterioare; variația debitului; spațiu pentru a se putea circula în caz de revizie—recepție; ușurința execuției etc.

Aplicația 6

Să se dimensioneze secțiunea canalului de aducțiune necesar pentru transportul a 10 m³/s, apă captată dintr-un rîu, pentru o industrie chimică. Panta maximă ce se poate da canalului este $I = 0{,}005$.

Pentru secțiunea canalului pot fi adoptate mai multe soluții.

Se realizează dimensionarea hidraulică și, după efectuarea calculelor economice, inclusiv suprafața ocupată de teren și alte condiții particulare de teren, se alege soluția convenabilă.

Varianta A. Canal trapezoidal (fig. 4.9, *a*). Se aplică relația Chézy, adoptînd pentru lățimea canalului $b = 1{,}0$ m, $K = 74$ (taluz protejat cu beton); se realizează cheia limnimetrică; rezultă $h = 1{,}25$ m, $v = 3{,}50$ m/s (se justifică protecția cu dale din beton); $h = 2R$, deci soluția este optimă din punct de vedere hidraulic; calculele sînt date în tabelul 4.2, *a* (atenție la valoarea interpolată a debitului, care trebuie să se afle între valorile calculate și nu pe extrapolarea curbei).

Tabelul 4.2, a

Tabel de calcul

h [m]	A [m²]	P [m]	R [m]	$\sqrt{R}$	$\sqrt[6]{R}$	C	Q [m³/s]
1,0	2,00	3,82	0,52	0,72	0,89	66,4	6,80
1,5	3,75	5,23	0,72	0,85	0,95	70,0	15,80
1,2	2,64	4,38	0,60	0,78	0,92	68,0	9,90

Varianta B. Apeduct dreptunghiular îngropat (fig. 4.9, *b*). Calculele se realizează similar, rezultînd $h = 1{,}90$ m, $v = 3{,}50$ m/s; calculele pentru cheia limnimetrică sînt date în tabelul 4.2, *b*. În acest caz, s-a adoptat varianta cu o singură casetă, dar se poate încerca și varianta cu două casete joantive.

Tabelul 4.2, b

Tabel de calcul

h [m]	A [m²]	P	R	$\sqrt{R}$	$\sqrt[6]{R}$	C	Q [m³/s]
1,0	1,50	3,5	0,43	0,65	0,87	64,2	4,43
1,5	2,25	4,5	0,50	0,71	0,89	65,9	7,44
2,0	3,00	5,5	0,55	0,74	0,90	66,9	10,50

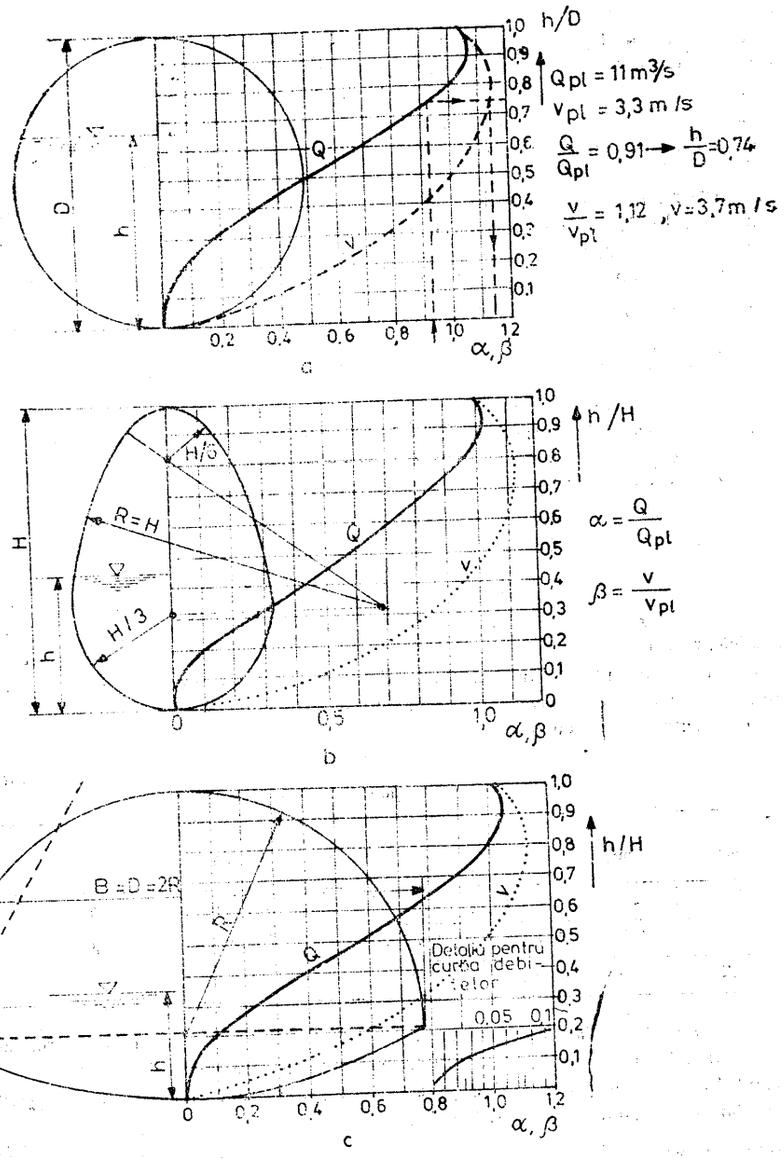


Fig. 4.8. Curbe de umplere parțială pentru conducte cu secțiune: *a* — circulară (date pentru aplicația 6); *b* — ovoidală; *c* — clopot.

Varianta C. Apeduct circular îngropat. Se utilizează diagramele de dimensionare pentru conducte (v. fig. 4.3), de unde rezultă, pentru $I = J = 0{,}005$: $Dn = 2{,}0$ m; $Q_{pl} = 11$ m³/s; $v_{pl} = 3{,}30$ m/s; cu $Q/Q_{pl} = 0{,}91$, din diagrama gradului de umplere, rezultă $h/D = 0{,}74$, $v/v_{pl} = 1{,}12$; se calculează $v = v_{pl}(v_{pl}/v) = 3{,}7$ m/s; secțiunea se poate asigura prin folosirea de tuburi prefabricate tip SIOME, care se montează relativ ușor dacă există dotarea tehnică adecvată.

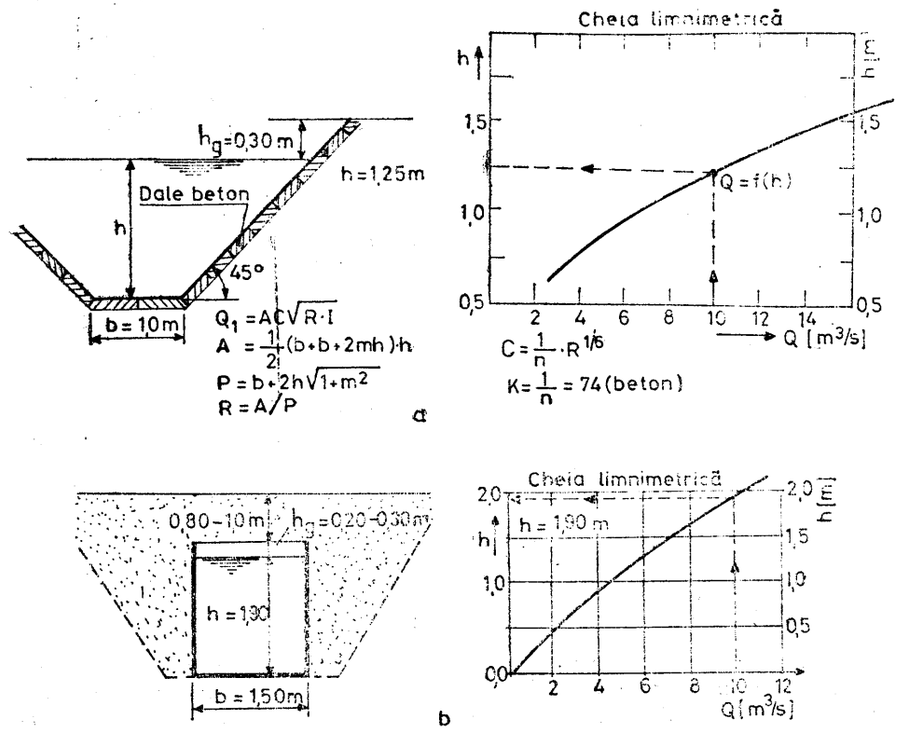


Fig. 4.9. Secțiuni transversale (aplicația 6): *a* — secțiune trapezoidală, canal deschis; *b* — secțiune rectangulară, galerie acoperită.

Urmărind aceste modele de calcul, pot fi adoptate și alte secțiuni ca mărime și formă. După obținerea elementelor constructive, se poate alege varianta cea mai bună, ținînd seama de avantajele maxime: siguranță în funcționare (apeduct închis); cost minim (apeduct deschis); suprafață de teren afectată cel mai puțin (apeduct închis); păstrarea calității apei (apeduct închis); construcții auxiliare (apeduct închis); evitarea accidentelor (apeduct închis); termene de execuție etc. Exceptînd cazurile în care debitul transportat este foarte mare (peste 10 m³/s) și un canal deschis este mai convenabil datorită costului, apeductul subteran, secțiune acoperită, oferă cele mai mari avantaje.

4.1.3. DIMENSIONAREA ADUCȚIUNILOR FUNCȚIONÎND CU POMPARE

În acest caz, se vor folosi tuburi prefabricate, cu secțiunea circulară, rezistente la presiune. Dimensionarea hidraulică efectivă se face cu relația Chézy și cu diagramele date la aducțiunile funcționînd gravitațional. Dificultatea care intervine este legată de faptul că nu se cunoaște panta hidraulică; există o singură relație de calcul și sînt două necunoscute (D și $J = i$), deci sînt posibile mai multe variante. Pentru a găsi varianta cea mai bună se aplică *criteriul diametrului economic.* Se face următorul raționament: prevăzînd o conductă cu diametru mic, investiția, respectiv cota de amortisment (*aI* — curba C_i pe graficul din fig. 4.10), va

fi mică, în schimb viteza pe conductă va fi mare, deci pierderea de sarcină va fi mare; rezultă că înălțimea de pompare va fi mare și deci costul energiei de pompare și al utilajului de pompare va fi mare (curba C_E din fig. 4.10); mărind diametrul crește investiția, dar scade costul energiei de pompare; rezultă că există un *diametru* pentru care *suma cheltuielilor anuale* (amortisment și energie) va fi *minimă*; acest diametru este numit *diametru economic*. În general, acest lucru se scrie:

$$\partial C/\partial D = 0, \tag{4.10}$$

în care: $C = C_i + C_E$ [lei/an];
$C_i = I/T_r$ [lei/an];
$C_E = E \cdot e$ [lei/an],;
$E = P \cdot T_f$ [kWh/an].

Mărimile care intervin sînt următoarele:

C — cheltuieli totale anuale;

C_i — cota de amortisment pentru investiția făcută, în lei/an (este funcție de: costul tubului; costul execuției; durata de amortizare; dobînda împrumutului; costul pompelor etc.);

I — valoarea de investiție a aducțiunii, în lei;

T_r — durata de recuperare a investiției, în ani;

C_E — costul anual al energiei electrice, în lei/an;

e — costul unui kWh, în lei/kWh;

P — puterea pompelor necesare pentru pomparea apei, în kW;

T_f — durata funcționării aducțiunii într-un an, în ore/an.

Observație: Dacă prin C se notează consumul de energie pentru executarea și exploatarea aducțiunii, după o metodologie similară, se poate determina diametrul economic din condiția de *consum minim de energie înglobată*. Calculele efectuate au arătat că în acest caz diametrul se mărește cu o treaptă (de la 500 mm crește la 600 mm).

Rezultă de aici că, funcție de costul materialelor, execuției și energiei, diametrul poate avea valori diferite în timp (foarte important este costul energiei a cărei valoare va crește în timp).

Din calculele făcute în dimensionarea acestor conducte a rezultat că diametrului economic îi corespunde o anumită viteză, a cărei limită variază

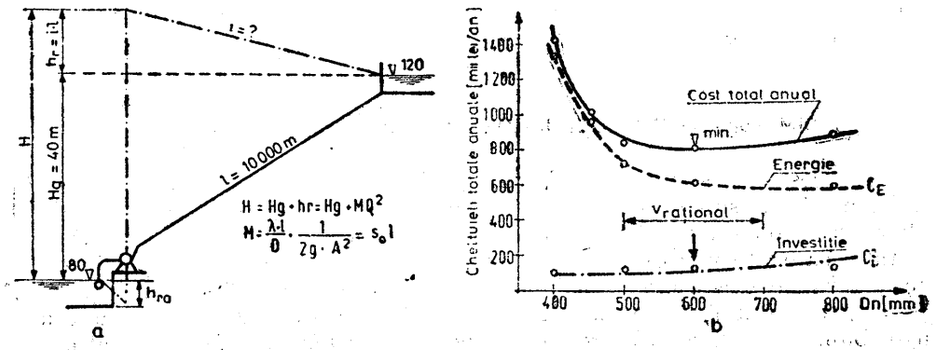


Fig. 4.10. Determinarea diametrului economic (aplicația 7): *a* — schemă de calcul; *b* — grafice.

practic între 0,6 ÷ 1,2 m/s, fiind mai mică pentru diametrele mici (sub 500 mm).

Practic deci se intră în diagramele cunoscute cu debitul dat și se alege un diametru de conductă (diametru de tub, produs în mod curent) prin încadrarea în limita de viteză de mai sus (un calcul concret de diametru economic se găsește dat în aplicația 7).

Această limită de viteză poate fi depășită în cazuri justificate (de exemplu dacă pentru înălțimea de pompare rezultată nu există utilaje de pompare, dar cu o mică abatere se pot adopta asemenea utilaje). Soluția economică se va analiza pe ansamblu. În mod corect, la valoarea de investiție ar trebui inclus și costul lucrărilor legate de pomparea apei. Se poate observa că valoarea diametrului economic variază în timp odată cu modificarea costului materialelor și energiei. Pentru a se evidenția implicațiile costului, în aplicația 7, calculele au fost făcute în două ipoteze: ipoteză costuri vechi ($e = 0{,}7$ lei/kWh); ipoteză costuri noi ($e = 18$ lei/kWh; $p' = 65\ Dn$, în lei/m și Dn, în mm).

Aplicația 7

Să se găsească valoarea diametrului conductei de refulare dată în schița din figura 4.10, cunoscînd că: $Q = 147{,}3$ dm³/s (din aplicația 1); timpul de amortizare a costului conductei este $T_r = 50$ ani; se poate adopta conductă din tuburi de azbociment: costul energiei este $e = 0{,}70$ lei/kWh, în ipoteza costuri vechi și $e = 18$ lei/kWh, în ipoteza costuri noi; randamentul mediu al pompelor (parametru foarte important) este $\eta = 0{,}6$; prețul mediu al costului conductei gata executate (p) este cel din tabelul 4.3; pomparea este continuă, deci $T_f = 8760$ ore/an.

Din diagramele 4.3. ... 4.6, pentru debitul $Q = 147$ dm³/s, se alege valoarea diametrului (respectiv v și i); calculul se conduce ca în tabelul 4.3.

Puterea necesară în stația de pompare se calculează cu relația:

$$P = \frac{\gamma Q H}{102\eta} = 2{,}40\ H. \qquad [\text{kW}]$$

Rezultă că în ambele cazuri diametrul economic este apropiat, deși valorile costului sînt net superioare în cazul al doilea ($p' = 65\ Dn$).

Rezultă de asemenea că, în jurul diametrului economic, costul total este sensibil apropiat, de aceea o dimensionare expeditivă cu o viteză în jurul valorii *vitezei economice* este justificată.

4.1.4. PROBLEMA SIGURANȚEI ÎN FUNCȚIONARE A ADUCȚIUNII

Din schema generală de alimentare cu apă se constată că aducțiunea alimentează cu apă rezervorul, care, prin volumul său, dă o oarecare siguranță în buna funcționare a consumatorului (beneficiarului).

Rezultă că, de fapt, siguranța sistemului este dată de ansamblul aducțiune-rezervor, și anume:

— în cazul unei aducțiuni cu un singur fir, care în mod accidental poate să nu funcționeze, pînă la remedierea avariei, apa pentru beneficiar trebuie asigurată din rezervor (din ceea ce se numește rezervă de avarie), deci rezervorul va avea un volum mai mare;

— dacă se prevăd două sau mai multe fire de aducțiune (legate cu bretele), se poate presupune că în mod normal nu se avariază toate odată; aceasta înseamnă că alimentarea rezervorului este continuă (atunci cînd

Tabelul 4.3

Calculul diametrului economic

Ipoteză	D_n [mm]	Q [dm³/s]	v [m/s]	J	$h_r = J \cdot l$ [m]	$H = H_g + h_r$ [m]	P [kW]	$E = P \cdot T_f$ [kWh/an]	C_E [mil. lei/an]	Φ [lei/m]	$I = \Phi \cdot l$ [mil. lei]	$C_I = I/T_p$ [mil. lei/an]	$C = C_E + C_I$ [mil. lei/an]
Costuri vechi ($e = 0{,}7$ lei/kWh)	600	147	0,54	0,00037	3,7	43,7	104,9	918,7	0,643	900	9,000	0,180	0,823
	500	147	0,74	0,00085	8,5	48,5	116,4	1019,7	0,713	650	6,500	0,130	0,843
	450	147	1,15	0,0026	26	66	158,4	1387,6	0,971	560	5,600	0,112	1,083
	400	147	1,52	0,0051	51	91	218,4	1913	1,339	500	5,000	0,100	1,439
	800 Premo	147	0,29	0,0001	1,06	41,06	98,5	863	0,604	1450	14,500	0,290	0,849
	2 × 500	147	0,38	0,00035	3,5	43,5	104,4	914,5	0,640	2 × 650	13,000	0,260	0,900
	2 × 400	147	0,60	0,0011	11	51	122,4	1072	0,750	2 × 500	11,200	0,224	0,974
	600	147	0,54	0,0037	3,7	43,7	104,9	918,7	16,524	39000	390	19,5	36
Costuri noi ($e = 18$ lei/kWh, $p = 65$ Dn)	500	147	0,74	0,0085	8,5	48,5	116,4	1019,7	18,342	32500	32,5	16,2	34,5
	450	147	1,15	0,0026	26	66	158,4	1387,6	24,966	29200	29,2	14,6	39,5
	400	147	1,52	0,0051	51	91	218,4	1913	34,434	26000	26,0	13	47,4
	800 Premo	147	0,29	0,0001	1,06	41,06	98,5	863	17,334	52000	52	26	43,3

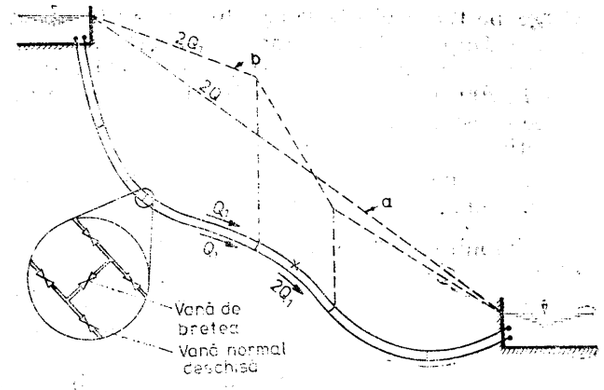


Fig. 4.11. Schema de calcul pentru stabilirea debitului aducțiunii cu două fire și bretele de legătură: *a* — la funcționarea ambelor fire; *b* — la funcționarea cu un tronson avariat și izolat.

nu sînt alte cauze care pot întrerupe alimentarea—oprirea SP din cauza lipsei energiei, blocarea captării în perioada de iarnă etc.), deci volumul rezervorului este mai mic; costul aducțiunii este mai mare, iar costul rezervorului mai mic decît în varianta precedentă.

Calculul hidraulic se face după procedeul cunoscut. În figura 4.11 este dată schema de verificare a debitului minim asigurat de o conductă cu 2 fire și bretele. Dacă lungimea conductelor între două bretele este aceeași, avarierea oricăreia produce efecte identice, dacă bretelele nu sînt la distanțe egale, atunci se presupune ruperea conductei între cele mai depărtate bretele. În cazul în care conducta are diametre diferite pe cele două fire, se presupune ruperea celei mai mari, iar dacă alimentarea are diametre diferite pe lungime, se presupune ruperea conductei cu diametrul cel mai mare (v. și aplicația 17).

4.1.5. PROIECTAREA ADUCȚIUNILOR

Aducțiunea fiind unul din cele mai dezvoltate obiecte ale sistemului de alimentare cu apă, este important ca soluția aleasă să ofere cele mai bune posibilități de execuție și exploatare.

Stabilirea traseului aducțiunii. Traseul aducțiunii se stabilește astfel încît:

— să aibă lungime cît mai mică;

— să se găsească, aproape în totalitate, în apropierea căilor de comunicații existente (sau prevăzute a fi executate);

— să nu fie afectat de dezvoltarea ulterioară în zonă (construcții viitoare);

— să nu prezinte zone de teren instabil, inundabil etc.;

— să nu existe zone de poluare subterană (conducte pentru produse petroliere etc.) sau de suprafață;

— să se poată expropria porțiuni de teren definitiv și provizoriu pe toată lungimea.

De regulă, se stabilesc mai multe trasee posibile, urmînd să se definitiveze ulterior cel mai convenabil. Cel mai corect este dacă proiectantul, după ce a stabilit gama de soluții posibile, folosind hărți sau planuri la scări convenabile (1 : 5000 ··· 1 : 100000 — după lungimea aducțiunii), par-

curge pe teren aceste trasee pentru a putea marca toate elementele particulare. După stabilirea traseului, acesta va fi *ridicat* pe un plan de situație la scară convenabilă (1 : 2000 · · · 1 : 5000, cu detalii la scara 1 : 500 · · · · · · 1 : 200 a zonelor cu probleme). Cu această ocazie vor fi recunoscute toate construcțiile subterane și supraterane care pot avea influență asupra aducțiunii.

Dacă pe traseul aducțiunii sînt și stații de pompare, este obligatoriu ca în zona de amplasare să existe surse de energie electrică.

Stabilirea debitelor de dimensionare. Debitul de dimensionare pentru aducțiune este debitul zilnic maxim. Dar dacă populația orașului crește, necesarul de apă va avea o valoare la data elaborării proiectului și altă valoare, într-o etapă viitoare. Ca atare, se poate adopta una dintre soluțiile :

— se execută aducțiunea pentru debitul de perspectivă ;

— se execută aducțiunea la o dimensiune dată de debitul curent și se extinde prin dublare, triplare, etc., în perspectivă.

Funcție de mărimea conductei și condițiile tehnico-economice, se poate alege soluția mai bună.

Stabilirea schemei de funcționare a aducțiunii. În ceea ce privește alimentarea cu apă pentru centre populate, din cauza debitelor de apă relativ mici și mai ales a condițiilor de calitate care trebuie păstrate, de regulă transportul apei se asigură prin apeducte închise.

• Dacă se alege un sistem cu transport gravitațional :

— traseul este mai lung ;

— secțiunea apeductului poate fi mai mare ;

— costul poate fi mai redus, întrucît secțiunea poate fi realizată (uneori) dintr-un material mai puțin pretențios — presiunea de lucru fiind mai mică.

• Dacă se alege un sistem de transport prin pompare sau mixt :

— traseul poate fi mai scurt ;

— secțiunea apeductului poate fi mai mică ;

— funcționarea stației de pompare, deci o construcție suplimentară cu consum de energie (care este scumpă și va crește în timp) și care implică supraveghere continuă, cere un anume grad de siguranță ;

— calculul poate fi ceva mai complicat ;

— pot apărea construcții accesorii mai numeroase ;

— materialul pentru conductă este mai bun, funcționarea fiind sub presiune.

Alegerea materialului. Tipul de material va fi ales în funcție de următoarele elemente :

— să se producă tuburile respective în condiții industriale, în sortimentele cerute, ca diametru, clasă de presiune, și la termenele cerute ;

— materialul să fie rezistent la agresivitatea apei și solului sau, în caz contrar, să se prevadă soluții de combatere a agresivității sau de protejare a tubului ;

— în terenuri stabile pot fi prevăzute materialele raționale, dar în terenuri slabe, cu oarecare instabilitate, se prevăd numai țevi din oțel ;

— condițiile specifice de execuție (posibilitatea executării folosind maximum de mecanizare) ;

— adîncimea de pozare a tubului.

De cea mai mare importanță este ca, odată cu alegerea materialului, să fie verificate și condițiile de execuție a tuburilor. Există cazuri în care rugozitatea pereților la interior este cu mult mai mare decît aceea dată în literatura tehnică. În aceste situații, sînt necesare condiții pentru calculul factorului de rezistență λ și/sau de folosire a diagramelor de dimensionare.

Stabilirea tehnologiei de execuție. Tehnologia de execuție pentru aducțiune se stabilește funcție de :

— mărimea cantității lucrărilor ;

— accesibilitatea traseului aducțiunii ;

— viteza de execuție și anotimpul de lucru ;

— capacitatea de lucru a executantului ;

— tipul de material folosit pentru executarea aducțiunii (*schimbarea tipului de material* după stabilirea soluției, trebuie făcută cu reprecizarea modificărilor cerute de noua tehnologie) ;

— tipurile și volumul construcțiilor accesorii etc.

Studii necesare pentru elaborarea proiectelor. Pentru a elabora în bune condiții un proiect pentru o aducțiune importantă, sînt necesare următoarele studii :

— *studii topografice* (elaborarea de planuri de situații și profile la scări convenabile, cu stabilirea reperilor în plan și de cotă) ;

— *studii geologice și geotehnice* prin care să se determine stabilitatea terenului uscat sau, după eventuala umezire cu apa pierdută din aducțiune, natura terenului, prezența apei subterane, măsuri constructive specifice etc. ;

— *studii hidrochimice*, pentru stabilirea agresivității apei sau apei și solului față de conductă, precum și agresivitatea apei transportate față de conductă ; cînd este cazul, se prezintă și soluții de protecție sau de tratare a apei.

Soluțiile prevăzute trebuie să concorde cu prevederile generale ale Standardului 6819 (aducțiuni — proiectare și date constructive).

4.2. MATERIALE PENTRU EXECUȚIA ADUCȚIUNILOR

Aducțiunile ale căror diametru nu depășește valoarea 2.50 m se execută în general din tuburi sau țevi, prefabricate, montate la fața locului. Cele cu dimensiuni mai mari de 1,50 m se pot executa, în unele cazuri bine justificate, prin confecționarea la fața locului, dacă presiunea de lucru este mică. Se preferă de cele mai multe ori tuburile, pentru execuția aducțiunilor, deoarece execuția se face mai ușor și mai îngrijit în fabrică, durata de execuție este mai scurtă, procesul de fabricație fiind mai stăpînit. Pe șantier se fac numai operațiuni relativ simple de montare și îmbinare. În cele ce urmează, se va face o descriere mai amănunțită a materialelor din care se confecționează tuburile, urmînd ca pentru celelalte cazuri de execuție pe șantier a conductelor, proiectantul să utilizeze documentația de specialitate.

Materialele din care se pot executa aducțiunile sînt : oțelul, fonta, azbocimentul, betonul armat, betonul armat precomprimat, masă plastică (PVC), aluminiul, sticla armată etc.

4.2.1. ȚEVI DIN OȚEL

Oțelul fiind un material cu o rezistență mecanică ridicată și cu durabilitate bună, permite executarea aducțiunilor de orice diametru și grosime de perete, practic pentru orice presiune. Folosirea lui este limitată doar de capacitatea de a realiza o protecție anticorozivă eficientă. În țara noastră se produc:

— *țeavă neagră* de oțel pentru construcții (STAS 404), cu diametre mici, de 25 ÷ 100 mm;

— *țeavă* de oțel, *zincată*, pentru instalațiile de apă rece cu dimensiuni de 1/2" ÷ 6" și piesele de îmbinare (fitingurile) necesare, folosite în general pentru instalații interioare (1" = 25,4 mm);

— *țeavă* de oțel *pentru instalații* și conducte fabricate prin *laminare la cald* (dimensiuni 150 ÷ 500 mm) la fabrica de țevi Roman și Uzinele Metalurgice Iași și din *tablă sudată în spirală* (dimensiuni de 400 ÷ 1000 mm) la Fabrica de țevi sudate București și Zimnicea (400—1400 mm); lungimea tuburilor este de 6 ÷ 12 m, iar grosimea pereților de 4 ÷ 12 mm (STAS 6898);

— *țeavă specială de oțel* (dimensiuni peste 1200 mm), fabricată la comandă specială din tablă sudată pe generatoare (au fost produse și țevi din oțel cu diametrul de 4 m și grosime a peretelui de 15—20 mm).

Țeava de oțel se notează cu OL 420 × 8 mm (ceea ce semnifică: tipul oțelului, diametrul exterior, în mm, grosimea peretelui, în mm); lungimea tronsoanelor este de 4 ÷ 12 m, după posibilitatea de transport.

Pentru cazuri speciale (conducte cu diametru foarte mare, conducte pentru presiuni foarte mari, conducte solicitate puternic în pământ, conducte sau tronsoane care vor lucra sub vacuum etc.), pot fi confecționate tuburi speciale din oțel cu perete îngroșat sau se poate prevedea rigidizarea exterioară a pereților cu inele speciale. Se va avea în vedere eventuala modificare a rezistenței hidraulice a tuburilor, ca urmare a ondulării generatoarei în urma sudării exterioare a inelelor de rigidizare.

Piesele necesare pentru îmbinarea tuburilor pe traseu se pot confecționa pe șantier, în uzină sau în ateliere speciale, din țeavă sau din tablă de oțel.

Deoarece conductele din oțel consumă o cantitate ridicată de metal, a cărei întrebuințare nu este cea mai rațională, se recomandă folosirea lor numai pe trasee foarte dificile, subtraversări, presiuni mari etc. Deoarece oțelul este relativ ușor atacat de agenții exteriori sau de apă, *toate conductele* trebuie să fie *protejate anticoroziv*, atît în interior, cît și la exterior. Protecția trebuie să fie netoxică (interior) și elastică, întrucît, mai ales la diametre mari, țeava de oțel suferă deformații ale secțiunii transversale și în lungul țevii, din cauza solicitărilor mecanice sau datorită variației de temperatură a apei transportate.

Țevile din oțel se pot îmbina, așa cum rezultă din figura 4.12, prin: *mufă* cu filet (țeava de instalație-niplu și burlanele de foraj-manșon); *sudare cap la cap* (dacă îmbinarea este nevizibilă sau nedemontabilă în spații vizitabile); *cu flanșe* (dacă îmbinarea este demontabilă și situată în spații vizitabile).

• *Îmbinarea prin sudură* se execută pe șantier sau în uzină. Țevile trebuie să aibă capetele netede, bine calibrate (neovalizate), iar dacă grosimea peretelui este mai mare de 5 mm, capetele trebuie să fie *șanfrenate*, teșite (fig. 4.12, *b*). Pentru ușurință, țeava se sudează, în exterior, pe marginea șanțului, țeava fiind pozată pe reazeme provizorii.

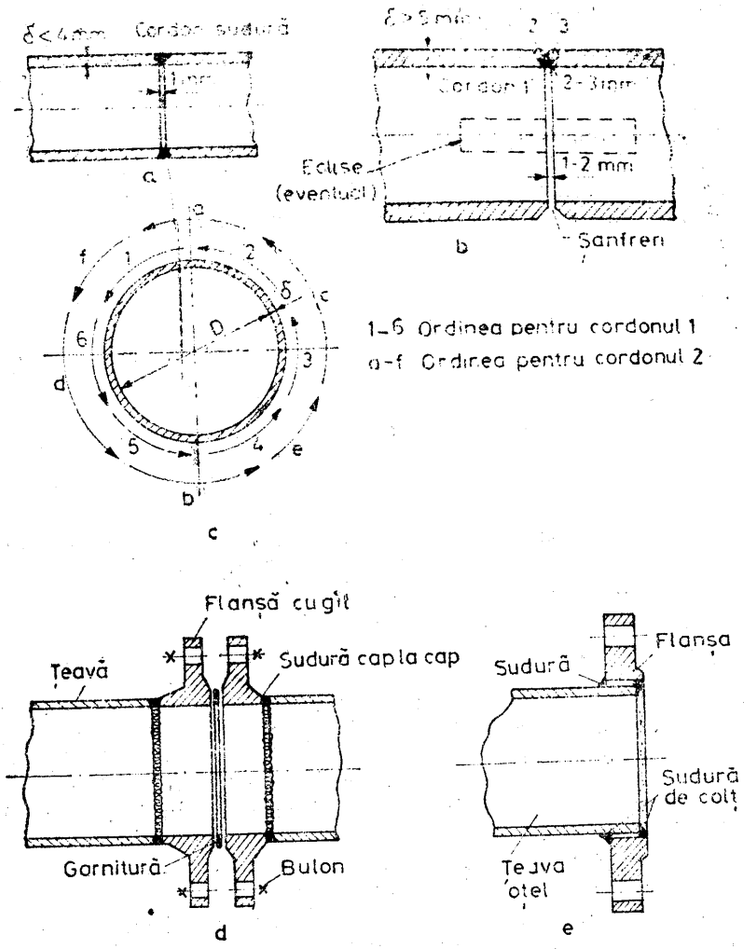


Fig. 4.12. Îmbinarea țevilor de oțel: *a* — cap la cap, conductă cu pereți subțiri; *b* — cap la cap, conductă cu pereți groși; *c* — ordinea de execuție a cordoanelor de sudură; *d* — îmbinarea cu flanșă cu gît; *e* — sudarea corectă a flanșei-disc, pe capătul conductei.

Dacă nu s-ar realiza această *teșire* în Y și X a capetelor tuburilor foarte groase, cordonul de sudură nu ar putea *pătrunde* toată grosimea peretelui tubului, iar așezarea tuburilor la distanță mai mare face imposibilă executarea primului cordon de sudură (sudura ar fi *lipită* de partea exterioară a tuburilor și ar fisura foarte ușor).

În scopul evitării deformării tubului și apariției unor eforturi suplimentare importante, care ar face ca sudura să fisureze, *să crape* ulterior, la tuburile cu diametrul mai mare de 400 mm, sudura nu se face continuu ci discontinuu, pe sectoare așezate în șah. Cordoanele de sudură se așază uniform, cu protecție specială sau numai cu aceea de pe electrodul de sudură. Țevile cu peretele sub 3 mm grosime nu se vor suda electric, exis-

tînd pericolul de ardere a tablei. La conducte cu peretele peste 20 mm grosime, se recomandă încălzirea prealabilă a zonei de sudat, pentru a reduce la minimum eforturile suplimentare din încălzirea neuniformă a peretelui conductei în momentul executării sudurii. Se atrage atenţia asupra calităţii oţelului electrozilor, care se alege în concordanţă cu tipul oţelului conductei.

Dacă, în zona sudurii, în exploatare, din cauza solicitării mecanice, apar eforturi însemnate care se apreciază că nu vor putea fi preluate de sudură, se pot adăuga (deasupra conductei) *eclise*, în număr şi poziţie convenabilă, sau se poate dubla sudura cu un *manşon*, exterior sudat la capete de cele două tronsoane de conductă.

Prin îmbinare cap la cap a mai multor ţevi de oţel, pot fi obţinute tronsoane de 50 ÷ 200 m, care se lansează în şanţ, unde se sudează cap la cap, *la poziţie* cu tronsoanele vecine.

Deficienţa îmbinării prin sudură o constituie faptul că, pe o distanţă de circa 0,50 m de fiecare parte a sudurii, izolaţia anticorozivă interioară se distruge şi în rare cazuri se mai poate reface.

Controlul sudurii se face cu ochiul liber sau lupa, verificînd aspectul exterior (sudura nu trebuie să aibă crăpături, nepătrunderi în material, incluziuni de zgură, pori, suprafaţă spongioasă, întreruperi bruşte etc.) şi cu aparate portante cu raze X sau γ (gamametrie) sau ultrasunete, rezultatele măsurătorilor trebuind să se încadreze în limitele date de normative.

• *Îmbinarea cu flanşe* se execută pe poziţie (la faţa locului), tubul avînd sudate în prealabil flanşele (din fabrică sau pe şantier) la capete.

Flanşele pot fi confecţionate special în uzină (flanşe cu gît) sau se confecţionează după necesitate prin tăiere şi prelucrare din tablă de oţel (fig. 4.12).

Dimensiunile flanşelor şi numărul de buloane sînt standardizate. În cazuri speciale, se pot confecţiona şi flanşe ale căror dimensiuni (grosimea de tablă din care se taie şi numărul de găuri) pot fi diferite, fiind dată o atenţie specială la poziţia găurilor, pentru a putea fi îmbinate cu piesele, ce au flanşe standardizate. La îmbinare, se observă că între cele două flanşe, care uneori au un mic rebord, se aşează o garnitură din cauciuc, carton, clingherit, care, prin strîngere, asigură etanşeitatea. Îmbinarea cu sudură de la flanşe se poate uşor izola anticoroziv.

Îmbinarea se practică numai în spaţii vizitabile, deoarece buloanele de oţel trebuie să fie protejate (altfel, filetul se distruge şi îmbinarea cedează).

Îmbinarea cu flanşe este mai scumpă şi se va prevedea doar acolo unde este strict necesară.

Protecţia anticorozivă a conductelor din oţel. *Coroziunea* este un fenomen de natură chimică, electrochimică, microbiologică sau combinată, prin care metalul din care este executată conducta este oxidat. Stratul oxidat se desprinde de material şi lasă loc pentru atacarea stratului următor. Ca importanţă, fenomenul este unul dintre cele mai costisitoare pentru tehnică.

• Conform normativelor în vigoare, *protecţia prin izolare*, a conductelor de oţel îngropate, contra coroziunii de către sol se poate face în următoarele 4 tipuri:

— *izolaţie uscată* cu caracter provizoriu; constă în acoperirea conductei cu un strat de *citrom* (bitum amestecat cu benzină) şi se aplică, în mod obligatoriu, în interiorul conductei;

— *izolaţie normală* formată dintr-un strat de citom şi o înfăşurare de protecţie (care poate fi din pînză de iută, cînepă sau bumbac, hîrtie specială sau folie din masă plastică); se aplică la terenuri cu agresivitate redusă (cu rezistivitate peste 20 Ωm); grosimea izolaţiei este de 3,50 ÷ 5,00 mm;

— *izolaţie întărită*, care se aplică la terenuri agresive (rezistivitate 5 ÷ 20 Ωm); este formată din grund, o înfăşurare de armare între 2 straturi de bitum şi o înfăşurare de protecţie (grosime totală 7—8,6 mm);

— *izolaţie foarte întărită*, aplicată în zone foarte agresive (rezistivitate sub 5 Ωm); este formată dintr-un grund, 2 înfăşurări de rezistenţă între 3 straturi de bitum şi o înfăşurare de protecţie (grosime totală 10,5 ÷ 12 mm).

Pentru reuşita operaţiunilor, trebuie ca, înainte de turnarea de grund sau bitum, conducta să fie foarte bine curăţată de impurităţi (pămînt, rugină, pete de ulei). Bitumul trebuie să fie topit în cazane speciale pentru a fi uniform la turnare. Este recomandabil, ca, în cazul unor tronsoane lungi de conducte, izolarea să se facă într-o staţie centrală, iar tuburile să fie transportate cu atenţie pentru evitarea deteriorării izolaţiei.

În dreptul îmbinărilor prin sudură, izolarea se face ulterior, cu aceleaşi precauţii ca în restul conductei şi cu o petrecere suficientă. Dacă în fabrică nu s-a asigurat protecţia interioară cu lac bituminos, se recomandă ca aceasta să se facă tot în staţia centrală. Totdeauna stratul următor se aşază numai atunci cînd stratul precedent s-a uscat, iar pînza de protecţie cînd bitumul stratului anterior s-a întărit. În general, izolarea nu se va executa în perioade cu temperatura sub 0 °C, decît în condiţii şi cu materiale speciale.

Pentru a nu se deteriora izolaţia, coborîrea conductei (tronsonului) se va face cu chingi speciale, iar dacă terenul de fundare este rigid se va prevedea un strat de pămînt mărunţit sau nisip pentru aşezarea uniformă a conductei. În cazul lestării conductei în strate din material granular mare, la subtraversări, se poate îmbrăca izolaţia cu un rînd de şipci de lemn legate cu sîrmă. După aşezarea conductei, se verifică aspectul izolaţiei (se repară cu atenţie eventualele avarii) şi se face şi o verificare cu defectoscopul. La trecerea conductelor prin pereţii de beton, vor fi luate măsuri speciale de izolare şi eventual asigurarea continuităţii izolaţiei conductei.

În cazul unor conducte importante se recurge, pe lîngă izolaţia anticorozivă normală sau întărită, şi la prevederea unei protecţii catodice.

• *Protecţia catodică* se proiectează şi execută de o unitate de specialitate. Pe conducte, din loc în loc (1 ÷ 2 km), se leagă electrozi din metal (zinc, de obicei) introduşi în pămînt; se realizează astfel pile electrice între electrozi şi conductă, creîndu-se un circuit electric, *anod* fiind *electrodul* care se distruge prin coroziune, iar *catod* — *conducta*. În cazul în care electrozii se fac din oţel, trebuie asigurat circuitul electric artificial (anod—electrod şi catod—conductă) cu ajutorul unei surse exterioare de curent continuu.

În acest fel, conducta este păstrată intactă în mod artificial. Protecţia catodică este o protecţie activă a conductei de metal şi se prevede totdeauna la o ţeavă care are şi o protecţie întărită executată din materiale bune.

Piese speciale din oţel. Pentru asigurarea continuităţii traseului conductei de aducţiune, în foarte multe situaţii, trebuie să fie asigurate piese spe-

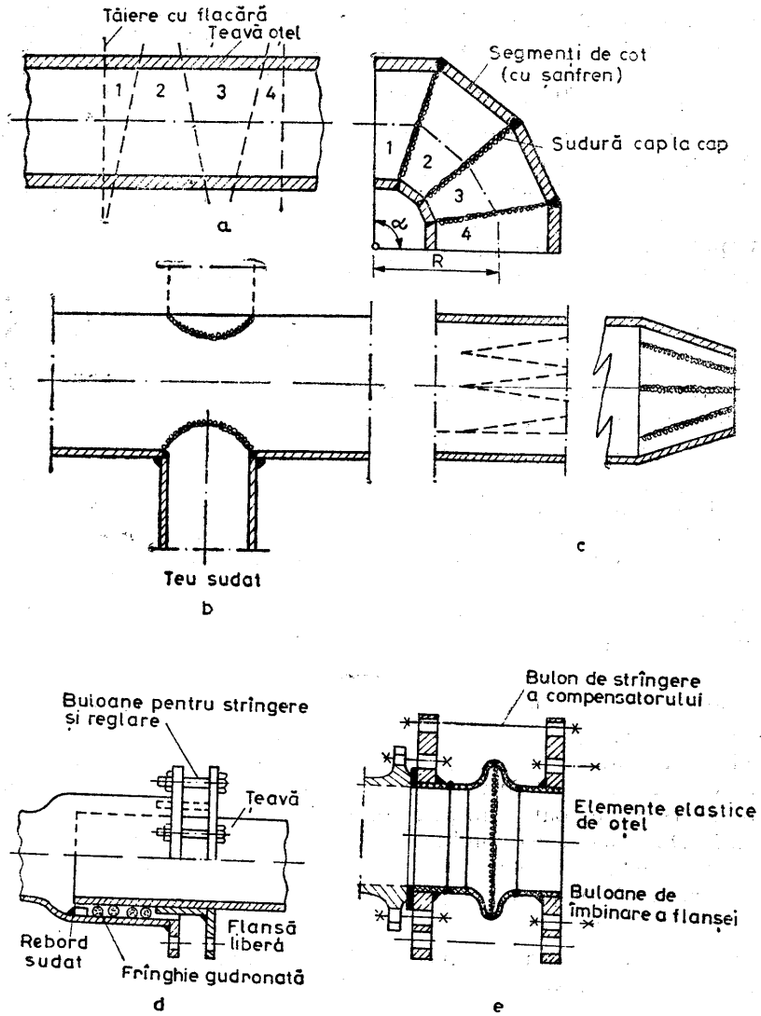


Fig. 4.13. Piese speciale (armături) din oțel: *a* — cot din segmenți (*1* ... *4* — segmente din tronsoane de țeavă); *b* — teu (cruce); *c* — reducție din țeavă; *d* — compensator telescopic; *e* — compensator lenticular (burduf) cu o lentilă.

ciale de racordare. Dintre piesele cele mai importante, sînt menționate următoarele:

• *Coturile*, cu unghiuri de 10 ÷ 90°, pot fi executate prin uzinare specială la dimensiuni mici în general (sub 400 mm) sau din segmenți (fig. 4.13, *a*).

Se taie segmente convenabil alese, din tronsoane de țeavă, unghiul la centru al unui segment fiind de 11,5° și, reorientîndu-le, se sudează, obținînd cotul necesar. Acesta se sudează între cele 2 aliniamente de conductă sau se prevede cu flanșe la capete, după caz.

• *Teurile* sînt necesare la întîlnirea a 2 conducte, din care numai una se continuă în ambele părți (fig. 4.13, b). Se taie o porțiune rotunjită în conducta continuă (se poate obține desfășurata) și se sudează în zona tăiată un ștuț de conductă din celălalt tronson de intersecție. Diametrul conductei de racord poate fi cel mult egal cu al conductei principale (care se continuă). Capătul de conductă nu va intra în conducta cu care se racordează. Un teu dublu — numit *cruce* se execută identic. Crucea va fi totdeauna plată.

• *Reducțiile* se aplică atunci cînd, dintr-un motiv oarecare, diametrul conductei trebuie micșorat. Se execută un con din tablă roluită și sudată sau o piesă specială din țeavă cu diametrul maxim al țevii, care se șlițuiește și se sudează. După confecționare, se sudează sau se îmbină cu flanșe între cele 2 tronsoane (fig. 4.13, *c*).

• *Compensatorul de montaj* (*dilatație*) este o piesă specială necesară la montarea unor tronsoane demontabile în spații de lungime fixă sau pentru preluarea deformațiilor la conducte. În cazul în care unul din tronsoane trebuie înlocuit, este nevoie de un spațiu de montaj pentru introducerea garniturii și strîngerii flanșelor. La diametre mici (sub 400 mm) sau foarte mari (peste 1000 mm), se execută un compensator cu manșon (telescopic, fig. 4.13, *d*). La diametre mari se prevede compensator *burduf* (lenticular, fig. 4.13, *e*), cu una sau mai multe lire (o lîră asigură o deformație în lungul axului de cca. 5—6 mm).

Industrial, se execută piese din oțel și pentru îmbinarea tuburilor nemetalice cu cele metalice sau racordarea acestora în cazuri speciale. Pentru toate piesele speciale sînt necesare detalii de execuție.

4.2.2. TUBURI DIN FONTĂ DE PRESIUNE

Fonta de presiune, sau fonta din a doua turnare, este unul din materialele cele mai vechi folosite la realizarea conductelor pentru transportul apei.

În țara noastră, există numeroase conducte din fontă a căror vechime în exploatare depășește 80 ani (cea mai importantă este aducțiunea Timișești-Iași, cu *Dn* 300 mm, cu lungimea de 102 km, din care 60 km sînt din fontă de presiune).

Materialul se preferă încă în unele cazuri (deoarece are rezistență mecanică ridicată, tuburile sînt robuste și prezintă o rezistență ridicată împotriva acțiunii agresive a solului sau a apei), dar a fost treptat înlocuit, deoarece consumul de metal este ridicat (tuburile au pereții groși), iar îmbinarea tuburilor se face greoi, cu productivitate redusă și consum mare de materiale. Tuburile nu pot fi prelucrate decît prin spargere sau tăiere cu unelte speciale și multă atenție. Din această cauză, odată cu tubul propriu-zis, trebuie să fie executate în uzină, prin turnare, și toate piesele speciale necesare pentru îmbinare. Tuburile se toarnă din fontă lichidă în tipare speciale (la fel ca betonul) sau în forme aflate în mișcare de rotație (turnare prin centrifugare, aplicată în străinătate, procedeu care conduce la tuburi cu grosime a peretelui mai mică, și mai uniformă, deci la o economie importantă de metal).

Datorită preocupărilor intense, în străinătate a fost obținută o fontă specială numită — *fontă ductilă* — cu caracteristici superioare. Totodată,

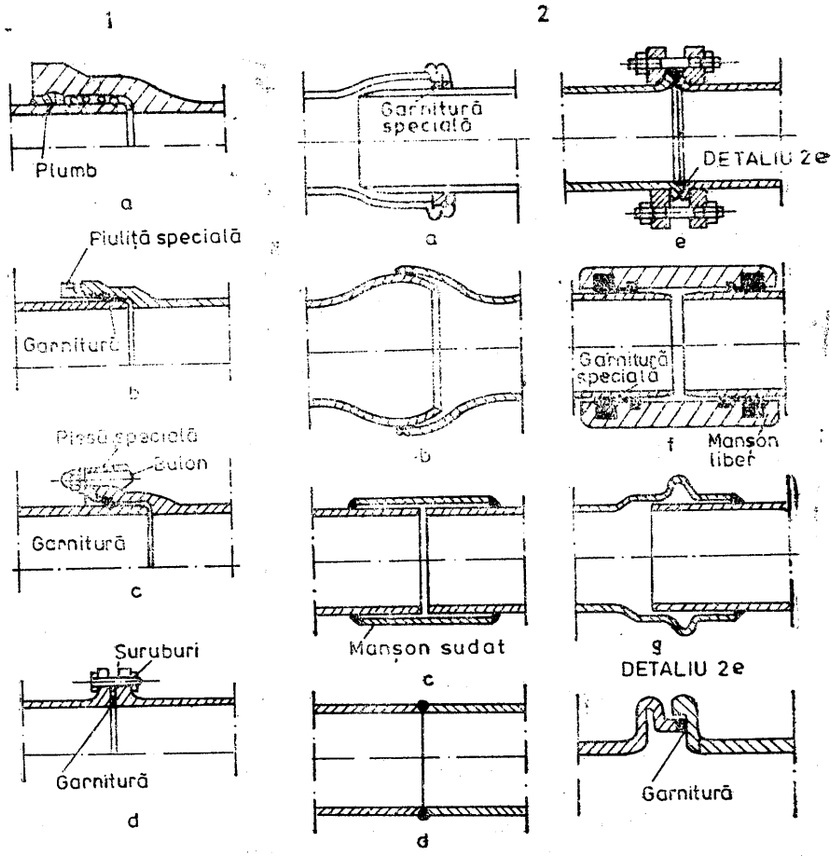


Fig. 4.14. Tipuri de îmbinări pentru conducte metalice: *1* — tub de fontă cu mufă îmbinat cu: *a* — plumb topit; *b* — garnitură și piuliță de strângere; *c* — garnitură și șuruburi speciale; *d* — cu flanșe; *2* — țeavă de oțel: *a* — cu garnitură și mufă; *b* — îmbinare sferică (genunchi); *c* — cu manșon sudat; *d* — cap la cap; *e* — cu flanșe libere; *f* — cu manșon liber; *g* — cu manșon compensator.

au fost perfecționate și sistemele de îmbinare. În figura 4.14 sînt date cîteva din tipurile de îmbinări, la diferite tipuri de materiale [27, [14].

Tuburile produse în lungime de 3÷5 m, se execută cu mufă sau flanșe, pentru a fi ușor îmbinate. Diametrul tuburilor produse în țară este de 50÷800 mm, iar presiunea la care poate funcționa, de 10 bari.

• *Îmbinarea cu flanșe* nu prezintă nici o particularitate față de îmbinarea cu flanșe a țevilor de oțel. Deosebirile sînt constructive: flanșa tubului este turnată odată cu tubul; flanșa este mult mai groasă decît cea de oțel, iar din cauza turnării fața piesei este mai rugoasă. Se folosesc la fel, în spații vizitabile și la piese demontabile. Îmbinarea este rigidă. Flanșele vor fi strînse simetric (cu atenție, întrucît materialul este casant).

• *Îmbinarea cu mufă* se face după un procedeu special, des folosit și care dacă nu este aplicat corect, conduce la multe deficiențe în exploatare. Îmbinarea se execută în șanț, la poziție, tub cu tub.

Operațiunile necesare sînt următoarele: în dreptul mufei, fundul săpăturii se adîncește (astfel ca să se poată trece mîna, 20÷30 cm); capătul drept al tubului, care se montează, se introduce în mufa tubului deja montat, lăsînd un spațiu de 0,5÷1,0 cm între capete (se introduce la refuz, se face un semn și apoi se retrage tubul); se centrează și se liniarizează tuburile și tubul nou este lăsat pe pămînt, avînd grijă să fie executată adîncirea săpăturii la mufa următoare; se introduce elementul de etanșare — *frînghie gudronată* — cu ajutorul unei unelte speciale (un fel de daltă cu coadă numită *ștemăr*), în 3—4 spire, și se îndeasă bine; se înfășoară la limita mufei o frînghie ajutătoare, cu diametrul mai mare decît al spațiului dintre tuburi, cu un capăt ascuns și un capăt liber, în exterior, la partea de sus; cu o mînă se ține frînghia, strînsă, iar cu cealaltă se execută în jurul ei un guler etanș de lut — argilă moale; după realizarea gulerului, se trage tangențial, cu atenție, frînghia afară și se îndreaptă gura orificiului rămas, amenajîndu-l sub formă de pîlnie; se toarnă plumb topit în spațiul rămas liber sub guler; după răcire, se îndepărtează lutul și se îndeasă plumbul, cu un ștemăr scurt, prin batere pînă la refuz; plumbul intră în șanțul existent în mufa tubului și constituie elementul de rezistență care se opune expulzării frînghiei de către apa sub presiune; îmbinarea este elastică, permite deplasarea longitudinală și rotiri mici ale tuburilor; la tuburile cu diametre mari, trebuie verificat, cu atenție, dacă la partea de jos a mufei a ajuns suficient plumb, deoarece se întîmplă ca acesta, răcindu-se pe parcurs, să nu umple complet spațiul rămas. În acest caz, frînghia poate fi scoasă afară (refulată) și etanșarea este compromisă. Pentru a se evita asemenea deficiențe, s-a recurs în unele cazuri la folosirea șnurului de plumb, care se introduce și se bate la fel ca frînghia.

Literatura de specialitate arată și alte posibilități de îmbinare, unele foarte rapide și simplu de executat; astfel, a fost realizată mufa cu filet interior și o flanșă liberă, cu gît, tot filetată; etanșarea se face cu garnitură de cauciuc, iar blocarea garniturii, prin strîngerea flanșei. La alte tipuri de îmbinare, garnitura de caucic sau masa plastică este blocată de o flanșă specială, ancorată cu buloane din oțel-bronz etc. (fig. 4.14).

Tot din fontă de presiune sînt executate și piesele speciale pentru racordarea cu tuburile de azbociment — beton (reducții, teuri, coturi). Pentru a nu se confunda, dimensiunile acestora fiind diferite de cele pentru îmbinarea tuburilor de fontă, acestea au o notație specială. Toate aceste piese se fabrică după standarde și norme interne.

Pentru a se obține o pierdere de sarcină mai mică, este rațional ca poziția tubului față de sensul de circulație al apei să fie astfel încît apa să intre întîi în mufă. Tuburile se citonează înainte de punerea în operă

4.2.3. TUBURI DIN AZBOCIMENT

Azbocimentul este un material obținut prin amestec de circa 30% fibră de azbest, ciment și apă, *așezat* în formă de tub printr-un procedeu special. Linia tehnologică a fabricației are următoarele faze principale: amestecarea cimentului, apei și azbestului în vase speciale; întinderea pastei în strat subțire pe o pînză specială — absorbantă; rularea pe un tambur metalic special a peliculei de pastă de pe pînză, pînă cînd se obține grosimea cerută pentru tub; scoaterea cilindrului (forma interioară

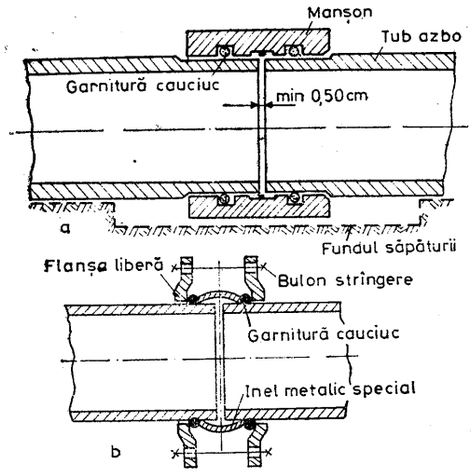


Fig. 4.15. Îmbinarea tuburilor din azbociment: *a* — cu manșon și garnitură; *b* — tip GIBAULT (cu flanșe libere).

a tubului) și introducerea tubului, pe tambur, pe o platformă mobilă a unui cuptor (cca. 150°C); introducerea tuburilor în bazine speciale de maturare (terminarea fenomenului de priză); tăierea tuburilor la lungimea cerută de 3÷5 m cu un strung special și strunjirea capetelor tuburilor pe circa 20 cm, astfel încît acestea să fie perfect cilindrice.

Diametrul tuburilor este (teoretic) de 80÷900 mm pentru tuburile produse actualmente în țară (fabrica de ciment Bicaz, Bîrsești-Tîrgu Jiu, Medgidia, Fieni). Înainte de prevederea în proiect se va verifica sortimentul produs.

Se produc tuburi de două categorii: clasa 12 pentru presiunea (de lucru) de 6 bari și clasa 20 pentru presiunea de 10 bari.

Pentru îmbinarea curentă a tuburilor, se produc manșoane din tuburi speciale turnate și strunjite la dimensiunile cerute. Forma manșonului și modul de îmbinare sînt arătate în figura 4.15, *a*.

● *Îmbinarea* tuburilor de azbociment cu *manșon* se face tub cu tub în șanț și se realizează astfel: în zona de îmbinare, săpătura se adîncește circa 15÷20 cm, pe o lungime de circa 60÷80 cm; pe tubul montat se introduce manșonul cu cele 2 garnituri de cauciuc (introducerea se face prin blocarea tubului montat și împingerea manșonului cu 2 rîngi din fier și pană de lemn, la tuburi cu diametrul sub 300 mm sau cu un dispozitiv special de tras, la tuburi mai mari); se aduce al doilea tub în șanț, se centrează, se axializează și apoi se împinge în mufa blocată, cu o rangă sau un dispozitiv special, astfel încît poziția acesteia să nu se schimbe. Îmbinarea făcută manual cu ranga și pana de lemn sau cu același dispozitiv de tras (tirfor sau alt dispozitiv executat special), se continuă pînă cînd între marginile tuburilor rămîne un spațiu de circa 0,5÷1 cm (pentru a se ști acest lucru, se marchează în prealabil pe tub poziția finală a garniturii sau manșonului). Această distanță este esențială în montarea tuburilor, deoarece, în caz contrar, îmbinarea, care lucrează ca o articulație, nu mai permite înclinarea tuburilor sub un unghi mic, decît cu spargerea unuia din capetele tubului. Pentru ca garnitura de cauciuc (a cărei poziție finală se verifică — după montare, aceasta nu trebuie să iasă din șanțurile mufei) să ruleze mai ușor pe tub, aceasta trebuie să fie bine executată (se verifică în prealabil) sau capătul tubului se poate unge cu un săpun sau alt unguent, care să nu atace însă cauciucul (să nu fie pe bază de derivate petroliere). În același scop, marginea capătului tubului, tăiată normal pe ax este puțin teșită.

● *Îmbinarea cu mufă și flanșe de fontă tip Gibault*, (fig. 4.15, *b*) se folosește atunci cînd îmbinarea trebuie să fie vizitabilă, ușor demontabilă, tuburile trebuie să permită o deplasare unghiulară mai mare. Îmbinarea

se poate utiliza și în cazul unor reparații, atît la tuburile de azbociment cît și la orice fel de altă țeavă (la azbociment și beton este singura utilizată). Această îmbinare, deși pare mai simplu de realizat și mai sigură în exploatare, la o execuție neîngrijită poate conduce la neetanșeități.

Îmbinarea se execută astfel: pe tubul montat și pe cel ce se montează, adus la 50 cm în fața celuilalt, se marchează poziția finală a garniturilor; pe tubul montat se trece o flanșă, o garnitură și manșonul metalic (de obicei din fontă, special turnat sau confecționat din tub de oțel) se introduc flanșa și garnitura pe tubul ce se montează; se aduc tuburile cap la cap (distanța 1 cm), se centrează și se axializează; se aduce manșonul la centru și se rulează garniturile (care sînt de aceeași calitate și dimensiuni ca și cele pentru îmbinarea cu manșon) pînă în pozițiile marcate; se apropie flanșele și se strîng buloanele pînă aproape de refuz. Strîngerea buloanelor se face în pereche simetrică (cu 2 chei), controlînd ca garniturile să nu iasă afară din spațiul destinat, deoarece mufa metalică o poate tăia în locul respectiv. *Îmbinarea se protejează* pentru a feri buloanele de rugină, întrucît dacă buloanele cedează, îmbinarea nu mai este etanșă.

Din tuburile de azbociment astfel îmbinate, pot fi obținute și curbe largi, cu o modificare a traseului de maximum 20° (cîte 2—3° pe îmbinare). La coturi bruște se folosesc piese speciale din fontă sau din oțel; Acestea se confecționează special cu dimensiuni corespunzătoare tuburilor de azbociment și se ancorează special cu masive.

Folosirea tuburilor prezintă următoarele avantaje importante: cost redus; reducerea aproape totală a consumului de metal; montare ușoară. În schimb, prezintă cîteva dificultăți de montaj, care fac ca uneori să se abandoneze nejustificat folosirea tuburilor de azbociment, în favoarea sevilor de oțel. Astfel, sînt foarte sensibile la lovituri (cădere de la înălțime, vibrații puternice, depozitare necorespunzătoare), uneori din fabricație au mici ovalizări la capete, iar garnitura incorect turnată nu etanșează tuburile (aceasta se poate evita printr-o recepție corespunzătoare și un control eficient al tuburilor și garniturilor).

Aceste tuburi nu sînt recomandate a fi folosite în următoarele amplasamente: terenuri agresive; transportul apei agresive pentru cimentul tubului, fără o protecție corespunzătoare; terenuri de umplutură sau alunecătoare; trasee în pante foarte mari (peste 25%); în zone puternic circulate (cale ferată, drum) fără protecție specială; la conducte care pot lucra în vacuum; în zona de intersecție cu conducte ce transportă alte fluide; în zona cu racorduri laterale foarte numeroase.

În literatura de specialitate sînt date exemple de folosire ale tuburilor de azbociment special prelucrate și pentru alte domenii, ca de exemplu în transportul gazelor, ventilație, coloane pentru puțuri etc.

Totuși, sînt semnalate și două deficiențe majore a acestor tuburi: dacă materialele nu sînt bune, tuburile *îmbătrînesc*, devenind casante; ceea ce este însă cel mai grav este că bucățile mici de fibră de azbest pot fi antrenate cu apă și, pătrunzînd în organism odată cu apa potabilă, pot produce îmbolnăviriea sistemului digestiv (sînt rugoase și rămîn în țesăturile moi, putînd produce leziuni grave).

4.2.4. TUBURI DIN BETON ARMAT

Tuburile din beton armat turnat pe loc au fost executate numai la dimensiuni mari (peste 1,50 m), sau în cazuri speciale, cu cofraj metalic interior care a rămas în exploatare (de fapt o conductă de oțel cu pereți subțiri betonată în exterior). La dimensiuni mici nu se poate extrage în bune condițiuni cofrajul interior, iar finisarea suprafeței este complicată. Din cauză că diametrul de execuție este mare, iar rezistența materialului din perete nu poate avea valori ridicate — consumul de armătură fiind ridicat, iar fisurile admise foarte reduse — presiunea de lucru în conductă este redusă 0,5÷1 bar.

În unele cazuri se semnalează și posibilitatea folosirii cofrajelor interioare pneumatice, care sînt ușor de manevrat și cu o refolosire mare (40—50 ori). Pentru a se evita dificultățile de execuție pe șantier, s-a trecut la prefabricarea tuburilor, obținîndu-se, în producție de serie, tuburi din beton armat-centrifugat și tuburi din beton precomprimat realizate după procedeurile PREMO, SENTAB, IPREROM.

Tuburile din beton armat centrifugat executate la fabrica Bucov au diametrul de 500÷1500 mm, lungime 3,5÷2,0 m și presiunea de regim 0,5÷1 bar; tuburile se execută cu mufă. În București, se produc tuburi cu diametrul de pînă la 2,2 m și lungimea de 5 m, folosite la presiuni mici, 2 bari. Tuburile sînt produse din beton armat vibrovacuumat.

4.2.5. TUBURI DIN BETON PRECOMPRIMAT

Tuburile din beton precomprimat reprezintă o rezolvare mai economică a tuburilor din beton armat. Prin procedeul de fabricație se asigură o folosire bună a armăturii din beton — folosire nerațională la celelalte tuburi, deoarece tubul fisurează înainte ca armătura să ajungă la capacitatea maximă de rezistență. Se produc în țară — la București, Călărași, Craiova, Turda — tuburi cu diamterul de 400, 600, 800, 1000 mm (și, la comandă specială, de 500, 1100 și 1200 mm), cu lungimea de 5 m, pentru presiuni de 2,5; 4; 6 și 10 bari (la comandă specială și 12; 16; 20 bari). Se produc de asemenea tuburi SENTAB (Călărași), pentru diametre 1200÷2000 mm și IPREROM cu diametre de 500; 800, 1000, 1200, 1500 mm.

Tuburile care nu rezistă la presiunea minimă cerută pentru conductele de apă sînt *declasate* și sînt folosite pentru canalizări sau podețe (tuburile se încearcă bucată cu bucată în fabrică).

Sînt tuburile cele mai des folosite, azi, pentru executarea aducțiunilor cu dimensiuni mari; cele mai lungi aducțiuni din țară (Izvarna—Craiova și aducțiunea Timișești—Iași, cu lungimi de peste 100 km fiecare) au fost realizate din tuburi PREMO, cu *Dn* 1000 mm.

Principiul de realizare al tuburilor este următorul: pe două discuri speciale se întinde armătura longitudinală; armătura se alungește prin depărtarea discurilor; cilindrul realizat se introduce într-un cofraj exterior — rotitor, în care se toarnă beton; prin centrifugare, betonul se așează pe pereții confrajului prinzînd armătura longitudinală; după întărire, se taie capetele armăturii longitudinale și cu o mașină specială, care înfășoară o sîrmă de înaltă rezistență întinsă, tubul este comprimat și pe direcție transversală; tubul se astupă la capete, este pus sub presiune și torcretat

cu un strat de circa 2 cm, pentru protecție; tuburile se supun probei de presiune pentru a se determina clasa tubului; rezultatele se înscriu pe tub.

Inscripția de pe tub poate arăta astfel:

PREMO 45235-63
A NU SE LOVI
10/12,5/6

iar semnificația este următoarea: litera E din cuvîntul PREMO trebuie să arate centrul de greutate al tubului; prima cifră (4) arată diametrul tubului, în sute de mm; iar următoarele cifre (5235) indică numărul tubului; 63 este anul fabricației; 10 este presiunea, în bari, pentru care a fost calculat tubul; 12,5 este presiunea de încercare a tubului în fabrică; 6 este presiunea maximă la care va lucra tubul; tot pe tub se mai scrie, cu litere mari, și denumirea fabricii producătoare.

Tuburile se produc cu mufe speciale și capăt drept cu nervură. (detalii sînt date în fig. 4.16).

Nu se recomandă folosirea acestor tuburi în următoarele situații: terenuri instabile, terenuri de umplutură nestabilizată; terenuri mloase; la presiuni peste 10 atmosfere; la conducte suspendate; la conducte ce funcționează la temperaturi sub 0°C (se pierde etanșeitatea); la conducte care lucrează, chiar temporar, sub vacuum.

Îmbinarea se realizează simplu, cu garnitură specială de cauciuc (cu secțiunea rotundă), în șanț, bucată cu bucată. În dreptul mufei se face o adîncire a săpăturii și se așează tubul. Pe capătul drept al tubului nou se așează garnitura, tubul fiind suspendat în macara. Tubul se centrează în mufa tubului vecin și se împinge cu ranga sau se trage cu cabluri și cu dispozitive tirfor, pînă cînd între tub și interiorul mufei rămîne o distanță de 1,0÷1,5 cm. Tubul se lasă pe amplasament și se verifică poziția garniturii cu un instrument din sîrmă, *spion*.

Esențială este așezarea corectă a tubului pe fundul șanțului. În cazul în care acesta este format din material neuniform, este indicată așezarea unui strat de balast, nisip sau pămînt mărunțit, gros de circa 20 cm.

Coturile largi se pot realiza prin devierea tuburilor (cu maximum 2°) la fiecare îmbinare. Coturile bruște se fac cu piese metalice special confec-

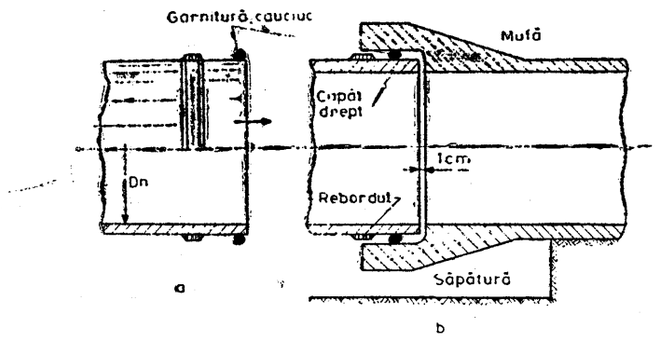


Fig. 4.16. Îmbinarea tuburilor PREMO, SENTAB, IPREROM:
***a* — vedere/secțiune cap liber; *b* — secțiune prin îmbinarea tip.**

ționate — la fel ca și alte îmbinări cu armături sau conducte. Coturile metalice vor fi ancorate.

În terenuri agresive sau cînd apa transportată prezintă agresivitate față de beton, vor fi luate măsuri speciale de protecție anticorozivă.

4.2.6. ȚEVI DIN MASĂ PLASTICĂ

Datorită avantajelor deosebite pe care le prezintă masele plastice (ușoare — $\gamma = 1{,}3$ kgf/dm³; rezistente la coroziune; prelucrare ușoară), au fost confecționate tuburi, în general de dimensiuni reduse (rezistența mecanică fiind mică totuși), cu o largă folosire. În țara noastră, tuburile se execută din PVC rigid, în 4 categorii, identificabile după culoare, cu diametre de 12÷280 mm (categoria I, $p < 2{,}5$ bari; categoria a II-a, $p < 4$ bari; categoria a III-a, $p < 6$ bari; categoria a IV-a, $p < 10$ bari; presiunile limită sînt date pentru apă, la temperatură sub 40 °C). Lungimea de fabricație normală este de 6 m, iar la comandă specială de pînă la 12 m. Sînt produse la fabricile de mase plastice din București, Iași, Buzău. Dimensiunea tubului se indică în mod diferit față de celelalte tuburi, prin produsul dintre diametrul exterior și grosimea peretelui (exemplu: tub PVC categoria a IV-a de 210 × 10 mm). Se produc la dimensiuni standardizate.

Deși materialul se prelucrează ușor și se poate suda, cu aer cald (150 °C) și electrozi speciali de masă plastică, se fabrică și piese speciale de îmbinare.

Îmbinarea cu manșon prefabricat se face astfel: se verifică modul de tăiere al capului tubului și se corectează cu bonfaierul, astfel încît tăierea să fie normală pe ax; se freacă bine cu șmirghel capetele tuburilor și interiorul manșonului, se unge cu adeziv special, bine păstrat, și se introduce în manșon; se păstrează la umbră. Îmbinarea nu mai este demontabilă. Pentru cazuri speciale, se fabrică și piese pentru îmbinări demontabile.

Nu se permite montarea la temperaturi sub +5 °C, decît în condiții speciale.

Îmbinarea prin mufare, tub în tub, se realizează în lipsa manșonului prefabricat sau la unele înnădiri în condiții de presiune redusă. Se prelucrează capătul unuia din tuburi (se șanfrenează prin pilire la 45°); se încălzește capătul celuilalt tub cu aer cald de la un suflai special sau lampă cu benzină obișnuită la care se atașează un prelungitor, astfel încît flacăra să nu atingă tubul și să-l ardă (la flacără, materialul se carbonizează); cînd tubul se înmoaie (se verifică prin apăsare rapidă cu mîna), se introduce un dorn de lemn cu care se lărgește capătul tubului; se introduc repede, forțat, capătul celuilalt tub; la răcire, tuburile se strîng atît de bine, încît îmbinarea devine etanșă. Dacă încălzirea nu este corect făcută, pe toată grosimea, mufa tubului crapă și operațiunea trebuie reluată.

Se menționează că, pentru îmbinarea cu armături sau cu piese din oțel cu flanșe, se pot confecționa, din placă, flanșe speciale lipite prin sudură de conductă.

Se atrage atenția că, deoarece tubul din PVC se dilată de circa 8 ori mai mult decît tubul de oțel, la variația de temperatură, țeava trebuie să se poată deforma (altfel se rupe), rezistența la întindere fiind de circa 200 kgf/cm². Pentru a-i permite o deformare ușoară, țeava se așează, obligatoriu, ușor șerpuit, iar în zona de așezare a tubului, se prevede un strat de nisip (10 cm peste și sub tub).

Au mai fost produse și: tuburi din polietilenă (PE) dar în sortiment redus (la Focșani); tuburi din PAS — poliester armat cu fibră de sticlă, foarte bune, dar scumpe (*Dn* 200 ··· 1200 mm, $p < 10$ bari), îmbinate cu manșon și garnitură specială din poliuretan (la Anticorozivul București).

4.2.7. CONDUCTE DIN ȚEVI DE ALUMINIU

Domeniul de folosire al acestora este încă destul de redus (și din cauza gamei reduse de diametre mari fabricate în serie: 80; 100; 125 mm), sînt însă perspective importante, în străinătate fiind pus la punct și procedeul de execuție a tuburilor din tablă sudată înspirală, la fel ca pentru țevile de oțel. Prezintă unele avantaje importante: rezistență la coroziune; greutate redusă (cu 1/3 față de oțel); rezistență hidraulică mai redusă cu circa 30% decît a țevii de oțel; rezistență mecanică bună (mai ales la șocuri). În țară sînt folosite mai ales în agricultură, pentru realizarea irigațiilor.

4.3. TEHNOLOGIA EXECUȚIEI CONDUCTELOR DE ADUCȚIUNE

Principalele faze din execuția conductelor sînt următoarele: recunoașterea și pichetarea traseului; executarea săpăturii; montarea tuburilor; proba de presiune; executarea umpluturii; executarea construcțiilor accesorii; proba hidraulică generală.

Recunoașterea și pichetarea traseului. Aceste operațiuni se fac de către constructor și beneficiar, în prezența proiectantului. Cu această ocazie, se verifică buna concordanță între conținutul planșelor din proiect și teren și se fac eventuale corecturi, în funcție de datele concrete (eventuale modificări apărute între timp) sau posibilitățile de execuție imediate. Se marchează pe teren punctele caracteristice ale aducțiunii (cămine, vîrfuri de unghi), legîndu-se de reperii folosiți la ridicarea topo; dacă traseul nu are nici o particularitate, se pun țăruși la circa 100 m. Totodată, se reprezintă sau se plantează reperi de nivel, stabili, pentru ușurința determinării ulterioare a cotelor. În cazuri speciale, se pot prevedea: locul pentru depozitarea provizorie a tuburilor și stația pentru executarea izolației anticorozive etc. Toate elementele stabilite se consemnează în procese verbale. Cu această ocazie, se mai verifică încă o dată dacă au fost expropriate toate suprafețele de teren necesare pentru execuție.

Observație: Există o regulă generală ca, ori de cîte ori este posibil, aducțiunile să fie amplasate lîngă căi de comunicație existente, pentru ușurința execuției și mai ales a exploatării.

Executarea săpăturii. Se poate face manual, în terenuri foarte dure, în locuri accidentate, spații limitate sau în cazul unui volum mic de lucrări. În celelalte cazuri, se va adopta executarea mecanizată a săpăturii, chiar dacă uneori volumul de săpătură crește în acest caz (în cazul săpăturii

manuale se execută săpătură cu sprijinire). Aceasta, deoarece efortul pentru săparea manuală este foarte mare, iar randamentul este redus.

Săparea mecanică se face, cel mai obișnuit, cu excavatoare cu cupa întoarsă, ori cu draglina — deoarece mașinile pot săpa sub cota terenului pe care se deplasează, iar brațul de lucru este mare. Săparea se începe după defrișarea zonei. Se scoate stratul vegetal și se depozitează separat, astfel încît la sfîrșitul operațiunilor, umplutura să poată fi refăcută cu stratul vegetal deasupra. Săparea stratului vegetal se poate face cu excavatorul sau cu buldozerul. Săparea gropii propriu-zise se face prin retragere, utilajul urmărind axul traseului. Săparea e bine să se facă pe tronsoane. Săpătura se face cu taluz, conform prevederilor proiectului, stabilit în funcție de caracteristicile pămîntului. Ultimul strat de săpătură de 20÷30 cm se sapă manual, pentru o bună nivelare, cu puțin timp înainte de montarea tuburilor. În cazul execuției în perioade reci, pînă la demontarea tuburilor și executarea umpluturii pe tub, se recomandă acoperirea cu rogojini sau paie, astfel încît suprafața proaspăt săpată să nu înghețe. Șanțul nu va fi lăsat liber perioade îndelungate, întrucît se produce deteriorarea caracteristicilor pămîntului, iar forma secțiunii se schimbă.

Lățimea săpăturii se alege astfel încît să se poată face o îmbinare suficient de comodă în șanț (cca. 0,3÷0,5 m între conducte și peretele săpăturii sau sprijinirii; lățimea mai mică se adoptă pentru adîncime mai mică a săpăturii sau pentru conducte de oțel, PVC, aluminiu (asamblate pe mal și lansate în șanț). Lățimea săpăturii are influență asupra valorii și modului în care apasă pămîntul pe conductă.

Sprijinirea malurilor se face cu dulapi de lemn sau metalici și șpraițuri din lemn sau metal.

Depozitarea pămîntului săpat se face pe o singură parte a șanțului, pe partea opusă laturii de acces de la drum, în depozite cu taluz, care încep la circa 0,5 m de marginea săpăturii. În cazul unor umpluturi foarte importante, pămîntul poate fi împins lateral cu buldozerul, astfel încît ploile să nu pericliteze siguranța celor care lucrează sau să favorizeze prăbușirea malurilor peste șanțul deschis.

Adîncimea săpăturii se alege astfel încît: în exploatare, conducta să fie ferită de solicitarea dată de îngheț (deci cca. 0,80 m peste creasta tubului); sarcinile din încărcarea mecanică (vehiculele ce pot circula peste umplutură) să nu deterioreze conducta (fisurare, turtire); în profilul longitudinal conducta să aibă traseul cît mai convenabil (evitarea a prea multe cămine de golire-ventil atunci cînd terenul este rapid neregulat).

Cota săpăturii se verifică atent pentru a asigura panta conductei prevăzută în proiect. *Orice tronson de conductă se execută cu pantă între un cămin de golire și un cămin de ventil de aerisire.*

Montarea tuburilor. Asamblarea elementelor prefabricate de conductă se face după specificul materialului, dimensiunea tubului, adîncimea de montaj, eventualele condiții locale. Sînt însă cîteva operațiuni, comune tuturor tuburilor, de respectarea cărora depinde, în mare măsură, obținerea unei conducte etanșe și sigure în funcționare:

— tuburile trebuie să fie recepționate cu cea mai mare atenție de la fabrica furnizoare, în concordanță cu prescripțiile în vigoare și prevederile caietului de sarcini;

— transportul tuburilor trebuie făcut cu asemenea mijloace și în asemenea condiții încît secțiunea transversală, forma longitudinală și protecția anticorozivă a acestora să nu sufere;

— depozitarea tuburilor trebuie făcută corect, prin manevrare cu utilaj sau manual (la tuburi mici), în locuri ferite de circulație intensă; depozitul trebuie asigurat contra *segregării* la vibrații naturale sau din circulație;

— depozitarea provizorie pe șantier trebuie făcută astfel încît acestea să nu fie deteriorate, dar nici să împiedice fluxul corespunzător al celorlalte activități; se va da o atenție deosebită păstrării secțiunii capetelor tuburilor pentru a nu compromite îmbinarea;

— se va asigura aprovizionarea tuturor materialelor pentru executarea într-o singură repriză a tronsonului de conductă început;

— pregătirea corespunzătoare a patului de rezemare a conductei în șanț; în unele cazuri, s-a recurs chiar la asigurarea unui pat de beton slab (acolo unde terenul este slab, sînt infiltrații de apă, tubul este greu).

Montarea conductelor de oțel se poate face după o asamblare prealabilă pe mal sau tub cu tub în șant.

Tuburile din oțel se întind în lungul șanțului pe reazeme suprateranе provizorii și se *îmbină în tronsoane* de 50÷70 m. După controlarea sudurilor și efectuarea izolației în zona de sudură, tronsonul se lansează în șanț cu ajutorul lansatoarelor (tractoare, buldozere echipate cu dispozitive speciale de ridicat, amplasate lateral, excentric) sau a unor trepiede cu scripeți speciali (aceștia se montează peste săpătură după ce tronsonul este rostogolit pe grinzi proprii amplasate deasupra săpăturii).

Prinderea conductei se face în chingi metalice speciale, pentru a nu se distruge izolația exterioară. După lansarea și a tronsonului următor, se execută în șanț îmbinarea între ele (operațiune grea, cu distrugerea protecției interioare, greu de refăcut).

Pentru a evita o parte din efectul negativ al variației de temperatură, îmbinarea capetelor tronsoanelor în șanț se va face numai în perioada rece a zilei — cînd lungimea tuburilor este minimă. La conductele cu diametru mare este rațional ca la montarea vanelor din cămine să se prevadă compensatoare de montaj. În acest fel, se evită ruperea sudurilor cînd, la răcirea apei din conductă, în exploatare, se reduce și lungimea tuburilor, deci sudurile sînt întinse. Se ajunge astfel la asamblarea unui tronson de conductă bun pentru proba hidraulică. Lungimea acestuia poate fi de 500÷2000 m. Șanțul se execută continuu. După lansarea în șanț, se verifică izolația, se reface dacă este cazul pe anumite porțiuni — și se umple cu pămînt șanțul, cu excepția îmbinărilor neprobate.

Din cauză că materialul este elastic și ductil și la rupere accidentală nu produce eventuale *schije*, este permisă probarea cu aer comprimat. De aceea, pe mal, după executarea unui tronson, acesta se închide cu capace la capete și se supune la proba de presiune. Dacă rezultatul este favorabil se taie capetele (exceptînd capacul de la capătul liber al primului și ultimului tronson care vor servi, cu schimbarea adecvată, la proba hidraulică din șanț) și se continuă operațiunile.

Montarea conductelor din tuburi cu sau fără manșon se începe de la capătul aval al tronsonului. Montarea se face *tub cu tub*, tuburile fiind lansate cu dispozitive de ridicat (macarale pe pneuri sau draglină echipată cu dispozitiv de ridicat) cu chingi speciale.

Legarea se face echilibrat cu două chingi şi se verifică printr-o ridicare uşoară de maximum 50 cm deasupra pămîntului, pentru probă. Pentru a fi expeditivă montarea şi a verifica starea şi cantitatea de tuburi, înainte de montare, se întind tuburile în lungul traseului, paralel cu şanţul, la o distanţă care să nu incomodeze circulaţia mijlocului de ridicat. Tuburile se montează astfel încît în final apa să circule în sensul mufă-capăt liber.

Dacă la lansare unul din tuburi este scăpat sau trîntit, se verifică din nou dacă nu a fost deteriorat, fisurat, ciobit, spartă izolaţia. Chiar dacă nu prezintă defecţiuni vizibile, este preferabil să fie înlocuit cu un tub păstrat în stoc, iar tubul avariat supus la probă din nou. Altfel, defecţiunea poate apare la proba de presiune şi operaţiunea de înlocuire este mult mai complicată şi mai costisitoare (mai ales că tubul se acoperă parţial cu pămînt). Dacă tubul se montează totuşi, este bine să fie balizat (marcat special) pentru a fi urmărit în mod deosebit la probă.

Observaţie: În fazele de aşezare şi îmbinare a tuburilor cu mufă şi manşon, în nici un moment mufa nu trebuie să reazeme pe fundul şanţului; tubul va fi amplasat astfel încît mufa să ajungă deasupra unei adînciturii special executate în patul săpăturii (v. fig. 4.16).

După montarea tuburilor, şanţul se acoperă cu pămînt, circa 20 cm peste tub, cu excepţia mufelor; acestea se acoperă cu carton şi apoi cu pămînt, în cazul în care montarea se face în perioada de îngheţ (deşi nu se recomandă o asemenea montare deoarece oamenii lucrează greu, garniturile sînt rigide şi greu de introdus pe tub).

La capetele tronsonului şanţul rămîne astupat cu un dop de pămînt viu (natural). Dopul de pămînt va permite montarea sprijinirii etanşării de capăt, necesară efectuării probelor de presiune. Acest dop se străpunge, după terminarea probei de presiune la cele 2 tronsoane alăturate. Rămîn nedesfăcute dopurile de la capetele tronsonului format din 5÷6 tronsoane mici (la circa 3000 m, care se probează din nou). Înainte de probă vor fi executate şi masivele de ancoraj şi armăturile strict necesare. La această operaţiune se vor lua severe măsuri de protecţie a muncii, deoarece există cele mai mari posibilităţi de accidentare.

Montarea conductelor din PVC se poate deasemeni face tub cu tub în şanţ, sau, după o asamblare parţială pe mal. Lansarea se poate face manual, tuburile fiind uşoare, dar fără ca îndoirea produsă să ducă la deteriorarea tuburilor. Sub tub se aşează obligatoriu 10 cm de nisip, la fel ca şi peste tub, iar tuburile vor fi aşezate şerpuit în şanţ (lungimea de undă 10÷20 m). Montarea se va face în perioada rece a zilei (dimineaţa, seara) şi se acoperă imediat cu nisip, în scopul asigurării unei lungimi minime la montaj, deformarea din cauza temperaturii urmînd să ducă la lungirea tubului şi nu la scurtare, deci la o posibilitate de smulgere-rupere din mufe.

După montarea unui tronson de conducte, acesta se închide la capete cu dopuri provizorii, pentru a se evita umplerea cu pămînt sau corpuri străine, înainte sau după proba de presiune.

Atunci cînd dintr-un motiv oarecare lanţul operaţiunilor este întrerupt pentru durate mai mari de timp, capetele tronsonului vor fi blocate cu dopuri provizorii stabile. La conductele de diametru mare acest lucru este necesar chiar şi pentru cazul unui flux normal de execuţie, pentru a evita intrarea pămîntului în conductă.

Un asemenea tronson poate fi surprins de ploi, apa se poate aduna în şanţ în cantitate mare, şi datorită capacităţii portante tuburile se ridică (plutesc) şi se pot desface din îmbinări. Din această cauză, este necesară lestarea cu pămînt a tuburilor (îmbinările neprobate rămîn libere sau se descoperă din nou la probă).

Proba de presiune. La conductele funcţionînd sub presiune mare, există posibilitatea ca apa să ajungă în zona vecină prin exfiltrare în locurile slabe (fisuri în conducte, neetanşeităţi la montaj). Aceste exfiltraţii — care pot rămîne nedescoperite, apa fiind drenată în sol — pot avea efecte destul de neplăcute. Pe lîngă pierderea de apă care poate fi importantă, apa exfiltrată conduce la înmuierea, spălarea patului conductei şi conducta poate fi total avariată. De aceea, pentru a se putea cunoaşte modul de comportare al conductei în exploatare, aceasta se supune probei de presiune după montaj. Schema de montaj pentru *proba hidraulică* este dată în figura 4.17.

Capetele libere ale conductei tronsonului (lung de 300÷500 m, în mod normal, sau chiar de 1÷2 km în cazuri speciale) se deblochează de dopurile provizorii şi se acoperă cu dopuri speciale pentru proba de presiune. La conducte de oţel se sudează o flanşă oarbă, etanşă, cu două ştuţuri (diametre de 1÷2", unul sus pentru aerisire, altul mai jos pentru introducerea apei). Unul din orificii este legat cu o conductă ce se termină cu o ramificaţie cu robinete (robinetul de aerisire şi ştuţ de montat manometrul); celălalt orificiu se leagă printr-o conductă tot la un orificiu cu aerisire şi manometru, cît şi la pompă manuală de presiune şi la o conductă de alimentare cu apă. Dacă pompa este amplasată la capătul de sus al tronsonului, este preferabil să se facă o aerisire separată, iar alimentarea cu apă să se facă printr-o conductă legată jos pe capac. Se verifică dacă toate mufele tronsonului sînt descoperite (proba de presiune nu se execută în perioade de îngheţ) şi se începe umplerea conductei cu apă, lăsînd aerisirea deschisă. Se închid robinetele de aerisire şi se pune conducta sub presiune în trepte de cîte circa 2 bari la 1/2 oră, verificînd comportarea conductei. Se ridică presiunea pînă la valoarea maximă (în general 1,5 din presiunea de regim sau presiunea de regim la care se adaugă suprapresiunea din lovitura de berbec, la tuburile de beton) şi se păstrează la această presiune cel puţin o oră (24 ore la conductele de azbociment şi de beton). Se verifică dacă nu a mai rămas aer pe conductă. Se reface eventual presiunea şi după o oră se verifică atît presiunea, cît şi aspectul mufelor descoperite. Dacă presiunea a scăzut cu mai puţin de 10% din presiunea de încercare, iar pe mufe nu apar scurgeri vizibile de apă, se consideră proba bună şi tronsonul se poate acoperi cu pămînt. În timpul probei, temperatura mediului ambiant nu trebuie să fie foarte variabilă.

La conductele din beton precomprimat, proba este mai laborioasă, deoarece tuburile trebuie să fie ţinute 10 zile pentru saturare cu apă. Abia după aceea sînt puse sub presiune, iar proba durează 24 ore. La fiecare oră se citeşte presiunea şi se determină cantitatea de apă necesară pentru refacerea acesteia. Dacă în niciuna din cele 24 ore presiunea nu a scăzut cu mai mult de 10% din presiunea de încercare, iar cantitatea de apă nu a depăşit 0,04 dm^3/m^2h de suprafaţă udată, proba (conducta) se consideră bună. La fel se procedează şi pentru conductele din tuburi de azbociment (absorbţia de apă în tuburi este de circa $3 \cdot 10^{-5}$ m^3/m^2h).

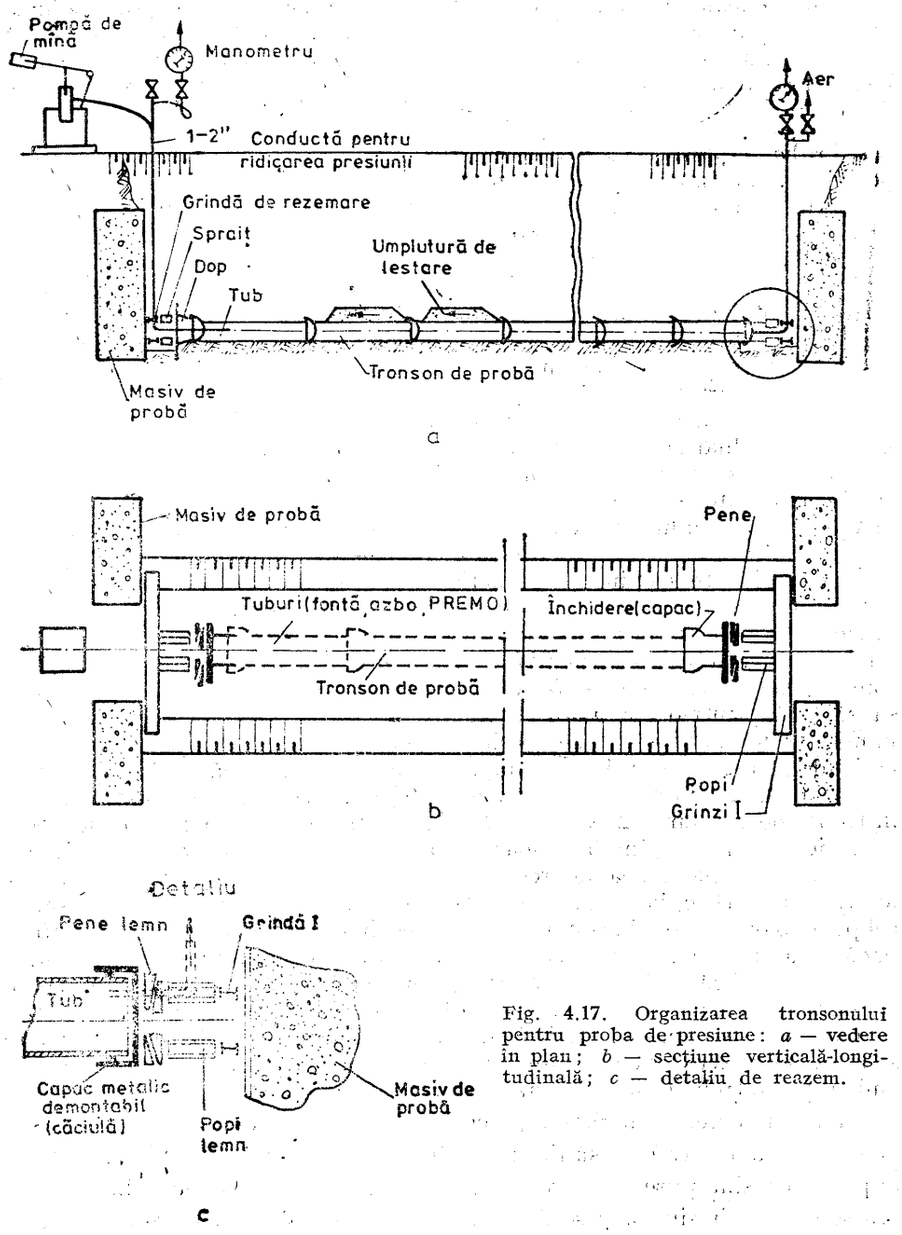


Fig. 4.17. Organizarea tronsonului pentru proba de presiune: *a* — vedere în plan; *b* — secțiune verticală-longitudinală; *c* — detaliu de reazem.

În cazul în care proba nu este favorabilă, se marchează defecțiunile și se golește conducta. Se remediază defecțiunile și proba se reface. De aceea, în cazul conductelor montate pe terenuri sensibile la înmuiere, se preferă în prealabil o *probă pneumatică* și numai după rezultate favorabile ale acesteia se trece la proba cu apă. Altfel, apa scăpată din conductă poate

Tabelul 4.4

Valori orientative pentru presiunea de încercare cu apă (după STAS 6819)

Tipul materialului	Presiunea de regim în conducte P_r [bari]	Presiunea de încercare P_i^0 [bari]
Oțel	< 5	$2\,P_r$
	> 5	$1{,}5\,P_r$, dar minimum 10
Fontă	< 5	$2\,P_r$
	> 5	$1{,}5\,P_r$, dar minimum 10
Beton precomprimat		$P_r + \Delta P$ (ΔP fiind suprapresiunea din lovitura de berbec)
Beton (curgere cu nivel liber)		0,1 la capătul de cotă mare

înmuia șanțul și deteriora amplasamentul conductei. O probă pneumatică se poate adopta și în unele zone în care procurarea apei pune probleme tehnice și economice deosebite.

Proba pneumatică se va face numai cu echipe special instruite, deoarece eventualele avarii la conducte pot avea, efecte distructive însemnate și există posibilități mari de accidentare a oamenilor.

Pentru determinarea exactă a regimului de ridicare a presiunii, a presiunii maxime și a pierderilor limită, se va consulta normativul de executare a probei de presiune a tubului din care se execută conducta și se va ține seama de experiența acumulată. Vor fi respectate întocmai prevederile caietului de sarcini.

Valoarea presiunii de probă se stabilește prin proiect. Orientativ, valorile se încadrează între limitele date în tabelul 4.4, în funcție de valoarea presiunii de lucru, tipul de material, calitatea apei, regimul de exploatare.

Observație: În cazul în care conducta va suporta extinderi viitoare prin modificarea regimului de curgere (crește debitul, crește presiunea etc.), presiunea de încercare va fi gîndită față de situația finală. De aceea, cînd tuburile conductei urmează să fie probate la o presiune mai mică decît presiunea maximă stabilită la fabricație, se apreciază dacă presiunea de încercare poate fi luată egală cu presiunea maximă.

În nici o situație presiunea de încercare nu va depăși presiunea pentru care a fost calculată rezistența tubului.

Proba se execută după executarea masivelor de ancoraj. În nici un caz nu vor fi folosite vanele ca elemente pentru închiderea capetelor tronsonului.

După terminarea probei, se golește conducta de apă și se face joncțiunea tronsoanelor vecine. Conducta se poate acoperi cu pămînt. Toate datele rezultate în urma probei de presiune se consemnează în documente

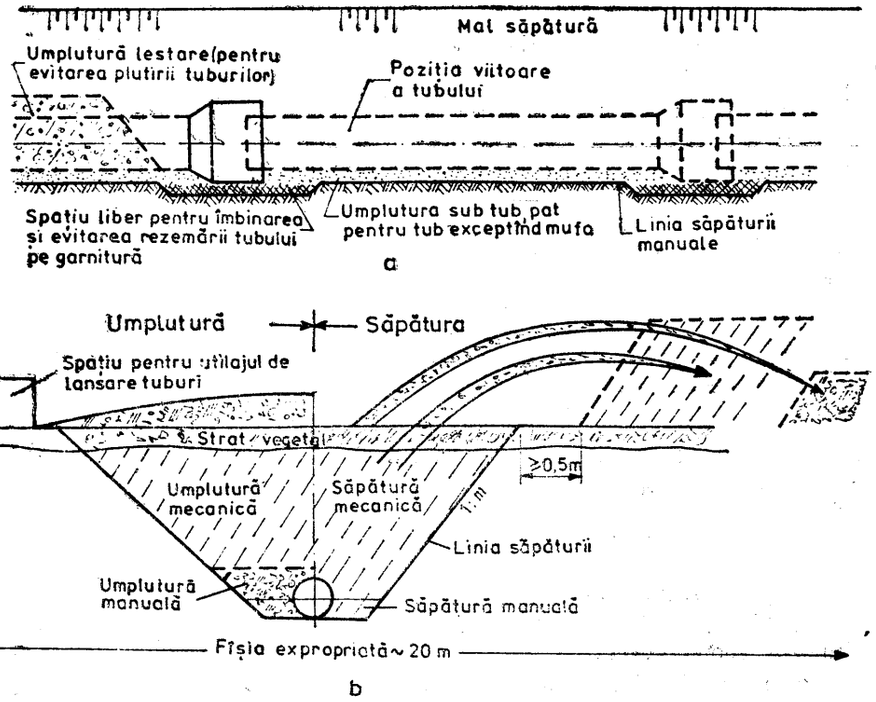


Fig. 4.18. Organizarea lucrărilor de terasamente la executarea unui tronson de aducțiune, săpătură mecanică în taluz: *a* — secțiune verticală-longitudinală; *b* — secțiune transversală.

care vor fi însușite de beneficiar (participă la probe) și fac parte din documentația care va sta la dispoziția comisiei de recepție finală.

Executarea umpluturii. Umplerea șanțului cu pămînt se face în două etape: *etapa I*, umplerea manuală din jurul conductei pînă la 20÷50 cm peste partea superioară a tubului; *etapa a II-a*, umplutură manuală sau mecanică pînă la astuparea șanțului. *Etapa I* de umplutură este etapa cea mai importantă, deoarece de modul în care se execută depinde formarea patului de rezemare al conductei și comportarea în exploatare la solicitări mecanice exterioare; importanța este cu atît mai mare, cu cît conducta este mai solicitată, iar materialul conductei mai elastic; după încercări făcute în laborator, dacă la rezemare pe generatoarea tubului, forța de rupere are o anumită valoare, la un tub așezat pe un pat cu rezemare pe jumătate din circumferință, această forță este de trei ori mai mare (fig. 4.18).

Umplutura se face în straturi subțiri (10 cm), din nisip sau pămînt mărunțit (balast eventual) bine bătut cu maiul și umezit la limita pentru îndesare maximă. Îndesarea se face cu maiuri de lemn *(capete de bile)* fără a deteriora izolația conductei sau a influența rezistența mecanică a tubului. Nu se va folosi pămînt cu resturi organice din zona de umplutură, deoarece acestea pot fi, sau deveni agresive.

Etapa a II-a constă în realizarea umpluturii de deasupra conductei. Aceasta se face mecanic în strate de 20÷30 cm, cu îndesare mecanică. În

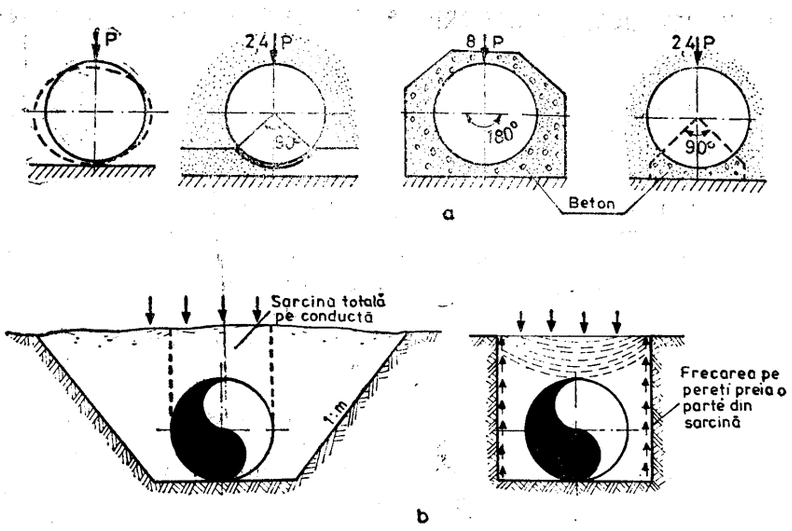


Fig. 4.19. Influența umpluturii asupra comportării conductei îngropate: *a* — sarcină concentrată pe conductă (lungime unitară); *b* — apăsarea pe conductă în funcție de tipul săpăturii.

faza inițială se folosește un bătător mecanic ușor (broască, vibrator placă etc.) și apoi, cînd nivelul a crescut la peste 1,0 m, se poate introduce un buldozer, cilindru compresor etc. Tehnologia de compactare este în concordanță cu calculele de verificare a rezistenței conductei la încărcări din pămînt și alte solicitări. Ultimul strat care se așază este stratul vegetal. Se așază cu bombament, deoarece, în timp, din cauza umezirii repetate, a efectuării lucrărilor agricole, pămîntul se mai tasează. Altfel, se riscă formarea unui șanț în lungul conductei, din cauza tasării. Organizarea lucrărilor de terasament este dată în figura 4.18.

Execuția tronsonului respectiv se va termina prin jalonarea (cu semne metalice speciale sau borne) traseului conductei.

Executarea construcțiilor accesorii. Execuția se va efectua prin respectarea normelor tehnice pentru fiecare categorie de lucrări. Tipurile de construcții accesorii necesare sînt indicate în § 4.4.

Proba hidraulică generală. Se va efectua după regulile obișnuite pentru proba de presiune, dar pentru toată conducta, inclusiv toate armăturile montate (toate vanele vor fi deschise la un moment al probei) și construcțiile accesorii definitivate. Cu această ocazie, se verifică și parametrii de funcționare ai aducțiunii: debitul maxim realizat; presiunea în punctele caracteristice; valoarea presiunii în punctele de vîrf (dacă nu apare vacuum), în diferite regimuri de funcționare.

Dezinfectarea și spălarea conductei. Dacă aducțiunea va transporta apă potabilă, înainte de darea în exploatare, se face *dezinfectarea* (operația se face cu apă conținînd 20÷30 mg clor/dm³, care rămîne în conductă 24 ore, după care se spală conducta). Darea în funcțiune se face după obținerea avizului organelor sanitare.

4.4. CONSTRUCȚII ACCESORII PE CONDUCTELE DE ADUCȚIUNE

Alegerea traseului conductei de aducțiune se face respectînd următoarele reguli generale:

— traseul să fie cît mai scurt;

— accesibilitate ușoară; se preferă amplasarea aducțiunii pe lîngă căi de acces existente sau în curs de execuție pentru alți beneficiari;

— teren cît mai puțin accidentat, pentru a putea lucra cu utilaje de mare productivitate și cu materiale obișnuite;

— evitarea traversării zonelor cu destinație specială, pentru care nu se cunoaște viitoarea amplasare exactă a obiectelor;

— evitarea terenurilor instabile (alunecătoare) sau care, la eventuale exfiltrații accidentale, ar putea deveni instabile, mlăștinoase, inundabile, în urma executării unor construcții în perspectivă, a terenurilor care pot fi blocate de avalanșe, prăbușiri de teren;

— asigurarea unei distanțe minime față de construcțiile existente, în special în zonele de teren sensibil la înmuiere;

— asigurarea extinderii prin eventuala dublare a conductei etc.;

— evitarea zonelor care superficial sau subteran sînt poluate, spălarea poluantului fiind de lungă durată; se va da atenție specială rezistenței garniturii de îmbinare la acțiunea unor eventuali poluanți.

Respectînd aceste indicații și alte restricții impuse de eventualii proprietari ai terenurilor traversate și alegînd traseele cele mai bune, se obține o soluție economică. După cum a rezultat însă la dimensionarea hidraulică, traseul mai poate fi corectat și după dimensionare, pentru a se putea eventual impune o folosire mai rațională a tuburilor din diverse materiale.

Atît datorită formei profilului longitudinal al aducțiunii, al traseului în plan, cît și datorită unor cerințe de exploatare rațională, pe conductele de aducțiune trebuie să fie prevăzute o serie de construcții auxiliare. Aceste construcții, menționate în figura 4.20 (profilul longitudinal al unei aducțiuni) sînt:

— cămine pentru vană de linie, ventil și golire *(CVLG)*;

— cămine pentru vană de golire *(CG)*;

— cămine pentru ventil de aerisire *(CV)*;

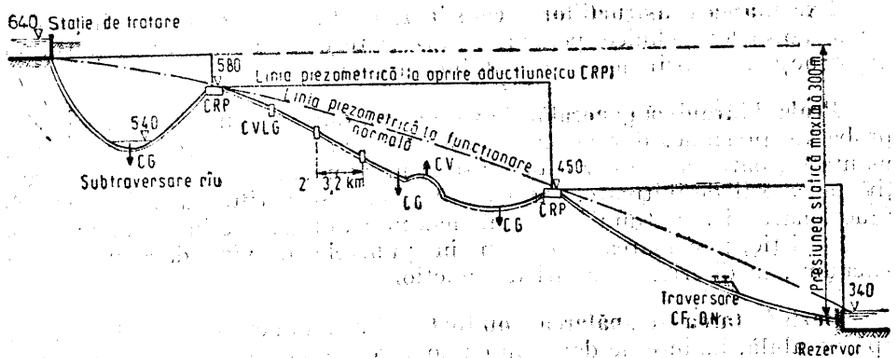


Fig. 4.20. Construcții accesorii pe aducțiunea sub presiune: *CG* — cămin de golire; *CRP* — cămin de ruperea presiunii (limitarea cotei piezometrice pe tronsonul amonte); *CV* — cămin pentru ventil de aerisire; *CVLG* — cămin de vană de linie și golire.

— cămine pentru ruperea presiunii *(CRP)*;

— cămine de bretea;

— masive de ancoraj *(MA)*;

— masive pentru proba de presiune *(MP)*;

— traversări de depresiuni uscate sau umede;

— traversarea căilor de comunicație;

— dispozitive de combatere a loviturii de berbec;

— stații pentru reglarea și verificarea protecției catodice;

— cantoane de exploatare.

Cămine pentru vane de linie. Se prevăd pentru a permite izolarea unui tronson de conductă în cazul în care se produce o avarie care necesită întreruperea circuitului apei. Pentru executarea reparației, trebuie în prealabil golită apa din conductă. Dacă însă s-ar goli conducta pe toată lungimea, durata reparației (lipsa apei în localitate) ar fi foarte mare, iar după reparație conducta ar trebui umplută din nou (deci din nou lipsă de apă în localitate).

Dacă însă se amplasează pe conductă vane (robineți de închidere) la circa 1,5 ÷ 2 km, se poate goli de apă numai tronsonul între 2 vane, închise.

Pentru a funcționa corespunzător, un cămin (partea de construcție care adăpostește instalația) trebuie să conțină (fig. 4.21): *vană de linie* cu diametrul egal cu al conductei de aducțiune; *vană de golire* (amonte de vana principală) cu diametrul de 100 ÷ 400 mm, după valoarea timpului de golire admis (cca. 1/3 din diametrul conductei principale); *ventil de aerisire* a conductei amplasat aval de vana de linie cu dimensiunea de 25 mm, dacă aducțiunea are diametrul sub 500 mm și 50 mm dacă diametrul aducțiunii este mai mare de 500 mm; flanșă oarbă pe *teu de acces* pentru vizitarea conductei la diametre mai mari de 600 mm. Prezența ventilului de aerisire este esențială la conductele executate din tuburi îmbinate cu garnitură de cauciuc. La producerea vacuumului, cînd se golește conducta de apă, garnitura este aspirată *(suptă)* și etanșeitatea compromisă.

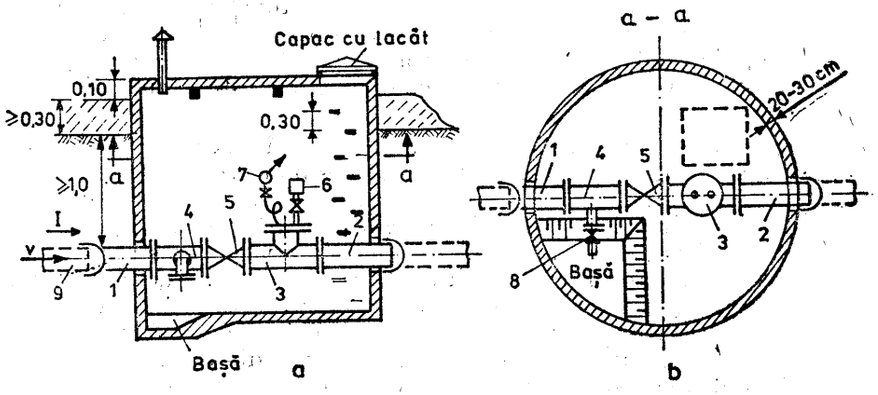


Fig. 4.21. Cămin de vană de linie și golire (aducțiune din tuburi PREMO, $Dn \geq 600$ mm): *a* — secțiune verticală; *b* — secțiune orizontală; *1, 2* — piese metalice de racord; *3* — teu cu flanșe, pentru acces; *4* — teu pentru golire; *5* — vană; *6* — ventil de aerisire; *7* — manometru; *8* — vană de golire; *9* — conducta de aducțiune.

• *Căminul*, care constituie partea constructivă, se execută din beton, beton armat, zidărie de cărămidă, elemente de beton, piatră rostuită, cu sau fără izolație hidrofugă, cu capac de acces închis, cu ventilație și protecție contra înghețului, eventual chiar cu zonă de protecție sanitară. Dacă vana are gabarit mare și spațiul de manevră al vanei este de asemenea mare, se poate accepta și un cămin cu cabină supraterană. Pentru cămine există proiecte tip. Forma în plan poate fi circulară sau rectangulară (după cum *îmbracă* mai bine instalația hidraulică).

• *Vana* (după denumirea STAS, *robinet cu sertar pană și corp plat* sau *corp oval*) este elementul de închidere a fluxului de apă pe o conductă. Se produc vane cu tija ascendentă sau vane cu tija neascendentă. Vanele se produc pentru două game de presiune: robinet cu sertar pană și corp plat, cu presiunea de lucru sub 4 bari; robinet cu sertar pană și corp oval, cu presiunea de lucru sub 10 bari. Există și vane de oțel pentru presiuni mai mari de 10 bari. Se produc, de asemenea, și *vane fluture* mult mai simple, ușoare și care se pretează mai ușor manevrării cu dispozitive automate (pneumatice, hidraulice sau electrice). Dimensiunea de fabricație este de 50 ÷ 1400 mm, în general pentru îmbinare cu flanșe, pentru presiuni pînă la 10 bari.

Cînd vana are dimensiuni mari (vană cu sertar), are și greutate mare. Drept urmare, vana trebuie rezemată pe radierul căminului. Rezemarea reduce mobilitatea vanei și ca atare, pentru un montaj corect, este nevoie de un spațiu adecvat pentru strîngerea garniturii. Cînd conducta pe care se montează este din tuburi cu mufă (manșon), atunci acel unic spațiu se obține prin deplasarea piesei de racord cu mufă (v. fig. 4.21). Cînd însă vana se montează pe o conductă din oțel, este necesară prevederea unui compensator de montaj.

• *Ventilul de dezaerisire și aerisire* este un dispozitiv metalic format dintr-un recipient ce se poate racorda la conductă și care are la partea de deasupra un orificiu calibrat. În recipient culisează un plutitor cu tijă la partea de sus. În cazul în care în recipient pătrunde apa, plutitorul se ridică și închide orificiul. Cînd se strînge aer, recipientul este golit de apă, plutitorul se lasă odată cu nivelul apei, orificiul este deschis și aerul sub presiune este evacuat. Cînd nivelul apei scade total, la golirea conductei, aerul din exterior pătrunde prin orificiul liber și echilibrează presiunea interioară, din conductă, cu presiunea atmosferică (evitînd *sugerea* garniturilor sau chiar voalarea conductei, cînd pereții acesteia sînt subțiri).

Cămin pentru vana de golire. Se amplasează în locurile cele mai joase ale tronsoanelor de conductă, pentru a da posibilitatea de golire completă de apă a acestora. Există o regulă generală și anume că toate *tronsoanele de conductă se execută cu pantă*, iar *dacă terenul este orizontal, panta se dă artificial*, realizînd o conductă cu rampe în dinți de fierăstrău; în acest mod se asigură golirea de apă. Acest cămin nu diferă constructiv de căminul precedent. Instalația este formată dintr-un teu de racord la conductă și o vană de golire. Vana de golire se poate racorda la o depresiune apropiată, apa fiind evacuată direct sau nu, în care caz apa din conductă debușează în cămin și de aici este evacuată cu motopompe aduse special. Trebuie să fie asigurată etanșeitatea pentru a se putea lucra cu vana în uscat. Golirea va avea elemente constructive care să împiedice pătrunderea animalelor mici și nu va fi niciodată racordată direct la un cămin de canalizare.

Cămin pentru ventil de dezaerisire. Se amplasează în toate punctele înalte ale conductei, pentru a elimina automat (cu ventilul) aerul care se strînge în timpul funcționării. Aerul acumulat în punctele înalte poate forma o pernă care să împiedice o bună circulație a apei.

Cînd ventilul de aerisire se montează pe o bucată de conductă aeriană, este necesară protejarea acesteia contra înghețului.

Cămin de rupere (limitare) a presiunii. Dacă se urmărește cu atenție profilul din figura 4.20, se constată că diferența totală de nivel pe aducțiune este de circa 300 m. Ar rezulta deci că, la presiunea statică maximă de 30 bari, să se prevadă pe o porțiune însemnată țeavă din oțel ($p > 20$ bari) și tuburi PREMO de comandă specială ($p > 10$ bari). Este o soluție care ar conduce la un cost ridicat, nejustificat, întrucît această presiune se realizează numai la închiderea voită sau accidentală a vanelor în sectorul aval. În timpul funcționării normale presiunea este redusă. În această situație, dacă se intercalează convenabil pe traseu două cămine de rupere a presiunii, se asigură două puncte de limitare a cotei piezometrice maxime și deci se rupe diferența totală de nivel în trei părți, fiecare sub 10 bari, fapt care permite folosirea pentru execuție a tuburilor PREMO normale.

Căminul de limitare a presiunii poate fi o construcție apreciabilă. În cazul debitelor mari, este un cămin format din 3 compartimente (fig. 4.22); apa debușează în compartimentul *1*, rezervor cu nivel liber, și deversează în compartimentul *2*, care are rol de cameră de încărcare pentru tronsonul următor; cînd pe tronsonul aval se reduce debitul, nivelul apei crește în camera *2* și deci și în camera *1*; nivelul ajunge la un prag de-

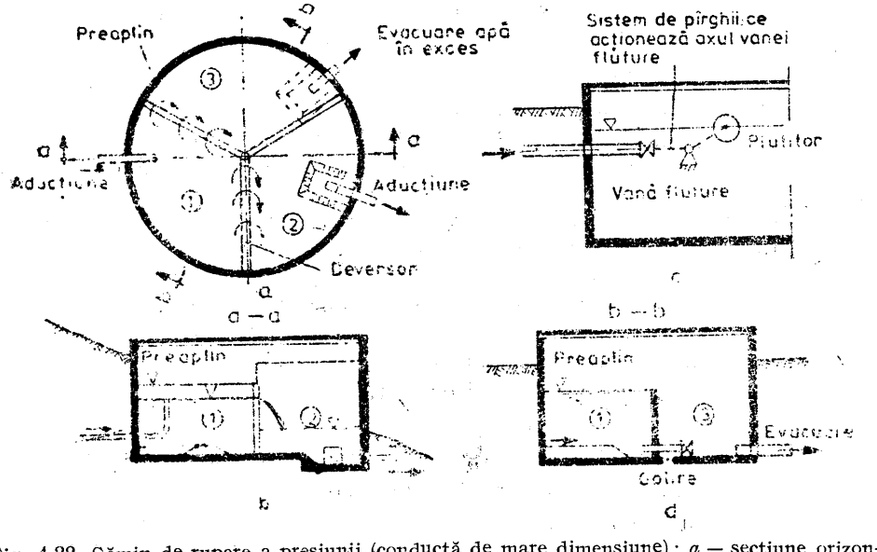


Fig. 4.22. Cămin de rupere a presiunii (conductă de mare dimensiune): *a* — secțiune orizontală; *b* — secțiune verticală prin alimentare (alimentare liberă); *c* — secțiune verticală prin alimentare, prevăzută cu plutitor de închidere automată; *d* — secțiunea *b—b*: *1* — cameră de primire (admisie) a apei; *2* — cameră de încărcare (plecare) a apei; *3* — cameră pentru preaplin și golire totală.

versor, așezat pe peretele camerei *3*; pragul are rol de preaplin; excesul de apă ajunge în camera *3* și de aici este evacuat către o depresiune naturală; este limpede că preaplinul trebuie să poată evacua la limită toată apa care vine pe aducțiune (debitul maxim).

Dacă apa curge gravitațional și nu este tratată în prealabil, excesul de apă se poate evacua la o viroagă apropiată. Dacă însă apa tratată în prealabil curge prin pompare, nu este deloc rațional să fie evacuată la golire. Pînă cînd se iau măsuri pentru oprirea pompelor (uneori nici nu există o depresiune apropiată unde să fie evacuat un debit mare și se pot produce inundații nedorite la o evacuare directă), se poate prevedea un dispozitiv de închidere cu plutitor pe intrarea în cămin. Dispozitivul este astfel reglat, încît, la nivel maxim în camera *1*, intrarea să fie oprită și apa păstrată pe conductă pînă la reluarea circuitului normal. Dacă pe aducțiune sînt mai multe cămine, acestea se închid în lanț, începînd cu primul din amonte de punctul care provoacă reducerea debitului transportat.

În cazul prevederii căminelor cu dispozitiv de închidere automată, viteza de închidere a plutitorului va fi astfel reglată (funcție de viteza de ridicare a nivelului apei — deci de mărimea volumului), încît suprapresiunea produsă în conductă să se găsească în limitele pentru care este dimensionată și probată conducta (se poate produce lovitura de berbec).

La debite mici, căminul poate avea o singură cameră care conține toate elementele (v. fig. 4.22).

Cămine de bretea. Sînt cămine pentru vane de linie care sînt echipate cu vane de întreruperea circulației apei pe un tronson de conductă ce face legătura între două fire de aducțiune. Poate exista un singur cămin ce conține cele 5 vane (și alte armături, dacă situația locală o cere) sau, în cazul unor vane mari, pot exista 5 cămine (cîte unul pentru fiecare vană).

Prin manevra vanelor poate fi izolat unul din tronsoanele aducțiunii. Căminele pot funcționa cuplate și cu camere de vane de linie obișnuite, cămine de golire, ventil.

Masive de ancoraj. Traseul conductei poate avea o serie de coturi strînse în plan orizontal sau în secțiune verticală. După cum a rezultat mai înainte, cu excepția conductelor de oțel și parțial a conductelor din masă plastică (la care coturile se pot realiza din același material și se poate asigura continuitatea, prin sudare cap la cap de tronsoanele vecine), la celelalte materiale cotul este o piesă metalică separată, amplasată etanș față de cele două tronsoane din aliniament. Lipsa de legătură longitudinală face însă imposibilă preluarea forței de smulgere din cot și de aceea este absolut necesar ca acest cot să fie rezemat de un masiv de ancoraj.

Forțele care apar în cot (indicate în fig. 4.23) sînt:

P — forța de presiune din conductă;

R — forța rezultantă ce solicită cotul;

I_P — împingerea pasivă a pămîntului care se opune deplasării cotului;

p — presiunea de încercare a conductei;

α — unghiul cotului.

Masivul de ancoraj este elementul care preia împingerea cotului, relativ concentrată și o distribuie pămîntului, astfel încît, la suprafața de contact, valoarea presiunii să nu depășească valoarea presiunii capabile a pămîntului, iar deformația să fie suficient de mică.

Pentru a reduce la minimum deplasarea cotului, este necesar ca deformația pămîntului să fie mică (maxim 1 cm), rezemarea masivului să se facă pe pămîntul viu (nu de umplutură) — deci *întîi se execută masivul și apoi cotul* care se reazemă pe masiv prin intermediul cuzinetului — iar presiunea de calcul din conductă să fie presiunea de încercare a tronsonului (la limită presiunea de încercare a tubului).

Dimensiunile masivului vor rezulta, prin încercări, din condițiile (fig. 4.23):

— împingerea apei să fie mai mică decît împingerea pasivă a pămîntului:

$$R < I_p;\ I_p = ab[1/2\gamma_p h^2 \mathrm{tg}^2(45° + \varphi/2)]. \qquad (4.11)$$

— presiunea exercitată asupra pămîntului să fie mai mică decît rezistența pămîntului (σ_{adm}).

$$\frac{R}{ah} \leqslant \sigma_{adm.\ pămînt}. \qquad (4.12)$$

Forța de frecare dintre masiv și pămînt și forța laterală de tăiere a masivului de pămînt din amplasament se consideră că fac parte din siguranța lucrării și nu sînt prinse în bilanț.

Cînd cotul conductei este în plan vertical, forța fiind dirijată spre exteriorul pămîntului: (1) echilibrarea forței se face numai de greutatea betonului; (2) conducta se ancorează de masiv cu bride demontabile: (3) trebuie verificată și țeava de oțel la efectul împingerii.

Deși masivul de ancoraj apare ca necesar, cel mai evident, în cazul prezenței coturilor, sînt necesare (în forme speciale) masive de ancoraj (sau elemente suplimentare de construcție care au acest rol) și în cazul teurilor, reducțiilor, tronsoanelor de capăt, vanelor, clapeților etc., cînd acestea se află în pămînt sau în spații construite, (fig. 4.23, *b*, *c*, *d*).

Masive pentru proba de presiune. Pentru a putea realiza proba de presiune, este necesară obturarea capetelor conductei (nu vor fi folosite niciodată vanele de linie pentru această operațiune); se execută în zona capătului liber un bloc de beton format din două părți (fig. 4.24).

Pe cei doi *umeri* se sprijină două grinzi metalice (profil I), pe care, prin intermediul a 4 popi și pene de reglare din lemn de stejar, se reazemă capacul de închidere. Capacul transmite forța de presiune ($P = p \cdot A$) la masivele de ancoraj, iar acestea o cedează pămîntului prin împingerea pasivă a acestuia.

Blocul de beton nu este recuperabil, dar poate servi la proba de presiune pentru cele două capete ale tronsoanelor care se întîlnesc. După aceea, se asigură continuitatea conductei printr-un montaj special.

Traversarea depresiunilor. În cazul aducțiunilor lungi, aproape întotdeauna pe traseu apare necesitatea traversării unor cursuri de apă. Trecerea se poate face pe sub fundul albiei — printr-o *subtraversare* sau pe deasupra albiei — printr-o *supratraversare*. Alegerea uneia sau alteia dintre soluții se face printr-un calcul tehnico-economic. Se ține seama de posibilitățile de execuție și mai ales de intervențiile ulterioare în caz de avarie, de caracteristica albiei și cursului de apă, de mărimea conductei.

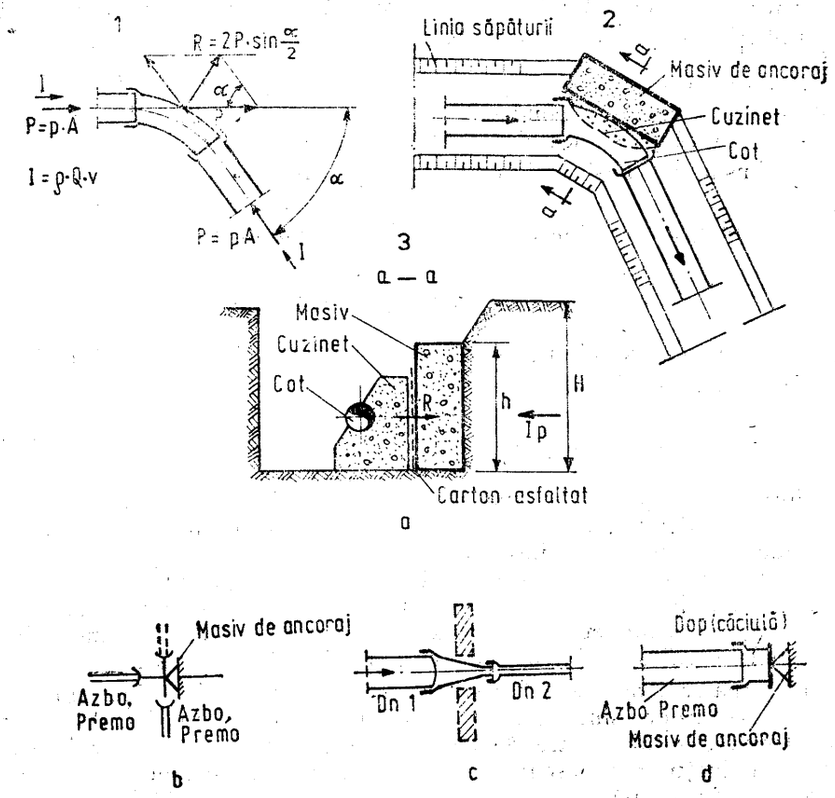


Fig. 4.23. Masiv de ancoraj: *a* — pentru cot în plan orizontal: *1* — schema de calcul; *2* — vedere în plan a masivului; *3* — secțiunea *a—a*; *b* — pentru teu; *c* — pentru reducție; *d* — pentru dop de capăt.

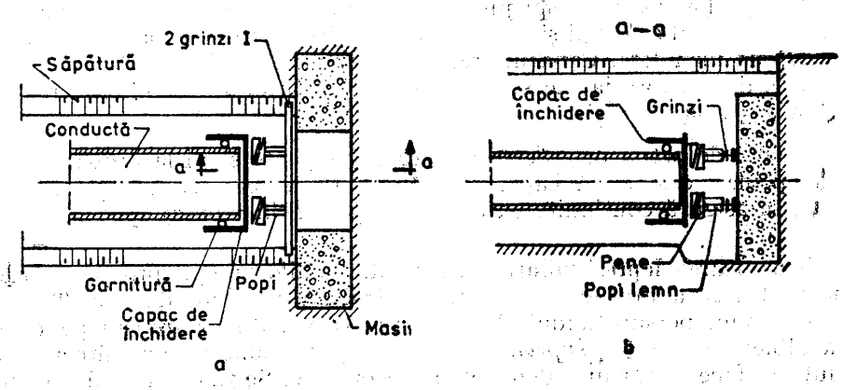


Fig. 4.24. Masiv de probă pentru conducte de diametru mare: *a* — vedere în plan; *b* — secțiune verticală *a—a*.

Subtraversările se realizează în cazul în care albia rîului este dezvoltată, perioade lungi de timp (luni de zile) debitul rîului este mic, fundul albiei ușor de excavat, adîncimea de afuiere mică. Din cauză că, în caz de avarie intervenția este imposibilă pe perioada viiturii, pentru sporirea siguranței, conducta se prevede cu cel puțin 2 fire — amplasate paralel, la distanțe de circa 10 m. Conducta este executată din țeavă de oțel, protejată anticoroziv și cu lestare pentru a nu fi antrenată de apă. La capete, cele două conducte sînt legate cu piese speciale (cu vană de izolare) la aducțiunea de pe maluri (fig. 4.25, *a*).

Executarea se face prin izolarea amplasamentului cu batardou pe circa jumătate de albie, succesiv.

Conducta se asamblează pe mal, se probează hidraulic, se astupă la capete, se izolează anticoroziv, iar peste hidroizolație (2 straturi de carton + 3 straturi de bitum) se așază șipci de lemn pentru protecție și se lansează în șanțul epuizat de apă. Se execută umplutura, deasupra așezîndu-se anrocamente sau elemente de beton cu greutatea corespunzătoare, pentru a nu fi antrenate de forța de tîrîre dezvoltată de curent și totodată, pentru a bloca forța de plutire a conductei goale. Capătul din rîu al tronsonului din etapa I trebuie să rămînă în batardoul etapei a II-a, pentru a se putea face racordarea.

Supratraversarea se adoptă în cazurile în care: valea este foarte îngustă și nu se poate face devierea apelor; nivelul apei în rîu nu permite devierea (abaterea) chiar la ape mici, decît prin batardou special de palplanșe protejate în dig, batardou care este foarte costisitor; adîncimea de afuiere este atît de mare încît, conducta. fie că ar trebui îngropată la adîncime mare, fie ar trebui executată o protecție costisitoare; intervenția la conductă pentru remedieri este foarte costisitoare și de lungă durată, iar siguranța de funcționare a aducțiunii trebuie mărită etc. Forma constructivă a supratraversării se adoptă în funcție de condițiile locale, de posibilitățile de execuție, de mărimea aducțiunii și de siguranța în funcțiune. Tipurile de soluții care se pot adopta sînt următoarele:

— traversare prin suspendare pe pod existent, cînd podul permite acest lucru (trebuie ținut seamă că încărcarea suplimentară este destul de ridicată); traversarea se face numai cu avizul proiectantului podului;

— traversare cu conductă autoportantă sprijinită pe pile de pod existent (cînd gabaritul și sarcina pe pilă permit) sau pe pile executate special (fig. 4.25, *b*).

— traversare cu conductă autportantă pe pile cu console (fig. 4.25, *c*);

— traversare cu conductă autoportantă în arc (fig. 4.25, *d*);

— traversare cu conductă suspendată pe cablu (fig. 4.25, *e*);

— traversare pe pod special executat (pod apeduct, fig. 4.25, *f*).

Conducta, fiind aeriană, trebuie să fie izolată termic pentru protecție la întreruperile de scurtă durată, iarna, asigurată cu compensatoare de dilatare sau verificată la eforturile din variația de temperatură, rezemată corespunzător pe pile și culee, prevăzută cu ventile de aerisire. Izolația termică se face cu 1 strat de vată minerală de 10 ÷ 15 cm, protejată cu tablă zincată de 0,5 ÷ 1 mm grosime; conducta se vopsește în prealabil.

Subtraversarea căilor de comunicație. Cu foarte rare excepții, intersecția dintre conducta de aducțiune și calea de comunicație (drum, CF) se face prin subtraversare. Amplasarea se face numai cu avizul beneficiarului căii

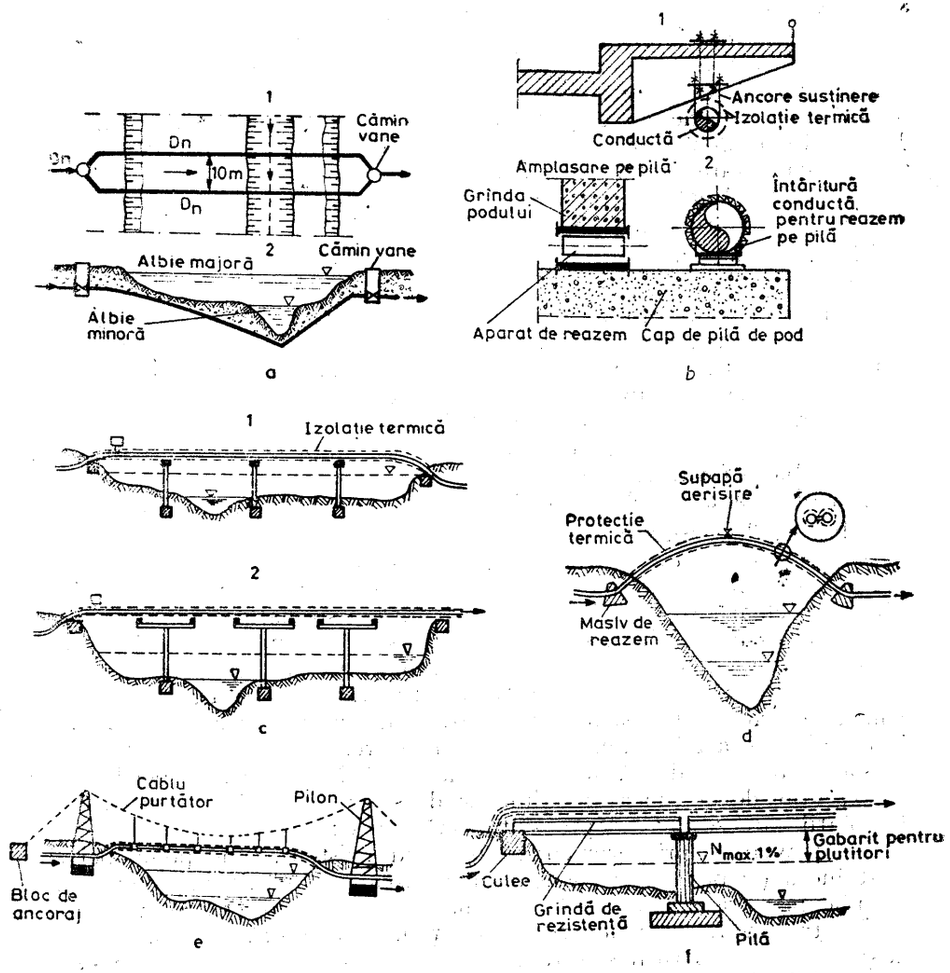


Fig. 4.25. Traversarea cursurilor de apă: *a* — subtraversare: *1* — vedere în plan; *2* — secțiune verticală; *b* — suspendare pe pod existent: *1* — de antretoaze; *2* — rezemare pe pile; *c* — conductă autoportantă rezemată pe pile: *1* — direct; *2* — prin intermediul consolelor; *d* — conductă autoportantă în arc; *e* — conductă suspendată pe cablu; *f* — conductă așezată pe pod, apeduct.

și luînd asemenea măsuri constructive, încît executarea traversării sau o eventuală avarie la conductă să nu conducă la accidente pe calea de circulație (apă, gheață, înmuierea patului căii, denivelare din tasare).

În cazul drumurilor de importanță locală, la care sarcina din cale este redusă, iar conducta are diametru mic, traversarea se face prin înglobarea conductei la 1 ÷ 1,5 m sub cale, printr-o compactare bună cu balast, prin betonarea conductei în șanț sau prinderea acesteia într-o grindă de beton armat (fig. 4.26, *a*). Executarea se face pe jumătate de cale, cu sau fără devierea circulației, dar cu măsuri adecvate de protecție a muncii.

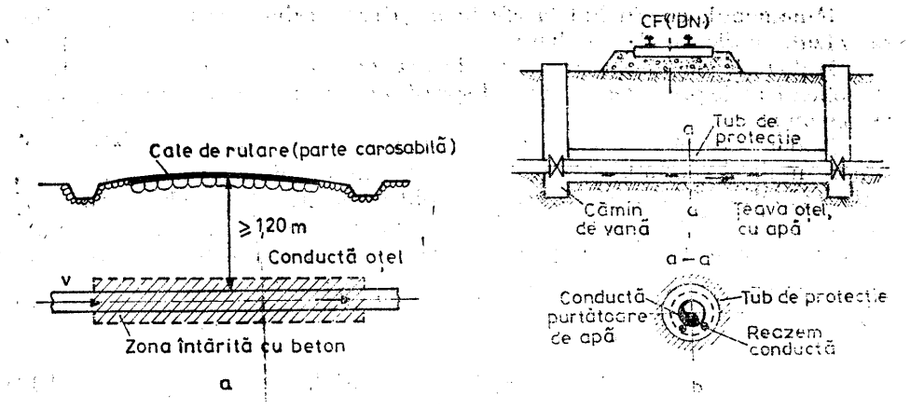


Fig. 4.26. Subtraversarea căilor de comunicație: *a* — drum de importanță locală; *b* — DN sau CF (linie curentă).

În cazul căilor importante (drum național DN, cale ferată CF), se execută o *traversare tub în tub*. De regulă, prin forare orizontală, se lansează un tub de protecție din oțel, cu diametru de circa 1,5 *Dn* al conductei de aducțiune, și care se termină la capete cu două cămine (fig. 4.26, *b*). Aducțiunea, prevăzută cu vane de izolare în cămine (aflate în afara influenței căii de comunicație), trece prin tubul de protecție, rezemată de mici elemente de lemn (protejarea izolației). În caz de avarie, apa este drenată de sub cale, iar prin manevrarea vanelor, se poate închide accesul apei. Înlocuirea conductei se face fără a afecta circulația pe cale.

Dispozitive pentru combaterea loviturii de berbec. În general, curgerea apei într-o conductă (canal) de aducțiune este considerată din punct de vedere hidraulic o mișcare permanentă — uniformă. Sînt însă cazuri cînd această mișcare poate deveni nepermanentă și consecințele cele mai grave sînt la conductele sub presiune. Astfel, dacă pe o conductă funcționînd gravitațional se produce o oprire bruscă a curgerii (cade un sertar de vană, se închide un clapet de oprire automată etc., se sparge conducta), viteza apei variază brusc de la valoarea maximă la o valoare tinzînd spre zero. Cantitatea de energie pe care masa de apă o conține în mișcare se disipează printr-un proces oscilatoriu de comprimare — dilatare a apei (care de fapt este un lichid compresibil, modulul de elasticitate de cca. 300 000 kgf/cm^2 fiind comparabil cu al betonului) și deformare elastică a pereților conductei. Mișcarea poartă numele de *lovitură de berbec* și este caracterizată prin unde de presiune ce se propagă în lungul conductei cu viteza sunetului în apă (viteza de propagare este numită *celeritate*). Undele de presiune pot provoca *suprapresiuni* cu efect de spargere a conductei (la limită), *vacuum* cu efect de voalare (turtire) a conductei cu pereți subțiri sau aspirația (sugerea) garniturilor la conductele din tuburi îmbinate cu garnitură. Mișcarea se amortizează din cauza frecării și cedării energiei prin pereții conductei.

La aducțiunile funcționînd prin pompare, fenomenul se realizează atunci cînd pompele se opresc brusc și viteza pe conductă scade de la viteza de regim la zero. Șocul este cu atît mai violent, cu cît oprirea este mai rapidă.

Fenomenul, conducînd la efecte negative, trebuie cunoscut și trebuie prevăzute mijloace de combatere.

Mijloacele de combatere sînt: de realizare a unei conducte ce rezistă la solicitări; de prevedere a unor dispozitive care să reducă din amploarea fenomenului.

Prima măsură necesară este de a evalua corect amploarea supra sau subpresiunii și secțiunile critice; se poate merge pînă la modificarea traseului aducțiunii dacă prin aceasta se obțin rezultate favorabile [10], [4]. Ca ordin de mărime, la oprirea bruscă (instantanee — practic nereală) a pompelor, suprapresiunea poate avea valoarea (după relația *Jukovski*):

$$\Delta p = \frac{cv_0}{g} \text{ sau } \Delta p = \frac{c(v_0 - v)}{g} \quad [\text{m}] \tag{4.13}$$

$$c = \frac{\sqrt{E_a/\rho}}{\sqrt{1 + \frac{D}{\delta}\frac{E_a}{E_c}}} \quad [\text{m/s}], \tag{4.14}$$

în care: c este celeritatea, în m/s (valorile practice sînt de ordinul $900 \div 1100$ m/s);

v_0, v — viteza de regim a apei în conductă, în m/s, respectiv viteza în situația nouă de funcționare;

g — accelerația gravitațională, în m/s²;

E_a, E_c — modulul de elasticitate al apei, respectiv al materialului conductei, în kgf/cm²;

D, δ — diametrul, respectiv grosimea peretelui conductei, în m;

ρ — densitatea apei, în kgf/s²m⁴.

Pentru cazuri practice, metodele de calcul pot fi grafo-analitice [40], [26], [27] sau numerice, cu rezolvare pe calculator [10].

Printre mijloacele de combatere se menționează:

• *la aducțiuni gravitaționale*

— închiderea lentă a vanelor, pînă cînd suprapresiunea este suportabilă pentru conductă;

— viteza de închidere a vanelor cu plutitor la rezervoare sau cămine de rupere a presiunii să fie atît de mică încît suprapresiunea să fie acceptabilă (de regulă o închidere a vanei într-un timp de 10 ori mai mare decît timpul de reflexie $2l/v_0$, unde l este lungimea conductei, nu conduce la suprapresiune);

— deschiderea vanei să fie făcută de asemenea lent, în funcție de mărimea ventilelor de aerisire;

— asigurarea de ventile de aerisire în toate punctele înalte și în căminele de vană de linie, astfel încît, la ruperea conductei și apariția unei unde negative de presiune, să nu se producă vacuum în conductă.

• *la aducțiuni funcționînd prin pompare*

— mărirea momentului de inerție al pompei, astfel încît oprirea să se facă lent;

— realizarea de castele de apă care să asigure evacuarea unui exces de apă la suprapresiune și acceptarea unei cantități de apă, cînd se produce vacuum în conductă (este o soluție sigură, dar costisitoare; este rațională la sisteme cu înălțime de refulare pînă la 20 m); poziția favorabilă a castelului se stabilește de la caz la caz;

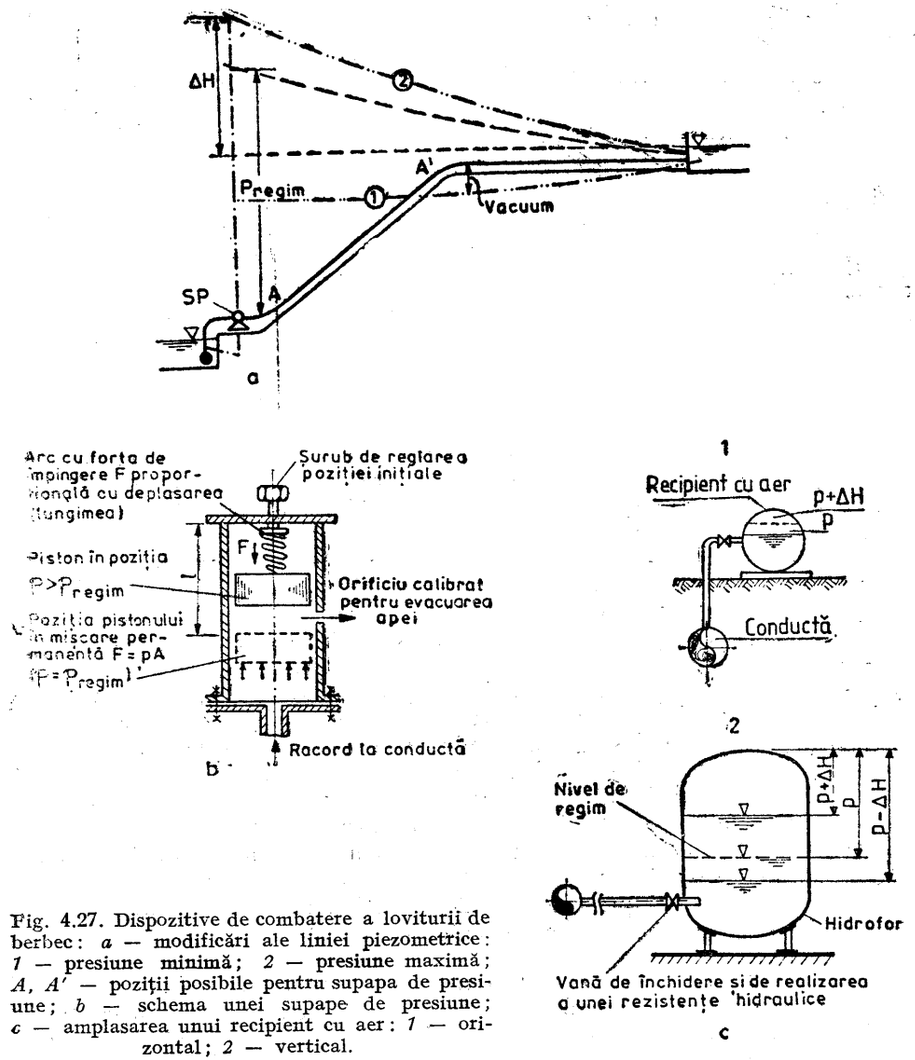


Fig. 4.27. Dispozitive de combatere a loviturii de berbec: *a* — modificări ale liniei piezometrice: *1* — presiune minimă; *2* — presiune maximă; *A*, *A'* — poziții posibile pentru supapa de presiune; *b* — schema unei supape de presiune; *c* — amplasarea unui recipient cu aer: *1* — orizontal; *2* — vertical.

— realizarea de supape de supra și subpresiune (fig. 4.27) în puncte caracteristice prin care se elimină apă sau se aspiră aer (uneori aspirarea de aer poate duce la ruperea coloanei de apă din conductă, cu efecte defavorabile în faza următoare, cînd apare unda de suprapresiune);

— prevederea de *recipienți cu pernă de aer* [10]; este soluția cea mai bună, relativ ușor de realizat și de amplasat; se așază lîngă pompe un recipient (poate fi un cazan tip hidrofor) legat printr-o conductă cu vană reglabilă; acesta este plin, parțial cu apă, parțial cu aer, la o presiune egală cu presiunea de regim din conductă; cînd pe conductă apare unda de suprapresiune, o parte din apa din conductă intră în recipient, mărind presiunea aerului pînă la egalizare cu noua presiune din conductă; cînd unda de supra-

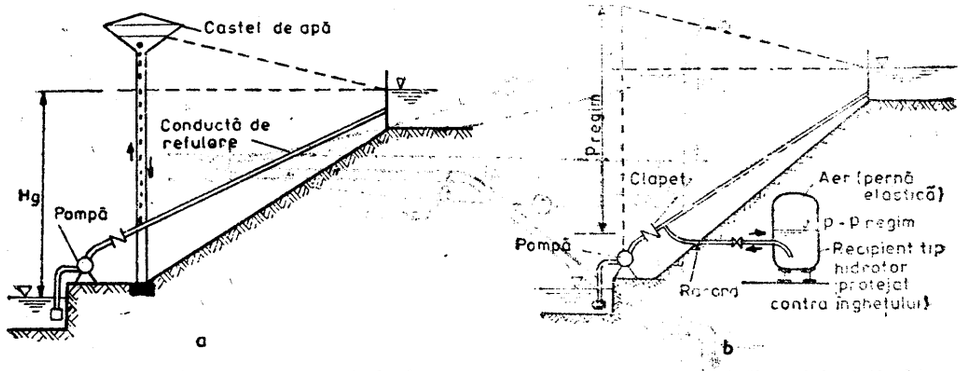


Fig. 4.28. Combaterea loviturii de berbec: *a* — cu castel de apă; *b* — cu recipient tip hidrofor.

presiune trece, aerul din cazan se destinde, împingînd în conductă o cantitate de apă (pînă la echilibrarea presiunii cazan-conductă) și evitînd valorile negative de presiune în conductă (fig. 4.28).

Stații pentru reglarea și verificarea protecției catodice. În cazul conductelor metalice, de dimensiuni importante și amplasate în teren cu agresivitate foarte ridicată, este rațional să se prevadă instalația de protecție catodică. Aceasta presupune existența unei surse de curent continuu care să alimenteze sistemul electric (conductă-catod, bare exterioare-anod), astfel încît sensul de curgere al curentului să fie bare exterioare — conductă. În funcție de amploarea sistemelor, este necesară o amenajare constructivă care să adăpostească sistemul de alimentare (redresor) și un sistem de control a fiecărei secțiuni protejate; pentru ușurința urmăririi și economicitatea execuției în interior se vor amplasa și o parte din elementele aparaturii pentru control automat sau control și comandă automată. Pot fi înregistrate automat și transmise la distanță, prin mijloace adecvate (cablu sau unde radio), elemente legate de debit sau debit și presiune sau pot fi primite semnale de acționare a unor elemente de manevră pentru modificarea parametrilor de lucru.

Cantoane de exploatare. Pentru o bună exploatare, aducțiunile lungi (peste 20 km) se prevăd cu cantoane de exploatare (un canton la 10 ÷ 20 km). Cantonul este o gospodărie amenajată, necesară personalului utilizat pentru urmărirea continuă a aducțiunii, pe un tronson dat. Cantonierul are următoarele obligații:

— verificarea zilnică a stării zonei de protecție sanitară, instituite de-a lungul aducțiunii;

— verificarea apariției exfiltrațiilor de apă și luarea de măsuri de avertizare și combatere;

— verificarea stării armăturilor din cămine, întreținerea lor (ungere, vopsire) și manevrarea lor pentru a evita blocarea prin ruginire; verificarea funcționării ventilelor de aerisire sau, acolo unde (din greșeală sau provizoriu) ventilele de aerisire lipsesc, fiind înlocuite cu vane (robineți) simple, acestea vor fi deschise zilnic pentru a se asigura evacuarea aerului acumulat;

— verificarea și citirea aparatelor de măsurat amplasate pe aducțiune (de regulă, manometre în punctele importante);

— notarea tuturor anomaliilor constatate (curgerea apei la preaplinul căminelor de ruperea presiunii) și comunicarea acestora dispecerului sistemului de alimentare cu apă.

Pentru o comunicare expeditivă, cantonul trebuie să aibă legătură telefonică sau radio cu dispeceratul central. Pentru reperarea rapidă a avariilor pe teren și pe plan există reperi, kilometrici, jaloane sau alte semne convenționale.

Trebuie menționat că în practică pot apărea și soluții ce necesită și alte tipuri de construcții numite auxiliare (deși importanța lor poate fi capitală). Astfel, de exemplu, la trecerea dintr-un bazin în altul, conductele pot fi obligate să depășească obstacole naturale (în cazul unui deal, problema poate fi soluționată prin pomparea apei pînă la cota crestei sau prin străpungerea dealului printr-o *galerie* în care va fi amplasată aducțiunea).

La localitățile dezvoltate pe mari suprafețe și care solicită debite foarte mari, apa este pompată direct în rețeaua orașului. Pomparea este bine să se facă dintr-un amplasament aflat în interiorul orașului (SP Grozăvești), nu din afara lui (ex. SP Nord, Sud). Transportul apei se poate face printr-o *galerie* sub presiune (soluții deja adoptate la Londra, Sanghai etc.).

4.5. EXECUTAREA CANALELOR PENTRU TRANSPORTUL APEI

La începutul prezentului capitol au fost enunțate cazurile în care se poate adopta soluția de aducțiune cu nivel liber.

Executarea canalelor deschise, taluzate (de obicei secțiunea este trapezoidală) se face în general cu ușurință. Respectarea cotelor și dimensiunilor date în proiect este foarte importantă. Pentru o stabilitate a canalului trebuie să fie adoptate valori corespunzătoare pentru panta taluzului (1 : *m*) și a vitezei apei în canal, astfel încît să nu se producă eroziuni. Cîteva din aceste valori acceptate pentru cazul irigațiilor sînt date în tabelul 4.5.

Tabelul 4.5

Viteza de neeroziune, pentru diverse categorii de terenuri și căptușeli, în m/s

Natura terenului	v_{max} [m/s]	Natura căptușelii	v_{max} [m/s]
Nisip fin	0,3÷0,45	Brazde așezate pe lat	0,8÷1,0
Nisip mijlociu	0,4÷0,6	Beton asfaltic	2,0÷3,0
Nisip mare	0,6÷0,75	Piatră brută uscată	3,0÷4,5
Pietriș mare	1,1÷1,3	Piatră brută rostuită	5,8÷8,7
Argilă nisipoasă	0,5÷1,0	Beton B140	5,0÷6,0
Loess compact	0,6÷1,2	Beton B200	9,0÷11,0

Panta taluzului $1:m$ se adoptă între valorile $1:1 \cdots 1:2$, atunci cînd adîncimea apei în canal variază de la $1 \div 3$ m. Înălțimea de siguranță se ia de cel puțin 20 cm.

Cînd permeabilitatea terenului este mare, iar debitul de apă redus, canalul trebuie să fie protejat prin dalare, zidărie de protecție etc. În acest caz mărimea pantei, taluzului $1:m$ este $1:1 \cdots 1:5$, verificîndu-se stabilitatea taluzelor cu înălțime mare sau a canalelor executate în debleu. Grosimea dalelor de protecție din beton, beton asfaltic este de $6 \div 15$ cm, după mărimea canalului ($h = 1 \div 3$ m, $Q = 1 \div 5$ m³/s). În cazul terenurilor loessoide, se recomandă neapărat căptușirea canalelor (la canale pentru debite mari, căptușeala va fi armată, iar rosturile vor fi bine etanșate). Orientativ, pierderea de apă din canalul căptușit poate fi de ordinul a $10 \div 11$ dm³/zi m².

Materialul pentru căptușeală (beton de cele mai multe ori) va fi cu rezistență ridicată la gelivitate, suficient de impermeabil ($k = 10$ m/zi) și va fi turnat, astfel încît rugozitatea să fie cît mai mică. Rosturile vor fi etanșate astfel încît să nu creeze o rugozitate suplimentară importantă.

Operațiunile importante în executarea canalelor căptușite cu beton sînt:

— executarea săpăturii mecanice (se acordă atenție la depozitarea pămîntului nevegetal);

— nivelarea manuală a săpăturii la o toleranță de $\pm$ 5 cm;

— compactarea cu umezire a suprafeței de căptușit;

— așternerea unui strat de egalizare de $10 \div 15$ cm balast sau nisip, cu rol și de *strat drenant al apei din spatele îmbrăcămintii* (în caz de golire rapidă a canalului, apa din spatele plăcii, dacă nu se poate drena ușor, împinge asupra îmbrăcămintii deformînd-o sau chiar deteriorînd-o);

— executarea căptușelii din fîșii turnate pe loc cu rosturi la $1 \div 5$ m sau din elemente prefabricate de $0{,}5/0{,}5$ m² $\div$ 1/1 m²;

— executarea rostuirii dalelor după soluția adoptată în proiect.

Pe traseul canalelor pot apare porțiuni cu denivelări importante, văi, cursuri de apă, dealuri cu pante abrupte, care nu mai pot fi străbătute cu secțiunea normală de canal. Pe aceste porțiuni se execută lucrări speciale, numite și *lucrări de artă*, ca: galerie pentru traversarea obstacolelor naturale ce nu pot (sau nu este rațional) să fie ocolite; pod-canal, pentru traversarea depresiunilor uscate sau cu apă; disipatoare de energie speciale; porțiuni rapide de canal, amenajate special pentru a suporta viteze mari de curgere etc.

În cazul aducțiunilor cu nivel liber, acoperite, forma secțiunii se alege în primul rînd din motive de rezistență, de execuție și se verifică din punct de vedere hidraulic.

Secțiunea trebuie să fie circulabilă (dimensiuni minime de 1,20 m). S-a adoptat în general forma circulară $D > 1{,}50$ m sau secțiunea rectangulară cu două fire (tip ochelari). Probleme speciale apar numai la realizarea rosturilor. Acestea pot fi realizate cu bandă specială de rost, similară cu cea de la rezervoare.

Galeria se execută pe tronsoane de circa $20 \div 30$ m, cu rosturi de lucru, rosturi care se betonează ulterior. Etanșarea se asigură prin continuitatea armăturii și betonarea specială a zonei sau prin întreruperea armăturii și încastrarea unei foi din tablă ondulată în cele 2 tronsoane vecine (în ultimul timp s-a recurs la un profil special din masă plastică).

4.6. EXPLOATAREA LUCRĂRILOR DE TRANSPORT A APEI

În exploatarea conductelor de aducțiune, problema cea mai importantă o constituie prevenirea, depistarea și înlăturarea avariilor care pot provoca pierderi importante de apă și întreruperea alimentării cu apă a folosinței (de regulă, aducțiunea este obiectul cel mai dezvoltat și mai greu de controlat, fiind amplasat în afara localității).

• *Prevenirea* avariilor se face prin urmărirea unei execuții corecte și cu materiale de bună calitate (montarea unor materiale necorespunzătoare duce la o soluție mai scumpă ulterior, decît ar fi înlocuirea în timpul execuției) și prin respectarea regimului hidraulic de funcționare preconizat în proiect.

Pentru orice eventuale modificări, beneficiarul trebuie să ceară asistență tehnică de specialitate și este foarte bine dacă este consultat și proiectantul lucrării (cunoaște dacă sînt sau nu rezerve în dimensionarea făcută sau consecințele pe care le poate avea modificarea solicitată).

În faza de execuție, rolul dirigintelui (reprezentantul beneficiarului care urmărește cantitatea și calitatea lucrărilor, pe măsură ce acestea sînt executate) este foarte important, deoarece majoritatea lucrărilor sînt subterane, deci nu mai sînt vizibile în exploatare.

• *Depistarea* începutului de pierdere de apă se face de către personalul de exploatare, folosind instrumente speciale (de tip geofon, care au la bază captarea și amplificarea zgomotului făcut de apă cînd țîșnește sub presiune printr-o deschidere) sau prin inspecția periodică și verificarea stării traseului (apariția denivelărilor în cazul în care pămîntul este înmuiat excesiv sau spălat în interior; producerea de ochiuri de apă sau eventual umezirea locului; apariția unui izvor într-un loc unde înainte nu exista etc.).

În cazul avariilor importante, manometrele montate pe parcurs pot indica locul avariei (cînd încă nu se vede un efect local al avariei).

Dacă nu sînt luate măsuri urgente, avaria se poate extinde cu consecințe importante. Pentru localizarea în spațiu, trebuie să fie create repere kilometrice pe sectoare, repere care să fie notate pe planul de situație de la dispecerat. Cantonierul poate lua, la comanda dispeceratului, primele măsuri impuse de situație.

• *Înlăturarea* avariilor se face de către echipe speciale dotate cu materiale și utilaje de săpat și ridicat (în special la aducțiuni cu diametre mari). Dacă întreprinderea nu le posedă, trebuie să-și asigure prin convenție de la alte unități (în modul cel mai expeditiv) următoarele utilaje importante, care trebuie să fie transportate la fața locului: agregat de tăiat și sudat cu flacără sau electric; macara de ridicat, în limita greutății pieselor cele mai grele sau bucăți demontabile din acestea (în general, o macara pe pneuri de $3 \div 5$ t este suficientă, în cele mai multe cazuri); mijloc de transport pentru echipa de intervenție (care poate avea $5 \div 10$ oameni).

După depistarea locului avariei, șeful de echipă stabilește modul de acces la conductă și delimitează suprafața de pe care recolta va fi eventual conpromisă. Se execută săpătura, de obicei mecanic-manual (de unde rezultă și numărul mare de muncitori) și se stabilește natura exactă a avariei. Pentru remedierea efectivă, echipa trebuie să aibă în dotare instrumente curente de lucru, piese de schimb (vane, ștuțuri, flanșe, îmbinări Gibault), precum și materiale mărunte: garnituri, șuruburi, chei, ciocane, lampă de benzină, bitum, foaie PVC pentru izolație etc.

Avariile pe conducte depind de tipul de material. Cîteva dintre avariile mai importante, la aducțiuni din diferite materiale, vor fi menționate în continuare.

Aducțiuni din tuburi de fontă. Avariile destul de dese care se produc se datorează expulzării garniturii de etanșare din mufă sau fisurării tuburilor.

Refularea plumbului are loc în general datorită suprapresiunilor din conductă peste limita de încercare și a unor defecțiuni de montaj. Refacerea se execută după procedeul clasic. Dacă, la probă, mufa nu asigură etanșarea, se blochează garnitura cu un jug special (2 flanșe speciale, una în fața mufei, alta în spatele mufei, strînse cu buloane ca la piesa Gibault).

Aducțiuni din țeavă de oțel. Cele mai dese avarii sînt datorate fisurării sudurilor, ca urmare a unei execuții necorespunzătoare sau solicitării longitudinale sau transversale peste limita normală (dilatare mare, încovoierea conductei, datorită patului neuniform, lipsa masivelor la coturi importante etc.). De multe ori, tuburile sosesc pe șantier necalibrate (se decalibrează la manipulare și transport sau depozitare necorespunzătoare). Calibrarea se face prin încălzire și lovire cu ciocanul (nu este corespunzătoare). În exploatare, peretele conductei va lucra cu totul altfel decît este normal. Sudura deteriorată se reface și, dacă este cazul, se pot aplica una sau mai multe eclise de întărire. Izolația exterioară ruptă la lansare, o umplutură mai slab executată, pot conduce la expunerea locului respectiv la o corodare excesivă, care, combinată și cu solicitarea mecanică și compoziția neuniformă a oțelului, permite factorilor de coroziune să perforeze peretele conductei. Remedierea se execută prin desfacerea izolației pe o porțiune mai mare și aplicarea unui *petic sudat*, după care se refac corect izolația, cel puțin în exterior.

Aducțiuni din tuburi de azbociment. Cele mai dese avarii au în general două cauze: eliminarea sau aspirația garniturii din manșon, ca urmare a unei suprapresiuni sau vacuum în conductă; fisurarea tubului, din cauza montării incorecte, tasării patului de fundare, suprapresiunii în conductă sau îmbătrînirii tuburilor.

Îmbinarea se desface și se refac cu îmbinare tip Gibault. Se verifică starea interioară a manșonului și poziția exactă a garniturilor după montaj. Tubul fisurat (azbocimentul fisurează ușor la șocuri) se taie și se înlocuiește cu o bucată nouă, nefisurată, care se îmbină cu capetele tronsoanelor, folosind piese Gibault. Izolarea pieselor trebuie să fie bine făcută, ținînd seama că șuruburile sînt solicitate la întindere, deci corodarea filetului distruge îmbinarea. Tăierea tuburilor se face cu fierăstrăul (la tăiere cu dalta, secțiunea rezultă neuniformă, iar riscul de fisurare este mare).

Aducțiuni din tuburi de beton PREMO. Avariile cele mai dese se datorează eliminării garniturii, prin refulare sau aspirație (din cauzele arătate mai înainte), sau curgerii apei prin locuri de dimensiuni reduse (găuri în pereții tubului ca urmare a unui defect de fabricație, loviri etc.). Se taie tubul (cu dalta, prin ciocănire, repetată, succesivă) și se înlocuiește cu o bucată nouă sau cu o piesă de oțel (numită piesă de trecut pe tub). Îmbinarea capetelor drepte ale tubului se face cu manșon special din oțel bine protejat exterior (tip Gibault sau presetupă).

Este foarte importantă urmărirea atentă și funcționarea corectă în primii ani de exploatare (cînd conducta încă nu și-a găsit o poziție de echilibru de durată, iar personalul de exploatare nu cunoaște modul real de comportare al acesteia; ulterior, exploatarea devine ceva mai simplă). Dacă este necesar (în funcție de calitatea apei transportate), periodic se poate recurge la spălarea conductei (și eventual dezinfectarea, dacă procesele microbiologice conduc la deteriorarea calității apei).

În cazul canalelor deschise, repararea se poate face deoarece depistarea se poate face mai ușor, iar accesul la locul respectiv este mai simplu.

Probleme deosebite se pun însă în perioada de iarnă, cînd canalul poate fi obturat, în principal, în 2 moduri (care pot conlucra): (1) în zonele cu viteze reduse, zaiul se poate aglomera și forma dopuri care îngheață și blochează complet secțiunea, provocînd inundații în zonele vecine (prin debordarea apei, amonte) și oprirea apei la beneficiar; (2) prin înglobarea de zăpadă spulberată, care, din cauza temperaturii scăzute a apei, nu se poate topi, ci plutește pînă cînd se concentrează devenind un dop mobil cu viteză redusă de deplasare, care iarăși blochează complet secțiunea. Remedierea acestor deficiențe este greu de făcut. O măsură mai eficientă este acoperirea provizorie cu panouri de lemn în zonele mai solicitate și protejarea cu panouri sau perdele contra zăpezii spulberate.

O execuție îngrijită respectînd prevederile din proiect (bine întocmit) este garanția unei funcționări sigure și îndelungate a aducțiunilor.

4.7. MĂSURI DE PROTECȚIA MUNCII LA LUCRĂRILE DE ADUCȚIUNE

Pentru a se evita adoptarea unor măsuri de protecție costisitoare, se va căuta o organizare a execuției în flux rapid, astfel încît șanțul pentru lansarea conductei să fie deschis cît mai puțin timp.

După cum s-a precizat, de regulă, aducțiunea este paralelă cu o cale de comunicație și ca atare, zona dintre șanț și drum va fi marcată cu semne și plăci avertizoare (constituie zona de protecție sanitară).

Locurile de acces de la calea de comunicație vor fi închise cu bariere și chiar păzite, dacă există riscul de acces greșit al vehiculelor. Cu acordul organului de întreținere a căii de comunicație, vor fi puse plăcuțe avertizoare la capetele căii și intersecției, în zona șantierului. Intrările vor fi suficient de bune pentru a nu bloca circulația cu manevre lungi a mijloacelor ce transportă conducte sau elemente lungi de țeavă. În general, transportul se va face în orele de trafic redus. Se va asigura o semnalizare de noapte foarte bună pentru vizualizarea gropilor, depozitelor, utilajelor.

Pămîntul din săpătură va fi depozitat, astfel încît să nu poată luneca înapoi în șanț, iar taluzul să nu fie destabilizat (bine este ca pămîntul din săpătură să fie așezat la o distanță egală cel puțin cu adîncimea săpăturii).

Dacă săpătura se execută cu sprijinire (în zone locuite, porțiuni înguste, drumuri etc.), elementele de sprijinire vor fi de bună calitate și vor fi verificate înainte de intrarea muncitorilor în șanț.

Transportul, descărcarea și depozitarea tuburilor se va face, astfel încît să nu se producă deteriorarea lor sau rostogolirea necontrolată.

Lansarea în șanț se va face conform tehnologiei. Vor fi executate dispozitivele speciale de legare a tuburilor. Înainte de ridicarea primului tub, se va face o verificare a utilajului de ridicat. Se prinde tubul, se ridică

10 ÷ 20 cm și apoi se frînează. Se verifică utilajul și poziția tubului: este interzisă îndreptarea legăturii pe tubul ridicat (se lasă jos de fiecare dată); la tuburile grele se interzice manevra directă cu mîna (se poate folosi o frînghie); centrarea tuburilor se va face folosind elementele din lemn, iar centrarea flanșelor se va face cu dornuri adecvate; împingerea tuburilor în șanț se va face nu prin tîrîre, ci fiind ținute în macara și trase cu dispozitive cu cabluri; se interzice balansarea tuburilor în cîrligul macaralei pentru a obține o anumită poziție. Pentru lansare vor fi folosite echipe specializate.

La executarea probei de presiune cu aer comprimat, verificarea sudurilor se va face numai după atingerea presiunii de regim și numai de către personal specializat (surplusul de personal este evacuat din zona de lucru). La proba cu apă, se va urmări evacuarea completă a aerului înainte de punerea sub presiune și rezemarea corectă a tuburilor la capete (pe masivele de probă).

Cîtă vreme șanțul rămîne deschis, nu se va permite circulația vehiculelor pe lîngă șanț (mai ales după ploi abundente) și nici traversarea șanțului de către muncitori.

După fiecare ploaie și periodic se vor verifica starea malului și a materialului din săpătură; cînd se observă că apar crăpături paralele cu șanțul va fi anunțat șeful locului de muncă pentru a lua măsuri (oamenii sînt evacuați imediat, deoarece ruperea malului se poate face brusc, după o curgere lentă de durată).

Prefabricatele nu vor fi trîntite și nu vor fi transportate manual dacă au greutăți peste 50 kgf (sînt așezate în raza de lucru a macaralei, astfel încît macaraua să se afle între șanț și depozite); nu se admite depozitarea nici unui prefabricat sau a sculelor, pe marginea șanțului.

În general, nu se va face montarea decît în perioadele cu lumină naturală, în caz contrar vor fi luate măsuri adecvate de iluminat uniform și semnalizare corectă; toate sistemele de iluminat portativ vor avea tensiunea de maximum 24 V.

Pe porțiunile de aducțiune executate în localități, vor fi luate măsuri de semnalizare și executare de balustrade și spații de trecere pentru localnici.

În cazul aducțiunilor sub formă de canal vor fi asigurate măsuri de avertizare pe toată duratea execuției și după aceea (la umplerea parțială cu apă pe tronsoane, este interzis scăldatul în canal în zona șantierului).

Pentru perioadele friguroase vor fi respectate prevederile din NORME DE PROTECȚIA MUNCII în activitatea de construcții-montaj (vol. 4, lucrări de organizare de șantier și lucrări de timp friguros — M.C. Ind., 1981).

4.8. EXEMPLE DE LUCRĂRI EXECUTATE PENTRU TRANSPORTUL APEI

● Prima aducțiune importantă care a fost realizată este cea între Arcuda și București (rezervor Cotroceni), aducțiune aflată și astăzi în funcțiune (aducțiune cu nivel liber, acoperită, pentru circa 20 ÷ 30 000 m³/zi); actualmente există 5 apeducte, pentru o capacitate de transport de circa 5 ÷ 60 0000 m³/zi; ultimul executat are *Dn* 2200 și funcționează tot gravitațional.

● Aducțiunea Timișești—Iași [40], [37], în lungime de circa 105 km funcționînd gravitațional, executată din fontă de presiune *Dn* 275, 300 mm, asigură circa 250—300 l/s și din 1913 a suferit doar unele mici reparații. Astăzi este dublată (pe un traseu puțin diferit) cu o aducțiune *Dn* 1000 din tuburi PREMO, funcționînd parțial prin pompare, parțial gravitațional.

● Aducțiunea Izvarna—Craiova, de circa 115 km lungime, prima aducțiune din tuburi PREMO executate în țară, a asigurat, în prima etapă, funcționarea gravitațională pentru circa 600 l/s, apoi, în etapa a II-a, cu o treaptă de pompare lîngă izvorul Izvarna, 900 l/s și în prezent (etapa a III-a), prin repomparea de la Filiași (v. fig. 4.2), asigură circa 1000—1200 l/s [37], [40].

● Aducțiunea Cîmpina—Ploiești, două fire *Dn* 1000 din tuburi PREMO funcționînd gravitațional.

● Aducțiunea Ciucaș—Brașov, circa 30 km, *Dn* 300, curgere gravitațională, fontă.

● Aducțiunea Călieni—Suraia—Galați, două fire paralele, lungime circa 40 km, cu *Dn* 1000 din oțel și *Dn* 1200 din beton precomprimat, pentru a asigura cu apă din puțuri orașele Galați și parțial Brăila.

● Aducțiunea Dărmănești—Onești, circa 30 km, *Dn* 800 ÷ 1000, oțel — PREMO asigură apă pentru orașul Onești și platforma industrială; apă din lacul Poiana Uzului, tratată.

● Apeductul Crivina—București (stația de tratare Roșu), casetă dublă pentru circa 15 m³/s, curgere gravitațională, circa 17 km lungime.

● Aducțiuni de mari dimensiuni sînt executate și pentru Cluj (din sursa Gilău), Suceava (din sursa Baia), Petroșani (din sursa Valea de Pești), Tîrgu Jiu (din izvorul Sohodol) etc.

● Sînt de asemenea proiectate sau în curs de execuție aducțiuni de mare importanță pentru: Bacău (din sursa Poiana Uzului, cca. 60 km, *Dn* 1000); Rîmnicu Vîlcea (din lacul Brădișor, cca. 50 km, *Dn* 1000); localitățile din valea Tîrnavei Mari (din lacul Zetea, *Dn* 600—1200, lungime cca. 130 km) etc.

5.

STAȚII DE POMPARE

5.1. ROLUL STAȚIILOR DE POMPARE

După cum a rezultat anterior (v. figura 4.1), sînt destul de frecvente cazurile în care, pentru a ajunge de la o cotă mai joasă la o cotă mai ridicată, cotă necesară în fluxul de utilizare, apa are nevoie de o cantitate suplimentară de energie. Elementul care poate transmite apei o cantitate suplimentară de energie hidraulică se numește *pompă hidraulică*.

Pompele hidraulice sau pe scurt pompele, sînt adăpostite într-o construcție de protecție (care adăpostește pompele, motoarele și instalațiile aferente) numită *stație de pompare*.

Pompele pot avea multiple întrebuințări în schema de alimentare cu apă, ele fiind denumite după locul pe care îl ocupă. Astfel, pot fi prevăzute pompe la:

— captarea apei, cînd apa din sursă se pompează la stația de tratare sau la rezervor; este numită stație de pompare treapta I (SP_I), cînd în schemă sînt mai multe stații de pompare, sau stație de pompare apă brută;

— repomparea apei, atunci cînd în schemă sînt mai multe stații de pompare;

— repomparea apei, atunci cînd diferența de cotă care trebuie să fie acoperită depășește posibilitățile unei singure trepte de pompare; este denumită stație de repompare (SRP1$\cdots n$);

— asigurarea apei necesare pentru spălarea obiectelor stației de tratare, denumită stație de pompare pentru spălare;

— asigurarea presiunii în rețeaua de distribuție în cazul localităților mari cu relief plat, denumită stație de pompare în rețea sau stație de repompare;

— asigurarea debitului de incendiu în cazuri speciale, denumite stații de pompare pentru incendiu etc.

Pompele luate ca atare pot fi clasificate după principiul de funcționare sau după construcție, astfel (STAS 6868):

— pompe centrifuge sau turbo-pompe;
— pompe volumice;
— pompe cu fluid motor;
— pompe electromagnetice;
— elevatoare hidraulice.

Dintre pompele utilizate în cadrul lucrărilor de alimentare cu apă, se menționează trei categorii:

• *turbo-pompe*

— pompe cu ax orizontal și pompe cu ax vertical;
— pompe cu un singur rotor (pompe monoetajate) sau pompe cu rotor multiplu (pompe multietajate);
— pompe cu intrarea axială a apei și refulare tangențială;
— pompe cu dublu flux (dublu axiale);
— pompe de vacuum;
— pompe axiale etc.

• *pompe volumice*

— pompe cu roți dințate, pompe melc, pompe cu piston (unul, două pistoane așezate orizontal sau vertical, cu simplu sau dublu efect etc.), pompe cu membrană, pompe oscilante, pompe peristaltice etc.

• *pompe cu fluid motor*

— ejector cu lichid (hidroejector), ejector cu abur, cu aer (aer-lift), berbec hidraulic etc.

Fiind elemente de bază în fluxul tehnologic, stațiile de pompare vor fi adoptate numai în cazuri bine justificate, iar odată adoptată soluția cu stație de pompare, vor fi luate toate măsurile pentru ca funcționarea în timp să corespundă gradului de siguranță cerut de alimentarea cu apă a obiectivului respectiv. De preferință, vor fi prevăzute utilaje și materiale produse în țară (pentru a putea procura ușor piese de schimb), dacă au randament bun și sînt adecvate calității apei și condițiilor de lucru respective. În cazul în care se justifică, se poate prevedea automatizarea stației de pompare.

5.2. CARACTERISTICILE PRINCIPALELOR TIPURI DE POMPE PRODUSE ÎN ȚARĂ

5.2.1. CARACTERISTICA GENERALĂ A POMPEI

Deoarece în marea majoritate a cazurilor, pompele folosite în domeniul alimentărilor cu apă, canalizărilor și lucrărilor anexe ale acestora sînt pompe de tip centrifugal, turbo-pompe, în cele ce urmează se va insista în mod deosebit asupra acestora.

Folosirea pompei *centrifuge* prezintă următoarele avantaje importante:

— are turație continuă și constantă, deci asigură un debit constant pe conductă, fără lovitură de berbec;

— poate lucra cu turație mare, deci poate fi cuplată direct la motorul electric și ca atare, rezultă un ansamblu simplu, cu pierderi mici de energie; *motorul electric* este cel mai bun motor realizat în tehnică (randament de 0,7 ÷ 0,95, față de maximum 0,4 la motorul termic);

— turație mare, deci viteză mare, secțiune mică de curgere a apei prin pompă și deci gabarit redus al pompei;

— prin alcătuirea sa, poate funcționa cu debit zero, deci cu vana de refulare închisă, fără să se avarieze (pe durată scurtă de timp).

Pompa centrifugă are un singur dezavantaj major — nu funcționează decît dacă este plină cu apă.

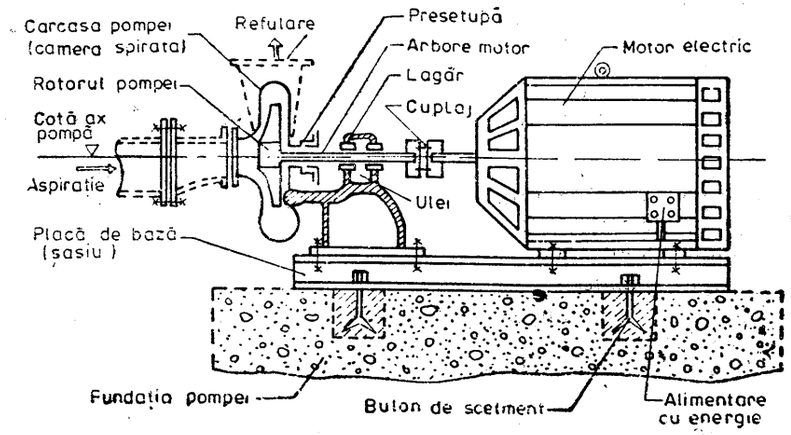


Fig. 5.1. Elementele componente ale unei pompe centrifuge (electropompe).

În cadrul acestei categorii, pompele se pot împărți în 2 grupe mari:

— pompe fixe, acționate în general cu motoare electrice, de unde și numele de *electropompe;* constituie grupa cea mai extinsă;

— pompe fixe sau mobile antrenate de motoare termice, de unde și numele de *motopompe*, folosite la irigații, combaterea incendiilor, epuizmente, grup de rezervă etc., atunci cînd nu există sursă de energie electrică.

Electropompele (EP) sînt formate în general din următoarele elemente constructive (fig. 5.1):

• *Pompa* este elementul care transmite efectiv apei energia necesară. Pompa poate fi cu un singur rotor (o singură treaptă de ridicare a presiunii apei) sau cu mai multe rotoare, apa trecînd dintr-un rotor în altul, succesiv, presiunea crescînd în trepte.

Pompa este formată din partea mobilă — *rotorul* — fixat rigid pe *arborele motor* și partea fixă — *carcasa* — care limitează exterior spațiul pompei, făcînd eficace mișcarea rotorului. Carcasa are o asemenea formă, încît să asigure o circulație a apei cu pierderi de sarcină cît mai mici, iar rotorul o asemenea formă, încît să aibă rezistență mecanică bună și randament maxim. Carcasa pompei ajută totodată la rezemarea pompei pe elementul de fundație (de regulă, are formă de spirală — *camera melcată*).

• *Motorul* electric de antrenare a pompei este elementul care furnizează pompei energia mecanică de care pompa are nevoie. Motorul care are turație de ordinul a 500 ÷ 3000 rot/min este caracteristic fiecărui tip de pompă și, la noi în țară, pompa se livrează cu motorul de antrenare. În cazul în care pompele vor lucra în medii deosebite (umiditate mare, pericol de explozie, medii agresive etc.), se livrează motoare de construcție specială, adecvate mediului. Pentru o alegere corectă a motoarelor în special, dar și a ansamblului pompă-motor, proiectantul sau beneficiarul acestuia trebuie să indice fabricii constructoare toate elementele necesare.

• *Cuplajul și arborele motor* de transmitere a mișcării (puterii) de la motor la pompă poate fi de tip obișnuit, sau special, în cazul în care pompa se află la distanță de motor; este vorba de pompele cu ax vertical, unde, pentru a fi ferit de umezeală excesivă, motorul nu se amplasează la nivelul

pompei, care de obicei este înecată, ci deasupra acesteia la o cotă convenabilă, de obicei neinundabilă.

• *Lagărele de rezemare* a arborelui motor sînt elemente fixe care asigură o poziție fixă a arborelui, astfel încît eforturile de încovoiere care ar apare să fie minime și să nu ducă la distrugerea acestuia. La trecerea arborelui mobil prin carcasa fixă a pompei, etanșarea se asigură cu o garnitură specială de frînghie de azbest grafitat, presată convenabil cu o flanșă cu gît (la fel ca la piesa de trecere etanșă a conductelor prin pereți) de o construcție specială. Această etanșare este numită în mod curent *presetupă* (presgarnitură).

• *Placa de bază* este un element metalic (din profile de oțel de cele mai multe ori; la pompele mai vechi este turnată din fontă) care ajută la fixarea rigidă a motorului electric de antrenare, centrat cu pompa, astfel încît ansamblul să fie ușor de transportat și montat. Această placă (șasiu) se poate rigidiza cu ajutorul unor buloane de scelment *(prezoane)*, încastrate în poziții convenabile în betonul de fundație.

Electropompa se caracterizează prin puterea instalației și valoarea debitului și presiunii realizate. Puterea pompei se calculează cu relația:

$$P_p = \frac{\gamma Q H}{102 \eta_p} \quad [\text{kW}], \tag{5.1}$$

iar puterea motorului cu relația:

$$P = K \frac{P_p}{\eta_m} = K \frac{\gamma Q H}{102\, \eta_m \eta_p} = K \frac{\gamma Q H}{102\, \eta} \quad [\text{kW}], \tag{5.2}$$

în care: Q este debitul pompat, în m³/s;

H — înălțimea de pompare, în m;

γ — greutatea specifică a apei (sau lichidului pompat) pompate, în daN/dm³;

η_p — randamentul pompei;

η_m — randamentul motorului electric;

η — randamentul agregatului pompă-motor ($\eta_p \eta_m$) racordat în poziția de lucru (valoarea curentă a randamentului este 0,6 ÷ 0,8, dar sînt și pompe a căror randament este 0,2 ÷ 0,4);

K — factor de supraîncărcare, supraunitar, pentru a ține seama de efortul sporit în momentul pornirii (suprasarcină de 20 ÷ 50%).

Dacă se ține seama că pe un agregat pompă-motor se așează un anume tip de pompă cu un anumit motor cu putere și turație relativ constante, se poate deduce că pentru acel agregat relația de mai sus conduce la curbele caracteristice din figura 5.2.

Asemenea curbe caracteristice, *care ar trebui să însoțească orice pompă livrată beneficiarului*, permit determinarea imediată a oricăror parametri de funcționare, cunoscînd debitul realizat de pompă sau înălțimea de pompare. Dacă instalația permite măsurarea puterii absorbite din rețea, se poate determina și randamentul general.

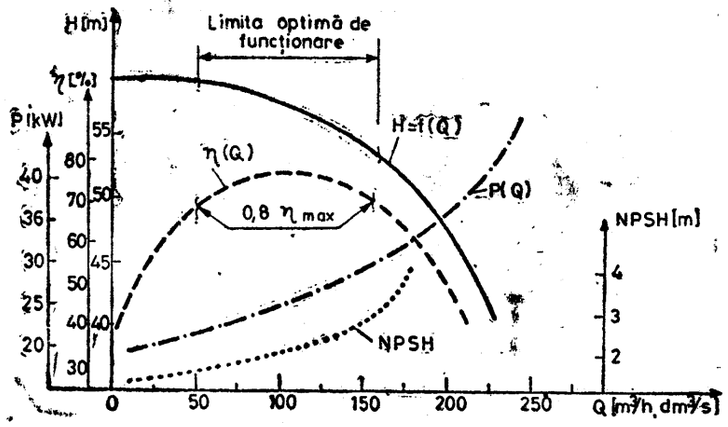


Fig. 5.2. Curbele caracteristice ale unei pompe centrifuge.

5.2.2. POMPE FABRICATE ÎN ROMÂNIA ŞI DOMENIILE DE UTILIZARE (12)

În comanda pentru livrarea de pompe, beneficiarul trebuie să specifice neapărat următoarele elemente:

— lichidul vehiculat (pompat);

— debitul pe unitatea de pompare (pompă), debitul total pompat şi înălţimea de pompare;

— eventualele condiţii privind locul de aspiraţie şi refulare (poziţia ştuţurilor), impuse de o construcţie existentă sau de către o instalaţie hidraulică la o staţie de pompare la care se schimbă pompele;

— înălţimea de aspiraţie dorită sau necesară, în cazul construcţiilor existente şi modul de asigurare a vacuumului în instalaţie;

— tipul maşinii de antrenare şi tensiunea de alimentare între faze (în cazul electropompelor);

— mediul în care va funcţiona pompa (agresiv, cu pericol de explozie, umezeală ridicată, cufundată în apă etc.);

— date legate de locul şi termenul de expediere (denumirea completă a beneficiarului, adresa exactă, termenul de punere în funcţiune, obiectivul pentru care se livrează, modul de plată etc.).

Majoritatea acestor elemente sînt cuprinse într-un formular (Cerere de ofertă), pe care fabrica îl pune la dispoziţia celor interesaţi.

Cîteva din tipurile de pompe, care au fost livrate şi sînt în funcţiune, sînt menţionate succint în cele ce urmează.

• *Pompe LOTRU* (L), *CERNA* (C), *CRIŞ* (CR) — pentru lichide curate, neagresive, cu temperatura pînă la 105 °C şi vîscozităţi pînă la 5 °E (grade Engler).

Exemplu de notare la o pompă ce asigură $Q = 240$ m³/h şi $H = 36$ m:

$$L\ \frac{125a}{37/3000}$$

Această inscripţie semnifică: L — tipul pompei (LOTRU); 125 — diametrul stuţului de aspiraţie, în mm; a — simbol pentru dimensiunea

diametrului rotorului; 37 — puterea motorului de antrenare, în kW; 3000 — turaţia motorului, în ture/min.

• *Pompe SADU* (S) — sînt pompe multietajate pentru pomparea apei curate, cu debitul cuprins între 2 ÷ 100 m³/h şi înălţimea de pompare de 8 ÷ 180 m coloană apă.

Exemplu de notare a pompelor:

$$\frac{\text{S } 65 \times 4a}{7{,}5/2950},$$

cu semnificaţia: S — SADU; 65 — diametrul ştuţului de aspiraţie, în mm; 4 — numărul de etaje (rotoare); a — tipul de rotor (mărimea); 7,5 — puterea motorului, în kW; 2950 — turaţia de regim, în ture/min. Atît aspiraţia cît şi refularea sînt radiale faţă de carcasa pompei.

• Pompele *SIRET* şi *NDS* sînt pompe monoetajate, cu dublu flux, pentru ape curate, cu temperatura sub 100 °C, necorozive. Aspiraţia şi refularea sînt tangenţiale la pompă. Sensul de rotaţie al pompelor poate fi la stînga sau la dreapta, după nevoie — sens care trebuie să fie indicat fabricii furnizoare.

Gama de fabricaţie este următoarea:

SIRET: $Q = 400 \div 7100$ m³/h, $H = 7 \div 40$ m col. apă, turaţie 490 ÷ 1450 ture/minut, putere motor 30 ÷ 500 kW;

NDS tip (4 ÷ 14): $Q = 360 \div 6200$ m³/h, $H = 44 \div 96$ m col. apă;

NDS tip (18 ÷ 24): $Q = 1100 \div 5400$ m³/h, $H = 27 - 88$ m; puterea motoarelor pînă la 550 kW, iar turaţia 490 ÷ 1450 ture/min. Sînt pompe utilizate la debite mari, fiind robuste în funcţionare (tensiunea de alimentare a motoarelor de 6000 V).

Observaţie: Pompele de acest tip se livrează uneori fără placă de bază sau şasiu. Ele se montează independent de motor şi de aceea, la amplasarea buloanelor de prindere, trebuie să fie dată o atenţie maximă. Centrarea se realizează pe postament, pe loc, în momentul montării.

• *Pompe HEBE* — electropompe verticale, multietajate, submersibile, folosite pentru pomparea apei curate cu temperatură redusă (sub 30 °C). Se folosesc în special pentru pomparea apei din puţuri; au gabarit redus $D = 200$ mm şi lungimea de circa 1,50 m. Gama de pompe produse acoperă domeniul: $Q = 5 - 40$ m³/h, $H = 10 \div 100$ m. Exemplu de notare: EP/30 Hebe 50 × 4. Semnificaţia elementelor: EP — electropompă; 30 (·100) — turaţia, în ture/min; HEBE — numele pompei; 50 — diametrul conductei de refulare, în mm; 4 — numărul de etaje (rotoare). În producţia de serie există şi pompe mai mari; cu: $Q = 120$ m³/h şi $H = 120$ m, cu motoare de 10 ÷ 63 kW.

• *Pompe cu inel de lichid MIL* — sînt pompe auxiliare, folosite pentru realizarea vacuumului în instalaţiile de pompare (şi în alte domenii).

Sînt pompe care lucrează cu arborele excentric şi etanşare cu apă, putînd realiza vacuum mediu de 160 mm Hg presiune absolută, sau vacuum înalt de 30 mm presiune absolută. Gama de fabricaţie acoperă domeniul $Q = 30 - 660$ m³/h (dacă apa de alimentare a pompei are 15 °C, altfel debitul trebuie să fie corectat conform indicaţiilor din catalogul de pompe). Exemplu de notare: MIL 403 × 2, cînd este multietajată (vacuum înalt) sau MIL 402, cînd este monoetajată (vacuum mediu).

Câteva tipuri de pompe de serie fabricate de AVERSA București:

- *Pompe NC* — pentru debite de $5 \div 1000$ m³/h și înălțimi de pompare de $10 \div 200$ m; pompele sînt asemănătoare pompelor din seria L, C, CR;
- *Pompe RDT* — pompe cu ax orizontal cu debite de $250 \div 1000$ m³/h și înălțimi de pompare de $80 \div 200$ m; aspirația și refularea sînt deasupra pompei (tangențiale-verticale);
- *Pompe RDC* — pompe cu ax orizontal, cu debite de $100 \div 2000$ m³/h și înălțimi de pompare de $60 \div 300$ m; aspirația și refularea sînt deasupra pompei (tangențial-vertical);
- *Pompe RD* — pompe cu ax orizontal, asemănătoare pompelor NDS, cu debitul de $100 \div 5000$ m³/h și înălțimea de pompare de $10 \div 100$ m.
- *Pompe* MO — pompe cu ax orizontal asemănătoare pompelor SIRET, cu debit de $500 \div 4000$ m³/h și înălțimea de pompare de $5 \div 15$ m.
- *Pompe MA* — pompe cu ax vertical cu debit de $50 \div 300$ m³/h și înălțime de pompare de $10 \div 130$ m;

Conform prevederilor normative, notarea pompelor se face:

NC 200—125—400,

specificînd: tipul pompei (NC); diametrul ștuțului de aspirație (200 mm); diametrul ștuțului de refulare (125 mm); diametrul rotorului pompei (400 mm). Aceeași pompă (carcasă) poate fi echipată din fabricație cu mai multe rotoare, curba caracteristică fiind specifică fiecăreia din dimensiunile rotorului.

5.3. DIMENSIONAREA HIDRAULICĂ A STAȚIEI DE POMPARE

5.3.1. DETERMINAREA TIPULUI DE POMPĂ

Principala operațiune în dimensionarea hidraulică a stației de pompare o constituie alegerea pompelor și verificarea punctului de funcționare.

După cum a rezultat din figura 4.1, determinarea tipului de pompă și a numărului de pompe (aceasta este de fapt operațiunea de alegere pompelor) *se poate face numai în concordanță directă cu sistemul hidraulic în care vor funcționa* aceste pompe. În mod expres, trebuie să fie cunoscut cel puțin diametrul și lungimea conductei de refulare, diferența geodezică de cote H_g (înălțimea geodezică de pompare) și tipul de captare sau destinația stației de pompare (caracteristicile apei pompate, caracteristicile apei în zona secțiunii de priză).

Pentru ca debitul necesar să fie transportat, se poate determina, după metodologia arătată mai înainte, diametrul economic al conductei de refulare, diametrul (care poate fi și el economic) conductei de aspirație și înălțimea totală de pompare cu relația (v. fig. 4.1):

$$H = H_g + h_{ra} + h_{rr} \ [\text{m}], \qquad (5.3)$$

în care cu h_{ra} și h_{rr} au fost notate pierderile de sarcină pe conductele de aspirație, respectiv de refulare.

Cunoscînd cele două elemente de bază, Q, în m³/h și H, în m, și utilizînd catalogul de pompe [11], [12], după cunoașterea domeniului de folosire a diferitelor tipuri de pompe, se alege pompa respectivă. Pentru o alegere mai rapidă a tipului de pompă pot fi folosite grafice sintetice, precum cel din figura 5.3.

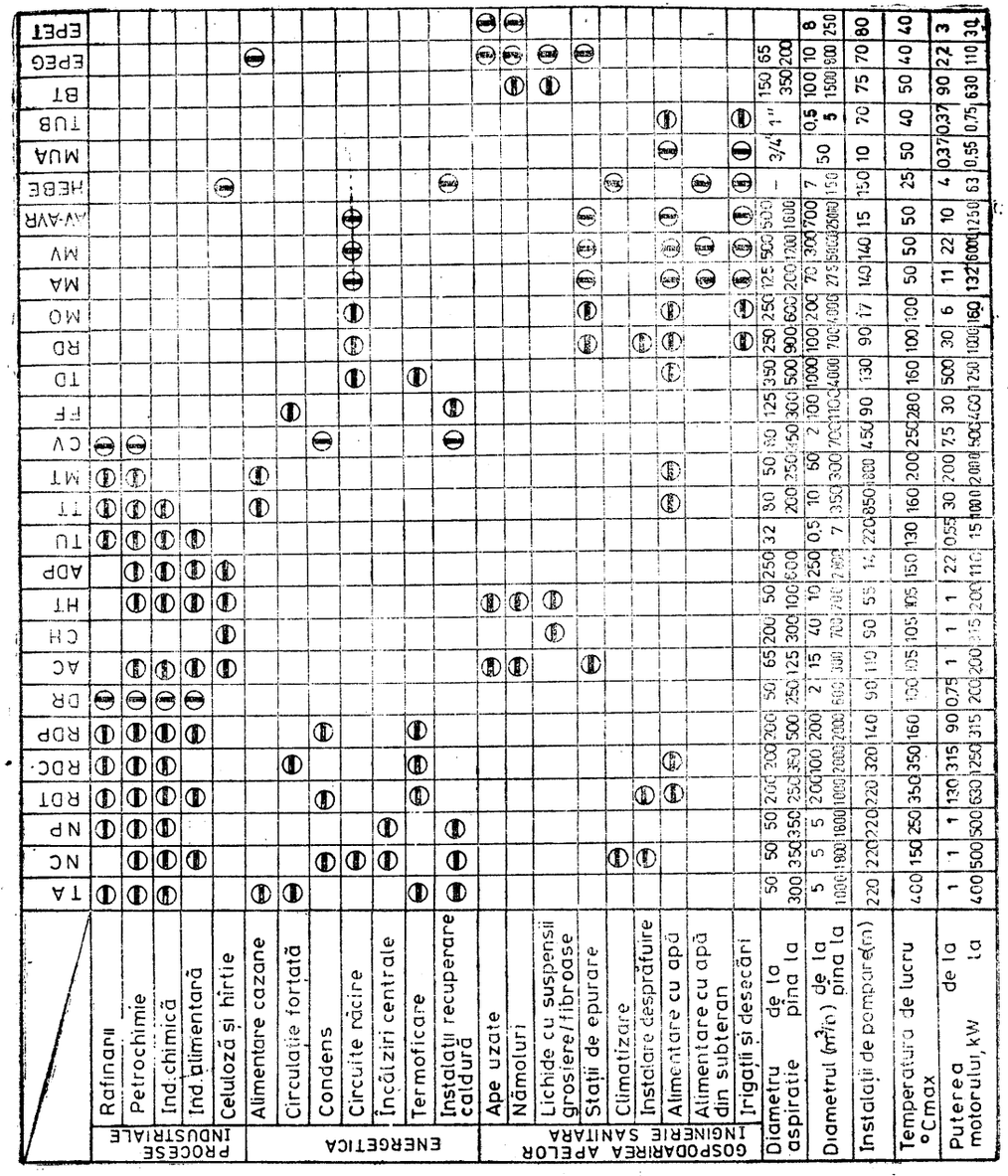
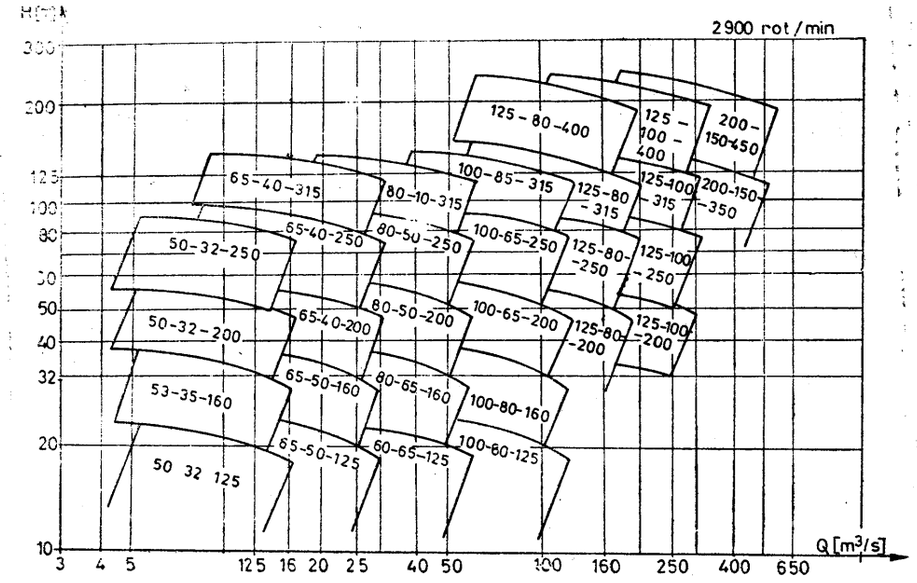
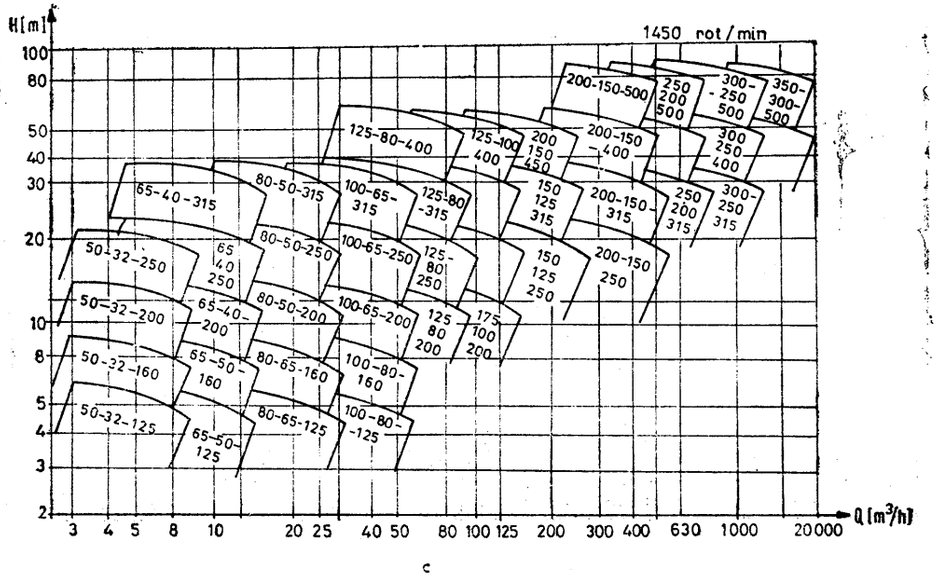


Fig. 5.3. Tipuri de pompe fabricate de AVERSA București [12]: *a* — tabel general cu tipodimensiuni;



b



c

Fig. 5.3 *(continuare)* : *b* — tipodimensiunile de pompe NC cu 2900 rot/min; *c* — tipodimensiunile pompei NC cu 1450 rot/min.

Pot fi întîlnite în general trei cazuri distincte:

— *cazul I*, cînd pentru debitul şi înălţimea necesară se găseşte un tip de pompă;

— *cazul II*, cînd valoarea debitului necesar este mai mare decît orice valoare a debitului pompelor fabricate în producţie curentă;

— *cazul III*, cînd valoarea presiunii cerute este mai mare decît a oricărei pompe fabricate curent.

Cazul I — în catalog se găseşte o pompă pentru valorile Q, H date; se adoptă acea pompă, iar pentru siguranţă în funcţionare se mai prevede încă o pompă de acelaşi tip şi mărime, ca rezervă; în exploatare, pompele vor funcţiona alternativ, astfel încît uzura să fie aproximativ egală şi să se poată face o întreţinere bună.

Cazul II — în catalog, se găseşte un tip de pompă care să asigure presiunea cerută (H), dar care nu acoperă debitul necesar. Debitul care trebuie pompat este cu mult mai mare. Se recurge la prevederea unui număr mai mare de pompe legate în paralel, astfel încît suma debitelor tuturor pompelor active să fie egală cu debitul total de pompat. Se mai poate recurge la o asemenea soluţie şi în cazul în care debitul pompat trebuie să fie asigurat după un program variabil (de la simplu la dublu, de exemplu). În acest caz, se alege o pompă pentru debitul minim necesar continuu şi, pentru diferenţa de debit, se adoptă pompe suplimentare, preferabil şi indicat de acelaşi tip; pompele vor funcţiona după un anume program, cunoscut şi aplicat de beneficiar, sau prin acţionare automată. În cazul funcţionării mai multor pompe în paralel, trebuie să se verifice *punctul real de funcţionare* (este recomandabil şi pentru cazul cînd funcţionează o singură pompă), deoarece apare un fenomen de *comprimare a debitului* (suma debitelor unitare a tuturor pompelor care funcţionează individual este mai mare decît debitul total realizat de toate pompele active care funcţionează simultan). Fenomenul este reflectat sugestiv în graficul din figura 5.12. Punctul de funcţionare se determină după următoarea metodologie.

Pe acelaşi grafic şi la aceeaşi scară se reprezintă: *curba de funcţionare a conductei* prin ecuaţia $H = H_g + MQ^2$ (M este modulul de rezistenţă) şi *curba de funcţionare pentru o pompă*, luată din catalog sau trasată prin valorile caracteristice din tabele pentru acelaşi tip de pompă (NC 125-100-250). Pentru a obţine curbele a două pompe, 3 pompe ş.a.m.d., se multiplică debitul pentru aceeaşi valoare a înălţimii (a, $2a$, $3a$ pe fig. 5.12). Punctul de intersecţie între curba conductei şi curba de pompare pentru o pompă permite determinarea debitului şi înălţimii de pompare pentru o pompă (H_1, Q_1), pentru 2 pompe (Q_2, H_2) ş.a.m.d. Se observă că suma debitelor nQ_1 este mult mai mare (cu atît mai mare, cu cît curba conductei este mai accentuată, diametrul este mai mic) decît debitul total $\sum_{i=1}^{n} Q_i$ realizat de toate pompele funcţionînd simultan. În exemplul care urmează (aplicaţia 8) se va vedea de ce ordin de mărime poate fi această diferenţă. Este foarte importantă această verificare, deoarece de multe ori se procedează simplist, căutînd o pompă care satisface condiţia $H_1 = H$ şi $nQ_1 = Q$, ceea ce, după cum s-a văzut, poate avea efecte neplăcute în exploatare, prin nerealizarea debitului solicitat. Din păcate, acest lucru se constată abia după punerea în funcţiune a staţiei de pompare, cînd înlocuirea pompelor nu mai este posibilă (nu se găsesc pompe mai mari, iar dacă sînt, aceste pompe mai mari nu se pot înscrie în gabaritul exis-

tent) sau nu se poate extinde stația de pompare, decît cu eforturi nejustificate.

Pentru pompele active, se prevăd și pompe de rezervă (în general, pentru pînă la 3 pompe active se prevede o pompă de rezervă pentru astfel încît stația va avea 3 + 1 pompe; pentru 3 ÷ 7 pompe active, pot fi prevăzute două pompe de rezervă; pentru 7 ÷ 8 pompe, pot fi prevăzute 3 sau chiar mai multe pompe de rezervă).

Dacă pe același grafic se desenează și curba randamentului total, se observă că randamentul ansamblului poate fi cu atît mai mic, cu cît numărul de pompe este mai mare, iar curba caracteristică a conductei este mai rapid crescătoare (diametrul a fost ales prea mic sau lungimea conductei este foarte mare).

Cazul III este cazul cel mai complicat de rezolvat; în catalog se găsește o pompă care să asigure debitul solicitat, dar nu se găsește nici o pompă care să asigure înălțimea de pompare necesară. Cauzele pot fi următoarele:

— înălțimea de pompare depășește cu puțin înălțimea pompei disponibile; dacă se recurge la mărirea diametrului conductei de refulare, se reduce pierderea de sarcină pe conducta de refulare, deci și înălțimea necesară de pompare care poate să fie acoperită de o pompă existentă (în acest caz, se trece peste soluția obținută la diametrul economic); pe ansamblu, conducta și stația de pompare (de fapt, în demonstrația făcută pentru diametrul economic la valoarea investiției, ar trebui luată în considerare și cota de amortisment pentru stația de pompare aferentă) conduc la o soluție economică;

— înălțimea geodezică de pompare este mai mare decît înălțimea de pompare a oricărei pompe care ar putea fi luată în considerare; soluțiile ce pot fi adoptate sînt mai numeroase: (1) obținerea înălțimii de pompare în 2 sau 3 stații de pompare, realizate în trepte (de același tip, recomandabil) și echipate similar; avantajul soluției este că se realizează cu utilaje din țară, producție de serie, iar conductele de refulare, lucrînd la presiune relativ redusă, se pot face din materiale nemetalice; costul stațiilor de pompare s-ar putea să fie mai mare din cauza construcției, dar pe ansamblu soluția poate fi mai economică; pentru fiecare din treptele de pompare, problema se rezolvă ca la oricare stație de pompare independentă; există asemenea soluții date pentru alimentarea cu apă la Poiana Brașov, Suceava (fig. 5.4, *a*); (2) legarea în serie a unor pompe de producție curentă pentru care fabrica furnizoare garantează că rezistă la presiunea superioară la care vor lucra; dezavantajele soluției sînt următoarele: pompele nu rezistă la presiuni de 2—3 ori mai mari decît presiunea maximă de regim, randamentul ansamblului de pompe este redus, iar pentru siguranță rezerva trebuie realizată după același procedeu — puterea instalată crește mult; totodată, aducțiunea suportă presiuni mult mai mari, deci va trebui executată din materiale mult mai bune (fig. 5.4, *b*); (3) intervenție la fabrica de pompe, în vederea realizării sau asimilării unui nou tip de pompă (convenabilă) — de văzut costul și timpul minim de execuție (este de preferat soluției precedente); (4) aducerea din import a unor pompe cu caracteristici convenabile; soluția este recomandabilă numai în cazuri foarte bine justificate.

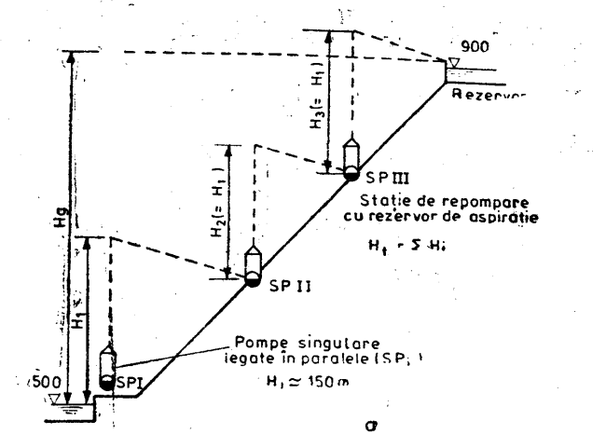
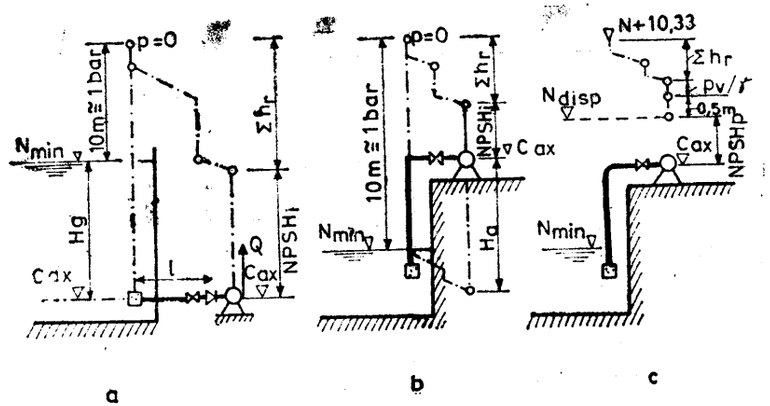


Fig. 5.4. Scheme de amplasare a pompelor: *a* — în stații de pompare așezate în serie; *b* — legarea în serie-paralel într-o singură treaptă de pompare.

5.3.2. DETERMINAREA COTEI AXULUI POMPEI

Determinarea cotei axului pompei este una din cele mai importante probleme legate de funcționarea corectă a pompelor centrifuge. O cotă aleasă incorect sau o pompă aleasă incorect pentru stația respectivă pot conduce de la nefuncționarea pompei (pompa se dezamorsează rapid, deci se uzează fără a realiza pomparea debitului necesar de apă) pînă la funcționare continuă, dar într-o zonă de cavitație (zgomot, uzura rapidă a motorului, consum mare de energie), sau funcționare la un debit redus.

Cota axului se poate determina: (1) cunoscînd înălțimea maximă de aspirație pentru pompă (H_a) — această caracteristică $H_a = f(Q)$ este furnizată de fabrica producătoare — se compară H_a cu înălțimea de



a b c

Fig. 5.5. Funcționarea pompei fără cavitație: *a* — verificarea NPSH la o pompă înecată; *b* — verificarea NPSH la o pompă cu amorsare; *c* — calculul cotei axului pompei folosind curba NPSH dată de furnizor.

aspirație realizată în sistem și dacă $H_{a\ sistem} < H_{a\ pompă}$, pompă va funcționa bine; (2) prin calculul *NPSH* (Net Positive Suction Head, fig. 5.5).

Dacă se calculează cota axului, atunci:

$$C_{ax} = N_{min} + 10{,}33 - \Sigma h_r - \frac{P_v}{\gamma} - 0{,}5 - NPSH_{pompă}, \qquad (5.4)$$

iar dacă se verifică funcționarea pompei:

$$\text{NPSH}_{instalație} > \text{NSPH}_{pompă} + 0{,}5 \quad [\text{m}] \qquad (5.5)$$

$$NPSH_{instalație} = N_{min} + 10{,}33 - \Sigma h_r - \frac{P_v}{\gamma} - C_{ax} \quad [\text{m}], \qquad (5.6)$$

în care: N_{min} este cota nivelului minim al apei în bazinul de aspirație;

10,33 — echivalentul, în m. col. apă, a presiunii atmosferice (1,0 bar); cînd altitudinea punctului este diferită de cota zonei de cîmpie, deal (peste 500 m), atunci valoarea 10,33 va fi înlocuită de presiunea barometrică a punctului respectiv (10,33 — $A/900$, în care A este cota punctului, în m.d.M);

Σh_r — mărimea pierderilor de sarcină între secțiunile de intrare în sorb și intrare în pompă, în m;

p_v/γ — presiunea de vaporizare a apei pompate (v. tab. 5.2), în m.col. apă;

0,5 — înălțimea de siguranță, în m.

$NPSH_{pompă}$ — caracteristică a pompei, furnizată de fabrică, în m;

$NPSH_{instalație}$ — mărimea presiunii absolute asigurată de instalație în secțiunea pompei, în m.

Din cota axului pompei se poate deduce cota radierului construcției stației de pompare.

Funcție de jocul valorilor *NPSH*, cota axului pompei poate rezulta mai mare decît nivelul apei, egală sau mai mică. Pompele cu cota axului mai mică decît cota nivelului apei (nivelul minim în bazinul de aspirație) se numesc și *pompe înecate* (fig. 5.5, *a*). *Pompele neînecate* (fig. 5.5, *b*), au cota axului mai mare decît cota nivelului apei și nu vor funcționa, decît dacă, printr-un mijloc (procedeu) suplimentar, *se va asigura în prealabil umplerea lor cu apă* (pompele vor fi *amorsate*).

Cota axului la o stație nouă se determină astfel (fig. 5.5, *c*):

— se stabilește cota minimă a nivelului apei în bazinul de aspirație (N_{min});

— se stabilește valoarea cotei piezometrice absolute în secțiunea sorbului ($N + 10{,}33$);

— se calculează pierderile de sarcină pe drumul apei pînă la pompă (Σh_r);

— se caută sau se calculează presiunea de vaporizare a apei la temperatura și altitudinea punctului de amplasare a stației de pompare (v. tab. 5.2);

— se calculează cota piezometrică absolută în secțiunea pompei;

— se lasă o siguranță de 0,50 m și se găsește cota piezometrică absolută disponibilă în axul pompei (N_{disp});

— se caută în curba caracteristică a pompei, la debitul maxim pompat (de o pompă), valoarea *NPSH*;

— se scade $NPSH_{pompă}$ din cota piezometrică disponibilă și se determină *cota maximă a axului pompei* (C_{ax}).

Calcule numerice de exemplificare sînt date în aplicația 8.

Observație:

• dacă în stația de pompare sînt mai multe tipuri de pompe (din motive tehnologice), cota axului va fi determinată pentru pompa cu cel mai mare *NPSH*;

• dacă într-o stație de pompare, o pompă se schimbă prin înlocuirea cu o pompă de alt tip, este necesar ca *NPSH*-ul pompei noi să fie egal sau mai mic decît *NPSH*-ul pompei înlocuite.

5.3.3. DIMENSIONAREA INSTALAȚIEI HIDRAULICE

Cunoscînd tipul de pompă, numărul de pompe și cota axului pompei, se poate alcătui instalația hidraulică. Instalația hidraulică pînă la pompă se numește aspirație, iar instalația hidraulică de după pompă (pe fluxul apei) se numește refulare.

Aspirația se dimensionează astfel încît pierderea de sarcină să fie redusă. De obicei, se acceptă o viteză de 0,6 ÷ 1,0 m/s (viteze mici la conducte mici, viteze mari la conducte mari). Lungimea conductei trebuie să fie cît mai mică, iar numărul de armături minim.

Refularea se dimensionează astfel încît pierderea de sarcină să aibă valori acceptabile, iar instalația să nu rezulte prea complicată. Se acceptă, de regulă, valoarea vitezei apei de 0,8 ÷ 1,5 m/s (viteze mici pentru conducte mici — sub 200 mm).

5.4. CLĂDIREA STAȚIEI DE POMPARE

Prin stație de pompare se înțelege de obicei complexul de construcții, utilaje și instalații care asigură transferul unei energii exterioare (electrică, termică, eoliană, hidraulică sau chiar umană) în energie hidraulică, în scopul ridicării unei cantități de apă la o cotă superioară (sau la distanțe) locului de captare.

Stația de pompare este formată din:

— clădirea stației de pompare;
— utilajul de pompare format din pompă și motor;
— instalația hidraulică pentru asigurarea circulației apei între bazinul de aspirație și legătura la conducta de refulare;
— instalație electrică de forță, iluminat, semnalizat;
— instalație de încălzire, ventilație;
— instalație de automatizare sau/și telecomandă;
— utilaje de ridicat;
— mijloace de comunicație;
— construcții anexe (post trafo, cazare personal etc.);
— zona de protecție sanitară, dacă apa pompată este apă potabilă.

În cazuri justificate, clădirea stației de pompare poate fi înglobată în alte construcții sau înglobează spații construite pentru alte folosințe (legate de exploatarea de apă).

O stație de pompare cu funcționare continuă pentru o exploatare ușoară și sigură are o clădire închisă.

Clădirea se execută în general din materiale și cu tehnologii curent folosite: beton armat pentru infrastructuri (comune sau nu cu bazinul de aspirație); betonul armat (turnat pe loc sau din elemente prefabricate), zidăria de cărămidă, metalul pentru suprastructură. Din motive de ușurință a execuției, este preferabil ca acoperișul să fie prevăzut din elemente prefabricate.

Forma și mărimea construcției depind de: tipul, mărimea și numărul de agregate (pompă+motor); cota radierului construcției; prezența apei subterane; caracteristicile terenului de fundare; modul de execuție (în săpătură deschisă sau în cheson); durata estimată de existență a stației (construcții provizorii sau construcții definitive).

Cîteva scheme constructive mai des folosite în alimentări cu apă, care vor lămuri aceste condiții, sînt date în figura 5.6, iar o grupare aproape completă a schemelor constructive posibile este dată schematic în literatura de specialitate [40], [44], [21], [13], [28].

Cînd nivelul apei în bazinul de aspirație este ridicat, iar terenul de construcție are apă subterană la o cotă joasă, se poate executa o construcție pe sol (fig. 5.6, *a*), pompele fiind fundate separat de construcție, iar construcția avînd fundație continuă (pentru construcția de zidărie portantă) sau discontinuă (pentru construcția din cadre formate din stîlpi și rigle). Construcția rezultă suficient de economică, iar conductele, pentru a nu împiedica circulația, sînt grupate într-un canivou sub pardoseală; există și stații de pompare cu subsol tehnic. În cazul pompelor mari, se prevăd și dispozitive de ridicat (trepied cu palan, grindă monorai, grindă rulantă sau pod rulant).

Pentru a putea fi scoase utilajele fără a deranja pe cele în funcțiune, înălțimea construcției trebuie să fie aleasă astfel încît dispozitivul mobil de ridicat, ținînd piesa cea mai mare în cîrlig, să poată fi deplasat peste

celelalte pompe, cu o gardă de 0,5 m. Dacă încăperea nu are dispozitiv de ridicat, înălțimea poate fi de 2,50 ÷ 3,00 m. În plan, încăperea va fi rectangulară, dimensiunile stabilindu-se astfel: fundația pompelor va depăși cu 10 ÷ 20 cm dimensiunile plăcii de bază (șasiului); între pompe se va lăsa o distanță egală cu lățimea agregatului, dar cel puțin 0,8 ÷ 1,0 m; la pompe cu motoare de 6000 V, între motorul pompei și peretele lîngă care se așază panoul de comandă se lasă 2,5 m, iar între agregate și perete cel puțin 0,8 m; între conducte și perete (sau altă conductă paralelă) se lasă minimum 0,25 m; ușile trebuie să permită introducerea utilajului reparat sau scoaterea pentru reparație. Este preferabil ca instalația hidraulică să fie grupată pe o singură parte, opusă tabloului de comandă. Dacă în perioada de iarnă pierderea de căldură prin pereți este mare, mai mare decît cea degajată de motoarele în funcțiune, astfel încît temperatura scade sub 5°C, vor fi prevăzute mijloace de încălzire (sobe, la construcțiile mai izolate sau încălzire centrală cu apă caldă sau abur, cînd construcția este aproape de o centrală termică).

La stații importante, se prevede o pompă specială pentru epuizment, în care scop pardoseala se execută cu pantă spre o *baș*ă, convenabil aleasă în zona conductelor. Construcția trebuie să permită amplasarea instalației de vacuum și este recomandabil să aibă asemenea dimensiuni, încît să permită folosirea prefabricatelor pentru suprastructură (stîlpi, grinzi, chesoane de acoperiș, tîmplărie etc.). La definitivarea soluției, se va consulta un catalog de prefabricate, precum și cataloagele pentru proiecte tip pentru stații de pompare (elaborate de IPCT, ISLGC). În acest scop, distanța între stîlpi va fi de 3, 4, 5, 6 m. Cînd nivelul apei în bazinul de aspirație este coborît sau pompele trebuie să fie așezate înecat (cota axului sub nivelul apei în bazinul de aspirație), se recurge la îngroparea construcției.

Dacă nivelul apei subterane nu ajunge la nivelul radierului pompelor, se poate face o infrastructură cu pereți tip zid de sprijin (fundație proprie), iar pompele sînt fundate separat pe fundații izolate alese convenabil (fig. 5.6, *b*). Dacă nivelul apei subterane ajunge periodic la nivelul pompelor, poate face o cuvă subterană în care se vor amplasa pompele, iar dacă nivelul apei este permanent peste nivelul radierului, se recomandă ca la această cuvă să se prevadă izolație hidrofugă bine executată (deoarece o asemenea construcție trebuie să poată fi utilizată zeci de ani). În acest caz, trecerea prin pereți se va face cu *piese de trecere etanșă*. Pompele vor fi coborîte, astfel încît să se realizeze înălțimea maximă de aspirație. Lîngă construcția cu subsol se poate prevedea o mică anexă, avînd nivelul la sol, în care să se găsească un mic atelier, piese de rezervă, un grup sanitar pentru personalul de deservire și un mic birou pentru personal (cînd construcția este complet izolată). Aceste anexe vor trebui să fie încălzite, deoarece căldura degajată de motoare, care de regulă ajunge să încălzească încăperea pompelor, nu este suficientă pentru anexe. În aceste anexe se poate găsi și panoul pentru comandă automată (la pompele ale

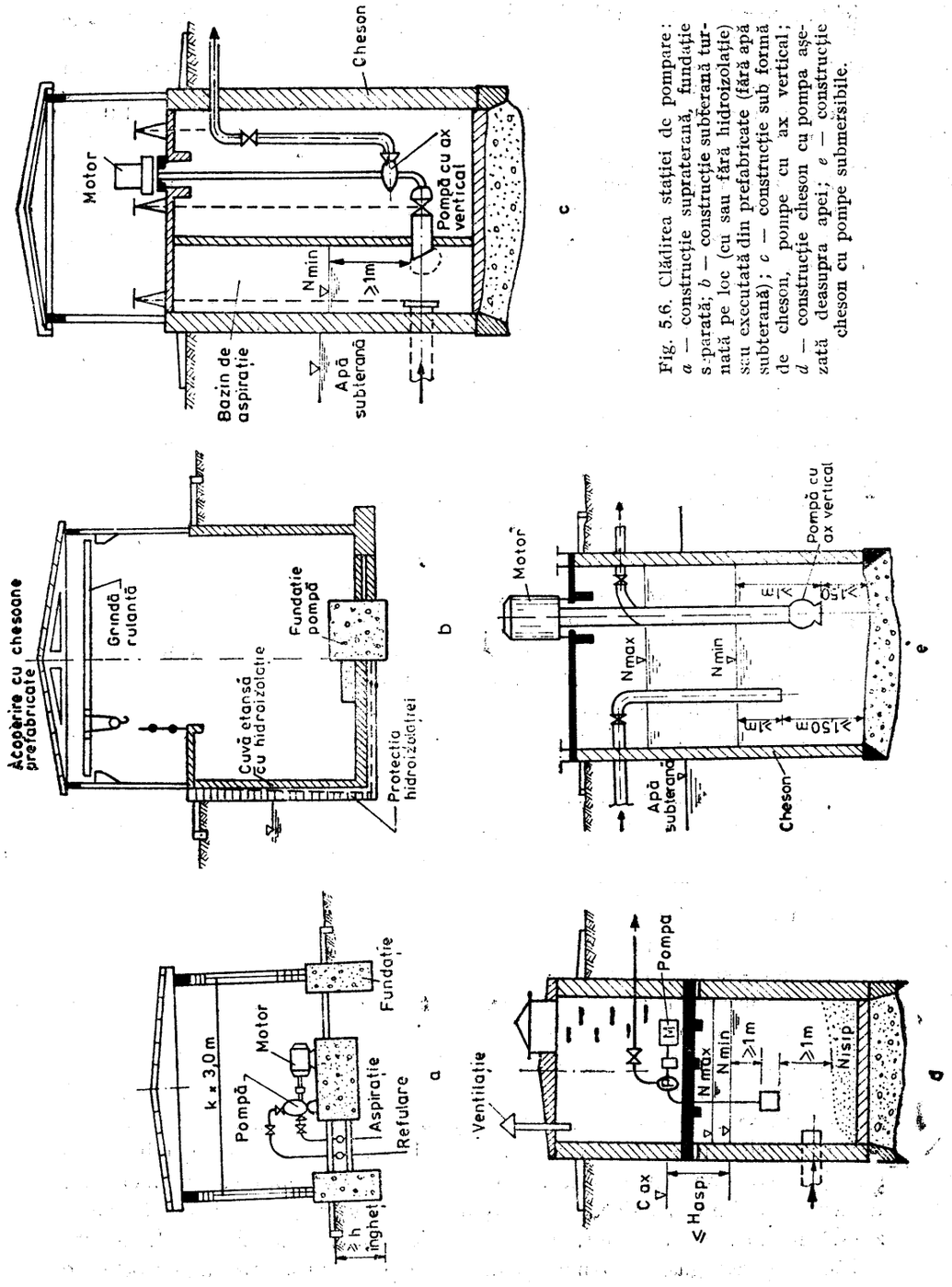


Fig. 5.6. Clădirea stației de pompare: *a* — construcție supraterană, fundație separată; *b* — construcție subterană turnată pe loc (cu sau fără hidroizolație) sau executată din prefabricate (fără apă subterană); *c* — construcție sub formă de cheson, pompe cu ax vertical; *d* — construcție cheson cu pompa așezată deasupra apei; *e* — construcție cheson cu pompe submersibile.

căror motoare lucrează la 6000 V) și eventual celulele stației de transformare (înaltă și joasă tensiune). La proiectare, este obligatoriu să se verifice construcția și la *plutire*, luînd toate măsurile adecvate.

La debite mari și niveluri coborîte ale apei, în bazinul de aspirație, în cazul existenței pompelor cu ax vertical, se recurge la executarea infrastructurii stației în cheson cu cameră umedă, pentru apă și cameră uscată pentru pompe (fig. 5.6, *c* și *d*) sau cu pompele scufundate chiar în bazinul de aspirație (cazul pompelor MA, MV, fig. 5.6, *e*). În ultimul caz, trebuie avut în vedere ca spațiul de manevră de deasupra să permită scoaterea elementelor demontabile ale utilajului; eventual, se lasă un chepeng special în acoperiș pentru scoaterea pieselor cu o macara mobilă amplasată în exterior. Verificarea la plutire și prevederea de piese etanșe este obligatorie.

Dacă stația de pompe are un debit redus și este izolată, pot fi amplasate pompele chiar deasupra bazinului de aspirație (ca în cazul puțurilor colectoare, la captarea apei subterane), avînd în vedere: să fie realizată înălțimea de aspirație la pompe; să nu fie inundată platforma pompelor în caz de oprire a pompelor și ridicare a nivelului apei subterane (fig. 5.6, *d*).

În străinătate, unde se dispune de o gamă mai largă de pompe submersibile, de tip HEBE, s-a folosit sistemul cu amplasarea de grupe de pompe în bazinul de aspirație, susținute direct prin conducte de refulare. Dimensiunea chesonului rezultă foarte mică, gabaritul acestor pompe fiind redus (200 ÷ 300 mm).

În cazul construcțiilor chesonate sau tip cuvă, pompele se fixează de radierul construcției prin intermediul unei fundații mai mici (10 ÷ 30 cm înălțime), care să preia vibrațiile agregatelor. În cazuri speciale, la agregate mari unde vibrațiile vor fi importante, se pot lua măsuri speciale de fundare prin prevederea de strate izolatoare, fundații izolate de construcție etc. De asemenea, și suprastructura construcției trebuie astfel concepută încît să nu vibreze sau să amplifice vibrațiile, făcînd imposibilă staționarea personalului de exploatare sau producînd în timp deteriorarea construcției.

Construcția trebuie să aibă un aspect arhitectonic plăcut, să se încadreze în ambianța locului de amplasare, dacă este cazul, cu un finisaj corespunzător în interior, ușor de întreținut, rezistent; zona de protecție, de 20 m (apă potabilă), de obicei se plantează cu pomi.

La alcătuirea clădirii, se va da o atenție specială accesului în hală și iluminatului natural (o construcție necorespunzătoare implică o exploatare cu consum mare de energie, neasigurarea apei la beneficiar, pericol de accidente).

La dimensionarea construcției se va ține seama de forța de împingere a apei la coturi, reducții etc., pe lîngă greutatea normală a utilajului. Dimensionarea buloanelor de legare cu fundația se va face la solicitarea maximă a motorului.

5.5. UTILAJUL DE ECHIPARE A STAȚIILOR DE POMPARE

Stațiile de pompare sînt echipate cu următorul utilaj:

— *pompe* de tipul celor enunțate anterior;

— *motoare de antrenare*, care sînt de cele mai multe ori electrice, dar pot fi și termice, independente sau ca rezervă a motoarelor electrice. Cînd sursa de alimentare cu energie electrică poate cădea, iar pompele trebuie să funcționeze continuu (în cazul stațiilor de pompare importante, a pompelor ce asigură debitul de incendiu) și nu se poate asigura alimentarea cu energie electrică din două linii independente, se asigură motoare termice pentru grupuri electrogene sau motopompe; motoarele funcționează la tensiunea de 220÷380 V, dacă puterea este sub 200 kW și la 6000 V, dacă puterea motoarelor depășește 200—300 kW;

— *utilaje de ridicat* prevăzute astfel: pentru agregate mai ușoare de 500 kg, trepiede mobile ca palan; pentru pompe de 500÷3000 kg, *grindă monorai* cu traseu convenabil și *palan* acționat manual (numit și pisică); pentru agregate cu greutatea de 3÷5 t, se prevede *grindă rulantă*, iar la agregate peste 5 t, se prevăd *poduri rulante* cu acționare electrică de la distanță.

Amplasarea agregatelor în stația de pompare se face în funcție de tipul pompelor, astfel încît să se obțină o construcție cît mai compactă și care să se preteze la folosirea elementelor prefabricate de construcție.

Pompele mici și cele cu aspirație axială și refulare tangențială se așază în paralel (fig. 5.6), iar cele cu aspirație laterală, în diagonală, în serie sau în paralel.

Pompele vor fi așezate astfel încît să se afle pe o singură parte a construcției. Podeaua construcției va fi cu pantă spre pompă, astfel încît partea opusă, unde sînt motoarele electrice, să rămînă uscată tot timpul.

Motoarele electrice vor fi alimentate cu energie prin cabluri amplasate în canivouri și vor fi bine legate la pămînt pentru evitarea accidentelor.

La manipularea instalațiilor electrice va avea acces numai personalul calificat și autorizat, cu mijloace și echipament de protecție adecvat.

5.6. INSTALAȚIA HIDRAULICĂ ÎN STAȚIA DE POMPARE

Instalația hidraulică este partea de construcție metalică prin care se realizează fluxul apei în stație și se reglează parametrii hidraulici de funcționare ai stației. Instalația este formată din tronsoane de țeavă și piese speciale (ștuțuri, reducții, cruci, coturi), precum și din armături (vane, clapeți de reținere, piese de dilatare sau compensatoare de montaj).

Toate aceste piese se îmbină de obicei cu flanșe. Conducta și piesele de legătură pot fi confecționate din oțel sau turnate din fontă (cap. 3), iar armăturile sînt din fontă sau oțel.

În fluxul apei se deosebesc: *circuitul de aspirație* (prin care apa ajunge la pompe); *circuitul de refulare* (prin care apa cu presiune ridicată este trimisă spre bazinul de refulare aflat la capătul aval al conductei de aducțiune).

Amorsarea pompelor se realizează prin intermediul sistemului de vacuum.

În figura 5.7, sînt reprezentate schematic instalația hidraulică și piesele componente ale unei stații de pompare.

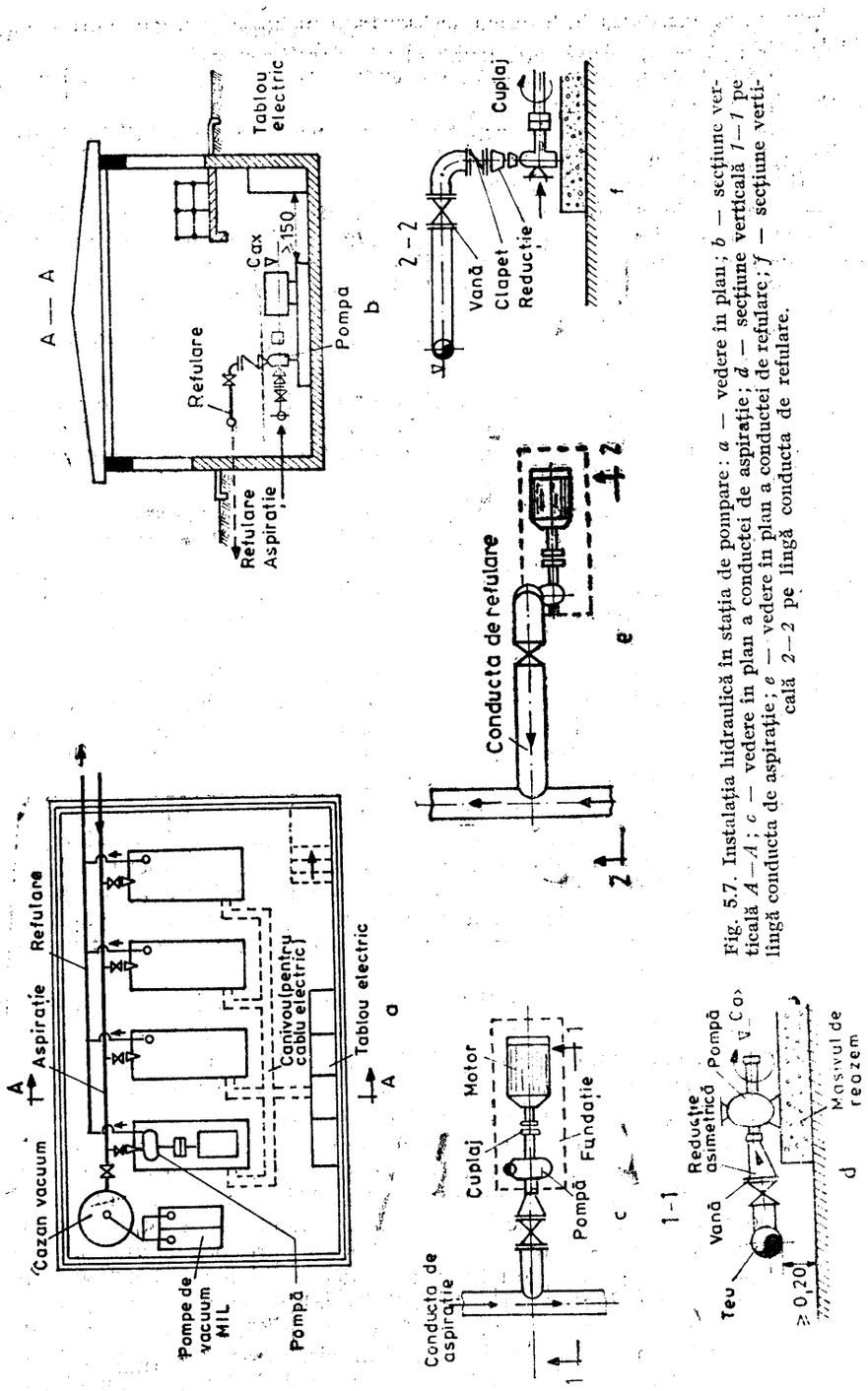


Fig. 5.7. Instalația hidraulică în stația de pompare: *a* — vedere în plan; *b* — secțiune verticală *A—A*; *c* — vedere în plan a conductei de aspirație; *d* — secțiune verticală *1—1* pe lîngă conducta de aspirație; *e* — vedere în plan a conductei de refulare; *f* — secțiune verticală *2—2* pe lîngă conducta de refulare.

Pentru ca instalația hidraulică să satisfacă în bune condiții fluxul tehnologic, trebuie să fie respectate următoarele reguli generale :

— fluxul apei în stația de pompare să fie cît mai simplu,i ar pierderea de sarcină cît mai redusă ;

— toate conductele să fie grupate pe aceeași latură a clădirii, pentru izolare mai bună a instalației electrice, o circulație și o manevră ușoară a utilajului la demontare și montare ;

— conductele să fie așezate astfel încît să nu formeze pungi de aer în dreptul unor piese, pungi care să producă o funcționare cu șocuri a pompelor sau o blocare a capacității de transport ;

— să permită realizarea cu ușurință a manevrelor necesare în funcționarea corectă a pompelor ;

— să permită un acces ușor la toate armăturile prevăzute, în special la cele a căror manevră se face curent.

Conductele se dimensionează la debitul maxim care poate circula în secțiunea respectivă, ținînd seama de faptul că oricare din pompe poate fi pompă de rezervă, la viteza de 0,6÷1,0 m/s, pentru aspirație și 0,8÷1,5 m/s, pentru conductele de refulare.

Atît conducta de aspirație, cît și cea de refulare vor fi montate cu o pantă de minimum 5% în sensul de circulație a apei. Pe aspirație, reducțiile vor fi asimetrice (partea de deasupra va avea o generatoare în prelungirea pieselor vecine), astfel încît aerul să ajungă la partea cea mai înaltă în pompă, de unde poate fi colectat în sistemul de vacuum.

Conducta de aspirație poate fi cu un singur fir, dacă acest lucru este rațional (fig. 5.7) sau poate fi cu mai multe fire, mergînd pînă la prevederea cîte unei conducte pentru fiecare pompă. În ultimul caz, bazinul de aspirație trebuie proiectat cu o deosebită grijă, deoarece se poate produce o curgere cu turbioane, care să ducă la dezamorsarea pompelor (fenomenul de vortex).

Pentru evitarea acestui fenomen (care apare în special la pompele de mare capacitate), pot fi luate măsuri constructive (între axele conductelor de aspirație se lasă o distanță de $2-4D$; sorbul să aibă acoperire de apă de minimum 1,0÷1,50 m ; la fel și sub sorb, se pot amplasa grătare plutitoare pentru a evita apariția ciculației apei etc.) și măsuri de exploatare, între care cea mai importantă este asigurarea unei funcționări continue și line a agregatelor.

Armăturile folosite sînt de tipul celor cunoscute deja (vane, ventile de aerisire). Elementul nou care apare este *clapetul de reținere.*

Constructiv, clapetul este format dintr-o cameră exterioară de o formă specială, care permite rotirea în interior a unei clape plate articulate pe un ax robust sau culisarea unui corp special de închidere.

Clapa (clapetul) permite circulația apei într-un singur sens. Aceasta se așază pe conducta de refulare a pompei și are rolul de a opri circulația apei în sensul invers prin pompă, în cazul în care, dintr-un motiv oarecare, pompa a ieșit din funcțiune, fără ca personalul de exploatare să observe acest lucru. Lipsa acestui clapet poate provoca daune importante : (1) pompa poate ieși din funcțiune, deoarece motorul s-a ars ; în acest caz, apa din conducta de refulare, fiind sub presiunea dată de celelalte pompe, se întoarce prin pompa defectă și ajunge iar în conducta de aspirație sau în bazinul de aspirație, făcînd un circuit scurt și inutil ; (2) se poate întrerupe pentru o perioadă scurtă curentul electric ce alimentează

motoarele ; pompele tind să se oprească din funcțiune, apa din conductă, cînd aceasta este lungă și deci are înmagazinat un volum mare de apă, se întoarce prin pompe, rotindu-le invers ; se poate întîmpla ca turația realizată să fie mai mare decît turația de regim și motoarele se ard sau, în timp ce pompa se rotește invers, ca o turbină (se rotește cu motor cu tot), se restabilește circuitul (instalația de acționare a motorului nu s-a decuplat) și, din cauza inerției, pompa se opune cuplului motor normal ; se poate rupe axul, cuplajul sau se arde motorul. Dacă la o funcționare corectă clapetul protejează pompa, poate produce însă mari probleme aducțiunii. Oprirea sa este relativ bruscă și produce lovitura de berbec, efectele fiind suportate de aducțiune (conducta de refulare). Pentru limitarea loviturii de berbec sînt necesare măsuri adecvate.

Pompele centrifugale, pe lîngă multiplele avantaje pe care le au (funcționare în flux continuu — deci debit constant : viteză mare — deci gabarit redus ; funcționarea în gol — debit zero ; presiune maximă fără efecte distructive imediate asupra instalației ; cuplarea directă cu motoare electrice — cele mai perfecționate motoare etc.), au și un mare dezavantaj : datorită modului de construcție, nu pot funcționa normal decît atunci cînd sînt pline cu apă cel puțin jumătate din carcasă (cel mai bine este să fie umplute complet).

Din această cauză, trebuie să fie realizat un sistem de umplere inițială cu apă a pompelor *(sistem de amorsare)*. Există mai multe sisteme posibile :

- *umplerea manuală cu apă* — pe pompă se prevede o pîlnie, izolată cu un robinet ; sorbul este prevăzut cu clapetă etanșă ; prin turnarea apei în pîlnie, se poate umple toată conducta de aspirație și pompa ; se închide robinetul de la pîlnie și pompa poate porni ; sistemul se aplică la pompe mici sau la pompe mobile ;

- *cu pompe de vacuum de tip MIL* — în stație se amplasează un recipient metalic, cilindric, legat la partea de jos cu conducta de aspirație, iar la partea de deasupra cu pompele de vacuum ; dacă se închide vana de pe refulare de la toate pompele, se realizează un spațiu închis de aer ; pornind pompele de vacuum, acestea vor scoate aerul, iar apa din bazinul de aspirație va umple conducta, pompa și recipientul metalic (numit *recipient de vacuum*), pînă la un anumit nivel, peste cota pompei ; sistemul este amorsat și pompele pot fi pornite ; se dă drumul motorului, pompa ajunge la turația de regim și se deschide progresiv vana de pe conducta de refulare ; dacă vor opri toate pompele, este recomandabil să se închidă întîi vanele și apoi să se oprească motoarele ; se reduce astfel efectul loviturii de berbec, întrucît închiderea vanei se face mai lent decît oprirea mișcării pompei (suprapresiunea din lovitura de berbec este cu atît mai mare, cu cît închiderea este mai rapidă).

În timpul funcționării cu apă, se mai degajă aer, care, prins în cazanul de vacuum, este evacuat automat. Pompele de vacuum pot funcționa continuu, în care caz rezervorul de vacuum are rol de vas tampon și se adoptă constructiv (sînt recipienți standardizați, cu dimensiuni de tipul recipienților cu hidrofor) sau pot funcționa discontinuu, în care caz volumul util al rezervorului (cca. 1/2 din volumul total) se alege, astfel încît pompele să nu pornească decît de maximum 10—15 ori pe oră. În caz contrar, automatele de pornire de la pompe se încălzesc peste limită și se deteriorează, conducînd la scoaterea pompei din funcțiune, sau se supraîncălzește bobinajul, pînă la arderea izolației.

În unele cazuri se mai aplică și alte sisteme de amorsare, ca de exemplu : umplerea pompei printr-un racord de la rețeaua de apă sub presiune ; evacuarea aerului cu ajutorul unui hidroejector etc.

În cazul în care pompa trebuie să pornească într-un timp extrem de scurt se elimină amorsarea așezînd pompa cu axul sub nivelul minim al apei din bazinul de aspirație, ajungînd la soluția cu *pompe înecate*. În acest caz, pe conducta de aspirație, este obligatorie vana de izolare, chiar și pentru o singură pompă, pentru a se putea efectua reparația și întreținerea pompei.

Există și pompe autoamorsante, dar au o arie redusă de folosire.

5.7. LIMITAREA ȘI COMBATEREA LOVITURII DE BERBEC

Prin lovitură de berbec se înțelege fenomenul de variație bruscă a presiunii într-un sistem hidraulic sub presiune. Această schimbare rapidă a presiunii apare ori de cîte ori se produce o variație bruscă a regimului de mișcare (viteza variază brusc ca urmare a închiderii sau deschiderii vanei, oprirea și pornirea bruscă a pompelor etc.). Se formează un *tren de unde* care se amortizează din cauza frecării lichidului și disiparea energiei prin preluare elastică de către pereții conductei.

Întrucît la prezentarea fenomenului pentru aducțiuni au fost menționate unele mijloace de combatere, în acest paragraf vor fi menționate numai mijloacele care se referă efectiv la pompe. Astfel, mijloacele de combatere a loviturii de berbec, prin echiparea și manevrarea efectivă a pompelor, sînt :

— mărirea momentului de inerție a cuplului rotor pompă-rotor motor, prin alegerea adecvată a unui cuplaj ; un cuplaj cu moment mare de inerție va conduce la o oprire mai lentă a pompei, deci la limitarea loviturii de berbec ; gama de posibilități practice este însă mică (trebuie făcută din uzină această amenajare, întrucît la o oarecare excentricitate a utilajului se pot produce vibrații cu efecte neplăcute) ; oprirea cea mai rapidă o are pompa multietajată de debit mic ;

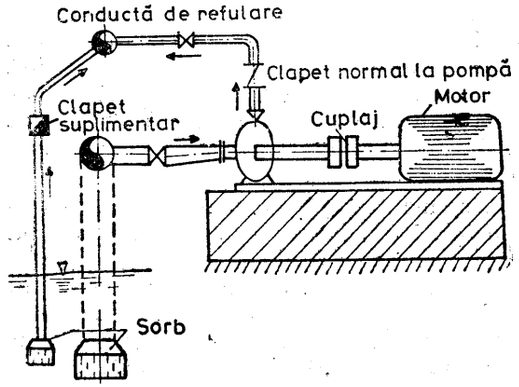


Fig. 5.8. Combaterea loviturii de berbec cu aspirație și clapet antiretur (protecție contra vacuumului din conductă).

— asigurarea unei legături suplimentare cu clapet la bazinul de aspirație, atunci cînd unda de presiune negativă este foarte importantă (fig. 5.8) ; legarea conductei poate fi făcută uneori și la conducta de aspirație ;

— alegerea unor clapeți cu închidere progresivă și lentă ; clapetul cu corp mobil acționat cu arcuri (fig. 5.9) are o comportare bună : arcurile împing corpul de obturare, lăsînd deschisă conducta numai în funcție de debitul

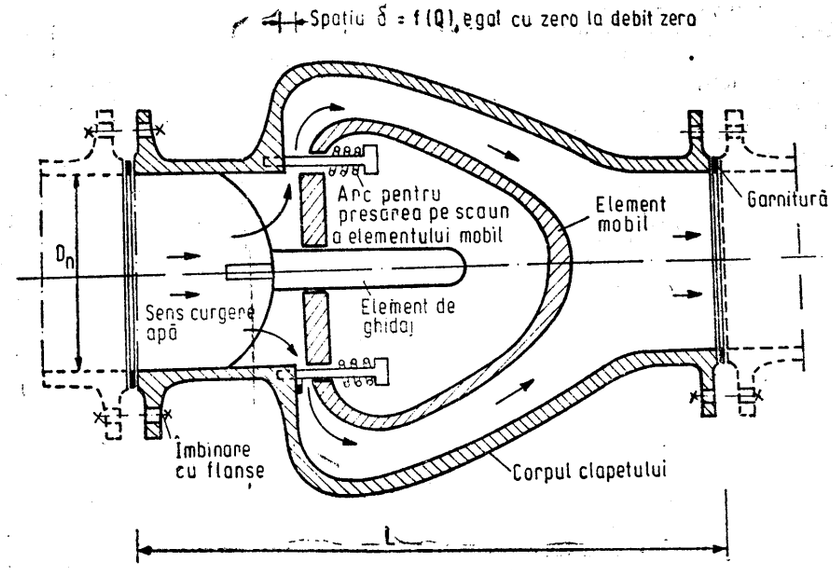


Fig. 5.9. Schema unui clapet cu arc.

pompat ; cînd scade viteza apei, arcurile împing proporțional capul care închide secțiunea (la debit zero, clapetul este deja închis).

Pentru materializarea fenomenului, a ordinului de mărime și a obținerii unei metode de calcul relativ ușor de aplicat, se recomandă [10], [4], [40].

5.8. APARATE DE MĂSURĂ ȘI CONTROL

Pentru verificarea funcționării corecte a pompelor, stația de pompare trebuie să fie asigurată cu aparate de măsură de calitate și precizie corespunzătoare.

Fiecare pompă trebuie să aibă pe aspirație un manovacuumetru și pe refulare un manometru metalic pentru verificarea continuă a presiunii de lucru. Montarea manometrelor trebuie să fie făcută astfel încît în ele să nu se strîngă aer, care ar putea deforma indicațiile (este preferabil ca manometrele să fie prevăzute cu dispozitive de înregistrare a presiunii). Locul manometrului poate fi luat de un traductor de presiune, cu transmiterea valorii la dispecerul local sau la dispecerul central.

Recipientul de vacuum trebuie să fie prevăzut cu sticlă de nivel, pe care să se poată urmări continuu nivelul apei, deci modul de amorsare a pompelor ; prin viteza de variație a nivelului și a ritmului de pornire al pompelor de vacuum, se poate deduce dacă undeva a apărut o fisură sau o neetanșeitate importantă sau s-a făcut o subdimensionare a sistemului de amorsare.

Pompele de vacuum trebuie să fie echipate cu vacuumetru pentru determinarea vacuumului de lucru și a vacuumului maxim realizat, în scopul verificării etanșeității garniturilor pompei.

Pe conducta de ieşire a apei din staţia de pompare, trebuie să fie prevăzut un contor de apă sau un debitmetru de tip Venturi, diafragmă etc., preferabil cu dispozitiv de înregistrare continuă. Astfel, se poate verifica în permanenţă regimul de funcţionare şi se pot preveni eventualele avarii cu consecinţe mai grave. Chiar dacă nu are dispozitiv de înregistrare, debitmetrul trebuie să fie instalat pentru verificările periodice după o scară etalon elaborată în prealabil. Atunci cînd în staţia de pompare nu sînt respectate condiţiile de montaj cerute (conducta dreaptă lungă de 10 D amonte şi 5 D aval de diafragmă, de exemplu), se poate face montajul într-un cămin în afara staţiei. În cazul în care este posibil, se pot monta aparate electronice care pot transmite informaţii la dispeceratul aflat la distanţă sau aparate speciale de avertizare. Pe baza acestor informaţii, pot fi luate decizii prompte (pornirea de pompe, oprirea pompelor etc.). În cazul automatizării, acţionarea vanelor se prevede cu motoare electrice cuplate cu reductoare speciale la tija sertarului sau cu acţionare pneumatică (la care însă poziţiile intermediare între închis-deschis sînt mai greu de obţinut). Închiderea nu trebuie să fie bruscă.

Trebuie să fie făcută coordonarea indicaţiilor aparatelor de la pompe cu aceea a aparatelor electrice de la panourile de comandă a motoarelor pompelor, aparate care trebuie să fie ţinute în permanentă stare de funcţionare. Se poate stabili periodic consumul specific de energie (exprimat în kWh/m³ apă pompată). Aceste indicaţii oferă posibilitatea unui control în timp a corectitudinii şi efecienţei funcţionării pompelor.

5.9. STAŢII DE POMPARE CU HIDROFOR

Sînt destul de dese cazurile (în special în reţeaua de distribuţie) în care o staţie de pompare de capacitate redusă (5—20 dm³/s) trebuie să asigure beneficiarului apa într-un regim rapid variabil în timp. În această situaţie, dacă se dimensionează pompa la debitul maxim, o parte din timp ea va funcţiona în gol (se va uza şi va consuma energie electrică în mod inutil), iar dacă se dimensionează la un debit mai mic, rezultă că trebuie asigurate multe pompe cu un program de funcţionare foarte complicat. Pentru o automatizare simplă şi o bună funcţionare a pompelor în această situaţie (pompe care se dimensionează de obicei la debitul maxim solicitat de beneficiar), sînt două soluţii: (1) realizarea unui castel de apă de cotă egală cu cota piezometrică necesară pentru asigurarea presiunii la beneficiar (construcţie mai voluminoasă şi care uneori nu se poate aplica din lipsă de spaţiu); (2) prevederea unui *hidrofor* (un recipient metalic în care o parte din volum este ocupat de aer, cu rol de pernă elastică).

Cînd pompa funcţionează, apa furnizată poate ajunge toată la beneficiar ($Q_{pompă} = Q_{o\ max}$), poate ajunge parţial la beneficiar ($Q_p > Q_{beneficiar}$) şi parţial în hidrofor ($Q_{beneficiar} - Q_{pompă}$) sau toată apa pompată ajunge în hidrofor. Alimentarea hidroforului conduce la ridicarea nivelului apei pînă la o anumită valoare şi la comprimarea pernei de aer (debitul pompei scăzînd). Cînd presiunea în perna de aer a ajuns la o valoare stabilită (H_0), pompa este oprită automat de către un *presostat* care decuplează motorul de la reţea.

Dacă beneficiarul consumă apă, perna elastică se destinde, împingînd apa pînă cînd, la o anumită cotă (H_p), presostatul comandă pornirea pompei şi ciclul se reia. Volumul recipientului trebuie să fie atît de mare, încît între

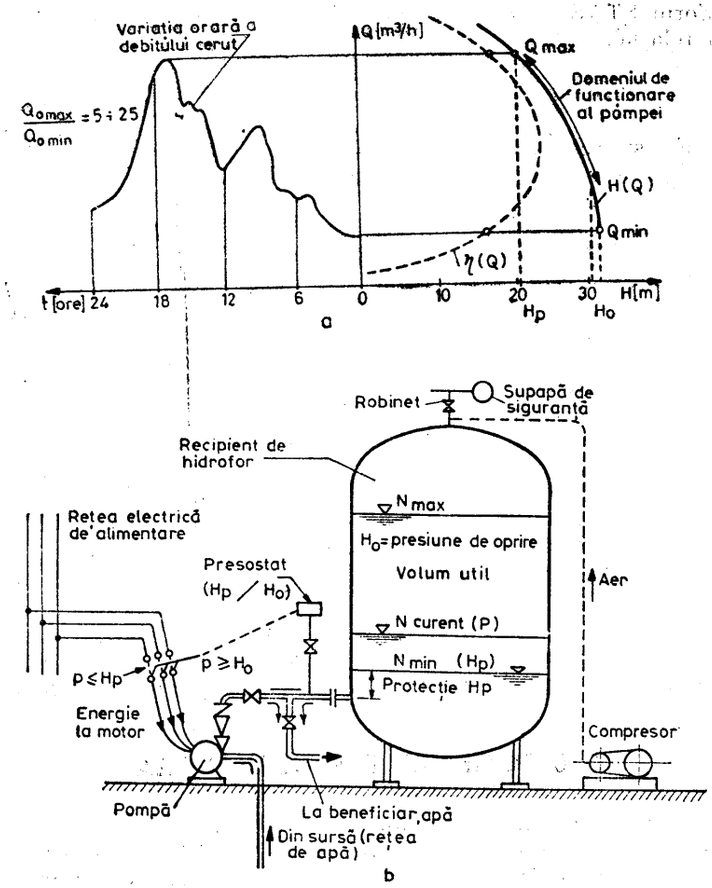


Fig. 5.10. Instalaţie de pompare cu hidrofor: a — acoperirea debitului cerut de utilizator cu pompa comandată prin hidrofor; b — legarea pompei cu cazanul de hidrofor.

două porniri timpul să nu fie mai mic de 6÷10 minute (fabricantul motorului precizează cîte porniri pe oră poate suporta motorul fără să se ardă), iar pompa să funcţioneze la parametrii H, Q în limita randamentului maxim. Cînd sînt mai multe pompe (pot fi şi mai multe cazane cu hidrofor, chiar cu separaţie de funcţionare, unele cu apă, altele numai cu aer), automatizarea se face în trepte [16]. Deoarece perna de aer se consumă în timp, prin dizolvare în apă, instalaţia se prevede şi cu un compresor care reface, tot automat, la comanda presostatului, perna de aer (fig. 5.10).

Alimentarea pompei se poate face direct din conductă, cînd debitul preluat este mic, iar conducta cu diametru mare (400 mm) şi prin intermediul unui vas tampon, în caz contrar (cu nivel liber sau cu pernă de aer), pentru a evita suprasolicitarea periodică a conductei.

Conform STAS 1478—90, volumul recipientului de hidrofor se determină cu relația:

$$V = 1{,}1\,\frac{3600}{4n}\,q_p\,\frac{(H_p + 10)(H_0 + 10)}{(H_0 - H_p)(H_i + 10)} \quad [\mathrm{dm^3}], \tag{5.7}$$

în care: V este capacitatea hidroforului, în dm³;

H_p — presiunea din recipientul de hidrofor în momentul pornirii, în m.col. H_2O (valoarea trebuie să fie mai mare sau cel puțin egală cu presiunea necesară alimentării normale cu apă a beneficiarului);

H_0 — presiunea în recipientul de hidrofor în momentul opririi pompei, în m.col. H_2O (valoarea trebuie să fie astfel aleasă, încît să nu conducă la presiuni de peste 60 m.col. apă la armăturile de serviciu — robineții din apartament);

H_i — presiunea inițială în recipientul de hidrofor ($H_p - H_i$ se alege în limita 0.3 ··· 2.7 m, în funcție de volumul recipientului și de mărimea H_i, v. STAS 1478—90);

q_p — debitul pompei la pornire, în dm³/s;

n — numărul de porniri/opriri ale pompei pe oră (practica arată că este mai rațional cu $n < 8-10$).

Din volumul total al recipientului circa 20% trebuie să îl constituie rezerva de siguranță, pentru ca aerul din pernă să nu scape în instalația de apă alimentată de hidrofor. Există și sisteme de protecție care mențin perna de aer din recipient atunci cînd se produce o pană de curent și deci există riscul golirii totale a recipientului inclusiv pierderea pernei de aer.

5.10. POMPE CU TURAȚIE VARIABILĂ

După cum a rezultat din § 5.3, pentru a obține un debit variabil în timp la o stație de pompare cu turație constantă (pompa fiind cuplată direct cu motorul electric a cărei turație este practic constantă), există următoarele soluții:

— pentru variații mici ale debitului, închiderea vanei de pe conducta de refulare; reglarea trebuie să fie făcută cu mare economie, întrucît orice strangulare a vanei înseamnă rezistență hidraulică, deci pierdere de energie electrică (fig. 5.11);

— prevederea mai multor pompe care funcționează în paralel, soluție dezavantajoasă, întrucît: (1) randamentul poate scădea cu cît sînt mai multe pompe în funcțiune; (2) scoaterea unei pompe din funcțiune conduce la modificarea debitului în trepte (deci tot pierdere de energie):

— pomparea în castel de apă cu volum de compensare ales corespunzător;

— prevederea de hidrofor.

La toate aceste variante se modifică în special curba caracteristică a conductei și aproape deloc curba pompelor (practic constantă pe interval mare de timp).

Cînd însă debitul pompat este mare, soluția cu hidrofor nu intră în discuție, întrucît volumul cazanelor rezultă extrem de mare, iar soluția cu castel de apă pentru debite și înălțimi mari este costisitoare. Au fost căutate, de aceea, soluții pentru reglarea debitului pompat.

S-a ajuns astfel la pomparea cu pompe cu turație variabilă.

Într-adevăr, pompa fiind cuplată cu motorul electric, pot fi scrise relațiile:

$$\begin{aligned} Q/Q_x = n/n_x, \text{ deci} \quad & Q_x = Q(n_x/n) \\ & H_x = H(n_x/n)^2 \\ & P_x = P(n_x/n)^3, \end{aligned} \tag{5.8}$$

unde cu Q, H, P sînt notate caracteristicile pentru pompa cu turația constantă (n), iar cu Q_x, H_x, P_x, caracteristicile pentru o turație oarecare n_x (care poate fi mai mică sau mai mare decît n);

Se observă că modificarea turației pompei conduce la o modificare liniară a debitului pompat și la o reducere (sau creștere) apreciabilă a puterii motorului (pot fi obținute economii de energie de 10 ÷ 40%).

Pentru modificarea turației pompei, în momentul actual sînt cunoscute mai multe variante:

— modificarea turației numai la pompă, prin modificarea cuplajului: (1) cuplaj hidraulic, (2) cuplaj electromagnetic; (3) cuplaj mecanic (un fel de schimbător de viteză); soluția presupune modificarea gabaritului ansamblului pompă-motor;

— modificarea turației motorului (motoarele curent utilizate sînt motoare de curent alternativ-sincrone sau asincrone) cu (1) reostat pe bobinajul statorului sau (2) cu cascadă subincronă (din dispozitive electrice numite tiristoare) [16];

— schimbarea motoarelor de curent alternativ în motoare de curent continuu;

— prevederea de motoare termice de antrenare la care modificarea turației este rezolvată.

Fiecare din soluții are avantaje și dezavantaje, de aceea trebuie găsită acea soluție pentru care dezavantajele sînt cele mai mici sau avantajele sînt cele mai mari. În general, soluția costă mai mult, dar se poate obține o economie de energie care poate avea valori importante (20% și chiar mai mult).

Prin modificarea turației (fig. 5.11, *b*) sistemul lucrează în modul cel mai rațional, întrucît modifică poziția punctului de funcționare (acesta *alunecînd* totdeauna pe curba caracteristică a conductei și nu pe curba caracteristică a pompei ca atunci cînd pompa are turație constantă, fig 5.11, *a*).

Pomparea necesară în sistem se face cu consum minim de energie.

Peste o anumită limită însă, se reduce randamentul pompei (ca și al motorului) și economia de energie obținută din sistem este anulată pînă la dispariție. În figura 5.10 este dat un exemplu de reducere a randamentului. În literatura de specialitate fenomenul este tratat destul de amplu [16], [44].

5.11. EXPLOATAREA STAȚIILOR DE POMPARE

Proiectarea și executarea stațiilor de pompare trebuie astfel făcută, încît să se asigure:

— funcționarea sigură și economică;

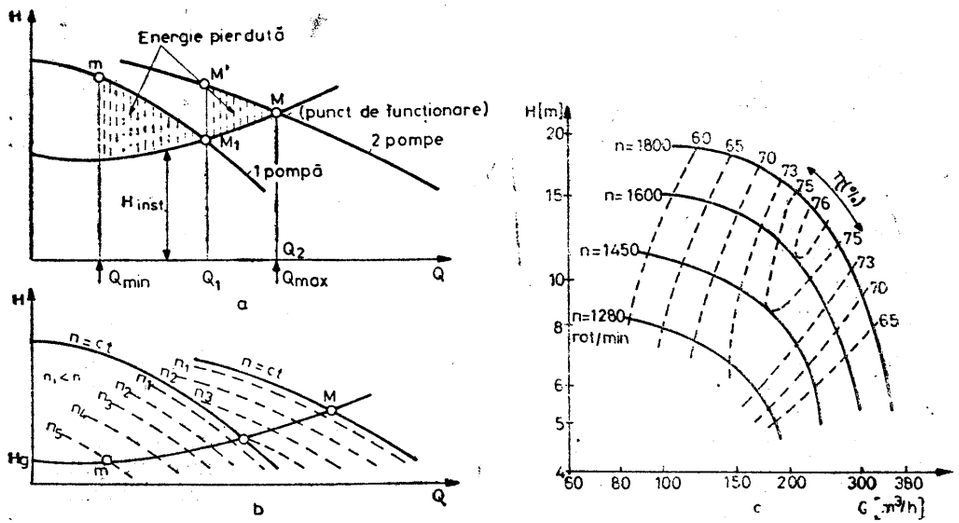


Fig. 5.11. Schimbarea punctului de funcționare a stației de pompare: *a* — prin reglare din vana de pe refulare (pompă cu turație constantă); *b* — prin modificarea turației pompei; *c* — modificarea caracteristicilor pompei la modificarea turației;

— asigurarea condițiilor normale de lucru și securității personalului de exploatare.

Dacă stația de pompare a fost bine gîndită, execuția corectă și exploatarea corespunzătoare, este posibilă o funcționare simplă timp îndelungat.

În timpul recepției se vor verifica în mod deosebit:

— etanșeitatea trecerii conductelor prin pereți;

— așezarea corectă a conductelor și armăturilor din instalația hidraulică și rezemarea lor corespunzătoare;

— așezarea corectă a cablurilor electrice de alimentare cu energie electrică a motoarelor și tablourilor de comandă;

— realizarea pantei corecte a pardoselii în încăperea pompelor;

— realizarea unui finisaj adecvat în interiorul stației;

— asigurarea măsurilor de protecție a muncii la manipularea tuturor instalațiilor care folosesc energia electrică;

— siguranța în funcțiune a instalației electrice;

— protecția cu carcasă a elementelor mobile (cuplaj);

— posibilitatea realizării vacuumului maxim și a funcționării pompelor la vacuumul maxim, verificînd dacă se manifestă fenomenul de cavitație sau de vortex.

Se face proba de 72 ore, în care timp nu trebuie să apară nici un defect de funcționare și *se verifică parametrii reali de funcționare.* Dacă nu există, se determină curba caracteristică a stației de pompare; dacă există, se verifică. Toate remedierile trebuie făcute înainte de darea în funcțiune.

Pe baza documentației și rezultatelor recepției, se întocmește *regulamentul de funcționare.* cu precizarea tuturor elementelor obligatorii în manevrarea instalațiilor, precum și a personalului care are dreptul să facă aces-

te manevre. Locurile periculoase vo încdztenchise și nu vor fi accesibile personalului special instruit și autrorfiat.

Pornirea și oprirea pompelor se va face întotdeauna progresiv, agregat cu agregat, pînă la capacitatea maximă solicitată, urmărind continuu vacuumul maxim de aspirație. La apariția cavitației, pompa trebuie să fie oprită sau se reduce debitul, verificînd cauza. Reducerea debitului se face prin manevrarea vanei de pe refulare.

În general, pompele se *pornesc cu vana de pe refulare închisă.* Vana se deschide progresiv la pornire, după atingerea turației de regim, deci a presiunii maxime. *La oprire, întîi se închide (lent) vana de refulare.* și apoi se oprește pompa pentru a evita lovitura de berbec. În cazul în care comanda se face de la un pupitru central, în afara halei pompei, operatorul trebuie să aibă permanent controlul parametrilor de funcționare a tuturor pompelor. După pornire, se va urmări funcționarea presetupelor, ungerea lagărelor, temperatura lagărelor, vibrația utilajului, eventuale zgomote suspecte.

Parametrii de funcționare se notează într-un registru special. Se notează și eventualele anomalii observate, reparațiile și menevrele făcute, precum și consumul de energie electrică.

Revizuirea instalației se face conform unui program stabilit cu aprovizionarea în prealabil a materialelor necesare.

Deficiențele care pot apărea în exploatare sînt:

• *pompa nu aspiră,* cauzele fiind:
— conducta de aspirație nu este etanșă, la flanșe sau la presetupă;
— sorbul este blocat;
— amorsarea nu a fost corect efectuată;
— înălțimea maximă de aspirație este depășită;
— s-au format dopuri de aer pe aspirație;
— pompa se rotește în sens greșit;
— turația este mult sub turația normală;
— pompa este înfundată cu plutitori scăpați prin sorb și mai ales în absența sorbului;
— vana de pe aspirație este închisă sau are pana (sertarul) căzut;
— pierderile de sarcină pe aspirație sînt prea mari;

• *pompa nu refulează normal,* cauzele fiind:
— clapetul este defect (blocat);
— vana de pe refulare nu se deschide corect;
— s-au format pungi de aer pe conductă;
— pompa se rotește invers (se verifică legătura cablurilor la motor);
— presiunea în instalație este mai mare decît presiunea pompei;

• *pompa se încălzește,* cauzele fiind:
— presetupele sînt strînse prea tare;
— nu funcționează răcirea lagărelor;
— în pompă sînt corpuri străine;
— pompa funcționează cu debit prea mic (sau zero).

• *lagărele se încălzesc,* cauzele fiind:
— pompa este descentrată (are și vibrații mari);
— ungerea este insuficientă — ulei insuficient sau învechit;
— inelele de ungere sînt blocate;
— axul pompei este strîmb;
— lagărele nu sînt bine executate;

• *pompa trepidează,* cauzele fiind:
— fundația nu este bine izolată sau insuficientă ca mărime;

— descentrarea pompă-motor ; cuplajul are joc mare ;
— cuplajul uzat ;
— şuruburile de fixare nu sînt strînse ;
— pompa lucrează în regim de cavitaţie (lovituri *metal pe metal*) ;
— rotorul pompei este descentrat sau a fost degradat (erodat-corodat) neuniform în interior ;
— pompa este solicitată la încărcări mecanice mari din instalaţia hidraulică rezemată încorect.

Toate remedierile făcute trebuie să fie înregistrate în carnete speciale, unde sînt notate şi elementele funcţionale ale pompelor.

Fiecare operator nu va efectua decît lucrări în zona sa de activitate sau comandate de şeful staţiei, care răspunde de dispoziţia dată. Se va da atenţie deosebită funcţionării uniforme a pompelor pentru a nu fi uzate excesiv unele dintre ele, în timp ce altele de rezervă se degradează. După o staţionare mai îndelungată, pompa va fi rotită în prealabil cu mîna, şi, după constatarea că rotorul nu s-a înţepenit, se pune în funcţiune.

5.12. MĂSURI DE PROTECŢIA MUNCII

Pentru a se evita producerea de accidente de muncă la execuţia construcţiei staţiilor de pompare, vor fi respectate următoarele măsuri :

— groapa de fundaţie pentru staţia de pompare să aibă minimum 100 cm spaţiu liber între ultimul element de construcţie şi peretele săpăturii (sprijinire) ;
— pe marginea gropii se lasă întotdeauna un spaţiu liber de minimum 50 cm, pe care nu vor fi depozitate nici un fel de materiale sau scule ;
— vor fi asigurate scări sau rampe de acces pentru muncitori, la toate zonele de lucru ;
— pe toată durata execuţiei efective, vor fi luate măsuri de epuizare a apei din groapă (se va împiedica apa de şiroire să ajungă în groapa de fundaţie) ;
— după terminarea lucrărilor de fundaţie (este recomandabil să fie executate în timpul cel mai scurt), vor fi executate umpluturile la cotă normală ;
— toate golurile periculoase vor fi închise, blocate şi periodic va fi verificat sistemul de blocare ;
— la turnarea betonului cu pompa, se va face un instructaj special pentru personalul care nu lucrează direct cu utilajul ; la utilaj nu va avea acces decît personalul specializat ; la suflarea conductelor cu aer comprimat, tot personalul va fi îndepărtat din zona vecină (minimum 10 m) ;
— elementele prefabricate de acoperiş vor fi ridicate cu dispozitive speciale şi amplasate direct pe locul definitiv ; ele vor fi ţinute în macara pînă la prinderea definitivă ; pregătirea locului de amplasare va fi făcută înainte de aducerea prefabricatului ; personalul de execuţie, strict necesar, nu va sta pe elementul prefabricat înainte ca acesta să fie definitiv fixat pe poziţie ; este interzisă controlarea rezemării elementului cu mîna liberă ;
— în nici un caz nu vor fi lăsate materiale suspendate în cîrligul macaralei, iar accesul la macara va fi controlat numai de mecanicul de serviciu ;
— se va verifica foarte atent modul de introducere a utilajelor după sosirea macaralei pe şantier ; în cazul în care sînt neconcordanţe (capacitatea,

raza de acţiune etc.), vor fi luate măsuri prealabile ; nu este permisă balansarea utilajelor sau a sarcinii din cîrlig, pentru a ajunge la o anumită distanţă şi nici manipularea acestora cu macarale de capacitate mai mică ; controlul poziţiei piesei ridicate va fi făcut cu ajutorul frînghiilor de cînepă ;
— depozitarea utilajelor se va face pe reazeme bine fixate şi protejate împotriva deteriorării prin căderea de materiale grele ;
— este interzis accesul lucrătorilor în hală, atunci cînd se montează prefabricate deasupra (care, din punct de vedere calitativ, vor fi verificate înainte de ridicarea cu macaraua) ; se va verifica prinderea prefabricatului în macara prin control la sol după o ridicare de 10—30 cm ;
— montarea conductelor se va face după fixarea pe reazeme definitive sau schele de lucru ; montarea subansamblelor grele (peste 50 kgf) nu se va face decît folosind dispozitive mecanice de ridicat ;
— prinderea pieselor preconizate, prin bolţuri înfipte prin împuşcare, se va face numai de către personalul autorizat, cu piese de bună calitate ;
— pe cuplajul pompei sînt desenate nişte benzi care pot indica dacă rotorul se învîrteşte (benzile nu se văd) sau nu (benzile se văd) ; este interzisă rotirea pompei cu mîna şi este recomandabilă utilizarea unei carcase metalice fixe (în buloane), care să acopere cuplajul pompă-motor.

5.13. EXEMPLE DE STAŢII DE POMPARE

• În ţară sînt realizate mii de staţii de pompare de toate tipurile, mărimile şi pentru diferite calităţi ale apei pompate.

Astfel, se menţionează cele 4 mari staţii de pompare a apei în reţeaua municipiului Bucureşti (Nord, Sud, Grivita, Grozăveşti cu debite de pînă la 5 m³/s şi înălţimi de pompare 30—60 m). Se poate menţiona, în mod special, staţia de pompare Grozăveşti, care este cea mai veche staţie de pompare a apei din ţară (peste 100 de ani), de mari dimensiuni, existentă şi astăzi în funcţiune.

Se precizează că una din cele mai impresionante staţii de pompare din ţară este staţia de pompare Basarabi Pădure, din sistemul de irigaţii al judeţului Constanţa. Staţia are $Q = 75$ m³/s şi $H = 70$ m [44].

• În literatura de specialitate sînt menţionate staţii de pompare impresionante : pentru alimentarea cu apă a oraşului Mexico-City (aflat la cota 2200 m) apa se pompează în cinci trepte succesive (19 m³/s) la o înălţime totală de cca 1100 m, lungimea totală a aducţiunii fiind de circa 90 km (Aqua 2, aprilie 1990) ; în Iran apa subterană (din puţuri) este pompată *într-o singură treaptă*, cu debit de 65 000 m³/zi, la o înălţime de 1070 m, printr-o conductă de 43 km (Journal of the Institution of Water Engineers and Scientists 6/1977).

Aplicaţia 8

Să se dimensioneze staţia de pompare necesară în sistemul de alimentare cu apă, dacă elementele cunoscute sînt cele din aplicaţia 7 (v. fig. 4.9).

Se cunosc :

$H_g = 40$ m, lungime aducţiune $L = 10$ km ; diametrul conductei (diametrul economic) $D = 600$ mm ; material, tuburi PREMO ; debitul pompat $Q_I = 143$ dm³/s ; regim de pompare — continuu.

Se cer:

— tipul şi numărul de pompe;
— verificarea punctului de funcţionare;
— determinarea cotei axului pompelor;
— dimensionarea sistemului de vacuum (amorsarea pompelor);
— schiţarea instalaţiei hidraulice;
— determinarea dimensiunilor staţiei de pompare.

Determinarea tipului şi numărului de pompe:

— se determină înălţimea totală de pompare:

$H = H_g + MQ^2$, în care: $M = s_0 l = l/K^2$ (v. tab. 4.1)

$H = 40 + 228 \times 0{,}143^2 = 44{,}70$ m

— pentru debitul $Q = 143$ l/s (515 m³/h) şi $H = 44{,}7$ m, din catalog [11], [12] rezultă pompa TN 125 — 100 — 200, ce asigură $Q = 170$ m³/h, $H = 42{,}5$ m, $n = 900$ rot/min; pentru aplicaţia de faţă se consideră ca existente curbele caracteristice ale pompei (fig. 5.12)

—se scoate curba $Q(H)$ prin puncte pentru a putea determina punctul de funcţionare:

Q [m³/h]	100	130	155	185
H [m]	50	47,5	45	40

Verificarea punctului de funcţionare:

— se trasează curba caracteristică a unei pompe (şi pentru trei, patru pompe), utilizînd valorile de mai sus;

— se calculează curba caracteristică a conductei ($H = H_g + MQ^2$)

Q [l/s]	50	100	125	150	180
Q [m³/h]	180	360	450	540	648
MQ^2 [m]	10,6	2,3	3,6	5,13	7,39
H [m]	40,6	42,3	43,6	45,13	47,39

— se trasează grafic cele două curbe (fig. 5.12) şi rezultă punctul de funcţionare $Q = 580$ m³/h (161 l/s) şi $H = 46$ m;

— pentru fiecare pompă debitul va fi $580/4 = 145$ m³/h (40,3 l/s), pentru care, din curba pompei, rezultă $NPSH = 3{,}5$ m şi $\eta = 70\%$.

Staţia de pompare va fi echipată cu 4 + 1 pompe tip TN 125-100-200, puterea motorului pompei fiind 30 kW.

Determinarea cotei axului pompelor (conform 5,4), se face utilizînd următoarele date de bază:

— $N_{min} = 80$ m;

— temperatura maximă a apei pompate este de 20°C (apă de suprafaţă, care vara poate ajunge la o asemenea temperatură);

— cota termenului pe care se amplasează staţia este de 82 m;

— diametrul conductei de aspiraţie la pompă: *Dn* 250 mm, din oţel ($Q_1 = 40{,}3$ l/s, $v = 0{,}82$ m/s, $i = 0{,}0035$);

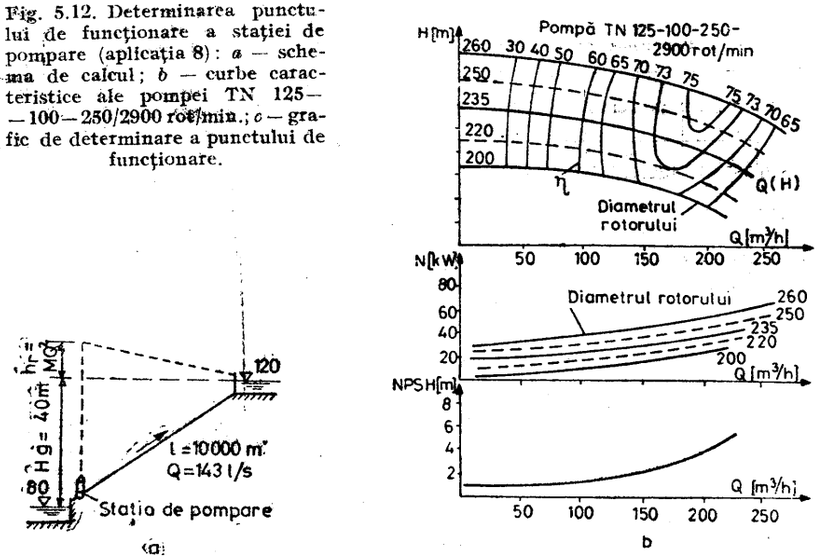
— diametrul conductei de refulare *Dn* 200 mm ($v = 1{,}25$ m/s, $i = 0{,}013$).

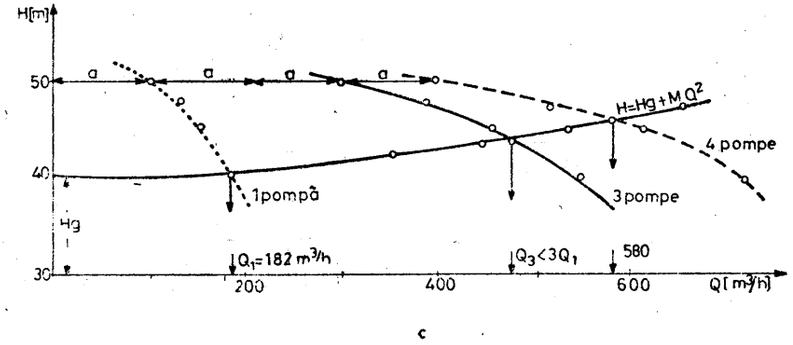
Se determină:

— diametrul conductei de aspiraţie, generală
$Q = 143$ l/s, *Dn* 500 mm, $v = 0{,}8$ m/s, $i = 0{,}001$;

— numărul şi dimensiunea armăturilor pe aspiraţie: sorb, $\zeta = 3{,}0$; cot 90°, $\zeta = 1{,}0$; teu 500/300, $\zeta = 1{,}5$; vană plată *Dn* 300, $\zeta = 2$; reducţie 300/125, $\zeta = 1{,}5$ [14];

Fig. 5.12. Determinarea punctului de funcţionare a staţiei de pompare (aplicaţia 8): *a* — schema de calcul; *b* — curbe caracteristice ale pompei TN 125—100—250/2900 rot/min.; *c* — grafic de determinare a punctului de funcţionare.





— lungimea conductei de aspiraţie: 3 m în bazinul de aspiraţie, 10 m între bazin şi staţia de pompare şi 8 m în staţia de pompare;

— pierderea de sarcină:

$$h_r = \sum i \cdot l + \sum \zeta_i \cdot \frac{v^2}{2g} = 0{,}001 \cdot 21 + 4\,\frac{0{,}8^2}{2g} + 5\,\frac{0{,}82^2}{2g} = 0{,}32 \text{ m};$$

— presiunea de vaporizare p_v (tab. 5.1):

$p_v = 2338$ N/m² (0,23 m. col. apă).

Deci, va rezulta:

$C_{ax} = (82 + 10{,}33) - (0{,}32 + 0{,}23 + 0{,}5 + 3{,}5) = 87{,}78$ m.

Cota rezultată este mai mare decît cota terenului, deci pompa poate fi aşezată fără nici un risc pe cota reală a terenului (cota axului va fi mai mică decît cota rezultată, deci $NPSH_{instalaţie}$ va fi mult mai mare decît $NPSH_{pompă}$) — *cota efectivă a pompei va rezulta din considerente constructive.*

Tabelul 5.1

Presiunea de vaporizare p_v a apei, la diferite temperaturi

T [°C]	1	3	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
p_v [N/m²]	656	757	872	1227	1705	2338	3168	4493	5624	7377	9585	12340	19920	31180	47370	70130	10136

Observație : Pierderea de sarcină locală se mai poate calcula și prin transformarea în pierdere de sarcină distribuită $(i \cdot l)$ pe lungime echivalentă (l_{ech})

$$i \cdot l_{ech} = \frac{\lambda \cdot L_{ech}}{D_{ech}} \cdot \frac{v^2}{2g}.$$

Lungimea echivalentă se poate calcula expeditiv cu nomograma din figura 5.13 [25], [37].

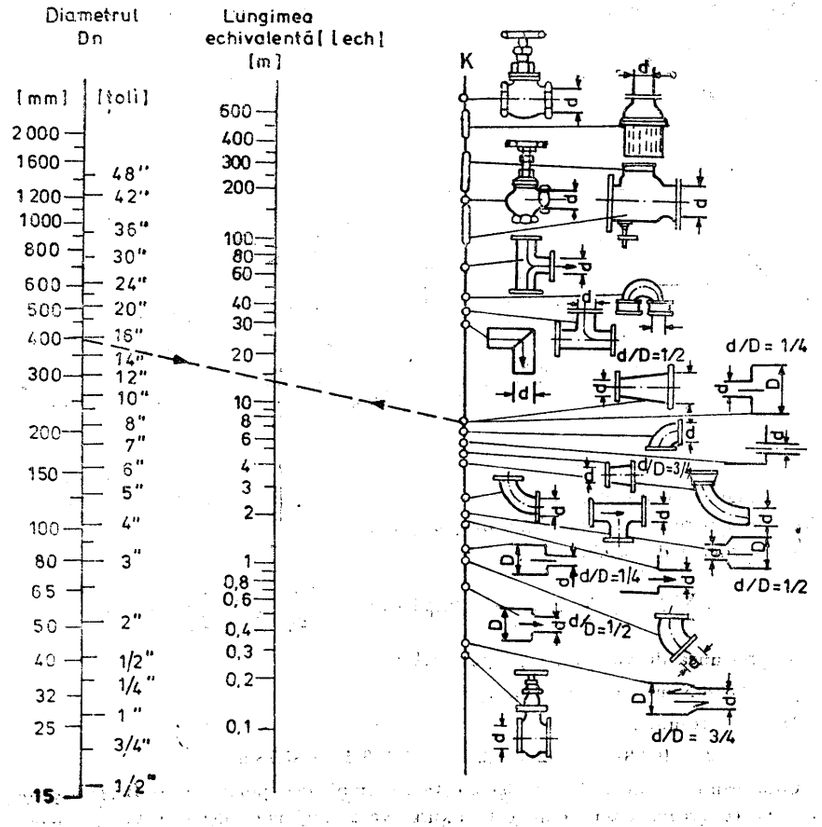
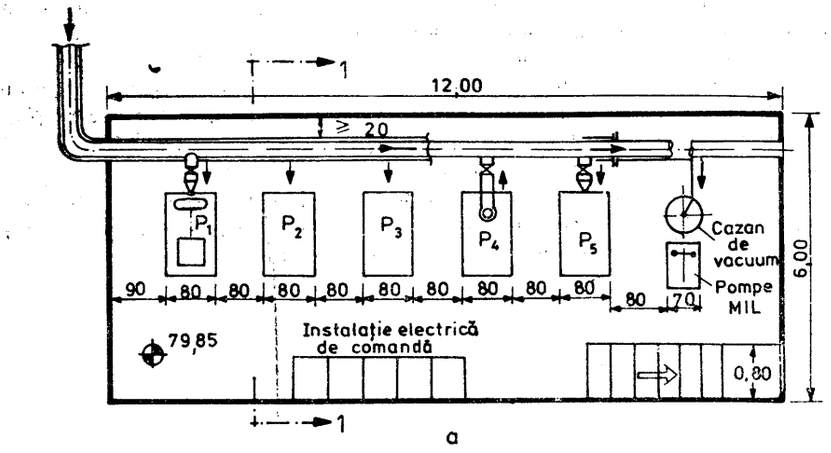
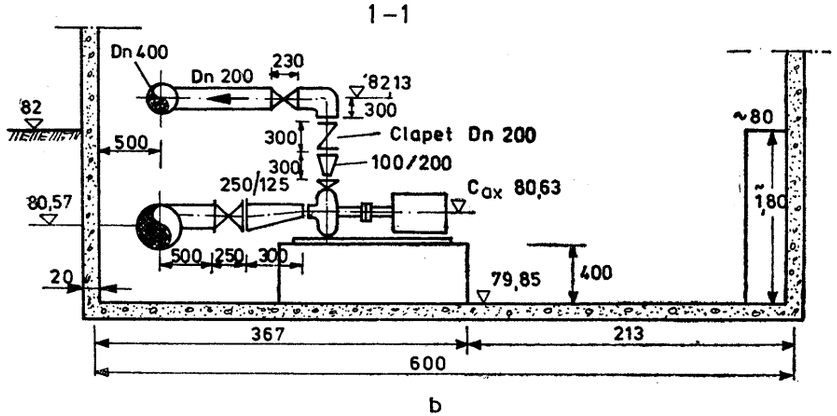


Fig. 5.13. Abacă pentru transformarea valorii pierderii de sarcină locală în pierdere de sarcină longitudinală pe lungimea echivalentă de conductă.





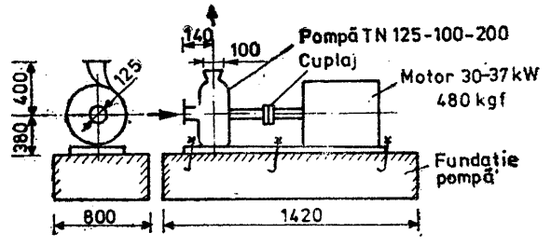


Fig. 5.14. Schemă a instalației hidraulice (aplicația 8): *a* — vedere în plan; *b* — secțiune verticală *1–1*; *c* — dimensiuni de gabarit ale pompei TN 125–100–200.

Dimensionarea sistemului de vacuum:

— întrucît pompele cu ax orizontal vor fi amplasate deasupra nivelului apei din bazinul de aspirație, vor trebui amorsate cu un sistem auxiliar;

— se apreciază debitul de aer ce poate fi degajat în sistem (din cauza vaporizării apei, degajarea aerului prin vacuumare, neetanșeității la îmbinări); nu sînt date certe în literatura tehnică, de aceea se apreciază că debitul de aer este de circa 10% din debitul de apă:

$$Q_{aer} = 0{,}1\, Q_{apă} = 0{,}1 \times 515 \text{ m}^3/\text{h} = 51{,}5 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Din catalogul de pompe [11], [12], [13], se găseşte pompa MIL 401, care la 55 m³/h asigură un vacuum de 0,5 bar (presiune absolută 360 mm Hg).

Pentru automatizare, se alege un cazan de tip hidrofor de 2000 l.

Instalaţia hidraulică este dată în figura 5.13. Din catalogul de pompe, se deduce gabaritul pompei şi poziţia aspiraţiei şi refulării. Se aşază pompele şi instalaţia pentru a respecta dimensiunile minime.

Dimensiunile clădirii staţiei de pompare se determină astfel:

Se aşază pompele la distanţa maximă de lucru şi instalaţia de comandă la minimum 1,50 m de pompe; va rezulta o clădire cu lăţimea de 6,0 m şi lungimea de 12 m, deci posibil de acoperit cu elemente prefabricate (grinzi de 6,0 m şi chesoane de acoperiş de 3,0 m).

6.

TRATAREA APEI

6.1. CONSIDERAŢII GENERALE ASUPRA TRATĂRII APEI

6.1.1. ROLUL STAŢIILOR DE TRATARE A APEI

Staţia de tratare poate fi definită ca fiind totalitatea construcţiilor şi instalaţiilor în care se desfăşoară procesele prin care se asigură corectarea calităţii apei sursei, pentru a corespunde cerinţelor de calitate impuse de consumator. Calitatea apei din sursele de suprafaţă (rîuri, lacuri) nu corespunde cerinţelor de calitate impuse apei potabile, datorită lipsei de limpezime, conţinutului de bacterii sau substanţe dizolvate dăunătoare sănătăţii. Aceasta va trebui prelucrată astfel încît să fie limpede, plăcută la gust, fără miros şi să corespundă normelor de calitate din punct de vedere biologic şi bacteriologic.

În numeroase situaţii, tratarea se impune şi pentru apele subterane, datorită mineralizării acestora, conţinutului de compuşi de calciu şi de magneziu, fier şi mangan, gaze dizolvate, care o fac practic imposibil de utilizat, atît ca apă de alimentare, cît şi ca apă industrială.

Complexitatea şi dezvoltarea proceselor din staţiile de tratare rezultă din:

— comparaţia caracteristicilor organoleptice, fizice, chimice, biologice şi bacteriologice, pentru apa sursei, cu cerinţele de calitate impuse de tipul de consumator; aceasta se efectuează pe baza studiilor hidrochimice asupra apei sursei, pentru perioade caracteristice (ape limpezi în perioada vară—iarnă, ape tulburi etc.) de 1—2 ani;

— tehnologiile de care se dispune în etapa dezvoltării proiectului şi previziunile de modificare a calităţii apei sursei, în timp (pentru o perioadă de minimum 10 ani);

— elemente tehnico-economice impuse de configuraţia terenului, condiţiile materiale, energia consumată şi siguranţa în exploatare;

— elemente sociale determinate de lipsa surselor, tradiţie şi asigurarea sănătăţii oamenilor.

6.1.2. PROCESE NATURALE DE ÎMBUNĂTĂȚIRE A CALITĂȚII APEI

Modelele proceselor și procedeelor care se folosesc pentru corectarea caracteristicilor calitative ale apei reproduc în general procese de autocorectarea calității apei, desfășurate în natură.

Procesele de limpezire a apei se întîlnesc în lacurile de acumulare (viteze reduse sau staționări ale apei), la confluența rîurilor avînd calități de apă diferite, prin infiltrație în subsolul pămîntului, fie în medii permeabile, fie în zone de carst fisurate.

Procese de oxidare a compușilor solubili și transformarea lor în compuși insolubili apar la aerarea apei în cascade naturale sau trepte hidrotehnice avînd căderi concentrate.

În cazul infiltrării apei prin medii permeabile, apar procese biologice datorită acțiunii biochimice a bacteriilor aerobe care adsorb și reține substanțele coloidale de natura minerală și organică existente în apă ; (procesul este cunoscut de mii de ani și aplicat de aproape 200 de ani în cazul filtrelor lente). În momentul de față, încă nu sînt cunoscute în totalitate toate mecanismele care conduc la fenomenul de autocurățire a apei în mediul natural. În țările avansate din punct de vedere al tehnologiei, sînt în curs de desfășurare ample cercetări pentru cunoașterea proceslor naturale care se desfășoară în mediile acvatice sau în contact cu apa. Este posibil ca îmbunătățirea sau apariția unor noi procedee să se bazeze pe cunoașterea proceselor naturale.

6.1.3. SCHEMELE STAȚIILOR DE TRATARE A APEI

Schema unei stații de tratare cuprinde totalitatea obiectelor tehnologice și circuitelor hidraulice reprezentate în plan (plan de situație) sau profil (profil tehnologic). Există o mare diversitate de scheme, impuse de tipurile de surse (rîuri, lacuri, ape subterane, ape salmastre) și de tipurile de consumatori (care impun corectarea unei serii de caracteristici : reducerea turbidității apei, eliminarea gazelor dizolvate, eliminarea Fe, Mn, etc.)-

În continuare, se vor prezenta trei tipuri de scheme, analizînd avantajele acestora și modul lor de aplicare.

6.1.3.1. **Scheme de tratare a apei de rîu.** Întrucît deznisiparea apei se realizează în general la priza (P), *schema clasică* a unei stații de tratare a apei de rîu cuprinde (fig. 6.1, *a*) :

- D — decantoare pentru reținerea suspensiilor în prezența reactivilor de coagulare-floculare (R_1) ;
- F — filtre rapide de nisip cuarțos pentru limpezirea finală a apei ;
- DZF — dezinfectare cu clor gazos (R_2)

Reactivii (sulfatul de aluminiu — R_1 și soluția de Cl_2 — R_2) sînt preparați într-o stație de reactivi—R.

- ND — nămolul de decantare și ASF — apa de la spălarea filtrelor sînt canalizate și introduse în lagune amenajate special.

Această schemă se aplică la cvasitotalitatea stațiilor de tratare din țara noastră. În ultimii 50 de ani a comportat modificări doar în ceea ce privește tipurile de decantoare și filtre utilizate. Aplicarea unei asemenea scheme se impune pentru rîurile nepoluate, încărcate cu suspensii de natură minerală, cu încărcare organică redusă (sub 15 mg/l consum $KMnO_4$).

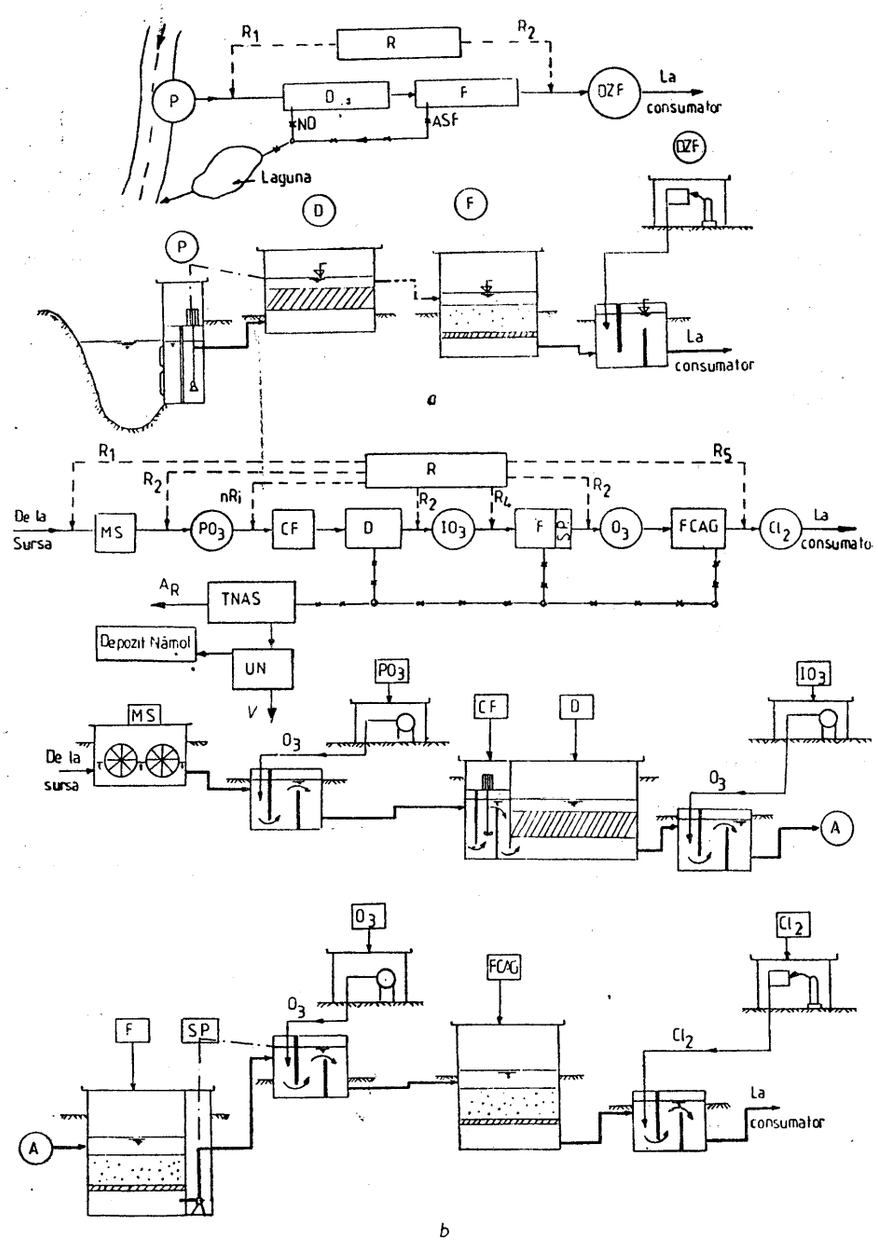


Fig. 6.1. Schema unei stații de tratare a apei de rîu :
a — varianta clasică (plan și profil longitudinal) : *D* — decantoare pentru reținerea suspensiilor în prezența reactivilor de coagulare-floculare (R_1) ; *F* — filtre rapide de nisip cuarțos pentru limpezirea finală a apei ; *DZF* — dezinfectare cu clor gazos (R_2) ; R_1 — sulfat de aluminiu ; R_2 — soluție de Cl_2 ; *R* — stație de reactivi ; *ND* — nămol de decantare ; *ASF* — apă de la spălarea filtrelor ; *b* — varianta modernă (plan și profil longitudinal) : *MS* — microsite ; PO_3 — preozonizare ; *CF* — coagulare-floculare ; *D* — decantare ; IO_3 — interozonizare ; *SP* — stație de pompare ; *F* — filtrare ; O_3 — ozonizare ; *FCAG* — filtrare prin cărbune activ granular ; Cl_2 — clorare finală ; R_1 — reactivi de corectare a pH-ului ; R_2 — ozon ; nR_i — reactivi pentru coagulare-floculare ; R_4 — polimer amonte de filtrare ; R_5 — clor pentru dezinfectare finală ; *TNAS* — tratarea nămolurilor și a apelor de la spălare ; *AR* — ape recuperate ; *UN* — uscarea nămolului ; *V* — valorificare.

Dezavantajele schemei prezentate în figura 6.1, *a* constau în lipsa de eficienţă pentru ape încărcate cu suspensii de natură organică, pentru substanţele dizolvate şi în risipa de energie şi spaţii (reactivi, sisteme mecano-electrice de exploatare) pentru corectarea calităţii apei.

În condiţiile modificărilor de calitate a apei survenite în ultimele decenii la rîurile din ţara noastră (reducerea turbidităţii şi creşterea încărcării organice), se impune o variantă modernizată a schemei unei staţii de tratare a apei din rîu (fig. 6.1, *b*).

Din compararea figurilor 6.1, *a* şi 6.1, *b* se observă creşterea numărului de obiecte-procedee, complexitatea reactivilor chimici şi multiplicarea liniilor tehnologice.

Schema cuprinde:

- MS — microsite;
- PO_3 — preozonizare;
- CF — coagulare-floculare;
- D — decantare;
- IO_3 — interozonizare;
- SP — staţie de pompare;
- F — filtrare;
- O_3 — ozonizare;
- F_{CAG} — filtrare prin cărbune activ granular;
- Cl_2 — clorare finală.

Staţia de reactivi poate cuprinde: R_1 — reactivi de corectare a pH-ului; R_2 — ozon; nR_i — reactivi pentru coagulare-floculare (săruri de aluminiu sau fier, silice activă, polimeri, cărbune activ pulbere); R_4 — polimer amonte de filtrare; R_5 — clor pentru dezinfectare finală (în această schemă, utilizat practic pentru doza de marcaj şi control în reţea). Nămolurile şi apele rezultate din obiectele staţiei sînt trimise apoi la TNAS — tratarea nămolurilor şi a apelor de la spălare, din care rezultă ape recuperate (AR) şi nămoluri valorificabile (nămolul este uscat — UN valorificat — V).

Această schemă prezintă avantajul siguranţei în asigurarea apei tratate, independent de calitatea apei sursei, combină procese fizice cu acţiunea agenţilor chimici, cu realizarea unui minim de consum de energie, asigură protecţia mediului prin reducerea cantităţilor de nămol şi poate recupera 5—10% din apa proaspătă.

Dezavantajele schemei sînt date de gradul ridicat de tehnicitate care se impune în exploatare, atît în domeniul dotării cu personal calificat, cît şi al aparaturii de măsură, control şi automatizare.

6.1.3.2. **Schema staţiei de tratare din sursa subterană.** Diversitatea schemelor staţiilor de tratare a apei din surse subterane este foarte mare şi depinde esenţial de complexul de substanţe dizolvate în apă şi de evoluţia acestuia în timp, în exploatare; de aceea, se şi impune obligativitatea efectuării studiilor tehnologice pe staţii pilot.

Schema reprezentată în figura 6.2 cuprinde: *A* — aerarea apei, după o prealabilă alcalinizare prin R_1; F_I, F_{II} — filtrarea rapidă în două trepte; *DZF* — dezinfectarea cu soluţie de clor gazos (R_2); apele rezultate de la spălarea filtrelor sînt decantate în *D*, de unde se obţin ape recuperate *AR* şi nămoluri valorificabile *NV*.

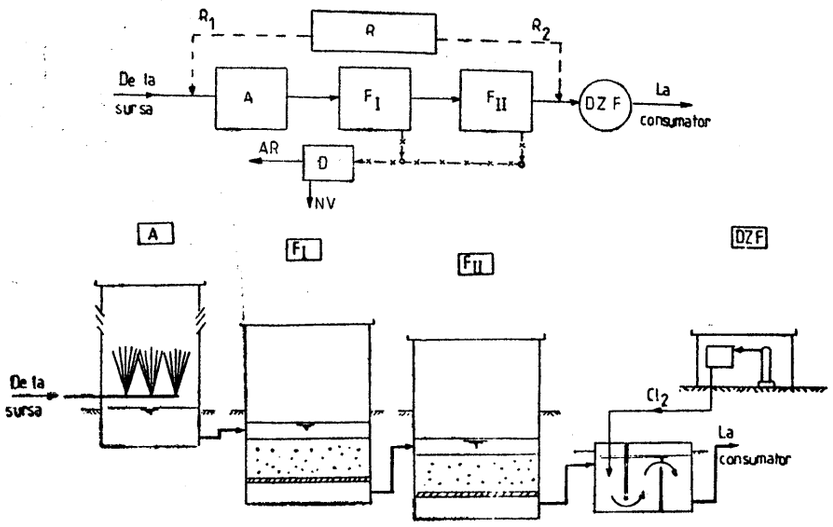


Fig. 6.2. Schema staţiei de tratare a apei din sursa subterană (plan şi profil tehnologic): *A* — aerarea apei după o prealabilă alcalinizare prin R_1; F_I, F_{II} — filtrarea rapidă în două trepte; *DZF* — dezinfectare cu soluţie de clor gazos; R_2 — soluţie de clor gazos; *D* — decantor; *AR* — ape recuperate; *NV* — nămoluri valorificabile.

Stabilirea schemei în plan şi a profilului tehnologic se realizează luînd în considerare următoarele:

— suprafeţe ocupate minime, cu posibilităţi de extindere şi păstrarea distanţelor de protecţie sanitară;

— adoptarea fluxului tehnologic gravitaţional, cel puţin pentru linia cu cea mai mare pondere în consumul de energie; în cazul pompării apei, se impune concentrarea acesteia în amonte de staţia de tratare;

— stabilirea amplasamentului, tipul de profil tehnologic se efectuează pe baza unui studiu tehnico-economic în ansamblul schemei sistemului de alimentare cu apă.

În tabelul 6.1. sînt prezentate elementele care stau la baza alcătuirii schemelor tehnologice pentru staţiile de tratare a apei, în funcţie de calitatea apei brute, domeniul de aplicare al fiecărui procedeu ca şi principalii parametri tehnologici [31].

6.2. TRATAREA APEI CU REACTIVI CHIMICI

6.2.1. COAGULARE-FLOCULARE

În schema tehnologică a staţiilor de tratare a apei, coagularea-floculare trebuie abordată ca un proces distinct, pentru că de eficienţa acestuia depind direct rezultatele obţinute în treptele de decantare.

Sintetizarea elementelor care formează complexul denumit *coagulare-floculare* se face după cum urmează:

- *stadiul 1* — introducerea coagulantului, urmată de reacţia cu apa prin ionizare, hidroliză şi polimerizare;

Tabelul 6.1

Alcătuirea schemelor tehnologice pentru staţiile de tratare a apei

Proces	Procedeu	Aplicare	Parametri tehnici	Scop
1	2	3	4	5
Reţinerea corpurilor în suspensie	Grătare rare	Prize de apă de suprafaţă	Bare cu interspaţii 8—10 cm la cele rare, 2,5—4 cm la cele dese	Evitarea introducerii în instalaţiile de limpezire a apei cu corpuri grosiere
	Grătare dese	Idem şi la apă de lac		
	Site rotative	Prize de apă din rîuri cu conţinut important în suspensii gravimetrice	Plase cu ochiuri 1—5 mm. Spălare continuă cu jeturi de apă	Protecţia agregatelor şi utilajelor
	Deznisipatoare	Ape cu suspensii gravimetrice cu marimea peste 0,1 mm în proporţie de peste 25% din conţinutul total	Timpul de sedimentare 2′—3′ Viteze de sedimentare $w < 5 \ldots 25$ mm/s	Reţinerea particulelor discrete. Evitarea depunerii acestora în aducţiuni şi în decantoare
	Microsite	Ape de lac sau de rîu cu conţinut de micro-floră şi microfaună acvatică	Pînze de sită cu ochiuri de 20—60 μm (textile sau inox) Spălare cu jet de apă la partea superioară a tamburului. Viteza de rotaţie a tamburului 1—2 rot/min	Reducerea indicelui de colmatare a apei cu 50—80%; reţinerea microflorei şi microfaunei acvatice
	Separator de uleiuri	Existenţa unei pelicule de ulei sau grăsimi la sursă	Flotarea naturală sau barbotarea cu aer. Se aplică înaintea deznisipatoarelor sau combinat cu acestea	Eliminarea peliculelor de ulei sau grăsimi
	Predecantoare	Ape de suprafaţă care pot depăşi în anumite perioade concentraţia în suspensii de 1000 mg/l	Încărcare 15—20 m³/hm². Timp de decantare 0,5 h	Reducerea suspensilor, nisipurilor fine şi argile în proporţie de 65—85%. Evitarea utilizării coagulantului
Preclorare	Introducerea Cl în amonte de staţia de tratare	La ape cu conţinut important de substanţe organice şi plancton	Doze de 2—10 mg/l; introducere intermitentă	Împiedicarea dezvoltării planctonului şi creşterii conţinutului de bacterii

Tabelul 6.1. (continuare)

1	2	3	4	5
Coagulare-floculare	Reactivi de coagulare-floculare Amestec rapid cu apa brută Amestec lent cu apa brută	Toate categoriile de ape pe baza testelor de coagulare-floculare	Reactivi: săruri Al, Fe, adjuvanţi naturali şi sintetici. Doze 10—100 mg/l pentru coagulanţi, 1—5 mg/l pentru silice activă şi 0,1—0,5 mg/l pentru polimeri. Amestec mecanic rapid şi lent	Amoniacul trece în cloramină sau la doze mari se nitrifică. Compuşii feroşi, manganoşi sînt oxidaţi. Neutralizarea sarcinii electrostatice a coloidului din apă (mineral sau organic). Formarea şi aglomerarea flocoanelor. Azotiţii sînt aduşi în stare de azotaţi. O_3 oxidează anumite substanţe organice. Îmbunătăţeşte filtrabilitatea apei
Aerare	Pulverizare prin sprinklere Barbotare cu aer Aerare mecanică cu rotoare cu ax vertical sau tip perie cu ax orizontal	Ape cu conţinut de H_2S, CO_2. Ape feruginoase lipsite de O_2 dizolvat Flotarea uleiurilor şi grăsimilor emulsionate în apă	Pulverizare cu 1—2 l/s.m² la presiune de 7—8 m. col. apă Barbotare cu 50—100 m³/hm² aer cu încărcare de 10—30m³/hm² apă. Bazine pentru timp de contact de 5—15′, rotoare cu ax vertical sau orizontal	Eliminare H_2S, CO_2. Reducerea agresivităţii apei. Introducerea de oxigen în apă
Decantare	Decantare într-o singură treaptă de tip static	La ape cu turbiditate medie 80—90% suspensii de natură minerală	Decantoare longitudinale cu adîncimi de apă 2,5—4,0 m, cu panta fundului 5%. Decantoare radiale cu adîncimi de apă $h = 2—3$ m; $H = 4—5$ m, $t_d = 1,5—2$ h	Reducerea suspensiilor pînă la concentraţii sub 15—30 g/m³
	Decantoare într-o singură treaptă de tip suspensional	La ape cu turbidităţi medii cînd nu se depăşesc concentraţii 500—1000 g suspensii/m³	La decantoare cu circulaţia stratului de nămol: timp de retenţie 45—60′, viteze ascensionale 3—4 m/h. La decantoare cu strat de nămol lestat viteze ascensionale de 2—3 m/h, $t = 60—90'$	Limpezirea apei sub 10 g suspensii/m³. Concentraţia nămolului obţinut din decantoare 10000 g/m³
	Decantoare dinamice de tip cu pulsaţie sau viteza ascensională variabilă	Ape cu încărcare minerală şi organică de rîu sau lac cu turbiditate redusă.	Încărcare de 5—7 m³/hm² Coeziunea nămolului cu valori de 0.8—1,2 m/h	Limpezire sub 5—10g/m³. Concentrare nămol la 50—100 g/l

Tabelul 6.1 (continuare)

1	2	3	4	5
Decantare	Decantoare lamelare	Ape de rîu sau lac cu cedare instantanee a suspensiei floculate	Încărcare de 5—20 m^3/hm^2, în funcţie de capacitatea de cedare	Limpezire sub 3—5 mg/l. Concentrare nămol la 50—100 g/l
	Decantoare în două trepte, prima treaptă ca la predecantoare, cu utilizare eventuală de coagulant numai în perioade de viituri, a doua treaptă ca la decantoare într-o singură treaptă de tip suspensional, urmată de filtrarea rapidă	La ape cu turbidităţi curente peste 3000 g/m^3 ce pot depăşi în cazuri excepţionale 10000 g/m^3. La ape care prezintă dificultăţi de decantare după procedeul de la decantoare lamelare.	Utilizarea de coagulant în treapta I de decantare numai în perioadele cu concentraţii de suspensii peste 5000—6000 g/m^3 Parametrii de funcţionare pentru treapta II de funcţionare ca la decantoare de tip suspensional	Decantarea în două trepte îmbunătăţeşte considerabil funcţionarea decantării şi filtrării, reduce consumurile specifice de reactivi, măreşte siguranţa în funcţionare a treptei de limpezire a apei
Filtrare	Filtre de nisip de cuarţ	Ape cu conţinut de suspensii ce nu depăşeşte 20 suspensii/m^3 şi conţinut redus de substanţe organice	Viteza de filtrare 5—8 m/h Spălare în contra-curent de apă şi aer comprimat	Limpezirea apei sub 1 °SiO_2
	Filtre lente de nisip de cuarţ	Ape de rîu sau lac cu suspensii minerale şi organice sub 20 mg/l	Strat suport din pietriş 0,3—0,4 m şi nisip h = 0,6—1,2 m cu granulozitate 1—1,5 mm. Viteza de filtrare 5—10 m/zi	Apa limpezită sub 0,1 °SiO_2
	Filtre de construcţie specială (cu dublu strat, cu dublu curent)	Apă de rîu sau lac sub 20 °SiO_2	Viteze de filtrare de 10—12 m/h Sisteme complexe de strat şi construcţie	Reducerea costurilor de investiţie şi exploatare
Dezinfectare	Clorare	Cînd apa nu conţine materii organice sau substanţe chimice care formează cu clorul compuşi cu gust şi miros neplăcut (mai ales fenoli)	Doze (uzual 0,5—1 mg/l) care să asigure clor rezidual de 0,05—0,1 mg/l. Timp de contact minimum 20—30′.	Apa lipsită de bacterii şi de germeni patogeni. Oxidarea substanţelor organice

Tabelul 6.1 (continuare)

1	2	3	4	5
	Prin utilizarea peroxidului de clor	Apa conţine fenoli (dar nu şi alţi compuşi organici) ce pot da gust	Dozele se stabilesc experimental	Evită formarea clorfenolilor
	Prin utilizarea ozonului	Corectarea gustului, culorii şi eliminarea micropoluanţilor. Distrugerea viruşilor şi oxidarea materiilor organice. La ape cu conţinut de fenoli, ozonizarea trebuie urmată de filtrare pe cărbune activ	Dozele de 1—1,2 g/m^3 cu conţinut de O_3 rezidual de 0,4 g/m^3. Timp de contact 5′. Ozonul dispare după circa o oră în rezervoarele de stocare	Calitate superioară în privinţa gustului, culorii, conţinutului de substanţe organice
Tratarea nămolurilor	Concentrare şi uscare pe paturi	Nămoluri cu concentraţii de 3000—15000 g/m^3	Concentratoare de nămol avînd suprafaţa corespunzătoare unei încărcări specifice de 10—15 kg nămol/m^2zi (materie uscată)	Recuperarea apei. Valorificarea nămolului uscat
	Concentrare şi uscare artificială pe filtre presă vacuum sau centrifugare			
Deferizarea şi demanganizarea apei	Aerare urmată de filtrare	Ape cu conţinut de fier sub 3—4 g/m^3 fără mangan	Introducerea prin procedeele de la coagulare-floculare a 6—8 g/m^3 O_2. Filtrare cu viteze de 4—6 m/h	Eliminarea Fe şi Mn sub limita de 0,05 g/m^3
	Aerare, preclorare, dublă filtrare	Ape cu conţinut de Fe şi Mn	Aerare prin procedeele de la coagulare-floculare. Preclorare cu doze de 4—5 g/m^3 stabilite experimental. Filtrare treapta I cu viteze de 6—7 m/h pentru reţinerea Fe. Filtrare treapta a II-a cu viteze de 4—5 m/h pentru reţinerea Mn	
	Procedeul de la tratarea nămolurilor (uscare pe filtre, cu folosire de reactivi sau nămol cu rol catalizator	Ape cu conţinut de Fe şi Mn în compuşi humici sau complexat pe materii organice	Ca la tratarea nămolurilor cu adaos de oxidanţi puternici $KMnO_4$ sau O_3. Cu recuperarea nămolului de la spălarea filtrelor treapta a II-a şi introducerea în filtrele treapta I	

Tabelul 6.1 (continuare)

1	2	3	4	5
Reducerea durității	Decarbonatare cu reactivi chimici	Ape cu duritate temporară peste cea prescrisă de normele consumatorului industrial	Tratare cu var și clorură ferică sau sulfat feros activat cu clor Decantare suspensională cu recircularea stratului, cu viteze ascensionale sub 4—5m/h	Reducerea durității temporare sub 5 grade duritate
	Filtre cu schimbători de ioni	La ape cu duritate permanentă peste cea necesară în utilizări industriale Se aplică numai la ape limpezite în prealabil	Rășinile cationice preiau ionii de calciu din apă în schimbul ionilor de sodiu Rășinile anionice nu sînt admise la tratarea apei potabile	Reducerea durității totale, eliminarea sulfaților și clorurilor
Eliminarea sulfaților și clorurilor	Electrodializa	Ape salmastre cu mineralizare medie	Trecerea apei prin membrane speciale sub acțiunea curentului electric	Reduce mineralizarea de la 3000 la 500 g/m³
	Osmoza inversă	Ape cu mineralizare puternică	Trecerea apei pure prin membrane speciale sub acțiunea curentului electric	Produce apă complet demineralizată
Eliminarea gustului și mirosului	Ozon și cărbune activ	Ape cu gust neplăcut provocat de compușii existenți în apă	Cărbunele activ praf în doze 5—10 g/m³ introdus în apă înainte de decantare. Ozon 1—1,5 g/m³ urmat de filtre CAG, v = 15—20 m/h	Eliminarea gustului și mirosului
	Numai cărbune activ			

Tabelul 6.1 (continuare)

1	2	3	4	5
Eliminarea micro-poluanților	Oxidare cu ozon	Ape cu conținut de fenoli	Dozele se stabilesc prin încercări experimentale	Eliminarea fenolilor și compuși lor de clor fenoli
	Filtrare pe cărbune activ	Eliminarea totală a fenolilor	Adsorbția se face pe granulele de cărbune chiar epuizate față de materiile organice	
	Cărbune activ pulbere	Ape cu conținut de hidrocarburi cu lanț saturat	Înainte de decantoare, în doze stabilite în funcție de conținutul de hidrocarburi	
	Ozonizare	Ape cu conținut de hidrocarburi policiclice tip 3—4 benzopyren		
	Spumare	Ape cu conținut de detergenți	Insuflare cu aer sub grosime mică de apă. Tratarea spumei prin evaporare sau prin cărbune activ	Reducerea detergentului sub limita de spumare
	Ozonizare	Ape cu conținut de detergenți nebiodegradabili	Doze mari de ozon stabilite experimental (2—5 g/m³)	Reducerea cu 50% a detergenților anionici la doze de ozon 1,5—3 g/m³. Stadiul de eliminare maxim de 70—95%).
	Cărbune activ	Ape cu conținut de detergenți puțin biodegradabili	Cărbune activ pulbere introdus înainte de decantoare, cu doze de 12,5—25 g/m³	Reducerea cu 50% a detergenților
	Tratare cu clor, peroxid de clor sau permanganat	Ape cu conținut de pesticide	Erbicidele sunt degradate de clor, peroxid de clor și permanganat	Eficacitate parțială
	Cărbunele activ	Ape cu conținut de pesticide	Cărbune activ pulbere în doze maxime de 20 g/m³. Filtrare pe cărbune activ granulat — pesticidele sînt complet reținute	Eliminarea gustului provenind de la pesticide

• *stadiul 2* — destabilizare determinată prin comprimarea stratului dublu de ioni, adsorbția specifică a ionilor de coagulant la suprafața particulelor, incluziunea coloidului într-un hidroxid și formarea legăturilor interparticule ale diferitelor specii de coagulant;

• *stadiul 3* — transport caracterizat prin mișcare browniană — așa numita floculare *pericinetică* și dispersia energiei — așa numita floculare *ortocinetică*.

Rolul coagulării-floculării este să asigure posibilitatea reținerii materiilor în suspensie și coloidale în etapele de decantare și filtrare.

Eliminarea substanțelor dizolvate necesită pentru fiecare specie un tratament specific, cu sau fără treapta de coagulare-floculare.

Apa conține trei categorii de compuși, clasificați astfel:

— materii *în suspensie* de origine *minerală* (nisipuri, argile etc.) sau *organică* (rezultate din descompunerea materiilor vegetale sau animale, acizi humici sau fulvici); la acești compuși se adaugă microorganisme: bacterii, plancton, alge și viruși. Aceste substanțe dau *turbiditate și culoare*;

— materii *coloidale* (cu dimensiuni $< 1\mu$); au aceeași origine ca și cele precedente, dar mărimea mult mai redusă și determină o decantare excesiv de lentă;

— materii *dizolvate*, în general cationi sau anioni de natură minerală sau chiar oganică; se găsesc deasemenea gaze (O_2, CO_2, H_2S) în stare dizolvată sau liberă.

6.2.1.1. **Suspensii coloidale.** Se cunoaște faptul că anumite materiale sau organisme coloidale necesită, pentru decantare (avînd ca singura influență greutatea proprie), perioade foarte lungi, de exemplu [15]:

— bacterii cu dimensiuni 10^{-3} mm — 8 zile pe o col. H_2O = 1,0 m, la 20°C;

— coloid cu dimensiuni 10^{-5} mm — 20 ani pe o col. H_2O = 1,0 m, la 20°C;

— coloid cu dimensiuni 10^{-6} mm — 200 ani pe o col. H_2O = 1,0 m, la 20°C.

În cazul coloizilor, *fenomenele de suprafață* sînt esențiale.

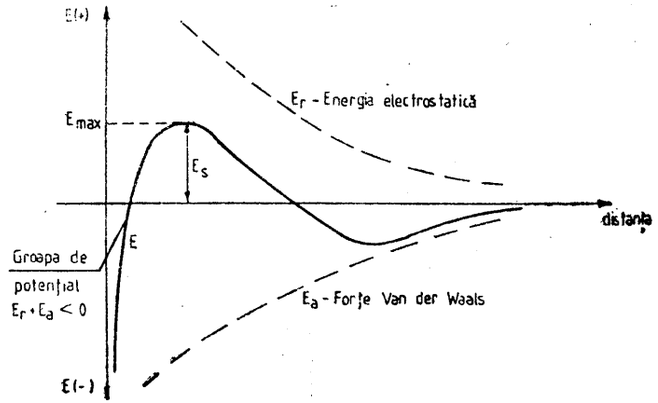


Fig. 6.3. Reprezentarea forțelor care acționează asupra coloizilor.

În general, coloizii sînt supuși la două tipuri de forțe:

— forțe *de atracție* Van der Waals, determinate de structura și forma coloidului și de natura mediului;

— forțe *de respingere electrostatice*, determinate de sarcina superficială a coloidului.

Stabilitatea unei suspensii coloidale depinde de bilanțul forțelor de atracție și de respingere.

Pentru a destabiliza o suspensie coloidală trebuie anulată *bariera energetică Es*; se cere deci, diminuarea forțelor de respingere electrostatică.

Există numeroase teorii care analizează mecanismele diminuării forțelor de respingere electrostatice, dintre care se menționează:

Potențialul Zeta. Electroforeza permite stabilirea *potențialului Z* (cînd o particulă este supusă unui cîmp electric, practic instantaneu, ea atinge o viteză care conduce la stabilirea unui echilibru între forțele electrice de atracție și cele de frecare date de vîscozitatea mediului) prin relația Helmholtz—Smoluchowski:

$$Z = \frac{4\pi\eta v}{\varepsilon E},$$

în care: Z este potențialul electrocinetic; E — gradient de potențial, în V/cm; η — vîscozitate dinamică; ε — constantă dielectrică; v — mobilitate electroforetică într-un cîmp electric (1V/cm).

Anularea potențialului Z este echivalentă cu situația optimă la care se pot desfășura reacțiile de coagulare-floculare.

Teoria chimică. Întrucît legăturile covalente sînt de 20÷50 ori superioare forțelor electrostatice, a fost introdusă o teorie chimică pentru interpretarea destabilizării suspensiilor coloidale.

Acest model consideră că sarcina primară a unei particule coloidale este dată de ionizarea directă a grupurilor chimice prezente la suprafața acesteia. Destabilizarea se realizează prin reacții covalente între aceste grupuri și ionii metalici polivalenți ai coagulanților. Teoria pune în evidență importanța precipitării simultane a hidroxizilor metalici și a grupurilor chimice superficiale ale coloizilor.

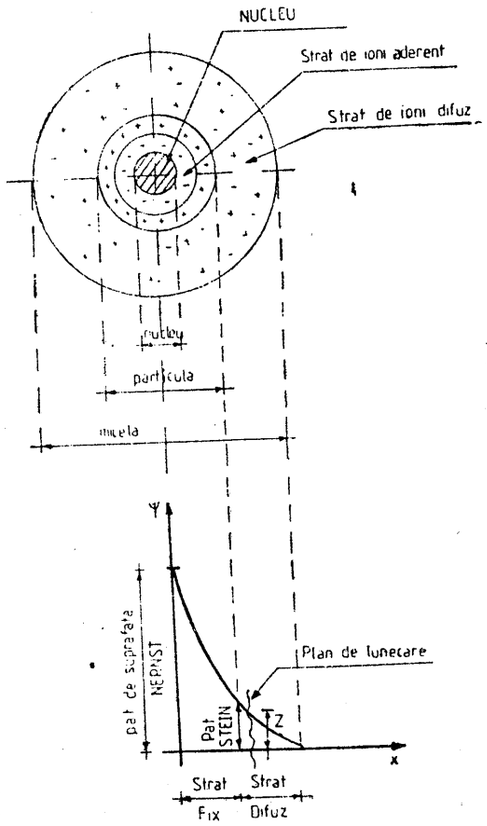


Fig. 6.4. Definirea potențialului Z (zeta).

Coagularea este destabilizarea particulelor coloidale prin adăugarea unui reactiv chimic = *coagulant*.

6.2.1.2. **Floculareа.** Floculareа este aglomerarea particulelor *descărcate* în microflocoane, urmată de formarea macroflocoanelor. Floculareа poate fi îmbunătăţită prin adăugarea unui floculant sau adjuvant de floculare.

În floculare apar două etape:

— *floculareа pericinetică*, legată de difuzia browniană

$$\frac{dn_p}{dt} = \alpha \frac{4kT}{3\eta} d^2, \tag{6.1}$$

în care: n_p este numărul de particule/unitatea de volum; α — coeficient de probabilitate de ciocnire a particulelor; k — constanta Boltzmann; T — temperatura absolută; η — vîscozitatea dinamică; d — diametrul particulei;

— *floculareа ortocinetică*

$$\frac{dn_0}{dt} = \frac{1}{6} \alpha n^2 G D^3, \text{ pentru mişcarea laminară} \tag{6.2}$$

$$\frac{dn_0}{dt} = k n^2 G D^3, \text{ pentru mişcarea turbulentă} \tag{6.3}$$

Gradientul de viteză G se defineşte:

$$G = \frac{dv}{dz} = k \sqrt{\frac{P}{V}} \ [s^{-1}], \tag{6.4}$$

în care: $k = 23{,}6$ pentru $t = 0\,°C$ şi $k = 38{,}9$ pentru $t = 40\,°C$; P — puterea disipată, în W; V — volumul camerei de reacţie, în m³.

Gradientul de viteză este un parametru important care acţionează asupra probabilităţii de formare a macro — flocoanelor:

$G \cong 400\ s^{-1}$ — în etapa de coagulare

$G \cong 100\ s^{-1}$ — în etapa de floculare.

6.2.1.3. **Alegerea reactivilor şi a soluţiilor tehnice pentru desfăşurarea optimă a proceselor de coagulare-floculare.** Neutralizarea sarcinii superficiale negative a coloidului este asigurată de cationii hidrolizaţi în cazul coagulanţilor minerali. Coagulantul este cu atît mai eficace, cu cît valenţa cationului este mai ridicată (teoria *Schulze — Hardy*: un ion trivalent este de 10 ori mai eficace decît un ion bivalent).

Alegerea coagulantului trebuie să ia în consideraţie:

— cunoaşterea acţiunii sale asupra coloidului din apă, element care poate fi determinat cu exactitate, introducînd doze din acesta şi măsurînd potenţialul Z;

— cunoaşterea tehnologiei de punere în operă şi costurile estimate pentru tratarea apei; se utilizează curent şi la noi şi pe plan mondial săruri de fier şi aluminiu trivalent;

— influenţa caracteristicilor apei care se tratează, în special prin valoarea indicelui pH şi a conţinutului de bicarbonaţi; pH-ul optim se situează între pH-ul necesar pentru coagulare (legat de natura coloidului) şi pH-ul necesar floculării (legat de creşterea flocoanelor de hidroxid de fier sau aluminiu); astfel, pentru Al^{3+}, pH-ul optim coagulării — floculării este pH = 6,5; pentru Fe^{3+}, pH-ul optim coagulării — floculării este pH ⩾ 5,0.

Urmărirea *hidrolizei* ionilor de Al^{3+} indică desfăşurarea acesteia în patru stadii, în funcţie de diferitele specii de Al (cele patru stadii durează 1....7 s).

În stabilizarea Al, sînt puse în evidenţă următoarele zone:

• *zona de coagulare prin înglobare* doze 20···200 mg/dm³ (pH = 5,5—8,5); ca urmare a fazei de destabilizare (îmbrăcarea suprafeţei coloidului de către polimerii de hidroxizi metalici), precipitatul de Al este voluminos.

Se constată că apar ca importante condiţiile chimice (pH, alcalinitate) pentru precipitarea hidroxidului amorf;

• *zona de adsorbţie* — ionii de Al, hidrolizaţi sînt adsorbiţi prin reacţii de schimb şi se formează un strat de $Al(OH)_3$ amorf.

Aici apare ca foarte important *amestecul rapid* (pentru ca dispersia coagulantului durează sub 0,1 s). Se formează flocoane mici.

• *zona de restabilizare* — apare numai în cazul soluţiilor coloidale diluate.

Pe baza celor de mai sus, rezultă că procesul de neutralizare a sarcinii electrostatice a coloidului este complex şi este determinat de:

— calitatea apei: turbiditate, alcalinitate, pH, temperatură, natura şi sarcina coloidului;

— condiţiile de disociere a coagulantului pentru obţinerea celor mai favorabile situaţii din punct de vedere al îmbrăcării învelişului acestuia.

Însumarea acestor factori poate fi definită ca *ampreпta* de tratabilitate a unei calităţi de apă; aceasta este unică, chiar pentru secţiuni diferite ale aceluiaşi curs de apă.

6.2.1.4. **Stabilirea dozelor de coagulanţi.** În continuare vor fi prezentate două dintre metodele cele mai utilizate.

Metoda determinării potenţialului Z prin electroforeză. Aceasta constă în stabilirea deplasării coloidului într-un cîmp electric. Aparatul (zetametru) cuprinde: o celulă electroforetică; microscop binocular; dispozitiv de iluminare. Se va determina viteza de deplasare a particulelor coloidale apropiate de 1μ. Determinările sînt efectuate mai întîi pentru apă brută, apoi cu doze crescînde de coagulant. Se trasează curba de variaţie a dozei de coagulant pentru reducerea potenţialului Z la valori apropiate de zero. În figura 6.5 se indică aceasta pentru o apă încărcată cu suspensii coloidale de natură minerală (curba *1*) şi o apă puternic încărcată cu alge şi materii organice (curba *2*).

Metoda jar-test, considerată ca fiind cea mai apropiată de realitate, foloseşte un aparat (figura 6.6) prin care se efectuează încercări sistematice cu doze de coagulant diferite.

În 5÷6 vase de 1 dm³ se introduce apa de tratat. În fiecare vas se aplică o doză de reactiv, apropiată inferior şi superior unei doze stabilite pe baze statistice din practica de tratare a apei. Se amestecă mai întîi rapid, apoi lent urmărindu-se vizual şi prin determinări precise efectul fiecărei doze; există numeroase studii efectuate asupra gradientului hidraulic utilizat în fazele de amestec rapid şi lent, inclusiv asupra mărimii şi formei elicei agitatorului şi a timpilor utilizaţi (organismul I.W.S.A. — U.S.A. recomandă: 1' cu 60—80 rot/min, 15' cu 30 rot/min, după 20'

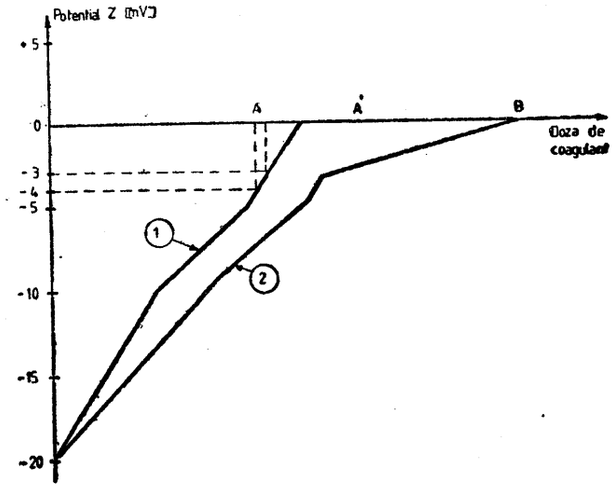


Fig. 6.5. Variația dozei de coagulant pentru reducerea potențialului Z (zeta): *1* — coloid de natură minerală; *2* — coloid de natură organică + bacterii.

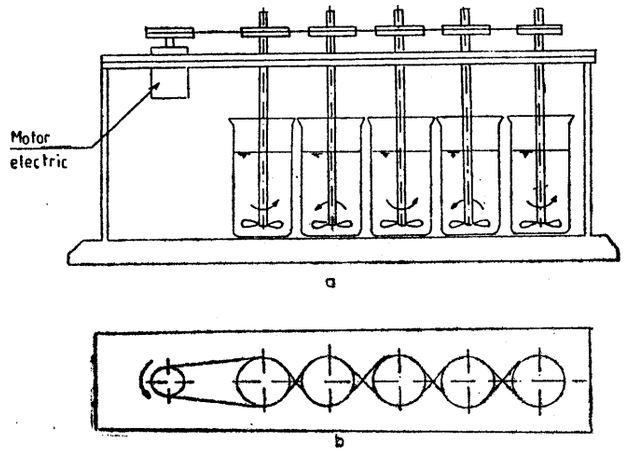


Fig. 6.6. Determinarea dozei optime de coagulant prin metoda JAR—TEST: *a* — vedere frontală; *b* — plan.

determinarea precisă a turbidității, culorii și substanțelor organice pentru supernatant și după 30' filtrarea acestuia și determinarea turbidității și substanțelor organice).

Important în această determinare este ca experimentul să se efectueze în condiții similare sau apropiate de condițiile care se realizează în instalațiile la scară naturală.

Cele două metode anterioare trebuie completate, pentru a extrapola rezultatele la scară naturală, cu un studiu asupra sedimentării prin determinarea coeficientului de coeziune a nămolului.

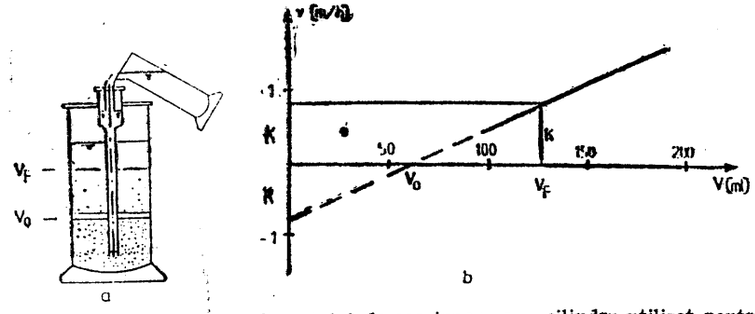


Fig. 6.7. Determinarea coeficientului de coeziune: *a* — cilindru utilizat pentru determinarea variației volumului de nămol; *b* — variația volumului de nămol în funcție de viteza ascensională.

Acesta se determină (conform fig. 6.7) urmărindu-se variația volumului de nămol tasat în cilindru, prin introducerea unui curent de apă ascendent.

Coeficientul de coeziune a nămolului K se definește prin relația:

$$K = \frac{v}{V_F/V_0 - 1} \quad [\text{m/h}], \tag{6.5}$$

în care: v este viteza ascensională pentru obținerea volumului de nămol expandat V_F; V_F — volumul de nămol de după expandare; V_0 — volumul de nămol tasat corespunzător lui $v = 0$;

Determinarea valorilor lui K pune în evidență:

— pentru $K = 0{,}8 \cdots 1{,}2$ m/h, procesul de coagulare — floculare s-a asigurat optim din punct de vedere al tipului de reactiv, dozei și amestecului rapid și lent;

— pentru $K = 0{,}3$ m/h, nămolul este constituit din flocoane fragile, ușoare și necoezive;

6.1.2.5. **Reactivii utilizați în tratarea apei.** Reactivii de coagulare — floculare sînt produse de origine minerală, polimeri naturali sau polimeri de sinteză.

• *Săruri de aluminiu:*

— *Sulfat de aluminiu*, forma anhidră ($\gamma = 2.71$ g/cm³), produs comercial $Al_2(SO_4)_3\ 18\,H_2O$. Solubilitatea în apă variază cu temperatura, de la 36,3 g/100 g apă la 20°C la 58,0 g/100 g la 60°C. Sulfatul de aluminiu, în soluție de 1% (pH = 3), reacționează cu bicarbonații (de Ca sau Mg) din apă:

$$Al_2(SO_4)_3 + 6HCO_3^- = 2Al(OH)_3 + 3SO_4^{2-} + 6CO_2.$$

Dozele de sulfat de aluminiu variază între 10÷150 g/m³ exprimate în produs comercial.

— *Sulfat de aluminiu + var*, combinație necesară pentru a compensa reducerea pH-ului, ca urmare a tratării cu sulfat de aluminiu:

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 = 2Al(OH)_3 + 3Ca^{2+} + 3SO_4^{2-}$$

Hidroxidul de calciu (varul stins) este o pulbere amorfă cu $\gamma = 2{,}08$ g/cm³ puțin solubil în apă. Suspensia de var în apă (lapte de var)

se utilizează la neutralizarea acizilor puşi în libertate în diferite procese de tratare.

— *Polimeri de aluminiu*, obţinuţi prin polimerizarea hidroxidului de aluminiu în soluţie. Formula generală a acestor produse este: $Al_n(OH)_p(Cl)_q(SO_4)_r$.

Aceştia se caracterizează prin raportul molar OH/Al cuprins între 0,5 şi 1,8. Produsele comerciale de acest tip (PAC, WAC, Aquelanc) constituie brevete de firmă. PCBA — policlorură bazică de aluminiu (brevet Degremont) — utilizează un raport molar OH/Al de 1,6÷1,8 prin neutralizarea controlată a clorurii de aluminiu cu ajutorul unei baze (NaOH) şi utilizarea conduce la flocularea rapidă, reducerea dozelor (exprimate în Al^{3+}), reducerea volumelor de nămol şi eliminarea adjuvanţilor de coagulare.

• *Săruri de fier:*

— *Clorura ferică* ($FeCl_3$) se utilizează pentru ape avînd pH = 5 — 6:

$$2FeCl_3 + HCO_3^- = Fe(OH)_3 + 6Cl^- + 6CO_3.$$

Este preferată uneori sulfatului de aluminiu, datorită efectelor coagulante mai bune pentru anumite categorii de suspensii, doze mai reduse cu 50% şi oxidarea substanţei organice. Dozele utilizate sînt de 5÷100 g/m³.

— *Sulfatul feros* ($FeSO_4\ 7H_2O$) se prezintă sub formă de cristale de culoare verde deschis; prin hidroliză, soluţia de apă are o reacţie puternic acidă (la concentraţia de 1%, pH = 3,3). Solubilitatea în apă depinde de temperatură: la 10 °C; 20,5 g/100 g apă; la 30 °C, 33 g/100 g apă.

Reacţia se desfăşoară astfel:

$$FeSO_4 + 2HCO_3^- = Fe(OH)_2 + SO_4^{2-} + 2CO_2$$

În majoritatea cazurilor, se foloseşte sub formă de clorură de sulfat feros ($FeClSO_4$), care se prepară prin tratarea sulfatului feros cu clor, rezultînd în acest mod costuri mai reduse, comparativ cu utilizarea clorurii ferice.

• *Coagulanţii organici de sinteză* cuprind molecule cu caracter cationic, cu o masă moleculară medie între 10^4 şi 10^5. Se găsesc sub formă lichidă în mediul apos, iar după diluţie pot fi utilizaţi în coagulare.

Utilizarea coagulanţilor organici de sinteză conduce la o reducere apreciabilă a volumului de nămol produs. Nămolurile rezultate sînt mai dense, dar mai lipicioase şi nu se pot trata decît cu un consum mare de energie.

Coagulanţii organici modifică puţin pH-ul şi salinitatea.

Coagulanţii organici utilizaţi se pot clasifica în trei grupe principale:
— melamin—formaldehida (melamin—formol);
— epiclorhidrina dimetil amoniu (EPIDMA)
— policlorura de dialildimetil amoniu (POLYDADMAC).

Coagulanţii organici pot fi utilizaţi pentru:
— limpezirea apelor în scop potabil, în funcţie şi de legislaţia fiecărei ţări, în sensul permiterii utilizării acestor tipuri de coagulanţi;
— coagulare în filtru — pentru apa de mare;
— coagularea apelor reziduale industriale — utilizarea cea mai largă a acestor tipuri de coagulanţi.

În multe cazuri, utilizarea numai a coagulanţilor organici nu conduce la aceleaşi eficienţe ca în cazul coagulanţilor minerali. În acest sens, se utilizează combinaţii între doi coagulanţi: organic şi mineral.

• *Floculanţii organici de sinteză* sînt macromolecule cu lanţuri lungi, obţinute prin asocierea monomerilor sintetici, care posedă sarcini electrice sau grupe ionizabile. Sînt produşi cu o masă moleculară foarte mare, cuprinsă între 10^6 şi 10^7 care dau performanţe bune.

Floculanţii organici se pot clasifica după sarcina ionică a polimerului în:
— anionici, în general copolimeri ai acrilamidei cu acidul acrilic;
— reactivi neionici, poliacrilamide;
— cationici, copolimeri ai acrilamidei cu un monomer cationic, în general metacrilat de dimetilaminoetil sau acrilat de dimetilaminoetil.

Floculanţii organici se pot afla sub trei forme: solidă, emulsie şi soluţie şi se aplică pentru tratarea apelor de suprafaţă în combinaţie cu un coagulant; se utilizează în special tipurile anionic şi neutru.

6.3. CONSTRUCŢII ŞI INSTALAŢII ÎN CARE SE UTILIZEAZĂ REACTIVI

Conceperea construcţiilor şi instalaţiilor în care se utilizează reactivi are la bază studii de tratabilitate a apei pentru alegerea tipului de reactiv, ca şi schemele de amestec şi reacţie cu apa de tratat.

Pentru fiecare tip de reactiv este necesară o schemă tehnologică, care să ia în considerare: stocarea şi depozitarea; tehnicile de dizolvare şi introducere în apă; modalităţile de amestec şi reacţie cu apa brută.

În continuare, se vor prezenta elementele necesare pentru realizarea liniilor tehnologice, pentru: sulfat de aluminiu; silice activă; var; clor şi ozon (acestea fiind cele utilizate în tehnica tratării apei).

6.3.1. SULFATUL DE ALUMINIU

6.3.1.1. **Depozitarea şi stocarea** se pot face *uscat* sau *umed*; pentru determinarea suprafeţei se iau în considerare:
— înălţimea maximă a stratului în depozit uscat — 2 m;
— durata de stocare depinde de posibilităţile de aprovizionare a staţiei de tratare şi se adoptă în general 15÷30 zile pentru consumul maxim zilnic;
— depozitarea umedă (recomandabilă) se realizează în bazine, pe baza raportului: 1.5 m³ bazin necesar pentru 1 t de sulfat de aluminiu.

Schema liniei tehnologice pentru sulfatul de aluminiu este dată în figura 6.8.

Bazinele de depozitare-dizolvare sînt din beton armat, protejate antiacid, prevăzute cu grătare de lemn deasupra radierului în care se descarcă sulfatul de aluminiu bulgări. Dizolvarea se asigură cu apă la 15÷20 °C; accelerarea dizolvării se face prin insuflare de aer sub grătarele de lemn

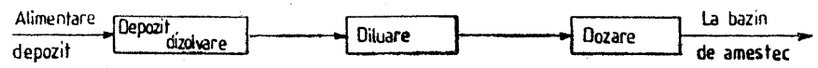


Fig. 6.8. Elementele liniei tehnologice pentru sulfatul de aluminiu.

sau prin recircularea soluției, prin pompare obținîndu-se soluție cu concentrația de 20÷25%.

6.3.1.2. **Diluarea.** Se lucrează practic cu concentrații 5÷10%; bazinele de diluare se execută sub formă de recipienți metalici cauciucați sau recipienți din mase plastice armate cu fibră de sticlă (polistif), capacitatea acestora fiind determinată de relația:

$$V = 0.024 \frac{Qdz}{nc\rho} \quad [dm^3], \tag{6.6}$$

în care: Q este debitul de apă tratat m³/h; dz — doza de coagulant (substanța activă), în mg/dm³; n — numărul de preparări în 24 h, care variază de la 3 la 6, în funcție de mărimea Q; c — concentrația soluției (5 — 10%); ρ — densitatea soluției la concentrația respectivă, în g/cm³.

Densitatea soluțiilor de sulfat de aluminiu hidratat, la temperatura de 19 °C variază între: 1,009 g/cm³ la 1% concentrație; 1,051 g/cm³ la 5%; 1,105 g/cm³ la 10%.

Pentru evitarea sedimentării soluției, este necesară omogenizarea continuă cu agitatoare mecanice sau prin recirculare cu pompe; în primul caz, sînt necesari 0,30 kW/m³ bazin, iar în cazul folosirii recirculării este necesar un debit de 2 dm³/m³ stocat.

6.3.1.3. **Dozarea.** Poate fi efectuată cu pompe dozatoare sau dozatoare hidraulice. Pompele dozatoare, utilizate în special la instalațiile cu debite mari, sînt de tip DOFIN și prezintă următoarele caracteristici: numărul capetelor de dozare — 2; debitul unui cap reglabil 0÷4320dm³/h; presiunea nominală de refulare 2 daN/cm²; conținutul de substanță uscată în lichidul pompat < 10%, pentru 3 kW, masă netă 400 kg. Deficiența principală a pompelor dozatoare constă în cerința de a pompa lichide fără impurități; acestea sînt practic nerealizabile și orice impuritate poate conduce la obținerea unui debit eronat. Se recomandă utilizarea combinată a sistemului cu pompe dozatoare și dozator hidraulic.

Dozatoarele hidraulice sînt constituite din recipienți executați din PVC sau PE și funcționează pe principiul obținerii unui debit printr-un ajutaj asigurînd nivelul constant; variația dozei se obține prin prevederea unui număr corespunzător de ajutaje cu diametre diferite. Dozatorul este prevăzut cu preaplin care asigură sarcină hidraulică constantă pentru duzele ajutajelor.

Este necesar să se stabilească pentru fiecare caz în parte o cheie pe baza căreia să se poată stabili debitul de soluție de sulfat de aluminiu; în funcție de concentrație, temperatură, densitate; acest debit se va asigura prin însumarea mai multor secțiuni de duze de ajutaje, prevăzute în dotarea dozatorului hidraulic.

Debitul de soluție necesar a fi introdus în apa brută se va stabili:

$$q = 10^{-8} \frac{Qdz}{c\rho} \quad [cm^3/s], \tag{6.7}$$

în care: Q este debitul de apă brută care se tratează, în dm³/s; dz — doza optimă, în mg/dm³; c — concentrația soluției; ρ — densitatea soluției de concentrație respectivă, în g/cm³.

Pomparea și transportul soluțiilor de sulfat de aluminiu se efectuează cu pompe speciale (Grafal, PCH) construite din materiale anticorozive.

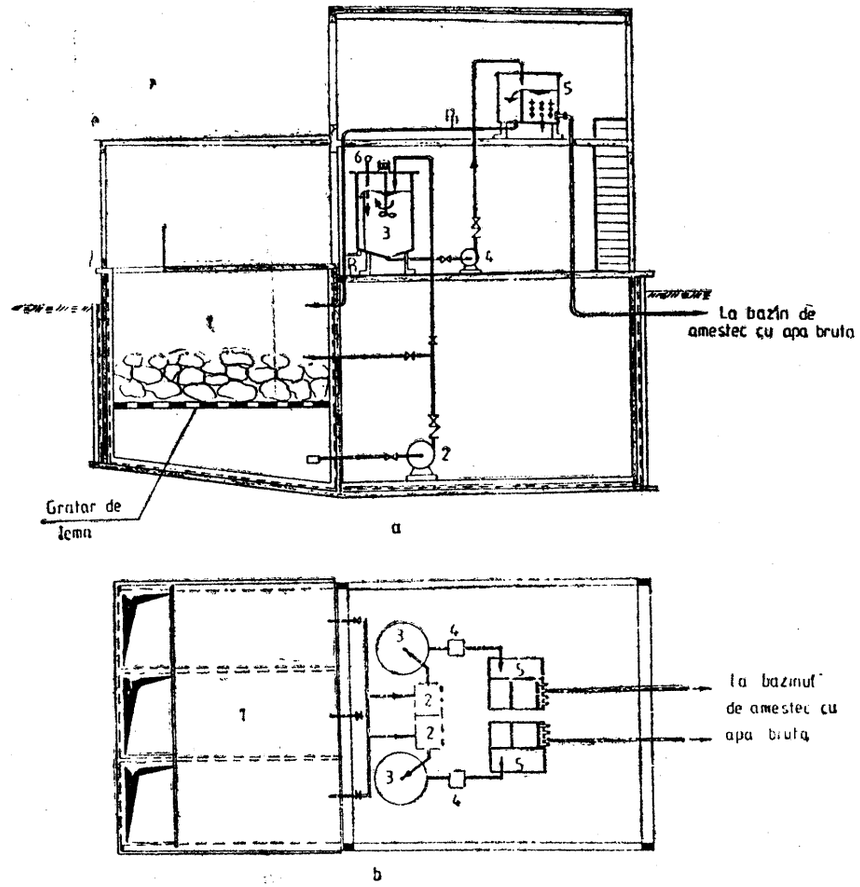


Fig. 6.9. Schema instalației pentru prepararea sulfatului de aluminiu: *a* — elevație; *b* — plan: *1* — depozit de soluție concentrată de sulfat de aluminiu; *2* — electropompe pentru transvazarea soluției concentrate și recirculare; *3* — recipient pentru soluție diluată; *4* — electropompe dozatoare; *5* — dozator cu duze multiple pentru dozarea sulfatului de aluminiu; P_p — preaplin; *6* — apă diluare.

Se vor respecta prevederile de la stațiile de pompare în ceea ce privește numărul de agregate, rezerva și schemele de montaj.

Transportul soluțiilor se face prin conducte rezistente la coroziune, de obicei din PVC, PE. Vitezele utilizate sînt de obicei de 0,8···1,5 m/s.

În figura 6.9. este prezentată schema liniei tehnologice pentru sulfatul de aluminiu [40].

6.3.2. SILICEA ACTIVĂ

Silicea activă se obține prin amestecul silicatului de sodiu industrial cu un acid sau cu alți reactivi care în soluție dau reacție acidă (acid sulfuric, clorhidric, clor, sulfat de aluminiu).

După activarea silicatului de sodiu cu acid, amestecul este maturat, în recipienți care lucrează alternativ la preparare sau dozare.

Instalația tehnologică de preparare a silicei active cuprinde cele ce urmează.

6.3.2.1. **Depozit de silicat de sodiu.** Se realizează în spații închise special amenajate, cu temperaturi mai mari sau egale cu +5°C; stocul de silicat de sodiu se prevede în general pentru 15 zile.

În această situație, cantitatea de silicat de sodiu care se păstrează în depozit va fi:

$$M = 0{,}024 \frac{Q\, dz T}{c} \quad [\text{kg}], \tag{6.8}$$

în care: Q este debitul stației de tratare, în m³/h;

dz — doza medie de silicat, în g/m³; se consideră 2.91 g silicat de sodiu cu 25% concentrație SiO_2 pentru un gram silice activă 1% concentrație;

c — concentrația în SiO_2 a silicatului de sodiu industrial (20 ÷ ÷ 25%);

T — durata de stocare, în zile.

Volumul depozitului se stabilește ținînd seama că silicatul se livrează în butoaie de 200 l care se așează pe două rînduri în poziție verticală (densitatea silicatului de sodiu $\gamma = 1{,}37$ g/cm³).

6.3.2.2. **Depozit de acid sulfuric.** Acidul sulfuric concentrat (> 93%) se stochează în recipienți metalici, introducerea și scoaterea făcîndu-se pe la partea superioară.

Volumul depozitului se determină în același mod, ținînd seama de faptul că *reactivul acid*, necesar de adăugat pentru activare la un gram SiO_2 din silicatul de sodiu, este de 0,45 g.

Densitatea acidului sulfuric este $\gamma = 1{,}84$ g/cm³.

6.3.2.3. **Recipienți de dozare pentru prepararea soluției de silice activă.** Se prevăd două bazine, pentru silicat de sodiu industrial și pentru reactivul de neutralizare diluat care să asigure cantitățile necesare pentru prepararea unei șarje de silice activă (2 ÷ 3 șarje/zi).

Volumul recipientului de maturare este:

$$V = 10^{-3} \frac{Q dz T_m}{cnd} \quad [\text{dm}^3], \tag{6.9}$$

în care: Q este debitul de apă brută care se tratează, în m³/h;

dz — doza de silice activă stabilită experimental, în mg/dm³;

T_m — timpul de maturare (> 2h);

c — concentrația soluției (0.5—1.0%);

n — numărul de preparări/zi (2—3);

d — densitatea soluției, în g/cm³.

În cazul utilizării acidului sulfuric ca reactiv de activare, se va utiliza concentrația $c = 5 \div 10\%$ în recipientul de dozare; dacă se utilizează sulfatul de aluminiu ca reactiv de activare, se va folosi concentrația de 2,0 ÷ 2,5%; în ambele situații, recipienții trebuie protejați anticoroziv prin căptușire cu cauciuc sau executați din PVC.

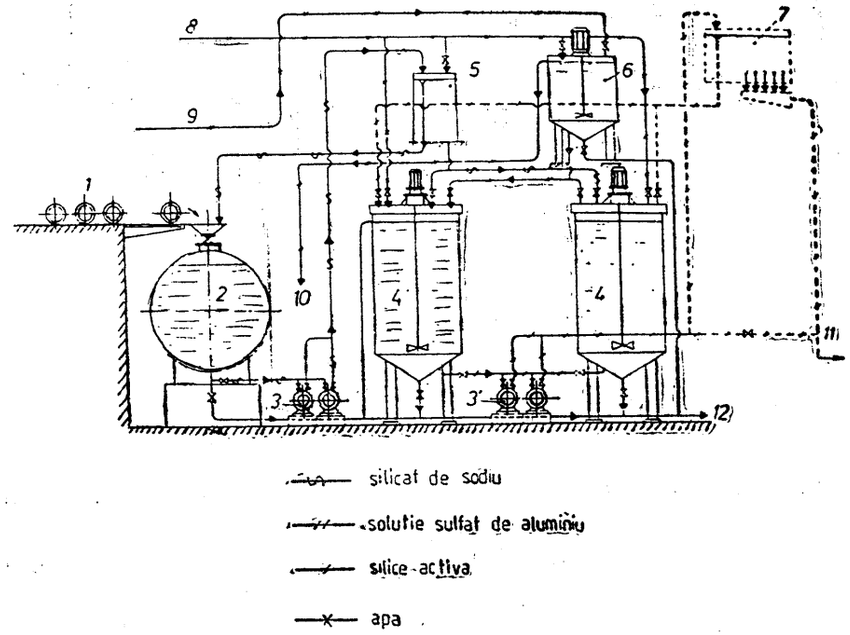


Fig. 6.10. Schema unei instalații tehnologice pentru prepararea și dozarea soluției de silice activă: *1* — butoaie cu silicat de sodiu; *2* — recipient pentru depozitarea silicatului de sodiu; *3* — pompe PCH; *3'* — pompe PCH în circuit cu vasul de dozare sau pompe dozatoare DOFIN; *4* — recipient de activare; *5* — vas de măsură pentru silicatul de sodiu; *6* — recipient de măsură pentru sulfatul de aluminiu; *7* — dozator cu recirculare; *8* — de la rețeaua de apă; 9 — de la pompa soluției de sulfat de aluminiu; *10* — spre bazinul de dizolvare a sulfatului de aluminiu; *11* — la bazinul de amestec; *12* — la canalizare.

Pentru recipienții de silice activă nu sînt necesare protecții anticorozisve.

Singura condiție care se impune instalației hidraulice pentru transportul soluției de silice activă este ca aceasta să se realizeze cu trasee minime, montate aparent sau în canivouri, pentru că există pericolul permanent ca soluția de silice activă să *gelifice*, în aceste situații fiind necesară demontarea și spălarea instalației; de regulă, conductele se execută din material plastic sau cauciuc.

În figura 6.10 este prezentată schema tehnologică pentru linia de silice activă [31].

6.3.3. HIDROXIDUL DE CALCIU (VARUL)

Hidroxidul de calciu se livrează sub formă de var stins și se păstrează în spații și depozite acoperite, construite din materiale incombustibile.

La stabilirea volumului depozitului, se ține seama de siguranța aprovizionării stației de tratare cu var. Durata de stocare se adoptă de 15 ÷ 30 zile.

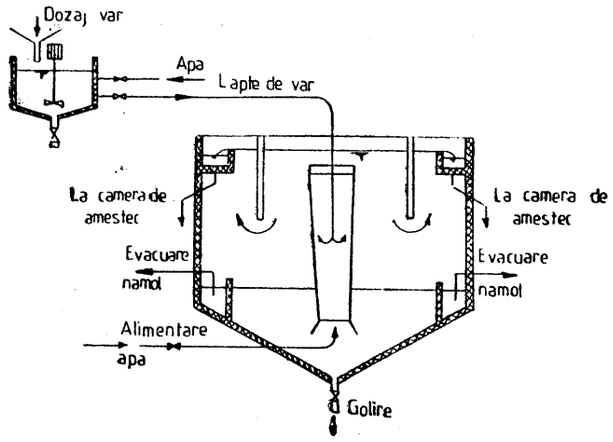


Fig. 6.11. Saturator de var.

Cantitatea de var G care se păstrează în depozite, se calculează cu relația:

$$G = 0{,}024\,\frac{Q d_z T}{c} \quad [\text{kg}], \tag{6.10}$$

în care: Q este debitul de apă brută care se tratează, în m³/h;
d_z — doza de var necesară exprimată în CaO, în g/m³;
T — timpul de stocare (15 —30 zile);
c — conținutul de Ca (60 ÷ 67%, pentru varul stins pulverulent (densitatea varului stins pulverulent este $\rho = 0.6$— —0.7 t/m³).

Pentru prepararea soluției de lapte de var, se prevăd recipienți speciali (saturatoare de var) conform figurii 6.11 [15].

Dizolvarea varului se poate accelera prin barbotare cu aer (8 ÷ 10 dm³/s, m² saturator) sau cu amestecatoare mecanice cu $n > 40$ rot/min.

Se prevăd minim 2 saturatoare având capacitatea V_{sat}:

$$V_{sat} = 24 \cdot 10^{-5}\,\frac{Q d_z}{cn\rho} \quad [\text{m}^3], \tag{6.11}$$

în care: Q este debitul de apă brută care se tratează, în m³/h;
d_z — doza de var exprimată în CaO, în g/m³;
c — concentrația laptelui de var (max. 2%);
n — numărul de preparări/zi (3 ÷ 6);
ρ — densitatea laptelui de var ($\cong$ 1 g/cm³).

Dozarea soluției de lapte de var se poate realiza cu pompe dozatoare sau dozatoare hidraulice, în condițiile în care se lucrează cu concentrații de maxim 1%; la concentrații mai mari, apar dificultăți date de înfundarea duzelor sau a capetelor de dozare ale pompelor.

Soluția care tinde să se generalizeze (care elimină saturatoarele de var) este *dozarea uscată* a varului hidratat pulverulent (se fabrică în țară dozatoare uscate pentru reactivi pulverulenți având capacitate de la 5 la 400 kg/h).

În figura 6.12. se prezintă schema unei instalații tehnologice pentru tratarea cu var folosind dozarea uscată [31].

Dozatorul uscat se instalează la partea inferioară a unui buncăr metalic, în care se depozitează cantitatea de var pulverulent necesară pentru un consum de 12 ÷ 24 h. Între buncăr și dozator se prevede un vibrator mecanic pentru afînarea materialului stocat.

Pentru a evita degajarea pulberii de var, introducerea varului în buncăr se face cu un sistem pneumatic de aspirație care preia varul direct din saci.

Amestecul varului pulverulent (care iese din dozator) cu apa brută se face într-o cameră de amestec hidraulic, cu șicane, cu circulația apei pe verticală.

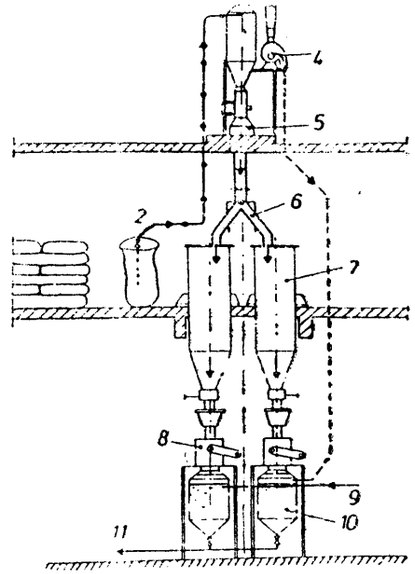


Fig. 6.12. Schema unei instalații tehnologice pentru tratare cu var: *1* — depozit cu saci de var hidratat pulverulent; *2* — tija de inspirație; *3* — ciclon; *4* — ventilator; *5* — alimentator celular; *6* — distribuitor; *7* — buncăr de alimentare; *8* — dozator uscat rotativ; *9* — de la rețeaua de apă; *10* — recipient de amestec cu apă; *11* — la bazinul de amestec (prin curgere gravitațională sau prin pompare).

6.3.4. CLORUL

Instalațiile pentru depozitare-stocare și introducere în apa de tratat trebuie să asigure soluția de clor, pe ansamblul stației, pentru preclorare (dacă soluția o prevede), post clorare sau doze de marcaj.

Depozitele de clor trebuie să asigure cantitatea necesară consumului pentru dezinfectare și alte întrebuințări, pe o perioadă de 30 zile.

Clorul se păstrează în butelii sau recipienți pînă la 500 ÷ 800 kg.

La proiectarea depozitelor și stațiilor de clor, trebuie să se țină seama de toate prevederile sanitare, de protecția și paza contra incendiilor în vigoare, pentru păstrarea și depozitarea substanțelor toxice.

În figura 6.13 este redată schema tehnologică a unei instalații de tratare cu clor, în varianta cu recipienți cu clor.

Măsurile tehnice care trebuiesc adoptate la proiectarea schemelor tehnologice care folosesc clor sînt:

— dubla supraveghere a consumului de clor, pentru cunoașterea permanentă a cantității de clor consumat (dozat), clor rămas și eventualele pierderi; aceasta se realizează prin cîntărire permanentă și măsurare a debitelor de clor prelevat și trecut prin aparatul de dozare;

— toate încăperile din stația de clorare se prevăd numai cu ieșiri directe în exterior; fiecare încăpere se echipează cu instalații de ventilație cu o capacitate de minimum 20 schimburi/h, cu introducerea aerului curat pe la partea superioară a încăperii;

— dotarea cu dispozitive mecanice de transport pe verticală și orizontală;

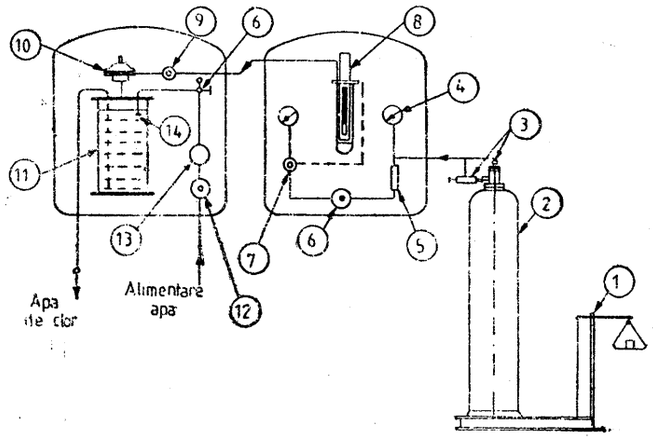


Fig. 6.13. Schema tehnologică a unei instalații de tratare cu clor: *1* — cîntar; *2* — butelie clor; *3* — robinete; *4* — manometru; *5* — filtru; *6* — ventil de reducere; *7* — robinet de reglaj; *8* — dispozitiv măsură doză clor; *9* — robinet probe; *10* — ventil de reținere; *11* — vas de amestec; *12* — robinet închidere; *13* — filtru reținere impurități; *14* — pulverizator.

— depozitele de clor nu se încălzesc în general; dacă aceasta se face sînt interzise folosirea focului deschis sau folosirea elementelor combustibile;

— la stațiile de clorare cu consum de peste 50 kg/zi, sînt necesare instalații de neutralizare cu hiposulfit de sodiu, pentru a împiedica evacuarea clorului în atmosferă, în cazuri accidentale;

— stațiile de clorare care necesită depozite mai mari de 5 t, se prevăd independent de stația de tratare, respectîndu-se distanțele obligatorii și măsurile de protecția muncii;

Dozarea clorului se face cu aparate de clorare prevăzute cu debitmetre.

În funcție de capacitatea fiecărui aparat și necesarul de clor, se aleg numărul de aparate în funcțiune și de rezerve (după principiul 1 + 1; 2 + 1; 3 + 1; 4 + 2).

Aparatele de clorare se amplasează în încăperi separate de depozit, cu ieșire direct în afară, fără legătură cu depozitul; trecerea clorului din depozit în camera aparatelor de clorare se face prin conducte în tub de protecție etanș. Conductele se execută din mase plastice sau cupru.

Pentru reacția clorului în apă, este necesar să se asigure un timp de contact de minimum 20'; aceasta se realizează în rezervoare de apă filtrată, în care se asigură curgerea prin pereți șicană.

6.3.5. OZONUL

Ozonul este un gaz incolor, cu densitate de 2,1 g/dm³; se lichefiază la −112°C și se solidifică la −192°C.

Se formează din oxigen, prin influența razelor ultraviolete sau a descărcărilor electrice, fiind o formă alotropă a acestuia:

$$3O_2 \rightarrow 2O_3 + 34{,}5 \text{ cal/mol}.$$

Gazul este stabil numai la temperaturi foarte ridicate și tinde (la temperaturi normale) să se descompună, cu degajare de căldură, în oxigen; această descompunere eliberează al treilea atom de oxigen sub formă deosebit de activă și conferă ozonului proprietățile de agent oxidant și dezinfectant.

În atmosferă, viteza de descompunere a ozonului crește considerabil cu temperatura. Solubilitatea ozonului în apă este o caracteristică esențială, deoarece limitează posibilitățile de utilizare și introducere în apă, în special la temperaturi mai ridicate. Astfel, pentru o concentrație de 15 g ozon/m³ aer, solubilitatea în apă este ≅ 5 g/m³, de 3 g/m³ la 22°C și 1,5 g/m³ la 28°C.

Ozonul există în atmosferă la concentrații reduse la nivelul solului (0,02—0,05 mg/m³ aer) și crește cu altitudinea, ajungînd la ≅ 25 mg/m³ la 23 km.

Ozonul este un oxidant *curat*, care nu conduce la apariția în apă a unor substanțe nedorite, cu efecte nefavorabile, cum este cazul clorului.

În prezent, funcționează peste 1500 stații de ozonizare a apei în lume (executate în ultimii 40 de ani). Avantajele pe care le prezintă utilizarea ozonului sînt:

— corectarea gustului și mirosului apei;
— decolorarea apei;
— descompunerea combinațiilor complexe ale fierului și manganului;
— eliminarea fenolilor, substanțelor cu cloroform și a detergenților;
— inactivarea virușilor;
— sterilizarea apei.

Dozele uzuale de ozon variază între 0,5 și 4,0 g/m³ și se stabilesc riguros pentru fiecare calitate de apă, de regulă prin studii pe stații pilot.

Linia tehnologică pentru utilizarea ozonului în tratarea apei cuprinde instalațiile de producere a ozonului și construcții pentru introducerea ozonului și reacția cu apa.

6.3.5.1. **Instalații de producere a ozonului.** Aparatele de producere a ozonului funcționează la o tensiune de 10 ··· 20 KV, cu un consum de energie specific de 20 ··· 30 Wh/g ozon, produs care, în mare parte, se transformă în căldură. În aceste aparate, aerul uscat și curat se ozonizează la o concentrație de 10 ··· 20 g ozon/m³ aer.

Aparatele de ozonizare [15] se execută cu baterii de electrozi, plăci așezate pe verticală (fig. 6.14) sau cu tuburi orizontale (fig. 6.15).

Aparatele de ozonizare sînt alimentate cu aer sau oxigen. Deși randamentul este dublu în cazul oxigenului, majoritatea instalațiilor sînt alimentate cu aer. Condiția esențială pentru ca o instalație de ozonizare să funcționeze optim este ca aerul de alimentare să fie uscat și curat.

Alegerea procedeului de tratare a aerului este dependentă de modul în care se efectuează uscarea gazului și de sistemul de injectare a aerului ozonizat în apă.

În cazul în care se realizează cu regenerare prin procese termice, la o pierdere de presiune de 0,7 daN/cm², presiunea necesară în instalație este redusă. Pentru cazul uscării prin regenerare fără căldură, necesarul de presiune este ridicat (5 ÷ 10 daN/cm²).

Instalațiile de uscare fără căldură (fig. 6.16) sînt alcătuite din două trepte; în prima treaptă, aerul comprimat este răcit la trecerea printr-un schimbător de căldură cu circulație de apă, apoi este dirijat către un uscător cu

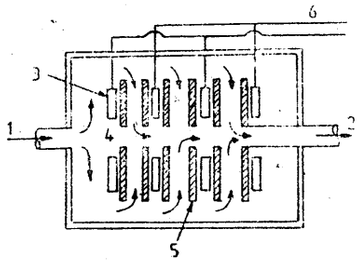


Fig. 6.14. Schema de principiu a unui ozonizator cu plăci: *1* — intrare aer brut; *2* — ieşire aer ozonizat; *3* — electrod circular; *4* — orificiu în electrod pentru circulaţia aerului ozonizat; *5* — plăci de sticlă aplicate pe electrodul metalic; *6* — curent de înaltă tensiune.

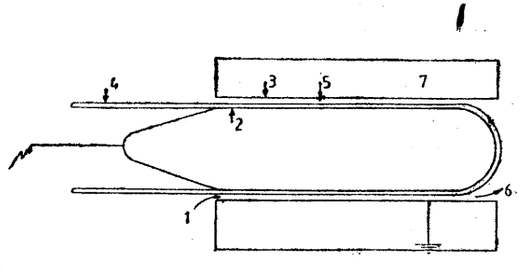


Fig. 6.15. Schema ozonizatorului cu tuburi orizontale: *1* — acces aer sau oxigen; *2, 3* — electrozi; *4* — dielectric; *5* — spaţiu de descărcare; *6* — aer sau oxigen + ozon; *7* — apă de răcire.

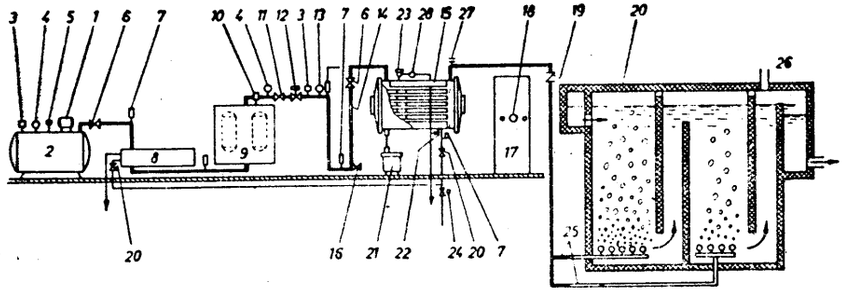


Fig. 6.16. Instalaţia de producere a ozonului cu presiune înaltă: *1* — grup compresor; *2* — rezervor de aer; *3* — supapă de siguranţă; *4* — manometru; *5* — presostat; *6* — robinet pentru reglat aerul; *7* — termometru; *8* — schimbător de căldură pentru răcire; *9* — uscător automat; *10* — destinzător; *11* — robinet de închidere; *12* — electrovană; *13* — hidrometru; *14* — debitmetru de aer; *15* — ozonizor; *16* — priză de eşantioane de aer uscat; *17* — dulap electric; *18* — comutator de tensiune; *19* — robinet de reţinere; *20* — robinet pentru reglarea apei de răcire; *21* — transformator; *22* — robinet de golire; *23* — termometru termostat; *24* — robinet; *25* — alimentarea difuzorilor; *26* — aerisire; *27* — prize pentru eşantioane de aer ozonat; *8* — controlul debitului; *29* — camera de contact.

două camere, prevăzute cu material absorbant (alumină activată sau gel de silice), care funcţionează alternativ (un compartiment asigură uscarea, iar celălalt este în regenerare); regenerarea se realizează prin evacuarea apei, fixată în coloană datorită unui debit de 12—25% aer curat.

Procesele de uscare la joasă presiune (fig. 6.17) se realizează prin trecerea aerului printr-un agent frigorific (care răceşte aerul şi unde se condensează o mare parte din vaporii conţinuţi); la ieşire ($t = 2 \cdots 5°C$), aerul intră într-un uscător identic cu cel din schema 6.16; pentru regenerare se utilizează aer cald de joasă presiune.

6.3.5.2. **Introducerea aerului ozonat în apă.** Pentru introducerea aerului ozonat în apă, există numeroase scheme, stabilite în funcţie de procesul în care se utilizează acesta (corectare gust şi miros, oxidare biomasă şi sub-

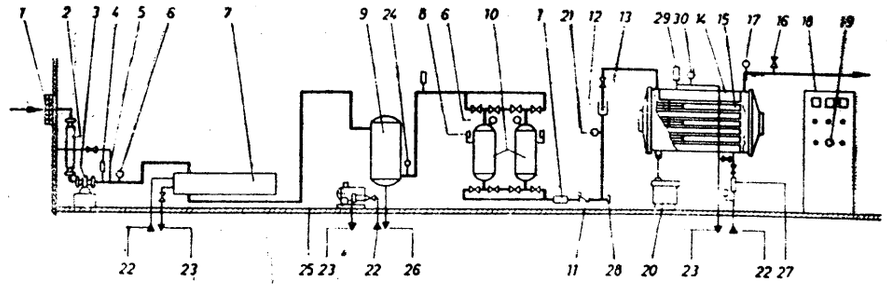


Fig. 6.17. Instalaţia de producere a ozonului cu joasă presiune: *1* — filtru de aer; *2* — amortizor de zgomot; *3* — suflantă; *4* — supapă de siguranţă; *5* — ţeava de scăpare aer; *6* — manometru; *7* — schimbător de căldură; *8* — termometru; *9* — grup frigorific; *10* — uscător cu material absorbant; *11* — robinet de reţinere; *12* — debitmetru de aer cu contacte electrice; *13* — robinet de reglare; *14* — ozonizor; *15* — tuburi generatoare de ozon; *16* — prize pentru eşantioane de aer ozonizat; *17* — presostat; *18* — dulap electric; *19* — comutator de tensiune; *20* — transformator ridicător de tensiune; *21* — hidrometru; *22* — alimentare cu apă de răcire; *23* — evacuarea apei de răcire; *24* — termostat; *25* — compresor pentru fluid frigorific; *26* — descărcarea apei de compensaţie; *27* — debitmetru pentru apa de răcire; *28* — priză pentru eşantioane de aer uscat; *29* — termometru termostat; *30* — controlor de debit.

stanţe organice, eliminare fenoli sau micro-poluanţi). Amestecul intim pentru desfăşurarea reacţiei se realizează prin trei procedee:

— introducerea ozonului prin insuflare, folosind difuzori poroşi care lansează bule foarte fine de gaz într-un curent descendent de apă;

— emulsionarea amestecului de apă şi aer ozonat prin dispozitive mecanice;

— injectarea ozonului în conducte de presiune.

Timpul de contact variază în jurul valorii de 5', în funcţie de caracteristicile de calitate ale apei, procesul în care este utilizat ozonul şi eficienţa sistemului de introducere (mărimea bulelor de gaz, randamentul amestecătoarelor hidraulice sau mecanice).

În figurile 6.18, 6.19, 6.20 sînt prezentate schemele sistemelor de introducere a ozonului în apă [48], [49].

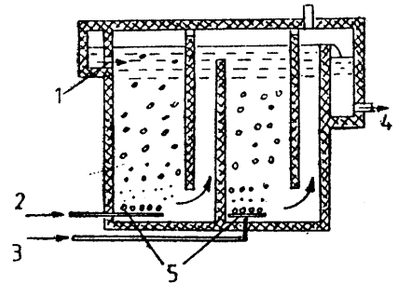


Fig. 6.18. Cameră de contact apă-aer ozonat: *1* — admisie apă; *2, 3* — intrare aer ozonat; *4* — ieşire apă tratată; *5* — difuzori poroşi.

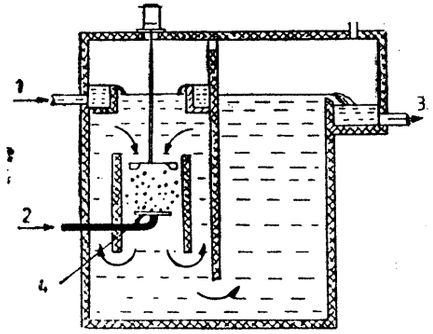


Fig. 6.19. Introducerea aerului ozonat prin emulsionare: *1* — admisie apă; *2* — intrare aer ozonat; *3* — ieşire apă tratată; *4* — difuzori poroşi.

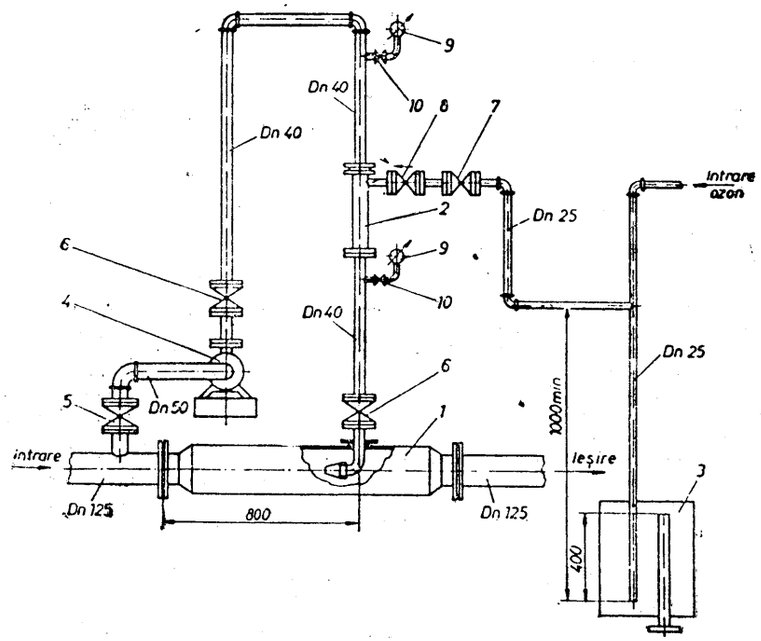


Fig. 6.20. Injectarea ozonului în conducte sub presiune: *1* — dispozitiv de injecţie în conductă; *2* — injector; *3* — dispozitiv de siguranţă; *4* — pompă; *5, 6, 7* — robinete; *8* — robinet de reţinere; *9* — manometru; *10* — robinet.

6.3.6. CAMERE DE AMESTEC

Amestecarea [53] este un proces care are drept scop dizolvarea şi omogenizarea, cu reducerea gradienţilor de concentraţie sau temperatură în interiorul sistemului dispers.

Din punct de vedere al introducerii soluţiilor de reactivi în apă, conform § 6.2.1, acesta este un proces esenţial în asigurarea condiţiilor optime proceselor de coagulare-floculare.

6.3.6.1. **Amestecarea hidraulică** foloseşte amestecul a două fluide miscibile în regim turbulent în sisteme cu hidroejector (transformarea energiei cinetice în energie potenţială de presiune), turbulenţa creată de o cădere hidraulică (deversor) sau canal (tub) Venturi.

Procesul se aplică instalaţiilor mici şi, datorită consumului mare de energie, actualmente este în general evitat.

6.3.6.2. **Amestecarea mecanică** se bazează pe acţiunea unui echipament mecanic care, prin mişcarea de rotaţie, asigură pompajul lichidului, întreţinînd în recipient (bazin) o circulaţie cu rol de omogenizare.

Amestecătorul rapid cu elice (cu rotor axial) poate agita lichide cu vîscozitate dinamică sub 4000 N · s/m², în care se află suspensii în concentraţie de maxim 10%. Numărul de pale ale rotorului axial al amestecătorului este dependent de volumul şi vîscozitatea lichidului (2 pale, pentru $V <$

< 1 m³, 3 pale, pentru $V < 200$ m³ şi 4 pale, în cazul volumelor şi vîscozităţilor mari). Proiectarea şi alegerea amestecătoarelor cu elice au la bază: turaţia, puterea şi debitul; debitul de lichid vehiculat de rotor este în funcţie de procesul tehnologic impus de calitatea apei şi a reactivilor; pentru un amestec eficient se recomandă minim 40 recirculări/oră.

Puterea de amestecare se determină cu expresia [56]:

$$P = 0{,}00357\, Q \ \text{[kW]}, \quad (6.12)$$

în care Q reprezintă debitul, în m³/h.

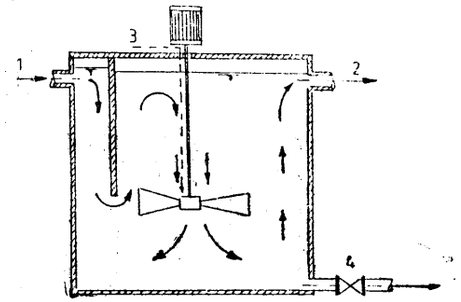


Fig. 6.21. Cameră de amestec cu amestecător mecanic: *1* — acces apă; *2* — ieşire apă; *3* — reactiv; *4* — golire.

Pentru corelarea dimensiunilor rotorului şi camerei de amestec se recomandă: $d/D = 0{,}2 \cdots 0{,}5$; $p/d = 1 \cdots 3$; $h_0 = (2 \cdots 4)d$; distanţa între două rotoare pe acelaşi ax $(1 \cdots 5)d$, în care: d este diametrul rotorului; D — diametrul bazinului; p — pasul amestecătorului; h_0 — adîncimea de scufundare; turaţia rotorului, 440···2400 rot/min în mod normal.

În figura 6.21 se prezintă schema unei camere de amestec cu amestecător mecanic [15].

Condiţiile impuse la proiectarea acesteia sînt:
- volumul (10—40 s) Q, în care Q este exprimat în m³/s;
- viteza minimă ascensională $> 0{,}4$ m/s;
- evitarea depunerilor pe radierul compartimentului;
- şicane cel puţin 4 cu lăţimea de $(0{,}1 \cdots 0{,}2)\, D$.

6.3.7. CAMERA DE REACŢIE

Amestecarea lentă se utilizează în flocularea ortocinetică şi foloseşte dispozitive cu turaţii joase ($n = 2$—4 rotaţii/min).

Amestecătorul lent are palele plane, dispuse perpendicular pe arborele montat în poziţie verticală; dacă precipitatul se aglomerează în straturile inferioare, palele se înclină cu un unghi superior valorii de 90° faţă de direcţia de mişcare.

Orientativ, se recomandă ca raportul între diametrul rotorului şi diametrul bazinului să fie de 0,7···0,9.

În figura 6.22 se prezintă schema unui amestecător vertical lent.

La dimensionarea camerelor de reacţie cu amestecătoare lente (fig. 6.23), se are în vedere realizarea criteriului exprimat prin produsul optim dintre gradientul hidraulic, concentraţia în suspensii, timpul de reacţie pentru fiecare tip de apă, sub forma [53]:

$$G \cdot C \cdot T = optim, \quad (6.13)$$

în care: G este gradientul de viteză, exprimat sub forma $k\sqrt{\frac{P}{V}}$ ($k = 24 \cdots 39$ în funcţie de t°C a apei; P — puterea disipa-

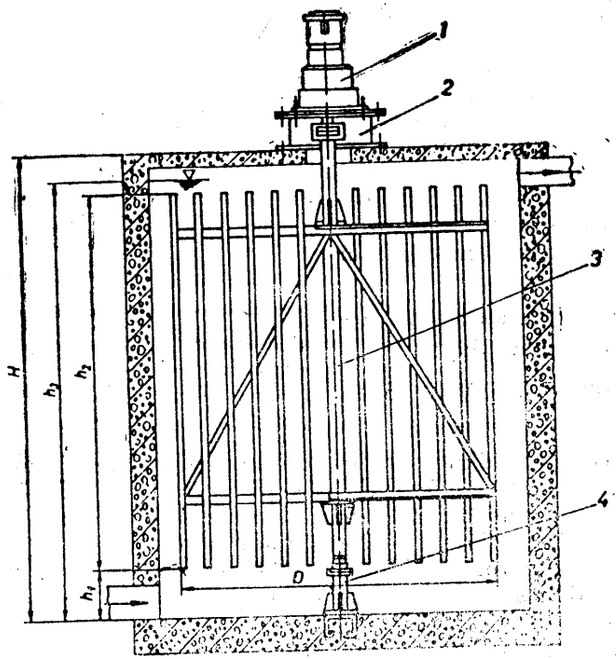


Fig. 6.22. Schema unui amestecător vertical lent: *1* — grup de antrenare; *2* — crapodină; *3* — arbore cu pale; *4* — lagăr inferior.

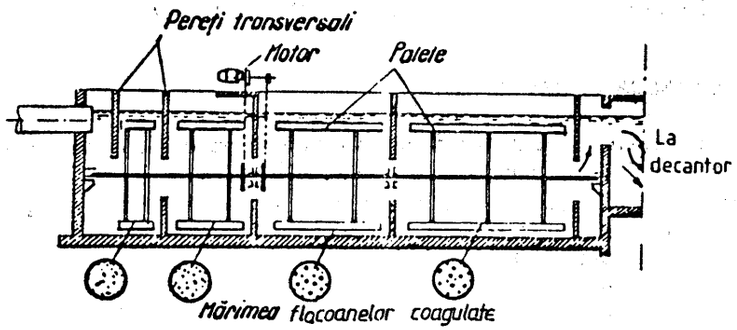


Fig. 6.23. Cameră de reacție cu amestecător orizontal lent.

tă în W; V — volumul camerei de reacție, în m³; valorile uzuale pentru G sînt apropiate valorii $100s^{-1}$);

C — concentrația în suspensii a apei brute; se apreciază că, odată cu creșterea concentrației în suspensii a apei, crește probabilitatea formării macroflocoanelor în faza ortocinetică.

T — timpul de reacție; este o caracteristică a fiecărei ape și depinde de complexul de calitate al apei, inclusiv de caracteristicile coloidului; în practică, variază în general între 3...15'.

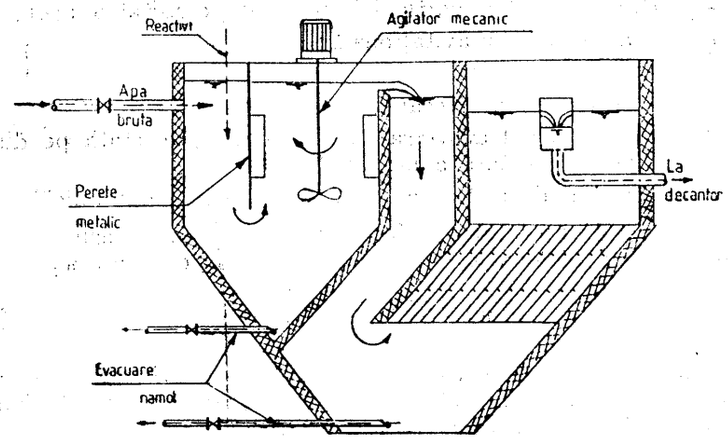


Fig. 6.24. Cameră de amestec și reacție combinată

În figura 6.24 se prezintă schema unei camere de amestec și reacție combinată; în partea centrală, camera este dotată cu amestecător mecanic rapid, iar în partea marginală se asigură o curgere pe verticală în șicană care realizează formarea macroflocoanelor; forma pereților exteriori asigură curgerea particulelor floculate depuse și preluarea acestora de către curentul principal.

6.4. DECANTAREA APEI

Apele din surse de suprafață sînt în general tulburi, din cauza conținutului de particule de natură minerală și organică în suspensie. Pentru a fi întrebuințată, această apă trebuie să fie în primul rînd limpezită.

În acest scop, se folosește proprietatea naturală a particulelor aflate în suspensie, de a se depune, atunci cînd apa se află în repaus sau are o viteză foarte mică. Fenomenul poartă numele de *sedimentare* și se realizează în bazine special amenajate, în care apa curge cu viteză redusă. Scoaterea (transvazarea) apei limpezite obținute deasupra nămolului produs prin sedimentare, se numește *decantare*, de aceea bazinele de sedimentare poartă numele și de decantoare.

6.4.1. DECANTAREA PARTICULELOR DISCRETE

Particulele discrete sînt acele particule care în procesul de depunere nu-și modifică mărimea, forma și greutatea. Dacă o particulă discretă este lăsată într-un lichid în repaus, este supusă la o forță motrice F_I (dată de greutatea proprie) și o forță de frecare F_{II} dată de rezultanta forțelor de inerție și vîscozitate:

$$F_I = (\rho_s - \rho)gV \tag{6.14}$$

$$F_{II} = C_D A \rho \frac{w}{2}, \tag{6.15}$$

în care: ρ_S, ρ sînt densitatea particulei, respectiv densitatea apei;

g — accelerația gravitațională;

V — volumul particulei;

C_D — coeficient de frecare;

A — secțiunea transversală a particulei proiectată pe direcția perpendiculară a mișcării;

w — viteza de cădere a particulei (mărime hidraulică).

La stabilirea echilibrului forțelor pentru o particulă asimilată unei sfere de diametru d, căderea se realizează cu viteză constantă w_0:

$$w_0^2 = \frac{4}{3}\frac{(\rho_S - \rho)gd}{C_D \cdot \rho}. \tag{6.16}$$

În fenomenul de sedimentare a particulelor gravimetrice intervine regimul hidraulic prin coeficientul de frecare C_D definit prin turbulența realizată, ea însăși în funcție de viteza de cădere.

Numărul Reynolds al particulei discrete este definit prin:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho w d}{\eta}, \tag{6.17}$$

în care: d este diametrul particulei; η — coeficientul de vîscozitate dinamică.

Coeficientul de frecare C_D este dat de expresia:

$$C_D = a\mathrm{Re}^{-n},$$

în care a și n sînt constante și depind de structura mișcării. În tabelul 6.2 sînt date elementele pentru calculul valorii coeficientului de frecare C_D, pentru toate tipurile de structuri de mișcare [15], [49].

Tabelul 6.2

Formule pentru determinarea coeficientului de frecare C_D

Domeniu de variație a numărului Reynolds	Regim	a	n	C_D	Autorul formulei
$10^{-4} < \mathrm{Re} < 1$	laminar	24	1	$24\,\mathrm{Re}^{-1}$	Stokes
$1 < \mathrm{Re} < 10^3$	tranziție	18,5	0,6	$18{,}5\,\mathrm{Re}^{-0{,}6}$	Allen
$10^3 < \mathrm{Re} < 2 \cdot 10^5$	turbulent	0,44	0,0	0,44	Newton

Formulele anterioare stau la baza calculului decantoarelor în care se sedimentează particule discrete (denumite și decantoare statice) sau pentru calculul mișcării ascendente a bulelor de aer în apă (flotație).

În figura 6.25 se prezintă schematic un decantor orizontal longitudinal de secțiune verticală S (cu h adîncimea utilă a apei și lățimea unitară) și lungime L prin care curge uniform un debit Q.

Viteza unei particule discrete care intră în poziția cea mai defavorabilă are două componente: v — viteza orizontală a lichidului (Q/S); w_0 — viteza verticală limită (mărime hidraulică).

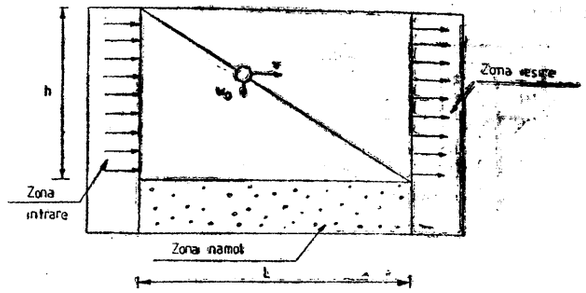


Fig. 6.25. Schemă decantor orizontal longitudinal.

Această particulă poate fi reținută în bazin dacă:

$$\frac{w}{H} > \frac{v}{L} = \frac{Q}{H \cdot 1 \cdot L} \tag{6.18}$$

$$w_0 > \frac{Q}{S_H} = i_H, \tag{6.19}$$

în care: S_H este suprafața orizontală a bazinului (oglinda apei); i_H — sarcina hidraulică superficială (viteză *Hazen*).

Toate particulele care au viteză de sedimentare superioară lui i_H, vor fi teoretic eliminate.

În practică, sedimentarea în bazine cu curgere orizontală întîmpină dificultăți legate de:

— dificultăți tehnice în realizarea unei uniformități perfecte, atît la intrare, cît și la colectarea apei din bazin;

— acumularea și evacuarea nămolului conduce la repunerea în suspensie a unor particule deja depuse;

— mișcarea nu este laminară în bazinele reale.

6.4.2. DECANTOARE STATICE

Se consideră decantoare statice bazinele în care apa circulă cu viteză redusă pe orizontală sau verticală, fiind destinate să rețină suspensiile gravimetrice (particule discrete) și coloidale.

Utilizarea decantoarelor statice se impune în cazul apelor cu turbidități mari, la care 50 ÷ 60% din suspensii sînt gravimetrice, de natură minerală. În limpezirea apelor este dificil de obținut o eficiență avansată (sub 10 ÷ 15 °SiO_2) cu decantoare statice.

6.4.2.1. **Decantoare orizontale-longitudinale.** Dimensionarea unui decantor orizontal-longitudinal, a cărui schemă este prezentată în figura 6.26, constă în stabilirea elementelor:

- Lungimea decantorului:

$$L = \alpha \frac{v}{w_0} H \ [\mathrm{m}], \tag{6.20}$$

în care: α este un coeficient de siguranță (1,2—1,5);

v — viteza orizontală în bazin (v = 2—5 mm/s la decantoarele fără coagulare);

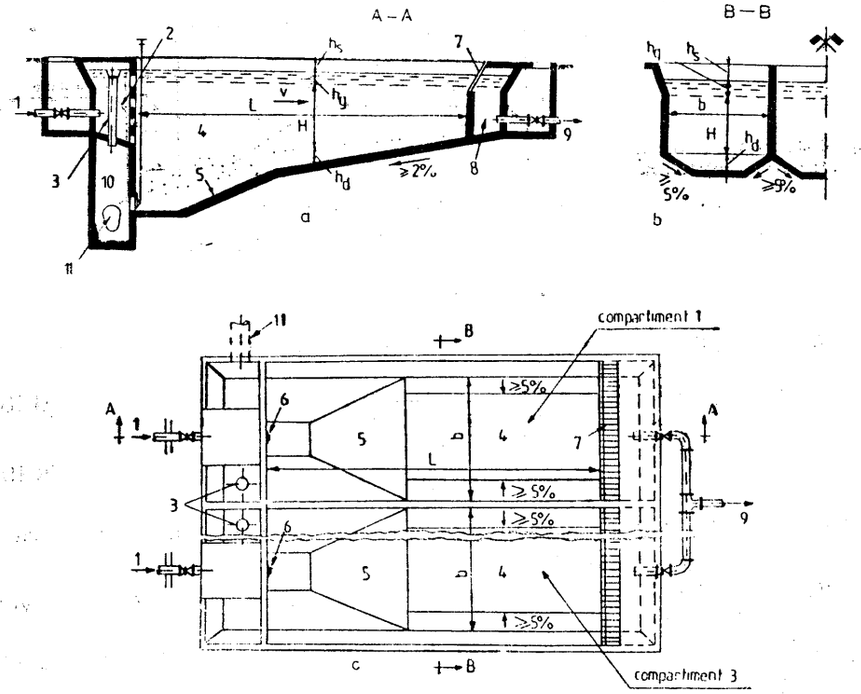


Fig. 6.26. Decantor orizontal longitudinal: *a* — secțiune longitudinală *A—A*; *b* — secțiune transversală *B—B*; *c* — plan: *1* — intrarea apei; *2* — camera de distribuție; *3* — preaplin; *4* — camera de decantare; *5* — groapă nămol; *6* — vană de perete golire; *7* — grătar; *8* — camera colectare apa decantată; *9* — ieșire apă decantată; *10* — galerie evacuare nămol; *11* — canal golire.

w_0 — mărimea hidraulică limită pentru particulele care se dorește să fie reținute; se determină experimental ($w_0 = 0.2 \div 1.0$ mm/s);

H — înălțimea utilă a decantorului; se adoptă din experiența practică ($H = 1{,}5—5{,}0$ m), în funcție de mărimea debitului.

- Lățimea B a decantorului:

$$B = \frac{Q}{vH} \quad [\text{m}]. \tag{6.21}$$

- Numărul de compartimente:

$$n = \frac{B}{b} \geqslant 3, \tag{6.22}$$

$$\text{cu } b \leqslant \frac{L}{10}, \tag{6.23}$$

în care b este lățimea unui compartiment (se stabilește prin calcule tehnico-economice).

- Volumul de nămol V_N acumulat în decantor, între două curățiri, se consideră astfel: 0,5 V_N depus în partea inițială a bazinului $\left(\text{pe } \frac{1}{3} \text{ din } l\right)$ și 0,5 V_N uniform în restul bazinului:

$$V_N = 86{,}4 \frac{QT\,(p_i - p_{ad})}{c \cdot \gamma_n}, \tag{6.24}$$

în care: T este durata între două curățiri, în zile;
p_i — concentrația medie în suspensii pe durata T, în g/m³;
p_{ad} — concentrația în suspensii a apei decantate, în g/m³;
c — concentrația în substanță uscată a nămolului ($c = 0{,}05 \div 0{,}1$);
γ_n — greutatea specifică a nămolului ($\gamma_n = 1100 \div 1200$ daN/m³).

Pentru a asigura funcționarea optimă a decantoarelor orizontale longitudinale, este necesară asigurarea uniformității distribuției și colectării apei; aceasta se poate realiza prin dispozitive speciale, de tipul celor prezentate în figura 6.27.

- Adîncimea totală H_t a decantoarelor orizontale longitudinale se determină:

$$H_t = H + h_d + h_g + h_s,$$

în care: h_d este grosimea medie a stratului de nămol depus pe radier; h_g — grosimea stratului de gheață (0,3 ÷ 0,5 m); h_s — înălțimea de siguranță (0,2 ÷ 0,25 m).

În ceea ce privește curățirea decantoarelor orizontale-longitudinale, evacuarea nămolului se poate face continuu sau intermitent (la instalațiile mari, unde operația este mecanizată, evacuarea se face continuu, iar la instalații mici și mijlocii, intermitent).

Curățirea continuă se poate face prin lăsarea întredeschisă a vanei de golire, prin care iese un debit de apă cu nămol depus, suplimentîndu-se debitul decantorului cu apa pierdută prin golire. Pentru o mai bună curățire a depunerilor, se amenajează decantorul cu un dispozitiv de strîngere a depunerilor, alcătuit dintr-un cărucior, mobil în lungul decantorului, care trage o sapă cu răzuitoare, ce atinge fundul decantorului.

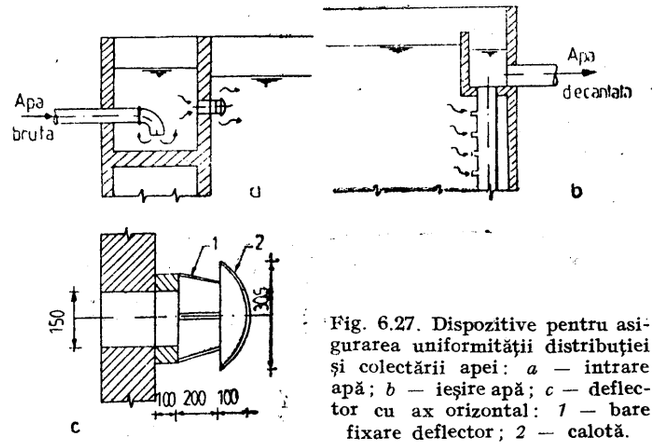


Fig. 6.27. Dispozitive pentru asigurarea uniformității distribuției și colectării apei: *a* — intrare apă; *b* — ieșire apă; *c* — deflector cu ax orizontal: *1* — bare fixare deflector; *2* — calotă.

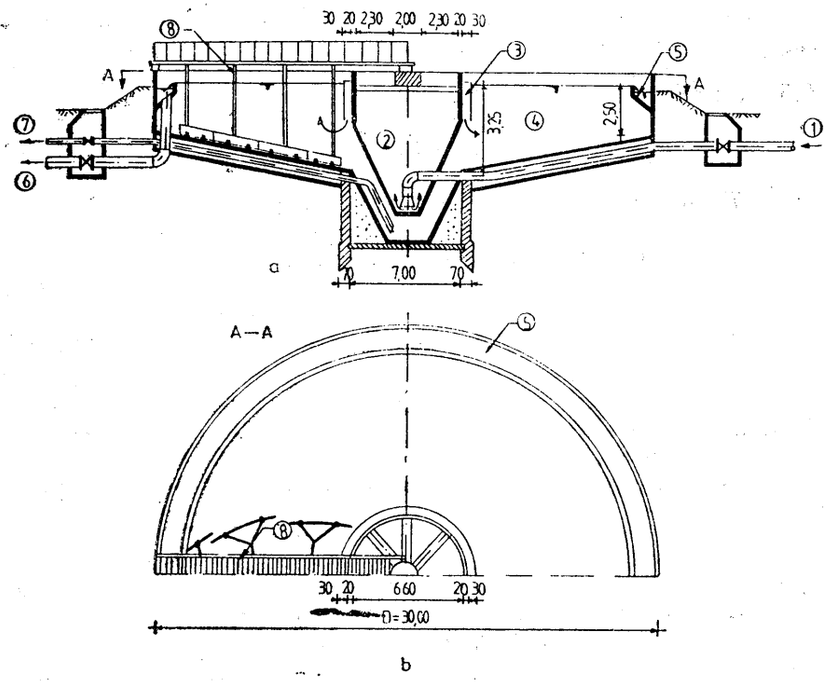


Fig. 6.28. Decantor orizontal radial: *a* — secțiune longitudinală; *b* — secțiune orizontală *A—A*: *1* — conductă apă brută; *2* — cameră de reacție; *3* — cilindru metalic; *4* — cameră de limpezire; *5* — jgheab colectare apă decantată; *6* — conductă apă decantată; *7* — conductă nămol; *8* — pod raclor.

Curățirea intermitentă a decantoarelor orizontale-longitudinale se face cu scoaterea din funcțiune a cîte unui compartiment, o dată la 1···1,5 luni; apa și nămolul se evacuează prin vana de golire, fiind împinse cu ajutorul uneltelor terasiere (la decantoarele mici), sau cu ajutorul unui jet de apă avînd un debit de 20 ÷ 30 dm³/s și o presiune 3 . . . 4 bari (la decantoarele mijlocii).

6.4.2.2. **Decantoarele orizontale radiale** sînt bazine de formă cilindrică, la care curentul de apă are o direcție radială de la ax către periferie. În acest mod, viteza de curgere scade pe circuitul apei, sporind în același timp eficiența în reținerea particulelor.

Se utilizează pentru debite mari (peste 20 000 m³/zi).

În figura 6.28 se prezintă schema unui decantor radial dotat cu cameră de reacție tronconică în zona centrală.

Dimensionarea decantoarelor radiale are la bază mărimea hidraulică w a particulelor care trebuie reținute în decantor. Se adoptă constructiv (pe baza experienței practice) adîncimea h la ieșirea apei (1,5 ÷ 3 m) și adîncimea H la intrarea apei (3 ÷ 5 m) și se calculează:

— timpul de sedimentare:

$$t_s = \frac{h}{w} \qquad (6.25)$$

— volumul util al decantorului:

$$V_u = Qt_s. \qquad (6.26)$$

Diametrul decantorului se determină în funcție de V_u, h, H, d și respectînd condiția ca panta radierului spre centru să fie minim 5%.

Se verifică: viteza medie a apei și raportul $\frac{D}{H}$:

$$v_m = \frac{D-d}{2 \cdot t_3} = \frac{Q}{2\pi r_m h_m} \leqslant 0.02 \text{ m/s}; \quad \frac{D}{H} > 6,$$

în care: D este diametrul bazinului; H — adîncimea maximă; r_m — raza medie a decantorului, adică:

$$r_m = \frac{1}{2}\left(\frac{D-d}{2}\right) + \frac{d}{2},$$

iar h_m este adîncimea apei în decantor în dreptul lui r_m.

Decantoarele radiale sînt tipizate pentru diametrele: D = 16, 25, 30, 35, 40 și 45 m.

Colectarea depunerilor se face continuu spre centrul bazinului, cu ajutorul unui raclor care se rotește cu 2—3 rot/oră.

Din partea centrală, unde sînt adunate depunerile, evacuarea acestora se face prin sifonare sau pompare.

În exploatarea decantoarelor orizontale radiale, apar o serie de probleme, care sînt sintetizate astfel:

— distribuția și colectarea uniformă a apei se tratează în mod special, pentru că pot influența direct randamentul decantorului prin scurt-circuitare hidraulică (reducerea timpului de sedimentare);

— funcționarea raclorului în perioadele reci impune adoptarea de măsuri pentru evitarea formării gheții; soluția constă în sisteme care introduc aer sau apa subterană cu temperatura de 10 ÷ 12°C;

— stabilirea spațiului de descărcare a nămolului în basa centrală depinde de cantitățile de nămol colectate;

— curenții de aer (vînt) ca direcție și intensitate și gradul de expunere la soare al suprafeței apei pot afecta funcționarea optimă a decantoarelor radiale.

6.4.3. DECANTAREA PARTICULELOR COLOIDALE

Procesul de coagulare-floculare a particulelor colodale din apă se desfășoară în trei faze:

- *neutralizarea sarcinii electrice* a particulelor coloidale din apă, prin adaosul de reactivi—coagulanți (această neutralizare este favorizată de un amestec energic);
- *formarea microflocoanelor* prin ciocnirea particulelor (pe măsura neutralizării sarcinii electrice a coloidului) pe baza mișcării browniene; această fază este numită *faza pericinetică*, pentru că mișcarea are loc în toate direcțiile și se termină cu încetarea mișcărilor moleculare la mărimi ale flocoanelor de 1 μm diametru;

• *formarea macroflocoanelor :* ca urmare a mărimii lor, microflocoanele capătă o mişcare proprie de depunere; mişcările diferite ale microflocoanelor, duc la noi contacte între acestea şi la producerea de macroflocoane ; faza este denumită *faza ortocinetică a floculării* (mişcarea are loc pe o singură direcţie, pe verticală ; în această fază se impune agitarea lentă a apei).

Smoluchowski a arătat că probabilitatea ciocnirilor duble dintre particule de ordine oarecare este incomparabil mai mare decît cea a întîlnirii simultane a trei, patru sau mai multe particule.

Expresiile care caracterizează flocularea pericinetică şi ortocinetică sînt :

$$\frac{dN_p}{dt} = 2\pi\, n_1\, n_2\, D_{12}\,(d_1 + d_2) \qquad (6.27)$$

$$\frac{dN_0}{dt} = \frac{G}{6}\, n_1\, n_2\, D_{12}(d_1 + d_2)^3, \qquad (6.28)$$

în care : N_p, N_0 reprezintă numărul de ciocniri, între particulele din primul tip cu particule din al doilea tip, pe unitatea de volum de apă ; n_1 — numărul de particule din primul tip ; n_2 — numărul de particule din al doilea tip ; d_1 — diametrul particulelor din primul tip ; d_2 — diametrul particulelor din al doilea tip ; D_{12} — suma coeficienţilor de difuzie pentru particule din primul şi al doilea tip ; G — gradientul de viteză, exprimat ca raportul dintre puterea disipată pe unitatea de volum la vîscozitatea dinamică a apei.

6.4.3.1. **Decantare difuză.** În procesul de decantare, concomitent cu desfăşurarea fenomenelor de floculare, viteza de sedimentare a particulelor creşte şi traiectoria unei particule devine curbilinie. Procesul se desfăşoară la concentraţii în suspensii floculate mai mari decît 50 mg/dm³.

Eficacitatea reţinerii suspensiilor în această fază depinde atît de încărcarea superficială, cît şi de timpul de curgere al apei floculate în bazin.

Stabilirea vitezei de sedimentare se efectuează prin cercetări de laborator complexe, care iau în consideraţie variaţia parametrilor de calitate pentru apa brută, variaţia dozelor de reactivi şi timpii diferiţi de decantare.

Se stabilesc diagrame de tipul celor din figura 6.29, pe baza cărora se poate stabili valoarea vitezei de sedimentare, valoare necesară la dimensionarea decantoarelor.

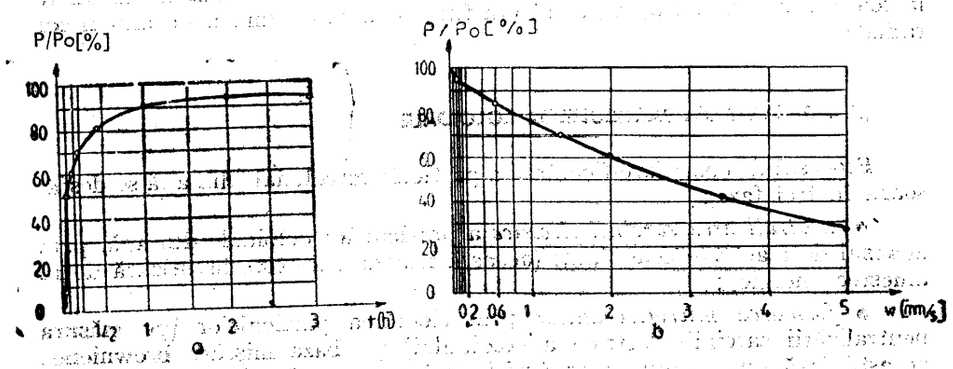


Fig. 6.29. Diagrame de sedimentare : *a* — variaţia concentraţiei suspensiilor în timp ; *b* — variaţia concentraţiilor suspensiilor în funcţie de viteza de sedimentare : P — cantitatea de suspensii depuse în timpul t, în mg/l ; P_0 — cantitatea totală de suspensii, în mg/l.

6.4.3.2. **Decantare dinamică.** Teoria modernă se bazează pe lucrările mai vechi ale lui *H. S. Coe* şi *G. H. Clevenger*, care au introdus concepţia conform căreia, la fiecare concentraţie a unei suspensii, există o capacitate de depunere a suspensiilor dată de relaţia :

$$C_{ap} = \frac{v_s}{\frac{1}{C_i} - \frac{1}{C_u}}, \qquad (6.29)$$

în care : C_{ap} este capacitatea unui strat de suspensii de a transmite o parte din suspensiile conţinute în stratul inferior ; v_s — viteza de sedimentare ; C_i — concentraţia iniţială a suspensiei ; C_u — concentraţia mărită prin sedimentare a stratului inferior.

Coe şi Clevenger au descoperit că, dacă un strat în suspensie are o capacitate de depunere a suspensiilor mai redusă decît capacitatea stratului superior, nu va fi capabil să depună suspensiile cu viteza cu care este alimentat, ceea ce va conduce la mărirea concentraţiei în strat ; similar, dacă un strat are capacitatea să cedeze suspensiile mai repede decît le primeşte (din stratele superioare), concentraţia în el va scădea, progresiv, rămînînd foarte mică.

Rezultă că baza de determinare a suprafeţei pentru decantare constă în a realiza o suprafaţă suficient de mare, astfel încît suspensiile să o încarce cu o viteză mai mică decît capacitatea de descărcare.

G. J. Kynch a făcut o analiză matematică a fenomenului de sedimentare, bazat pe premiza că, în orice punct al unei dispersii, viteza de cădere a particulelor depinde numai de concentraţia locală în particule.

Aceasta înseamnă că, pentru orice tip de suspensie, există o relaţie unică între concentraţia locală şi viteza de decantare, rezultînd o curbă caracteristică unică.

Dacă se realizează o decantare suspensională într-un tub cu înălţimea şi diametrul suficient de mari, şi dacă se măsoară înălţimea stratului suspensional (interfaţa lichid—nămol) în funcţie de timp, se obţine o curbă conform figurii 6.30, [54], care prezintă următoarele faze distincte :

— de la A la B, suprafaţa de separaţie este mai mult sau mai puţin delimitată ; aceasta este faza de *coalescenţă*, care poate lipsi în unele decantoare, ea făcîndu-se în obiecte din afara acestora ;

— de la B la C, o linie dreaptă, care reprezintă viteza de sedimentare constantă v_0 (panta dreptei) ; v_0 este, pentru un tub de dimensiuni date, funcţie de concentraţia iniţială în materii solide şi de caracteristicile de floculare ale suspensiilor ; dacă concentraţia iniţială C_0 creşte, viteza de sedimentare v_0 scade ;

— curba $C-D$ (cu concavitatea în sus) corespunde unei încetiniri progresive a vitezei de sedimentare în stratul superior al depunerilor ;

— plecînd din D, flocoanele se aglomerează şi exercită o compresiune asupra straturilor inferioare.

Teoria lui Kynch se aplică în cazul apelor cu suspensii floculate chimic, cu concentraţii mai mari de 500 mg/dm³, care în curba descrisă reprezintă tronsoanele $B-C$ şi $C-D$.

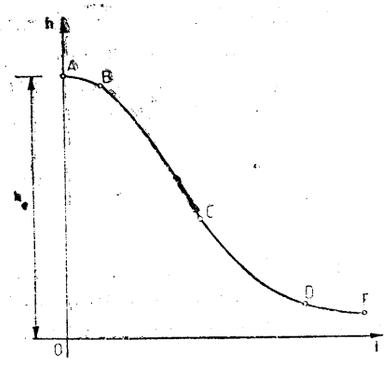


Fig. 6.30. Fazele decantării suspensionale.

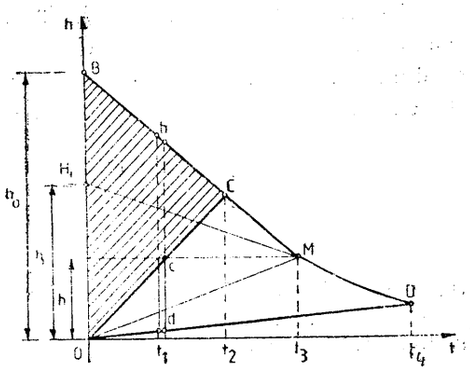


Fig. 6.31. Fazele decantării suspensionale fără faza de coagulare.

Considerînd o suspensie, în care lipsește faza de coalescență, conform figurii 6.31 rezultă că:

— în triunghiul BOC, concentrația și viteza de sedimentare sînt constante și egale respectiv cu valorile inițiale din B;

— în triunghiul COD, curbele de egală concentrație sînt drepte care trec prin origine și care semnifică faptul că, din primele momente ale decantării, straturile mai apropiate de fund se aglomerează și au concentrațiile cuprinse între concentrația inițială și cea corespunzătoare punctului D, începutul exercitării compresiunii asupra straturilor inferioare.

Dacă analizăm stratul de suspensii, de înălțime t_1b la timpul t_1, remarcăm trei zone distincte:

— o zonă superioară $b-c$, în care concentrația și viteza de sedimentare sînt uniforme și păstrează valorile inițiale C_0 și v_0;

— o zonă intermediară $c-d$, în care concentrația crește progresiv, de la c la d și în consecință viteza de sedimentare se reduce;

— o zonă inferioară $d-t_1$, în care flocoanele de suspensii se aglomerează și sînt supuse concentrării.

La timpul t_2, zona superioară dispare și la timpul t_4 rămîne numai zona inferioară.

Pentru a calcula concentrația într-un punct M al zonei $C-D$, se trasează tangenta în M, care intersectează axa coordonată în punctul H_i.

Înălțimea h_i permite să se calculeze concentrația C_i, în punctul M:

$$C_i = C_0 \frac{h_0}{h_i}, \qquad (6.30)$$

la care corespunde o viteză de sedimentare:

$$v_i = \frac{dh}{dt} \text{ (panta dreptei } MH_i). \qquad (6.31)$$

Concentrația medie a suspensiilor pe toată înălțimea h va fi:

$$C = C_0 \frac{h_0}{h}.$$

Practic, cele trei părți, $B-C$, $C-D$ și $D-E$, ale curbei din figura 6.30 se aplică în decantarea suspensiilor, astfel:

— partea $B-C$ corespunde utilizării decantoarelor suspensionale cu strat în flux hidraulic vertical;

— partea $C-D$ corespunde utilizării decantoarelor cu recirculare a nămolului sau cu pulsație, la care se urmărește realizarea unei concentrații în strat;

— partea $D-E$ corespunde concentratoarelor de nămol.

6.4.3.3. **Decantoare suspensionale statice.** Se adoptă în cazul apelor avînd un conținut în suspensii de peste 50 mg/dm³, fără suspensii gravimetrice și în condițiile în care suspensia este în principal minerală.

În figura 6.32 este dată schema unui decantor suspensional static. Apa brută, după tratarea cu reactivi de coagulare și un amestec rapid, încarcă compartimentele de limpezire la partea inferioară și, într-o curgere

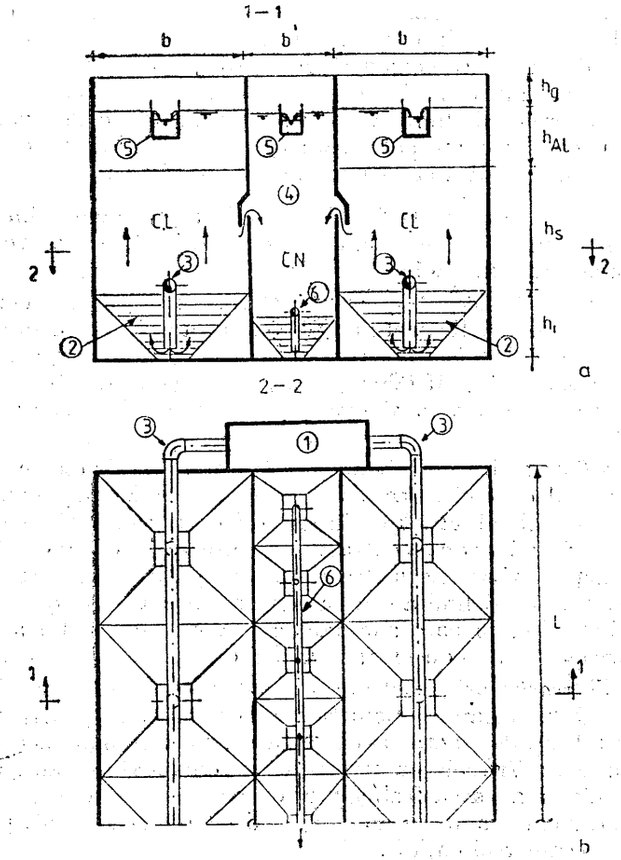


Fig. 6.32. Decantor suspensional static: *a* — secțiune longitudinală *1–1*; *b* — secțiune orizontală *2–2*: *1* — cameră de amestec și distribuție; *2* — compartimente de floculare; *3* — distribuitor apă brută; *4* — concentrator nămol; *5* — sistem colectare apă decantată; *6* — sistem evacuare nămol.

verticală printr-un strat de suspensii menținut în echilibru de curentul ascendent, se limpezește.

Se consideră că flocularea se realizează în stratul suspensional, în compartimentul tronconic de la partea inferioară a camerei de limpezire.

Dimensionarea decantoarelor suspensionale statice se efectuează pe baza încărcării hidraulice și timpului de decantare stabilit prin studii de tratabilitate; se adoptă încărcări $i_h = 3 - 4$ m³/h,m² și timpi de sedimentare $t_S = 1{,}5-2{,}0$ h.

Pe baza acestora, se stabilește aria de limpezire și înălțimea h_S pe care se dezvoltă stratul suspensional. Pentru adîncimea tronconică de la partea inferioară se pun condițiile: timpul de floculare să fie de $10' \div 15'$; înclinarea pereților tronconici $> 45°$, pentru evitarea formării depozitelor de nămol.

Deasupra stratului suspensional, se adoptă o adîncime de apă limpezită ($h_{AL} > 1{,}0 \div 1.5$ m), care lucrează ca element de siguranță pentru evitarea introducerii particulelor floculate în sistemul de colectare a apei decantate.

La partea centrală a bazinului, se prevede un concentrator de nămol care va preleva nămolul în exces din stratul suspensional; suprafața concentratorului de nămol se consideră $10 \div 15\%$ din suprafața de limpezire.

Sistemele hidraulice de limpezire a apei brute în compartimentele inferioare ale camerelor de limpezire și sistemul hidraulic de evacuare a nămolului vor fi dimensionate pentru a asigura repartiția sau colectarea uniformă a debitelor și evitarea depunerilor în conducte.

6.4.3.4. **Decantoare suspensionale cu recircularea nămolului.** Se bazează pe amestecul nămolului reținut anterior cu apa brută cu ajutorul dispozitivelor mecanice sau hidraulice.

Toate tipurile de decantoare de acest tip dispun de un compartiment central destinat efectuării reacțiilor (denumit cameră de reacție), un compartiment de limpezire, în care se realizează un strat suspensional avînd concentrație mare ($10 \div 15\,000$ mg/dm³) și de concentratoare de nămol, care să asigure concentrarea și evacuarea nămolului în exces din stratul suspensional.

În figura 6.33 se indică schema constructivă și tehnologică a decantorului suspensional cu recircularea nămolului tip ICB [57], constituit dintr-un bazin de formă cilindrică cu fundul orizontal sau puțin înclinat, compartimentat astfel: în zona centrală, delimitată de o cupolă tronconică, camera de reacție, avînd coaxial un dispozitiv pentru recircularea nămolului; între peretele de delimitare a camerei și partea exterioară, compartimentul de limpezire, în care sînt incluse, la baza stratului suspensional, 4—8 compartimente de concentrare a nămolului.

Camera de reacție asigură timpul și vitezele necesare pentru desfășurarea fazelor de floculare pericinetică și ortocinetică; dimensionarea se face pentru un timp de reacție, calculat la debitul nominal al decantorului, de $8 \div 12$ minute. Vitezele caracteristice recomandabile sînt: $v_i = 0{,}8 \div 1{,}0$ m/s, pentru realizarea desfășurării optime fazei pericinetice a floculării și, la ieșirea din camera de reacție, $v_e = 5 \div 10$ mm/s, pentru depunerea flocoanelor necesare recirculării.

Întrucît înălțimea constructivă a camerei de reacție este impusă de dimensiunile aparatului de recirculare, pentru evitarea scurt-circuitării hidraulice, sînt necesare dispozitive de uniformizare a curentului în camera de reacție.

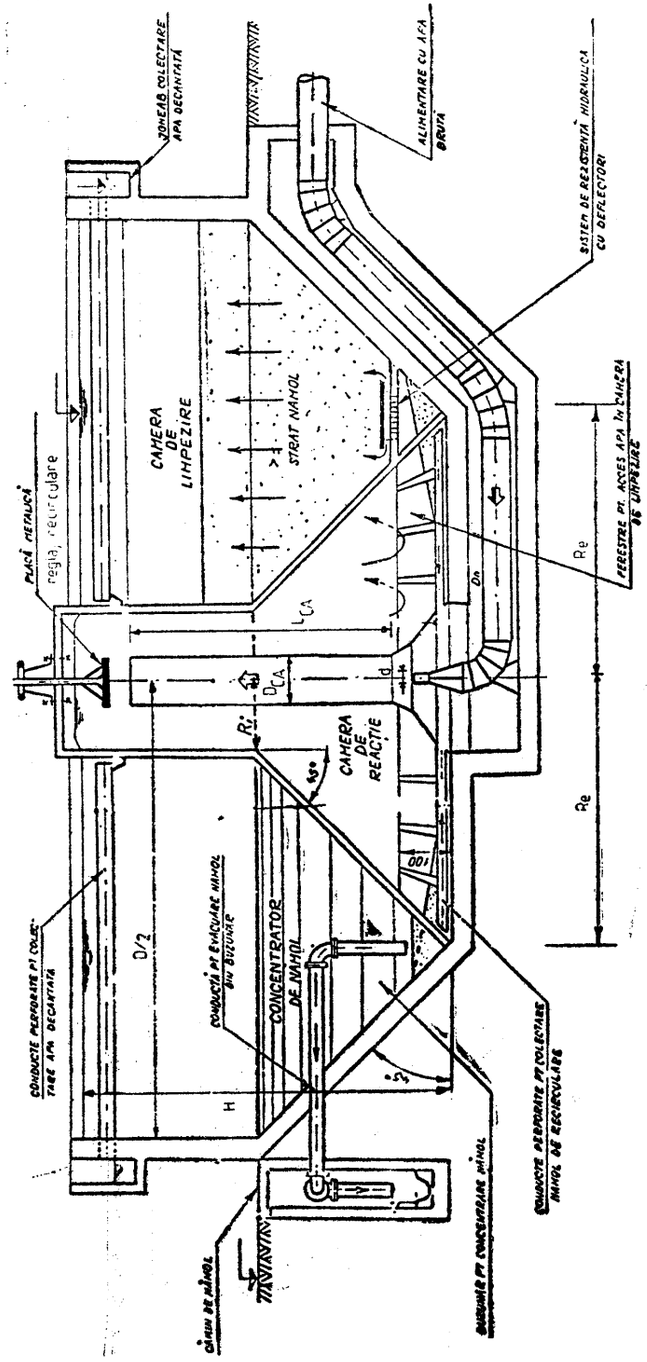
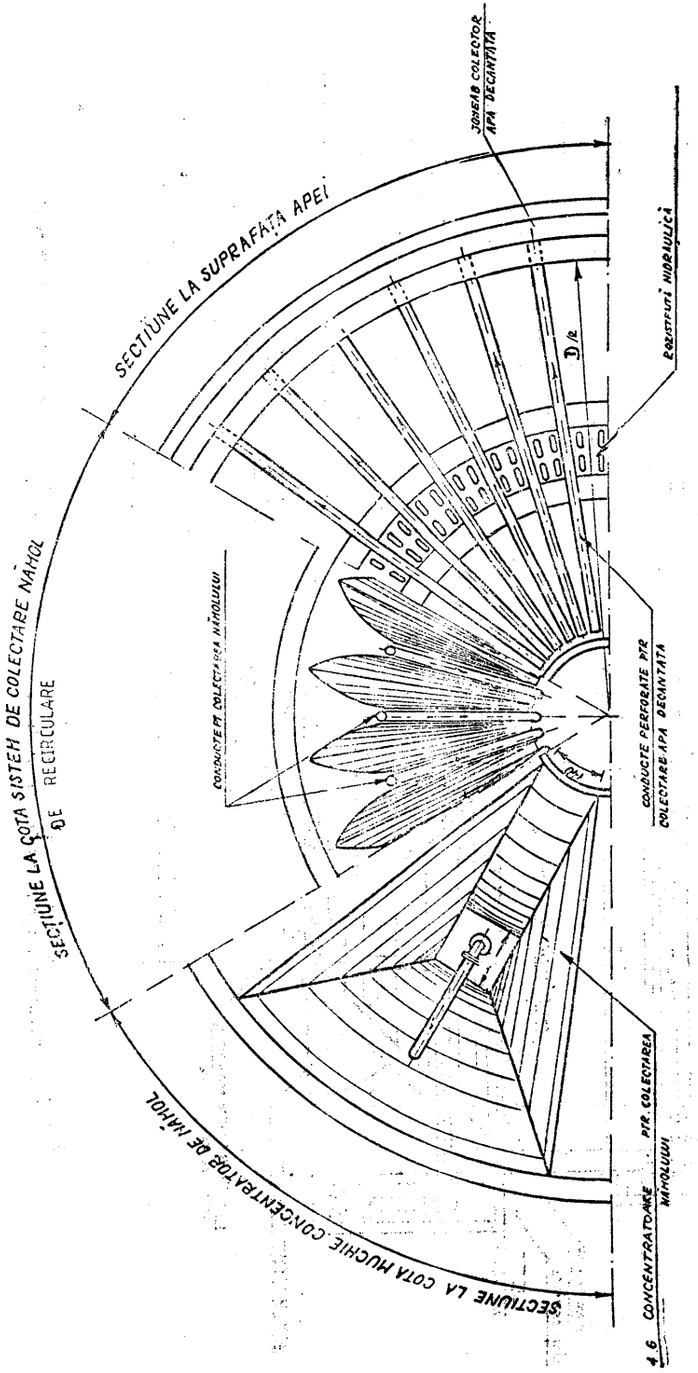


Fig. 6.33. Decantor suspensional cu recircularea nămolului tip ICB: *a* — secțiune transversală.



b

Fig. 6.33 (continuare): *b* — vedere în plan.

Dispozitivul de recirculare constă într-un hidroejector închis la partea inferioară, utilizat pentru evitarea depunerii nămolului, în vederea desfășurării optime a fazei de floculare.

Sarcina hidraulică de funcționare a aparatului de recirculare este dată de presiunea hidrodinamică din conducta de alimentare cu apa brută.

Camera de limpezire se dimensionează la o viteză ascensională de 1,0 ÷ 1,2 mm/s pentru debitul nominal al decantorului; timpul minim de circulație al apei prin aceste compartimente este de 50′ ÷ 60′.

Pentru asigurarea unei zone de siguranță, în vederea evitării antrenării flocoanelor din stratul suspensional în sistemul de colectare al apei limpezite, se adoptă ca înălțime minimă a stratului de apă limpezită 1,50 m.

Evacuarea nămolului în exces din decantor se realizează prin intermediul a 4 ÷ 8 concentratoare de nămol, amplasate la baza stratului suspensional, cu ajutorul conductelor prin funcționare hidraulică. Dimensionarea conductelor se face la viteze de 1,5 ÷ 2 m/s.

Colectarea apei limpezite se realizează prin conducte prevăzute cu orificii sau jgheaburi cu deversori, amplasate radial.

În tabelul 6.3 sînt indicate toate elementele tehnologice pentru acest tip de decantor, pentru debite cuprinse între 100 și 500 dm³/s și unitate.

În figura 6.34 se prezintă schema decantorului suspensional cu recircularea nămolului cu ajutorul unui dispozitiv mecanic de recirculare (tip *Accelator*).

Apa brută este adusă în canalul inelar (de secțiune triunghiulară) aflat în mijlocul bazinului, din care trece în compartimentul inferior, unde se introduc și reactivii pentru coagulare și se realizează o agitare continuă, cu ajutorul unui dispozitiv cu palete care se rotește în jurul unui ax vertical (prima cameră de amestec și reacție). Apa trece în compartimentul superior, unde se introduce o nouă doză de reactivi pentru floculare (a doua cameră de amestec și reacție); de aici, deversînd peste peretele inelar, coboară în compartimentul de limpezire, întrucît cea mai mare parte din apă trece prin stratul de suspensii depuse anterior. Apa urcă prin stratul de protecție și este colectată de jgheaburile laterale și periferice. Viteza ascendentă a apei în camera de limpezire a accelatorului este: $v = 1{,}1-1{,}2$ mm/s. O parte din apă se recirculă în prima cameră de amestec și reacție, antrenînd din nămolul depus și reintră în circuitul normal; nămolul în exces este acumulat în rezervoarele de concentrare a nămolului, dispuse pe peretele exterior al decantorului, de unde se evacuează din timp în timp. Acceleratorul este prevăzut cu o golire generală prevăzută pe fundul bazinului.

6.4.3.5. **Decantoare dinamice cu pulsație și lamele.** Primele tipuri au apărut în anii 1950—1960 (în Franța), concepția și funcționarea bazîndu-se pe următoarele principii:

— introducerea *ciclică* (intermitentă) a apei brute și a reactivilor în bazin, aceste elemente creînd condițiile corespunzătoare asigurării unei floculări optime a suspensiilor coloidale din apă;

— eliminarea dispozitivelor mecanice pentru curățirea nămolului, prin utilizarea sistemelor hidraulice (jeturi) pentru evitarea depunerilor de nămol în bazine.

Acest tip de decantor este reprezentat schematic în figura 6.35.

Tabelul 6.3

Parametrii tehnologici pentru decantorul suspensional cu recircularea nămolului, tip ICB [57]

Nr. crt.	Elemente generale				Hidroejector				Elementele camerei de reacție			Camera de limpezire			Timpi tehnologici			Concentratoare nămol	
	Q [m³/h]	A [m²]	D [m]	H [m]	d [mm]	D_{CA} [mm]	α	L_{CA} [m]	R_i [m]	R_e [m]	V_R [m³]	v [mm/s]	h [m]	V_L [m³]	T_R [min]	T_L [min]	T [min]	V [m³]	Număr bucăți
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	360	90,0	11,0	5,70	150	500	0,0985	3,37	1,0	3,30	47,22	1,08	3,50	274,87	8,0	47,05	55,0	24,00	4
2	540	135,0	13,3	6,30	200	700	0,0985	3,72	1,0	3,78	70,52	1,11	3,50	466,23	8,0	49,60	58,0	35,00	4
3	720	180,0	15,3	6,90	225	750	0,098	4,21	1,0	4,36	99,07	1,12	3,50	686,87	8,3	48,00	58,0	48,50	4
4	1080	270,0	18,8	7,50	300	1000	0,8988	4,25	1,3	5,40	176,20	1,10	3,50	1115,73	10,0	51,45	62,0	72,50	4
5	1800	450,0	24,2	9,05	350	1200	0,093	5,35	1,4	7,05	378,64	1,02	3,50	2289,77	13,0	60,90	74,0	186,20	6

Q — debit pe unitate;
A — suprafața orizontală de limpezire;
D — diametrul decantorului;
H — adîncimea totală a decantorului;
d — diametrul duzei — curent motor
D_{CA} — diametrul camerei de amestec

$$\alpha = \frac{d^2}{D_{CA}^2 - d^2};$$

L_{CA} — lungime cameră de amestec

R_i — raza camerei de reacție la intrare;
R_e — raza camerei de reacție la ieșire;
V_R — volumul camerei de reacție;
V — viteza ascensională;
h — înălțimea stratului suspensional;
V_L — volumul camerei de limpezire;
T_R — timp de reacție;
T_L — timp de limpezire:
$T = T_R + T_L$ (timp de decantare);
V — volumul concentratoarelor de nămol.

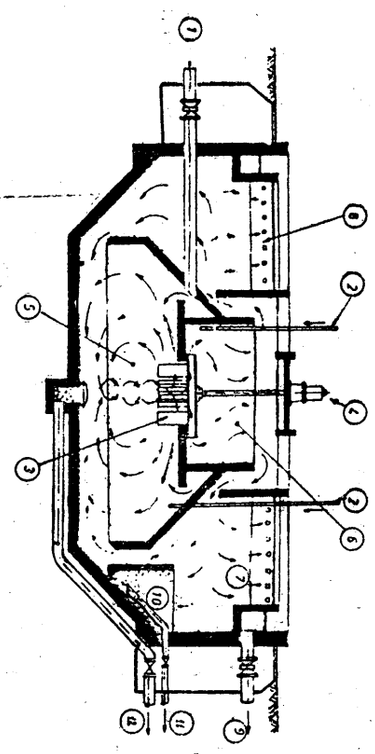


Fig. 6.34. Decantor suspensional cu recircularea nămolului (tip Accelator): *1* — conductă apă brută; *2* — conducte reactivi; *3* — agitator; *4* — motor electric; *5* — cameră de reacție pericinetică; *6* — cameră de reacție ortocinetică; *7* — apă limpezită; *8* — jgheab colectare apă decantată; *9* — conductă apă decantată; *10* — concentrator de nămol; *11* — evacuare nămol; *12* — golire.

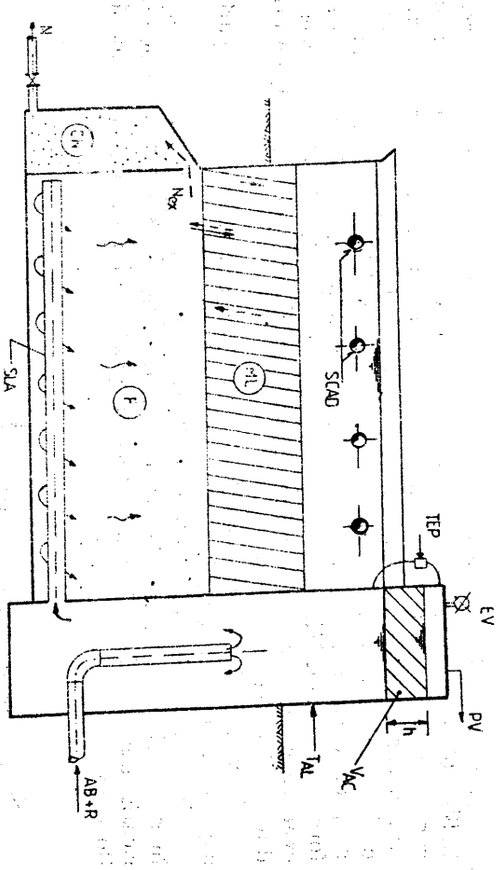


Fig. 6.35. Schemă funcțională a decantorului cu pulsații și lamele: I_{AL} — turn acumulare lansare; $AB+R$ — apă brută + reactivi; V_{AC} — volumul acumulat în T_{AL} peste nivelul apei în decantor; SLA — sistem lansare apă brută; F — floculator; CN — concentrator de nămol; N — nămol; ML — modul lamelar; $SCAD$ — sistem colectare apă decantată; PV — pompă de vid; E — electrovană; TEP — traductor electrorezistiv de presiune.

Elementele componente ale decantoarelor cu pulsație și lamele sînt următoarele:

- AB + R — sistemul de introducere a apei brute și reactivilor în T_{AL}, turnul de acumulare lansare;
- SLA — sistemul de lansare a apei, format din conducte perforate prin care se introduce apa intermitent la partea inferioară a bazinului;
- F — floculator, partea din decantor unde se realizează coagularea-floculărea suspensiilor coloidale din apă;

• ML — modul lamelar care asigură, prin laminarizarea mişcării, separarea suspensiilor coloidale din apă;

• SCAD — sistem de colectare a apei decantate;

• CN — concentrator de nămol care asigură preluarea nămolului în exces de la baza modulului şi concentrarea acestuia.

Modul de funcţionare al DPL [37]. Apa brută împreună cu reactivi chimici de coagulare floculare (săruri de Al, Fe şi adjuvanţi de coagulare) este introdusă în T_{AL}. Aici se realizează sistemul de *pulsaţie* (introducerea intermitentă), astfel:

— se extrage aerul de la partea superioară a T_{AL} cu ajutorul pompelor de vid (întrucît $p_{ef} < p_{atm}$, apa se acumulează în volumul haşurat pe figură);

— la atingerea înălţimii h, un traductor electrorezistiv de presiune (TEP) furnizează un semnal care comandă deschiderea electrovanei (EV) şi pune turnul în contact cu presiunea atmosferică;

— volumul acumulat (V_{AC} este lansat datorită sarcinii h, în bazin, prin sistemul de lansare apă, SLA);

— durata ciclului este dată de însumarea timpilor de acumulare şi lansare; timpul de acumulare t_{AC} este de 15 ÷ 25 s, în funcţie de caracteristicile de tratabilitate ale fiecărei ape, iar timpul de lansare $t_L \simeq \frac{1}{2} t_{AC}$.

Apa brută împreună cu reactivii, introdusă în floculator, realizează în 5′—15′ flocularea şi aglomerarea particulelor coloidale de natură minerală şi organică; aceasta se manifestă prin creşterea permanentă a concentraţiei în suspensii şi prin mărirea particulelor aglomerate pînă la dimensiuni de ordinul milimetrilor; în modulul lamelar, datorită laminarizării mişcării, se produce separarea instantanee dintre apă şi particulele floculate sub formă de nămol. Nămolul curge în sens descendent. Nămolul în exces se evacuează prin deschiderea sistemului hidraulic de golire a CN, datorită diferenţei de concentraţie.

Apa decantată este colectată printr-un sistem hidraulic la partea superioară a decantorului.

Experimentările efectuate au arătat o creştere continuă a concentraţiei în suspensii pe verticala floculatorului, o agitare puternică în zona inferioară (stare pericinetică) şi reducerea gradientului în zona superioară a floculatorului.

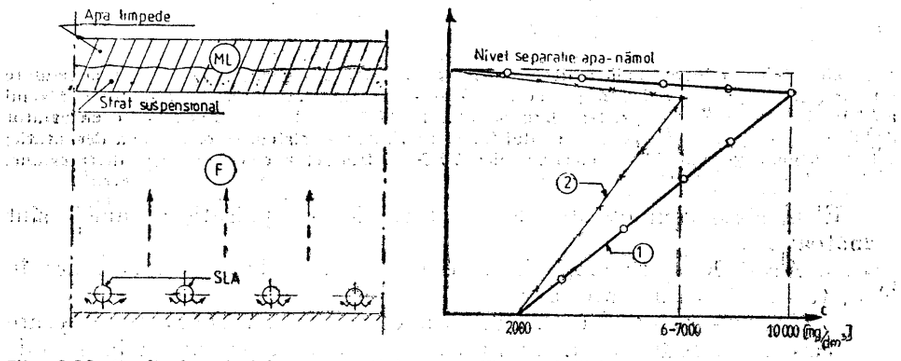


Fig. 6.36. Graficul variaţiei concentraţiei suspensiilor pe înălţimea decantorului: *SLA* — sistem lansare apă brută; *F* — floculator; *ML* — modul lamelar; *1* — în exploatare curentă; *2* — după golirea concentratoarelor.

Urmărirea variaţiei concentraţiei suspensiilor indică o creştere accentuată a acesteia pe verticală şi reducerea bruscă (deci, separarea apei de nămol) la interfaţa apă-strat suspensional (fig. 6.36.).

Nivelul de separaţie apă — nămol se ridică odată cu creşterea concentraţiei în suspensii şi coboară la golirea concentratoarelor de nămol.

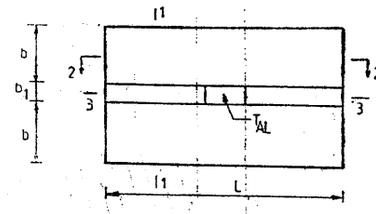


Fig. 6.37. Schiţă de dimensionare decantor cu pulsaţie şi lamele.

Proiectarea decantoarelor cu pulsaţie şi lamele se realizează astfel:

• Secţiunea orizontală (aria de limpezire) se stabileşte cu relaţia (fig. 6.37):

$$A_{nec} = 2bL = \frac{Q}{i_h} \quad [m^2], \tag{6.32}$$

în care, pentru i_h, valoarea experimentală de 5 ÷ 6 m³/h, m², poate atinge valori de 10 ÷ 15 m³/h, m², dacă se utilizează un polielectrolit ca adjuvant de floculare.

În spaţiul b_1 pe lungimea L se prevăd:

— turnul de acumulare lansare (TAL);

— galeria de alimentare conducte (SLA);

— concentratorul de nămol;

— canalul logitudinal de colectare a apei decantate.

În figurile 6.38, 6.39, 6.40 sînt prezentate două secţiuni longitudinale caracteristice şi o secţiune transversală.

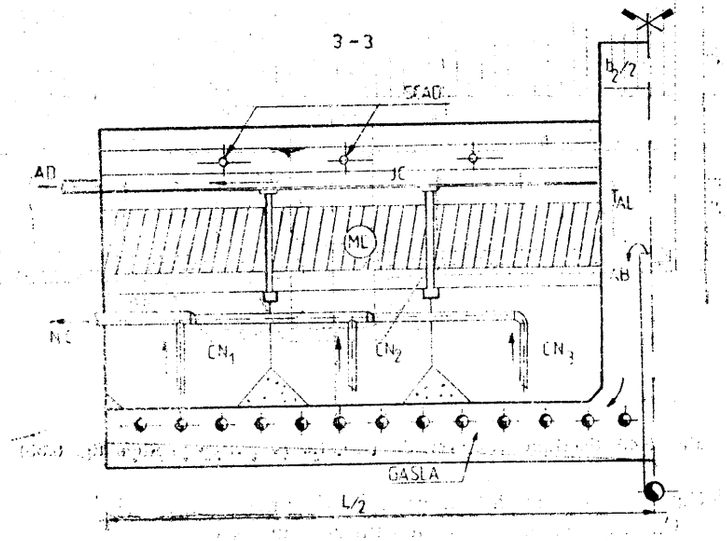


Fig. 6.38. Secţiune longitudinală prin concentratoare *3—3*: T_{AL} — turn acumulare lansare; *AB* — apă brută; *GASLA* — galerie alimentare sistem lansare apă brută; *CN* — concentrator de nămol; *ML* — modul lamelar; *JC* — jgheab central de colectare; *SCAD* — sistem colectare apă decantată; *AD* — apă decantată; *NC* — nămol concentrat.

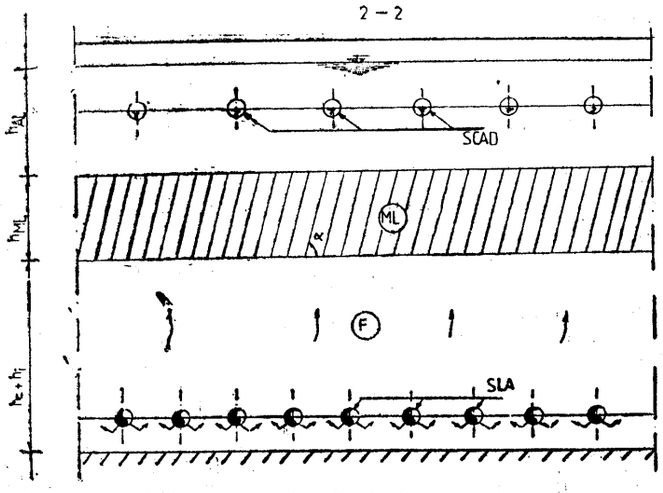


Fig. 6.39. Secțiune longitudinală curentă *2—2*:
SLA — sistem de lansare apă brută (celelalte repere idem fig. 6.38).

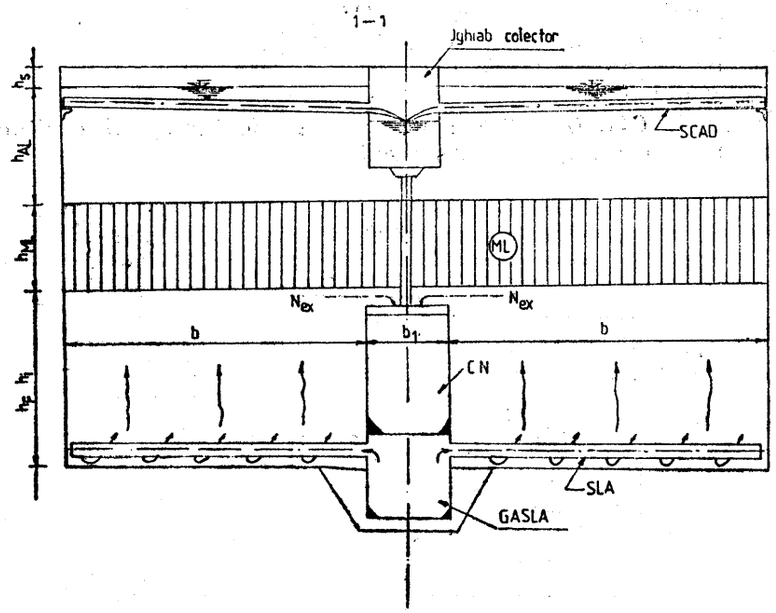


Fig. 6.40. Secțiune transversală curentă *1—1* (repere idem fig. 6.38).

• Sistemul de lansare a apei în decantor cuprinde:

1 — Calculul turnului de acumulare lansare:

— $V_{AC} = Q_{AB} \cdot t_{AC} = b_1 b_2 h$; $t_{AC} = 15 \div 25$ s;

— h nu va depăși 80 ÷ 90 cm;

— pompele de vid se vor adopta pentru realizarea unui vid ⩽ 1,0 m col. apă la un debit de aer de $Q_{aer} \simeq (0{,}4—0{,}5)Q_{AB}$.

2 — Calculul galeriei de alimentare:

— debitul de dimensionare $Q_L = \frac{V_{AC}}{t_L} + Q_{AB} \simeq 3Q_{AB}$, pentru că $t_L \simeq 0{,}5\ t_{AC}$;

— viteza maximă în secțiunea de alimentare, adiacentă turnului, se alege de 0,7 ÷ 0,8 m/s și se va menține constantă printr-un beton de egalizare în contrapantă.

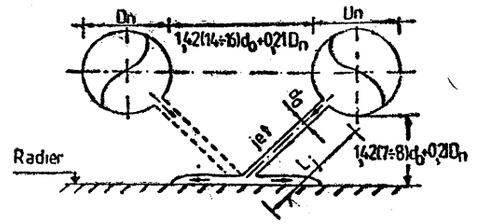


Fig. 6.41. Secțiune prin conductele de lansare a apei.

3 — Calculul sistemului propriu-zis de lansare a apei

Acest sistem este format din conducte prevăzute cu orificii, amplasate deasupra radierului, care asigură autospălarea acestuia prin jeturi compacte (fig. 6.41).

Condițiile care trebuie asigurate de sistem sînt:

— repartizarea uniformă a debitului pe suprafața radierului, pentru evitarea apariției depunerilor;

— stabilirea unei distanțe față de radier, conform relației $l_j = (7—8)d_0$, distanța pînă la care jetul rămîne compact avînd $v \geqslant 2{,}5$ m/s;

— parametrul geometric $\varnothing = \frac{A_{conductă}}{A_{orificiu}} \simeq 10{,}0$;

— viteza maximă în conductă în secțiunea adiacentă galeriei de alimentare ⩽0,9 ÷ 1,0 m/s;

— amplasarea orificiilor astfel încît fiecăruia să-i fie repartizată aceeași suprafață de radier.

• Volumul floculatorului se determină din relația:

$$V_F = Q_{AB} t_F,$$

în care pentru timpul de floculare se ia valoarea 8 ÷ 15 minute, în funcție de caracteristicile de tratabilitate ale apei și de calitățile reactivilor. Secțiunea orizontală a floculatorului, $A_F = A_L$, este identică cu aria de limpezire.

Rezultă:

$$V_F = Q_{AB} t_F = 2bLh_F,$$

deci:

$$h_F = (Q_{AB} t_F / 2bL),$$

dar se va ține cont de restricția $h_F \geqslant 1{,}5$ m pentru a permite accesul la SLA.

• Pentru dimensionarea modulului lamelar (are rolul de a asigura laminarizarea mișcării prin impunerea unei valori a numărului Reynolds ⩽25,0) se cunosc numărul Reynolds și viteza de curgere efectivă în modul, stabilită pe baza caracteristicilor geometrice ale acestuia, prin relația:

$$v_{ef} = \frac{i_h}{A_{ef}}, \qquad (6.33.)$$

în care A_{ef} este suprafața orizontală efectivă a golurilor modulului lamelar pe unitatea de suprafață, în m².

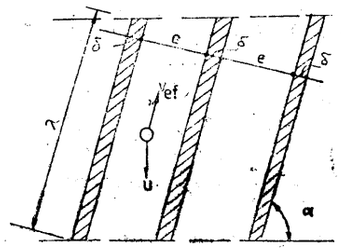


Fig. 6.42. Schemă modul lamelar.

Se aleg unghiul de înclinare a modulului $\alpha = 45-60°$, iar distanța între lamele $e = 20 \cdots 40$ mm, pentru a rezulta raza hidraulică de $10 \cdots 20$ mm (fig. 6.42).

Condiția de dimensionare a modulului este:

$$u \leqslant 0{,}1 \text{ mm/s} = v_{ef} \frac{e}{\lambda \cos \alpha}.$$

Din această condiție rezultă lungimea modulului lamelar (λ). Pentru obținerea rezultatului $u \leqslant 0.1$ mm/s, rezultă valori practice pentru λ de $750 \div 1500$ mm. Se pot pune și condiții mai severe pentru valoarea lui u (de ordinul a 0.01 mm/s) și în această situație, fie că se reduc raza hidraulică a modulului sau viteza efectivă, fie se crește lungimea modulului; este important de reținut că reducereaval orii u duce la îmbunătățirea calității apei decantate.

• SCAD, sistemul de colectare a apei decantate (asigură colectarea apei decantate la suprafața bazinului), poate fi conceput în două variante:

1 — SCAD varianta conducte submersate

În această variantă, sistemul este alcătuit din conducte prevăzute cu orificii pe generatoarea superioară, imersate la $20 \div 25$ cm sub nivelul apei, care funcționează hidraulic neînecat (fig. 6.43).

În funcționare trebuie să se asigure:

— egalitatea debitelor orificiilor în limita de maxim 5%, adică:

$$\frac{q_{min}}{q_{max}} = \frac{\mu A \sqrt{2gh_m}}{\mu A \sqrt{2gh_M}} = \frac{\sqrt{h_m}}{\sqrt{h_M}} \leqslant 1{,}05; \qquad (6.34)$$

Din această condiție, adoptînd un $h_{med} = 0{,}5\ (h_m + h_M) \simeq 25$ cm rezultă panta și diametrul conductei necesare pentru asigurarea unei funcționări cu grad de umplere $a = h/D \leqslant 0{,}5$;

— distanța maximă dintre conductele de colectare să nu depășească înălțimea de apă limpezită peste modulul lamelar ($1{,}5 \div 2{,}0$ m).

Execuția conductelor se prevede astfel:

— autoportante din azbociment, pentru $l < 5$ m;

— autoportante metalice, pentru $l > 5$ m.

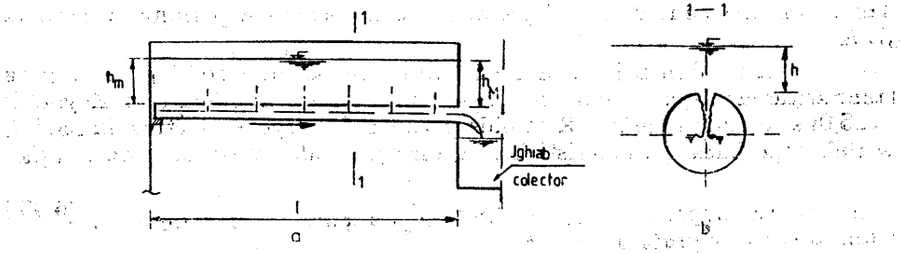


Fig. 6.43. *SCAD* — varianta conducte submersate: *a* — secțiune longitudinală; *b* — secțiune transversală *1—1*.

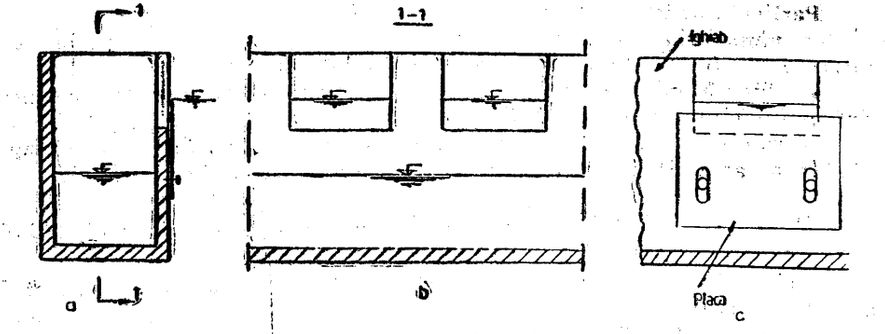


Fig. 6.44. *SCAD* — varianta canale: *a* — secțiune transversală; *b* — secțiunea *1—1*; *c* — detaliu placă.

Sistemele metalice au dezavantajul că sînt supuse puternic procesului de coroziune deosebit de favorabil în condițiile în care lucrează, iar protecția necesară dublează costul conductei; se indică să se execute din oțel inoxidabil.

2 — SCAD varianta canale

În această variantă, sistemul este constituit din jgheaburi metalice (inox) sau din beton armat precomprimat, care au prevăzute în pereții laterali deversori cu funcționare neînecată, cu contracție laterală (fig. 6.44).

Sistemul poate asigura o funcționare corectă prin prevederea unor plăci de material plastic care sînt atașate ferestrelor deversoare după montarea jgheaburilor; acestea lucrează ca deversori cu pereți subțiri și pot fi concepute astfel încît să fie reglabile pentru asigurarea unei cote unice de deversare pe toată suprafața bazinului.

• Concentratoarele de nămol CN realizează următoarele funcțiuni:

— preiau nămolul în exces din stratul suspensional concentrat situat la baza modulului lamelar;

— asigură concentrarea acestuia prin decantare statică în intervalul dintre două evacuări.

Volumul concentratorului se calculează cu expresia:

$$V_{CN} = Q_{AB} T \frac{C_{AB} + C_{SS}}{C_{CN}} \quad [\text{m}^3], \qquad (6.35)$$

în care: Q_{AB} este debitul de apă brută al decantorului, în m³/h; T — timpul (perioada) dintre două evacuări, în h; C_{AB} — concentrația în suspensii a apei brute, în g/m³; C_{SS} — concentrația în suspensii a stratului suspensional, în g/m³; C_{CN} — concentrația în suspensii a nămolului concentrat, în g/m³.

Volumul concentratoarelor de nămol poate reprezenta pînă la 5% din volumul de decantare. Amplasarea concentratoarelor de nămol se va face în axul bazinului, deasupra galeriei de alimentare a SLA; acesta va fi împărțit în 2, 4, 6, unități, fiecare prevăzută cu un sistem hidraulic de evacuare a nămolului concentrat (la peste 50 g/dm³) în tranșe, la intervale scurte de timp, funcție de evoluția nivelului de separație apă limpezită—strat suspensional din modulul lamelar.

• Sistemul hidraulic de evacuare a nămolului este constituit din conducte de forma literei U întors, care funcționează ca sistem hidraulic scurt; în funcție de debitele evacuate, concentratoarele pot fi golite independent sau simultan.

Particularitățile dimensionării sistemului de evacuare sînt:

— nămolurile concentrate evacuate au concentrații în suspensii cuprinse între 50 ÷ 100 g/dm³ (umiditate 90 ÷ 95%);

— vitezele minime necesare pentru evitarea depunerilor sau blocarea sistemului hidraulic sînt 4 ÷ 5 m/s;

— sarcina hidraulică necesară sistemului ajunge la 7,5÷10 m col. apă.

În această situație, sistemul se dimensionează conform relației:

$$H^* = \frac{v^2}{2g}\left(\alpha_i + \sum \zeta_i + \sum \lambda_i \frac{l_i}{D_i}\right). \qquad (6.36)$$

Înainte de pornirea sistemului, este necesar ca acesta să fie cuplat în amonte la o pompă de vid care va asigura la pornirea sistemului o presiune de vacuum de 4 ÷ 5 m col. apă. În acest mod, la pornire, sistemul va beneficia de o sarcină hidraulică de 7,5—10 m col. apă (înălțimea corespunzătoare presiunii de vacuum la care se adaugă înălțimea de apă în decantor.).

• Determinarea înălțimii totale a decantorului se face cu relația:

$$H_t = h_F + h_{ML} + h_{AL} + h_S \quad [\text{m}], \qquad (6.37)$$

în care: h_F este înălțimea floculatorului ($\geq$ 1,50 m); depinde esențial de tratabilitatea apei brute și calitatea reactivilor;

h_{ML} — înălțimea modulului lameral;

h_{AL} — înălțimea de apă limpezită ($\simeq$ 1,50 m); reprezintă un coeficient de siguranță în asigurarea calității apei decantate;

h_S — înălțimea de siguranță (0,25—0,40 m); se adoptă în funcție de temperaturile minime din zonă.

Înălțimea decantorului trebuie să satisfacă și condiția:

$$H_t - h_S = v_{ma} \cdot t_d, \qquad (6.38)$$

în care: v_{ma} este viteza medie ascensională și debitul de calcul; t_d — timpul de decantare (40′ ÷ 60′).

Timpul de decantare rezultat anterior trebuie să îndeplinească și condiția:

$$t_d = \frac{V_d}{Q}, \qquad (6.39)$$

în care V_d este volumul decantorului.

6.4.3.6. **Decantoare lamelare.** Acest tip de decantor a apărut din necesitatea eliminării următoarelor deficiențe ale decantoarelor statice:

— eliminarea turbulenței, întrucît turbulența anulează în anumite situații vectorul mărime hidraulică;

— eliminarea influenței pereților;

— reducerea lungimii de interceptie a radierului de către particula antrenată de viteza medie a curentului și mărimea hidraulică *(Hazen)*.

Decantoarele lamelare au fost introduse în anul 1952 de către C. Gomella, pentru deznisiparea apei, în 1974, la Congresul AIDE de la Brighton fiind prezentat raportul general privind stadiul dezvoltării decantoarelor lamelare. Actualmente, există numeroase patente care aplică decantarea lamelară în procesul de limpezire al apei [48], [49].

Dacă se consideră mișcarea laminară între două plăci cu viteza medie de curgere v_0, v reprezentînd viteza într-un punct oarecare (fig. 6.45), *Yao* a stabilit, pornind de la legea distribuției vitezelor în mișcarea laminară, relația:

$$\frac{v}{v_0} = A \frac{y}{e}\left(1 - \frac{y}{e}\right), \qquad (6.40)$$

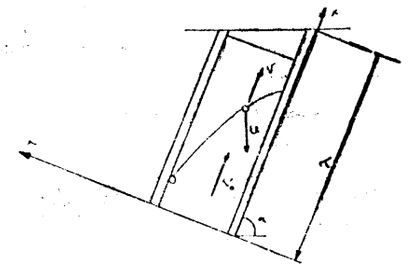


Fig. 6.45. Schema curgerii în lamele.

în care: A este un coeficient cu valoarea 8 pentru tuburi circulare și 6 pentru plăci paralele infinite; e — distanța între lamele.

Factorul S_C se definește prin relația:

$$S_C = \frac{u_1}{v_0}\left(\sin\alpha + \frac{\lambda}{e}\cos\alpha\right), \qquad (6.41)$$

în care u_1 este viteza minimă limită de cădere pentru ca o particulă să fie reținută.

Factorul S_C are următoarele valori: 4/3, pentru tuburi circulare; 1 pentru plăci paralele; 11/8 pentru tuburi rectangulare pătrate.

Lungimea de decantare efectivă, necesară pentru separarea particulelor avînd viteza de sedimentare u_C, va fi:

$$\lambda_D = e\left(\frac{S_C}{\cos\alpha}\frac{v_0}{u_C} - \operatorname{tg}\alpha\right) \qquad (6.42)$$

Raportul optim între lungime și dimensiunea normală la direcția de curgere este $\lambda/e \simeq 20{,}0$.

Pentru calculul lungimii totale a modulului lamelar, este necesar să se ia în considerare *zona de tranziție* care ține seama de trecerea de la mișcarea turbulentă în bazin la mișcarea laminară în lamele și trecerea de la mișcarea laminară la mișcarea turbulentă, la ieșirea din modul.

Calculul se face cu expresia:

$$\lambda_{tz} = 0{,}1\ e\ \text{Re}, \qquad (6.43)$$

în care: λ_{tz} este lungimea zonei de tranziție; Re — valoarea numărului Reynolds al mișcării în lamele.

În acest mod, lungimea totală a lamelelor, după direcția curgerii va fi:

$$\lambda = \lambda_D + 2\lambda_{tz} \qquad (6.44)$$

Încărcarea decantoarelor cu module lamelare se calculează cu relația:

$$u_l = \frac{q_{1l}}{S_l \cos\alpha} = \frac{Q}{nS_l\cos\alpha} = \frac{v_0 \sin\alpha S_H}{nS_l\cos\alpha}, \qquad (6.45)$$

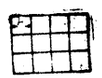
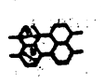
de unde:

$$1/E = \frac{u_l}{v_0 \sin\alpha} = \frac{S_H}{nS_l\cos\alpha}, \qquad (6.46)$$

în care: q_{1l} este debitul unitar care tranzitează prin fiecare lamelă; S_l — suprafața elementară a unei lamele; S_H — suprafața oglinzii apei, cores-

Tabelul 6.4

Valorile raportului de eficiență

Valoria $1/E$	$\frac{1}{6,4}$	$\frac{1}{7,1}$	$\frac{1}{8,1}$	$\frac{1}{10,8}$
Forma geometrică a lamelelor				

punzătoare unei lamele ; n — numărul de lamele ; α — unghiul de înclinare al lamelei față de orizontală ; $1/E$ — raportul de eficiență al modulului lamelar.

Valorile raportului de eficiență pentru diferite forme geometrice de module lamelare sînt prezentate în tabelul 6.4.

Sensul eficienței E este definit ca fiind capacitatea de reducere de E ori a vitezei limită de cădere a particulei.

În practică se utilizează trei sisteme de decantoare lamelare :

• *Sistemul modul lamelar în contra-curent* este constituit din module lamelare amplasate într-un curent ascendent ; apa este introdusă la partea inferioară a modulului lamelar, se realizează separarea și apa se colectează la partea superioară, iar nămolul curge către partea inferioară.

Sistemul este prevăzut cu autocurățirea nămolului și pentru aceasta unghiul de înclinare al modulului față de orizontală trebuie să fie $\alpha = 45° \div 60°$.

În figura 6.46 se indică schema funcțională a sistemului de modul lamelar în contra-curent.

• *Sistemul modul lamelar în co-curent* este reprezentat schematic în figura 6.47. Apa brută floculată curge descendent într-un modul lamelar prevăzut cu două lamele suprapuse ; după cedarea suspensiei floculate, curentul de apă curge ascendent către bazinul superior de apă limpezită.

Modulul co-curent prezintă avantajul că unghiul de înclinare poate coborî pînă la 30°, luînd în considerare efectul de antrenare a nămolului de către curentul de apă.

• *Sistemul modul lamelar în curent-încrucișat*. Modulul lamelar este alimentat cu apă brută floculată din canalele laterale prevăzute pe 1/3 ··· 1/4 din lungimea lamelelor. Apa limpezită se colectează la partea superioară după o curgere ascendentă, iar nămolul curge descendent și se colectează la partea inferioară.

În figura 6.48 se prezintă schema unui decantor dotat cu modul lamelar în curent încrucișat.

Avantajul acestui sistem este dat de timpul foarte redus în care particula floculată este interceptată ; practic, particula parcurge spațiul dintre lamele ; se cere ca floculările suspensiilor din apă să fie optimă.

În figura 6.49 este prezentată schema unui decantor lamelar avînd concentrator de nămol la partea inferioară. Sistemul poate asigura concentrarea nămolului pînă la 90 ÷ 95 g/dm³, în situațiile în care reactivii de coagulare-floculare sînt aleși corespunzător.

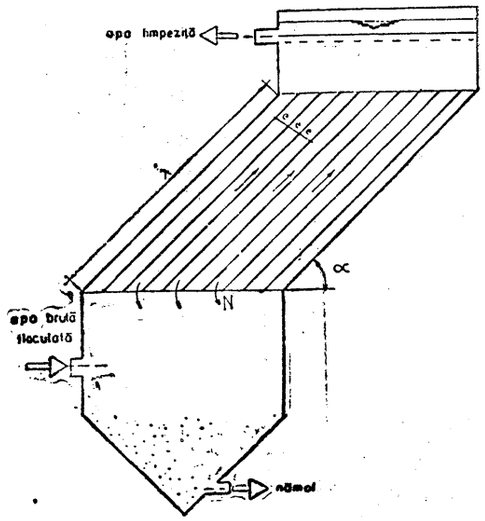


Fig. 6.46. Modulul lamelar în contra-curent.

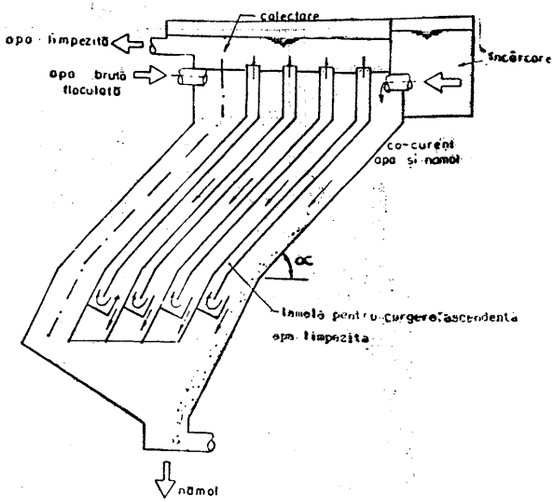


Fig. 6.47. Modulul lamelar în co-curent.

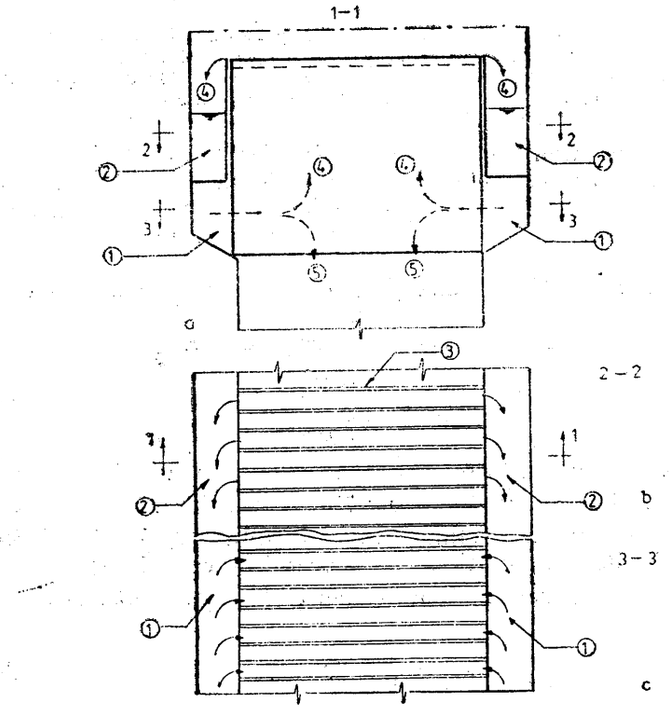


Fig. 6.48. Modulul lamelar în curent încrucișat : *a* — secțiune transversală *1—1* ; *b, c* — secțiuni orizontale *2—2*, respectiv *3—3* : *1* — apă brută floculată ; *2* — canal apă limpezită ; *3* — modul lamelar ; *4* — apă limpezită ; *5* — nămol.

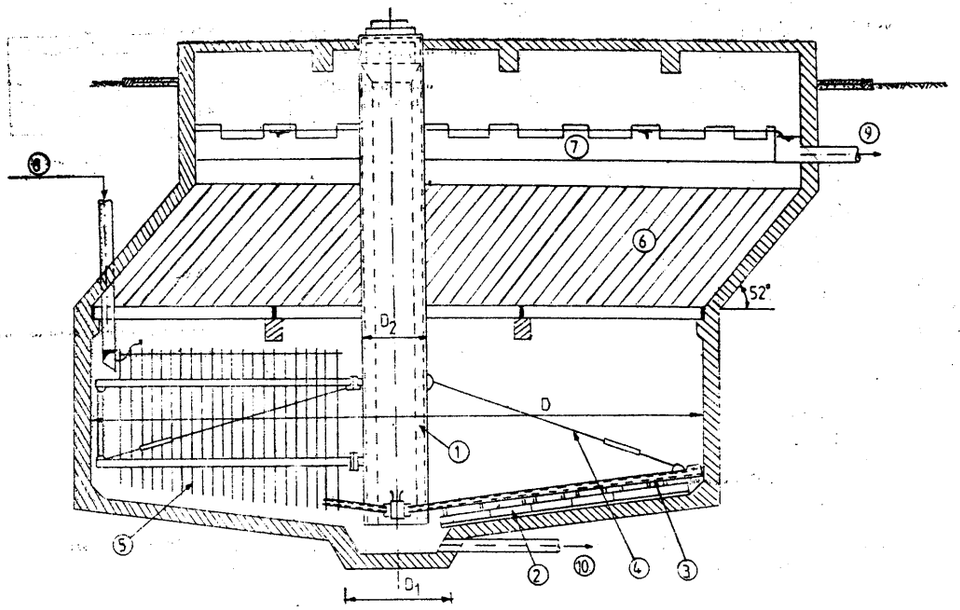


Fig. 6.49. Decantor lamelar cu concentrator de nămol la partea inferioară: *1* — tub central de rezistență; *2* — lame racloare; *3* — fermă de rezistență; *4* — tirant de reglaj; *5* —grătar agitare; *6* — modul lamelar; *7* — jgheab colectare apă decantată; *8* — apă brută-floculată; *9* — apă decantată; *10* — evacuare nămol.

6.4.3.7. **Alegerea tipului de decantor.** Elementele care trebuie să stea la baza alegerii soluției pentru un anumit tip de decantor pentru limpezirea apei sînt determinate prin studii hidrochimice complete (pentru apa sursei într-o perioadă de minimum un an) și de eficiență dorită (pentru apa decantată).

Este necesar să se țină seama și de criteriile de analiză a eficienței decantoarelor, definite după cum urmează:

— criteriul utilizării reactivilor de coagulare, K_Δ:

$$K_\Delta = \frac{\Delta T}{dz} \frac{T^m_{AD} - T^l_{AD}}{T^m_{AD}}, \qquad (6.47)$$

în care: ΔT este diferența între turbiditatea medie a apei brute și turbiditatea medie a apei decantate, în $°SiO_2$; T^m_{AD} — turbiditatea medie a apei decantate; T^l_{AD} — turbiditatea limită a apei decantate (2, 5, 10, 15 $°SiO_2$); dz — doza medie de reactiv utilizat în procesul de coagulare;

— criteriul de asigurare în timp a unei turbidități limită pentru apa decantată, K_T:

$$K_T = \frac{T - t_x}{T} 100, \qquad (6.48)$$

în care: T este numărul de valori luate în considerație (un an, o perioadă caracteristică); t_x — numărul de valori în care o valoare a turbidității este întîlnită (sau depășită).

Pentru fiecare tip de decantor se vor evidenția în continuare situațiile în care se recomandă să se aplice.

Decantoarele statice (orizontal longitudinale sau orizontal radiale) se aplică în cazul apelor cu suspensii gravimetrice (particule discrete), pentru situațiile în care apare ca necesară o predecantare pentru reducerea vîrfurilor de turbiditate; în aceste situații, este recomandabilă o tratare parțială cu reactivi de coagulare.

Decantoarele suspensionale statice sînt recomandabile pentru ape cu un conținut de suspensii C_s cuprins între 50 ··· 300 mg/dm³, la care 70 ÷ 80% sînt de natură minerală; coeficientul de coeziune al nămolului fără reactivi de floculare K are valori de 0,9 ÷ 1,0 m/h.

Decantoarele suspensionale cu recirculare nămol se aplică în cazul apelor limpezi (sub 50—100 $°SiO_2$), la care este necesară creșterea concentrației pentru desfășurarea optimă a proceselor de coagulare-floculare și se dorește obținerea unei ape decantate cu valori sub 15 $°SiO_2$.

Decantoarele cu pulsație sînt aplicate pentru ape limpezi (90% din cazuri, la turbiditatea apei brute sub 30—50 $°SiO_2$) cu suspensii de natură organică; prin procesele de coagulare-floculare se ajunge la un coeficient de coeziune al nămolului $K \geqslant 1{,}2$ m/h.

Cu aceste decantoare, se pot obține performanțe (turbiditatea apei decantate sub 1—2 $°SiO_2$), dacă se echipează cu module lamelare cu deflectori, alegerea și dozarea reactivilor de coagulare-floculare fiind în domeniul optim.

Decantoarele lamelare conduc la obținerea unor performanțe deosebite, dacă se asigură în prealabil un proces de coagulare-floculare optim, utilizînd adjuvanți de floculare de sinteză, astfel: încărcări hidraulice superficiale pînă la 20 m³/h, m²; calitatea apei decantate în medie sub 0,5 $°SiO_2$; concentrarea nămolului pînă la un conținut de substanță uscată de 10%.

Astfel de procedee sînt recomandabile în cazul apelor cu turbiditate redusă (coeficient de coeziune sub 0.7 m/h). Un domeniu important în care își găsesc aplicabilitate modulele lamelare este cel al decantoarelor existente care se pot transforma în decantoare lamelare.

6.4.3.8. **Exploatarea decantoarelor.** Înaintea punerii în funcțiune a unui decantor, este necesară executarea unor operații preliminare. Corecta realizare a acestor operații asigură randamentul cantitativ, cît și eficiența tehnologică a decantoarelor [34].

Prima operație care se efectuează este etalonarea decantorului. Aceasta se efectuează prin reglarea debitmetrului de la intrare sau ieșire și prin etalonarea sistemelor de deversor sau mîră de la distribuție sau de la colectarea apei. Operația de etalonare este strict necesară pentru a se cunoaște, în orice moment, care este debitul de exploatare al decantorului.

O operație importantă pentru funcționarea ansamblului de tratare este verificarea distribuției uniforme a debitului de apă la unitățile de decantare existente. Există cazuri în care, prin execuție, cotele din proiect ale conductelor, canalelor sau căminelor de distribuție și colectare nu sînt respectate la nivelul toleranțelor. O diferență de 1 cm la cota de execuție poate duce la suprasolicitarea unui decantor (crește Q_n — debitul nominal) și subsolicitarea altuia (scade Q_n). Este deosebit de important, ca prin manevre de vane sau stavile, să se facă reglările necesare, pentru ca repartiția debitelor pe unitățile de decantor să se facă în mod uniform.

O verificare și reglare absolut necesară este cea a uniformității colectării apei decantate pe lungimea lamei deversante sau a canalelor și jgheaburilor de colectare.

În cazul decantoarelor orizontale radiale, sau a decantoarelor suspensionale circulare, în care colectarea apei se face pe circumferință sau prin combinații de jgheaburi radiale și deversori pe circumferință, problema este complexă. Se impune efectuarea de măsurători exacte ale denivelărilor, ale vitezei și debitelor punctiforme de colectare pe întreaga circumferință și trasarea diagramei de colectare. Reglările sau corectările se fac cu precizie, pentru a apropia cît mai mult diagrama reală de colectare de cea teoretică.

Există o corelație strînsă între neuniformitatea colectării și deteriorarea calității apei decantate.

Determinarea timpului real al trecerii apei prin decantoare este deosebit de utilă pentru exploatare, deoarece se pot scoate în evidență unele deficiențe ale instalației din acest punct de vedere și deci se pot lua măsuri de remediere a acestora.

Determinarea spectrului de curgere și a timpului real se pot realiza prin intermediul unor trasori de tip flotori, izotopi radioactivi sau prin determinarea cu sonde de salinitate.

Determinarea cu flotori redă spectrul de curgere de la suprafața apei.

Determinarea cu izotopi radioactivi sau salinitate, prin fixarea traductorilor în mod corespunzător, poate stabili spectrul de curgere în întreaga masă a apei.

Prin astfel de determinări prelucrate și interpretate grafic, rezultă: zonele staționare; circuitele preferențiale de apă; zonele de scurtcircuitare; deasemenea, este necesar să se cunoască cauzele acestor fenomene defavorabile, care influențează eficiența decantorului (asimetrii în realizarea distribuției și colectării apei, influența vîntului și a temperaturii, disfuncționalitățile unor utilaje sau piese-pompe, raclori, deflectori, injectori, agitatori).

În exploatarea decantoarelor, se disting mai multe faze, care, în esență, constau în următoarele: punerea în funcțiune; exploatarea curentă; oprirea și revizia; determinările și programul de urmărire; adaptarea exploatării la diferite situații de calitate.

• Principalele etape pentru *punerea în funcțiune* sînt:

— atingerea debitului de tratat; se pornește cu un debit mai mic decît debitul nominal, apoi, din 8 în 8 ore se va mări debitul, astfel încît, în 48 de ore, să se ajungă la debitul nominal;

— stabilirea dozelor optime de reactivi (coagulant și adjuvant) se recomandă să se facă conform metodologiei din caietele de sarcini;

— stabilirea debitelor de reactivi și verificarea introducerii corecte a acestora;

— verificarea calității flocoanelor din camera de reacție superioară, prin studierea depunerii într-un cilindru gradat sau con *Imhoff*.

La o floculare optimă, depunerea este rapidă și limpezirea supernatantului este avansată. După primele 8′—10′, trebuie să se depună minimum 50 cm³ la un litru de apă din camera de reacție și reducerea turbidității să fie de peste 90%.

• *Exploatarea curentă* a decantorului trebuie să fie asigurată de personal calificat și specializat. Personalul are obligația să asigure:

— controlul orar și reglarea debitelor de apă ce intră și ies din decantoare;

— menținerea nivelului impus de necesitățile exploatării și a luciului apei, prin îndepărtarea eventualilor plutitori și a spumei;

— reglarea și urmărirea funcționării utilajelor;

— controlul vizual orar al eficienței decantării, prin examinarea procesului de formare al flocoanelor și al transparenței apei la punctul de ieșire din decantor, precum și prin recoltarea de probe în vederea determinării concentrației suspensiilor în diferite compartimente;

— programarea momentelor de evacuare a nămolului;

— pornirea și oprirea pompelor;

— manevrarea vanelor din căminele decantoarelor;

— manevrarea stăvilarelor de admisie a apei în filtre și a stavilarelor de descărcare în canal;

— menținerea curățeniei dispozitivelor, aparaturii și spațiului din zona decantoarelor.

Dacă turbiditatea apei decantate este mai mare de 10—15 °SiO_2, se consideră că exploatarea decantoarelor este necorespunzătoare, căutîndu-se cauza acestei situații, care poate fi:

— coagularea insuficientă a apei ce intră în camera de reacție;

— neevacuarea la timp a nămolului în exces, a cărui volum a depășit limita admisibilă, micșorînd prea mult spațiul util al camerei de sedimentare și mărind, implicit, viteza apei;

— producerea în spațiul de sedimentare a unor curenți ascendenți care antrenează în apa decantată o parte din nămolul depus pe fund.

Funcție de cauza fenomenului, personalul de exploatare va acționa pentru înlăturarea deficiențelor, readucînd apa decantată la o turbiditate corespunzătoare, prin îmbunătățirea procesului de coagulare, evacuarea nămolului din camera de sedimentare etc.

Inspecția preventivă se efectuează de către maistru și personalul de exploatare și constă din: controlul vizual al stării pereților bazinului; manevrarea podurilor racloare; manevrarea vanelor de închidere pentru apa brută, decantată, nămol; funcționarea by-pass-urilor pentru cazuri de avarie; funcționarea agitatoarelor mecanice, a pompelor centrale, suflantelor.

• *Oprirea instalației și revizia.* Revizia preventivă se execută anual, înainte de perioada de îngheț, de către maistru, personalul de exploatare, un electrician și un mecanic de întreținere și constă din:

— verificarea elementelor de construcție cu revizuirea stării tencuielilor, a pragurilor de deversare, a jgheaburilor și remedierea deteriorărilor constatate;

— verificarea pe elemente a agregatelor, conform prescripțiilor tehnice specifice;

— demontarea și revizuirea vanelor de închidere pentru apa brută decantată, nămol, by-passare, recuperarea sau înlocuirea părților deteriorate, refacerea protecției;

— verificarea instalației de aer comprimat din zonele de evitare îngheț;

— verificarea instalațiilor electromecanice și remedierea defecțiunilor observate, prin reparare sau înlocuire.

Reparația capitală se efectuează o dată la 3—5 ani și constă din:

— golirea integrală a bazinului, repararea eventualelor fisuri și neetanșeități, refacerea suprafeței radierului, a muchiilor deversoare, a jgheaburilor, refacerea tencuielilor deteriorate;

— protejarea prin vopsire a elementelor metalice imerse;

— demontarea și repararea sau înlocuirea parțială sau totală a vanelor de închidere pentru apă și nămol;
— probarea funcționării canalelor de transport pentru apă și nămol;
— reparația curentă a podurilor racloare;
— înlocuirea conductorilor electrici și a elementelor din instalațiile electrice și mecanice care prezintă defecțiuni;
— demontarea-înlocuirea părților defecte, izolarea și protejarea agitatoarelor mecanice.

6.5. FILTRAREA APEI

6.5.1. CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA FILTRĂRII APEI

Filtrarea este procesul de limpezire avansată a apei și constă în curgerea acesteia printr-o masă de material granular sau poros, ales în concordanță cu scopul propus.

Filtrarea este utilizată ca ultimă treaptă de limpezire și de eficiența procesului depinde asigurarea calității apei în schemele de transport și distribuție.

Primele filtre cu strat de nisip care funcționau cu viteze de pînă la 10 m/zi au apărut în Anglia, în anul 1800 (James Peacock și James Simpson); în S.U.A., în anul 1848, se înregistrează primul patent de filtru rapid și în anul 1890, G. W. Fuller realizează, la Louisville, primele filtre care funcționau cu viteze de 5 m/h.

În România, primele filtre au fost realizate în 1848 și foloseau ca strat filtrant dimia (țesătură de lînă); primele filtre lente au fost puse în funcțiune la Arcuda, în anul 1890.

Reținerea suspensiilor din apă în masa de nisip filtrant se realizează printr-un proces complex cu implicații fizice, chimice, biologice.

Prin viteză de filtrare se înțelege raportul:

$$v = \frac{Q}{A} \quad [m^3/h,m^2 \text{ sau } m/zi], \qquad (6.49)$$

în care: Q este debitul filtrat; A — aria suprafeței orizontale a stratului filtrant.

Un filtru este alcătuit dintr-un bazin (fig. 6.50), prevăzut cu drenaj, care susține materialul filtrant și este dotat cu toate instalațiile de alimentare, prelevare apă și deservire (golire, preaplin, spălare).

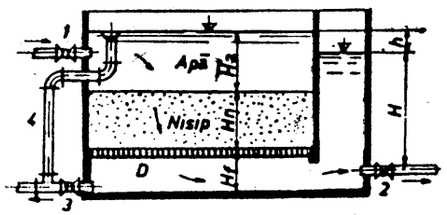


Fig. 6.50. Schemă generală a unui filtru: *1* — admisie apă decantată; *2* — evacuare apă filtrată; *3* — golire; *4* — preaplin.

Există numeroase studii, patente, tehnici dezvoltate (în lume și în țara noastră) care se referă la problemele teoretice și experimentale ale proceselor de filtrare pentru limpezirea apei [15], [31], [40], [55].

Factorii care influențează și definesc procesul complex al limpezirii apei prin filtrare pot fi sintetizați astfel:

— caracteristicile substanțelor disperse care se filtrează (natura, mărimea, concentrația, starea de agregare a acestora în apă);

— caracteristicile mediului filtrant din punct de vedere al naturii mineralogice, mărimea și forma granulelor, porozitatea și grosimea stratului;

— condițiile hidrodinamice ale procesului (viteze de filtrare, structura mișcării, pierderile de sarcină, eficiența refacerii capacității de reținere a stratului).

Corelația tuturor factorilor care influențează procesul de filtrare este o problemă de optimizare filtru care în condițiile unei ape date, să conducă la obținerea în final a unei cantități cît mai mari de apă de calitate bună.

6.5.2. FILTRE LENTE

Procedeul filtrării lente se bazează în măsură însemnată pe fenomenele biologice desfășurate de bacterii, alge, protozoare, la interfața apă—nisip.

Acestea sînt completate, în măsură mai mică sau mai mare, de mecanisme de sită, sedimentare în pori, forțe de inerție, difuzie și atracție electrostatică.

Eficiența filtrării lente, înscrie randamente de pînă la 99,5%, în reținerea bacteriilor și practic 100%, în eliminarea virușilor.

În formarea *membranei biologice*, în primii 2—3 cm de la suprafața nisipului, cei doi agenți principali care contribuie la efectul general sînt: oxidarea chimică și oxidarea microbiologică.

Reținerea particulelor în suspensie de natură minerală și organică, în membrana biologică care se formează la suprafața nisipului din filtrele lente, este influențată esențial de:

— procesele și metabolismul bacteriilor provenite inițial din apa brută; populația bacteriană este limitată de cantitatea de materie organică furnizată de apa brută care alimentează filtrul;

— variația calității apei și vitezei de filtrare, pentru evitarea ruperii echilibrului format în patul filtrant;

— asigurarea unei perioade de maturare în condiții de mediu fără variații bruște (alimentarea cu oxigen și temperatură); se apreciază că oxigenul minim necesar în apa brută este $\geqslant 3$ mg/dm³;

— conținutul de alge în influent; deși nu participă direct la mecanismul de filtrare, unele tipuri de alge pot avea efecte benefice sau dăunătoare, în funcție de condițiile de mediu.

În figura 6.51 se prezintă schema unui filtru lent.

Un filtru lent se compune dintr-un bazin (de beton sau beton armat), de formă paralelipipedică, prevăzut cu un fund drenant D, care susține stratul filtrant de nisip, prin intermediul unui strat de pietriș ce face trecerea de la dimensiunea granulelor de nisip la mărimea orificiilor fundului drenant.

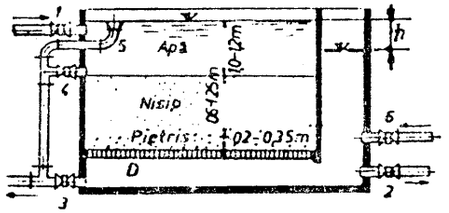


Fig. 6.51. Schema unui filtru lent: *1* — conductă de admisie apă decantată; *2* — conductă de ieșire a apei filtrate; *3* — conductă de golire; *4* — conductă de golire a apei de deasupra nisipului; *5* — preaplin; *6* — conductă de umplere cu apă filtrată; *D* — fund drenant.

Funcționarea unui filtru lent cuprinde următoarele trei faze: punerea în funcțiune, filtrarea apei; curățirea filtrului.

Punerea în funcțiune. Filtrul se umple cu apă filtrată anterior, introdusă în sens invers funcționării normale (de jos în sus), pentru a permite eliminarea aerului din porii nisipului și pentru a păstra afînarea normală a stratului filtrant. După ce stratul de apă s-a ridicat cu $10 \div 15$ cm deasupra nisipului, se oprește admisia apei de jos în sus și se umple filtrul cu apă brută. Prin deschiderea conductei de golire se permite trecerea apei brute prin stratul filtrant, operație care durează $1 \div 3$ zile, timp în care se formează membrana biologică în stratul subțire de la suprafața nisipului ($1 \div 2$ cm). După trecerea acestui interval de timp, calitatea apei filtrate corespunde atît condițiilor de turbiditate, cît și condițiilor bacteriologice pentru apa potabilă și atunci se deschide vana de pe conducta de apă filtrată.

Filtrarea apei. Din acest moment, filtrul funcționează normal. Din cauza reținerii suspensiilor din apa brută, filtrul se colmatează treptat, ceea ce conduce la creșterea pierderii de sarcină h prin filtru, la creșterea nivelului apei deasupra nisipului și deci la scăderea debitului de apă ce iese din filtru.

Funcționarea filtrului se oprește în momentul în care viteza apei prin porii membranei biologice este atît de mare, încît poate rupe această membrană. Filtrul se scoate din funcțiune în momentul în care pierderea de sarcină a ajuns la $0,5 \div 1,0$ m, înainte de a se ajunge la înrăutățirea calității apei.

Durata de funcționare a unui filtru lent într-un ciclu normal este de $20 \div 30$ de zile.

Curățirea filtrului. Constă în îndepărtarea stratului de nisip murdărit în grosime de $2 \div 3$ cm, operație care se face manual, cu unelte terasiere, după ce s-a îndepărtat apa din filtru.

După aceasta, filtrul este lăsat să se aerisească $2 \div 3$ zile, înainte de umplerea cu apă, și apoi reîncepe ciclul. Suprafața nisipului trebuie dezinfectată cu hipermanganat de potasiu sau clorură de var. Curățirea filtrului durează $3 \div 4$ zile.

Cînd, după curățiri repetate, grosimea stratului de nisip se reduce de la $1 \div 1,25$ m (cît era la început) la 0,6 m, se îndepărtează tot nisipul din filtru și se spală. Această operație se face o dată la 1—2 ani.

Fundul drenant se realizează din plăci poroase de beton (plăci Arcuda) cu dimensiuni de $0,5 \cdot 0,5$ m și grosime de 6—8 cm, așezate pe ziduri sau pe nervurile de beton armat ale radierului.

Stratul filtrant este compus din nisip cuarțos, avînd compoziția granulometrică limitată între $0.3 \div 3$ mm, coeficientul de neuniformitate fiind $u = 1,5 \div 2,0$; stratul suport de pietriș este constituit din două straturi de pietriș mărgăritar.

De obicei, filtrele lente sînt neacoperite și funcționează în aer liber. În cazul suprafețelor mai mici și al unor condiții climatice speciale (regiuni de munte cu zăpezi abundente), filtrele lente se pot acoperi, cu condiția de a se asigura curățarea lesnicioasă a nisipului.

Problema amplasării filtrelor lente în aer liber sau acoperite trebuie studiată pentru fiecare caz în parte, luînd în considerație condițiile climatice (temperaturi aer, zăpezi abundente, poluarea atmosferică) și o analiză a bacteriilor și microorganismelor din apă în procesele de dezvoltare în membrana biologică, corelată cu factorii de mediu.

Dimensionarea hidraulică a filtrelor lente constă în determinarea suprafeței în funcțiune și a suprafeței instalate, precum și în stabilirea numărului de compartimente.

Suprafața totală în funcțiune a filtrelor lente pentru un debit Q se stabilește pe baza vitezei de filtrare $v_f = 2,5 \div 10$ m/zi.

Aceasta suprafață totală se împarte într-un număr n de bazine. Ținînd seama de faptul că la intervale de cîteva zile cîte unul din bazinele filtrante trebuie să fie scos din funcțiune pentru a fi curățat, suprafața filtrantă rămasă în funcțiune trebuie să asigure o viteză de filtrare care să nu depășească limita superioară.

Pe plan mondial, în ultimul deceniu, filtrarea lentă a fost reconsiderată. Organizația Mondială a Sănătății a elaborat (sub conducerea profesorului *L. Huismann*) un raport care pune în evidență avantajele care pot fi obținute prin filtrarea lentă.

Acestea pot fi sintetizate astfel:

— calitatea efluentului, în condițiile creșterii poluării resurselor de apă, se asigură cu economii importante de costuri și energie;

— exploatarea și întreținerea filtrelor lente nu necesită personal calificat și elemente tehnice complexe;

— filtrele lente lucrează optim la turbidități de $10 \div 20$ mg/dm³; pot prelua turbidități de $50 \div 100$ mg/dm³, pentru perioade scurte de timp;

— rezultatele filtrării lente în reținerea organismelor patogene sînt apreciabile; microorganismele prezente într-un filtru lent de nisip produc substanțe care acționează ca inhibitori chimici sau biologici asupra bacteriilor intestinale.

Adoptarea soluției cu filtre lente se impune să fie efectuată prin studii aprofundate, inclusiv pe stații pilot, unde se pot urmări *in situ* mecanismele fenomenelor complexe care au loc în procesul de filtrare.

În figura 6.52 se prezintă schema unui filtru lent, în soluția cu bazin cu pereți înclinați, care constituie și rezerva de apă pentru beneficiar.

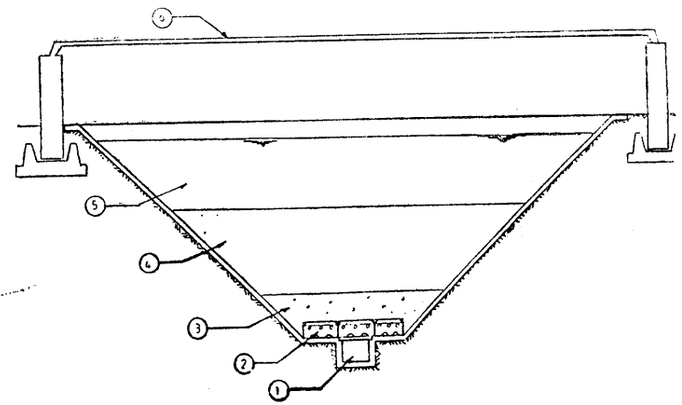


Fig. 6.52. Schema unui filtru lent (variantă): *1* — galerie apă filtrată; *2* — blocuri M; *3* — filtru pietriș sortat 30—40 cm; *4* — nisip ($h = 0,8—1,30$ m); *5* — strat apă ($h = 0,75—1,25$ m); *6* — acoperiș de protecție.

6.5.3.1. **Teoria filtrării rapide a apei.** În ultimii 40—50 ani, fenomenele reținerii dispersiilor într-un strat granular poros au constituit preocuparea atentă a numeroase laboratoare, școli sau firme din întreaga lume. În anii 1964 și 1969, Congresele Mondiale ale AIDE de la Barcelona și Viena au avut ca subiecte principale filtrarea apei. Au fost elaborate o serie de teorii, bazate pe procese fizice, fizico-chimice sau biologice, pentru explicarea fenomenului, precum și o serie de modele matematice care încearcă să stabilească relații exacte sau empirice între parametrii procesului.

Mecanismele de reținere în stratul filtrant sînt clasate în două mari grupe: reținerea pe granulele stratului filtrant; reținerea în interspațiile stratului filtrant.

Problemele care apar sînt complexe și datorită structurii curgerii. Datorită acumulării suspensiilor în decursul filtrării, schimbării geometriei mediului poros și creșterii vitezei reale de curgere, mișcarea apei intră în zona de tranziție depășind limitele de aplicabilitate a legii Darcy. Numărul Reynolds ajunge spre sfîrșitul ciclurilor de filtrare la valori cuprinse între 2,5 și 25,0.

• *Reținerea pe granulele stratului filtrant.* Mecanismele de reținere se explică prin acțiunea conjugată a mai multor factori:

— *Contactul direct* al particulelor dispersate cu diametrul D cu granulele filtrului cu diametrul d, prin efectul fizic de interceptie a cărui probabilitate de reținere inițială (după *P. Stein*, $P_C = D^2/d^3$) crește, pe parcursul ciclului de filtrare, prin depunerile succesive care se produc pe particulele materialului filtrant.

— *Inerția de parcurgere* pe o anumită traiectorie a particulelor dispersate, care — împiedicînd schimbarea direcției de mișcare a acestora — are ca efect intercepția lor de către granulele din stratul filtrant. Datorită însă viscozității relativ mari a fluidului, această reținere de natură fizică are un efect redus în cazul filtrării apei.

— *Difuzia* datorită translației particulelor cu mărimea pînă la 2μm sub acțiunea mișcării browniene.

Particulele ajung astfel în contact cu granulele stratului filtrant pe care sînt reținute; acest efect fizic are o mică pondere în procesul de filtrare a apei, datorită cantităților neglijabile de particule sub 2μm conținute în apă.

— *Deplasarea laterală*, perpendiculară pe liniile de curent, a particulelor care capătă o mișcare de rotație sub acțiunea hidrodinamică într-un cîmp uniform, în domeniul valorilor reduse ale numărului Reynolds.

Acest efect se amplifică în cazul în care cîmpul devine neuniform și cînd mișcarea nu este staționară, cazul real al curgerii prin porii materialului filtrant. Totodată, acest efect este amplificat de forma nesferică a particulelor dispersiei. Acestea sînt deviate de pe traiectoria liniilor de curent și ajung în contact cu granulele materialului filtrant.

— *Interacțiunea moleculară dintre particulele dispersate în apă*, ca efect al forțelor Van der Waals, este proporțională cu inversul pătratului distanței. Aceste forțe de atracție, împreună cu forțele hidrodinamice, par a avea ponderea maximă în mecanismul de reținere a particulelor pe filtre.

S. și V. Mackrle propun un criteriu de adeziune (Ma), în funcție de valoarea numărului Reynolds:

$$\mathrm{Ma} = \mathrm{Re}^{2,16}, \tag{6.50}$$

în care $\mathrm{Re} = vd/\nu$ (v este viteza aparentă; d — dimensiunea granulelor stratului de nisip; ν — coeficientul de vîscozitate cinematică).

Acest criteriu, dedus experimental, fiind însă independent de natura și starea de agregare a dispersiilor conținute în apă, nu poate fi luat în considerație ca fiind general valabil.

— *Forțele electrostatice*, împreună cu forțele Van der Waals care iau naștere în stratul dublu de ioni din pelicula adsorbită pe suprafața particulelor stratului filtrant și a particulelor dispersate în apă.

Forța de respingere electrostatică scade după o lege exponențială, odată cu creșterea distanței dintre granula din stratul filtrant și particula dispersată. Dimpotrivă, atracția descrește cu inversul acestei distanțe la puterea a șasea. Prin însumarea acestor forțe, se obține o curbă care prezintă un maxim definit ca *nivel al barierei de energie* (în general sub 10 mV), corespunzător unei distanțe sub care particulele sînt supuse unor forțe de atracție care cresc considerabil cu micșorarea acestei distanțe.

Dispersiile de argilă, microorganisme etc., care se găsesc în apele naturale, sînt electronegative, ca și suprafața granulelor de nisip din stratul filtrant, astfel încît, în momentul în care (datorită forțelor hidrodinamice, inerției sau difuziei menționate) particulele dispersiei ajung la distanțe sub cele corespunzătoare barierei de energie, ele sînt reținute de forța de atracție menționată, pe granulele din stratul filtrant.

Coagulanții utilizați în tratarea prealabilă a apei sînt încărcați cu sarcini electropozitive, de unde decurge că dozarea acestora trebuie făcută cu atenție, pentru a nu da naștere la fenomene de respingere.

— *Adsorbția*, prin care particulele în dispersie sînt reținute pe granulele stratului filtrant, ca urmare a contactului peliculelor de lichid adsorbite la suprafața acestor particule și granule. Aceste pelicule sînt formate din cele două straturi ionice, primul de cationi, legat mai stabil și cel exterior, difuz, format din anioni și cationi mai puțin legați, care pot intra în reacții de schimb cu ionii din mediul dispers, sau ai altor pelicule adsorbite. Este deci suficient ca aceste pelicule să vină în contact, pentru ca particulele să fie reținute prin adsorbție.

Condiția ca o particulă cu diametrul D să fie adsorbită pe granula de diametru d este:

$$D \geqslant 0{,}16d - 2a, \tag{6.51}$$

în care a este grosimea peliculei adsorbite pe suprafața particulei (poate fi influențată de compoziția chimică și mineralogică a granulelor din strat și a particulelor dispersate, precum și de starea de mineralizare a apei). Viteza de filtrare ca factor hidrodinamic influențează deformarea acestor pelicule de legătură și poate, în anumite condiții, să producă dezlipirea particulelor adsorbite. Compoziția granulometrică a stratului filtrant influențează posibilitățile de adsorbție prin mărimea d, astfel încît, în cazul granulelor mai fine, crește efectul de reținere prin adsorbție.

• *Reținerea în interspațiile stratului filtrant.* Particulele dispersiilor din apă care sînt reținute prin filtrare au mărimi $\leqslant 0{,}5$μm, în timp ce mărimea porilor materialului filtrant se situează în jurul valorii de 200 μm.

Se consideră că reținerea este asigurată prin efectul de *sită*; *W. E. Hall* a arătat că probabilitatea de reținere a unor particule de diametru d în interspațiile granulelor de diametru D este: $p_S \simeq (d/D)^{1,5}$.

Prin *sedimentare*, în interspațiile dintre granule, se pot reține (după *Hazen*) particule cu dimensiuni sub 0,3μm.

G. M. Fair și *P. R. Stanley* au arătat că, prin efectul de sedimentare, în filtre pot fi reținute particule de 20 de ori mai mici decît în decantoare. Efectul de reținere prin sedimentare în porii materialului granular depinde de starea de floculare a particulei, de diferența de densitate dintre particule și apă și de coeficientul de viscozitate dinamică al apei.

La Congresul AIDE de la Viena 1969 s-a căzut de acord că modul de reținere al suspensiilor în ansamblul filtrului este influențat în măsură importantă de forțele hidrodinamice, limpezirea apei fiind rezultatul a două procese globale:

— reținerea particulelor din apă, în măsura în care complexul de forțe asigură fixarea pe granulele de nisip;

— îndepărtarea (sub forma unei mișcări de translație) din stratul de grosime elementară, datorită forțelor hidrodinamice, a particulelor prinse pe suprafața nisipului.

● *Formulări matematice ale procesului de filtrare.* Ecuațiile propuse de *Iwasaki*, stabilesc proporționalitatea gradientului reținerii suspensiilor în strat cu concentrația impurităților în influent, sub forma:

$$\frac{\delta C}{\delta h} = -\lambda C_0 \tag{6.52}$$

și ecuația de echilibru a volumului suspensiilor trecute și reținute prin strat cu creșterea depozitului din porii materialului, prin relația:

$$\frac{\delta C}{\delta h_n} = \frac{h_n}{v_F}\frac{\delta \sigma}{\delta t}, \tag{6.53}$$

în care: C_0, C sînt concentrațiile de particule în suspensie (volum pe unitatea de volum de apă) inițială, respectiv la timpul t; h_n — grosimea stratului; λ — coeficientul de rezistență al stratului (sau coeficient de filtrare); σ — depozitul specific (volum depozit pe unitatea de volum de filtru); t — durata de la începutul filtrării; v_F — viteza de filtrare.

Practic, toate teoriile elaborate după Iwasaki caută să perfecționeze ecuațiile de mai sus, fie prin încercări de determinare a parametrilor λ și σ, fie prin elaborarea unor relații semiempirice, care să reflecte cît mai bine procesele care au loc în filtru. În acest sens, în continuare se indică relațiile stabilite de școala engleză, prin profesorul *K. Ives*:

$$-\frac{\delta C^t}{\delta h} = b(a_1 - a_2\sigma^t) - \frac{a_2(\sigma^t)^2}{m_0 - \sigma^t} C^t, \tag{6.54}$$

în care: C^t este concentrația în suspensii la timpul t; h — distanța de la suprafața stratului; a_1, a_2, b — parametrii determinați experimental; σ^t — volumul depozitelor pe unitatea de volum de strat; m_0 — porozitatea inițială a stratului; t — durata de la începutul filtrării;

Practic în totalitate [55], modelele matematice prezintă expresii complexe, cu numeroși parametri empirici sau constanți, care trebuiesc stabiliți experimental și prezintă dificultăți la aplicarea în practică.

Pe plan mondial și în țara noastră, sînt formulați următorii trei indicatori, utilizați frecvent pentru compararea rezultatelor procesului de filtrare:

— *Indicele de penetrabilitate* B propus de *H. E. Hudson*:

$$B = vd^3h_r/h_N, \tag{6.55}$$

în care: v este viteza de filtrare; h_r — pierderea de sarcină; h_N — grosimea stratului filtrant; d — diametrul caracteristic al stratului filtrant.

Indicele B crește în cursul ciclului de filtrare, datorită creșterii pierderilor de sarcină și poate preciza momentul epuizării capacității de filtrare în condiții eficiente.

B caracterizează în special proprietățile filtrului.

Cu cît indicele de penetrabilitate este mai mic, cu atît filtrul asigură o calitate mai bună a filtratului. La un proces tehnologic corespunzător, acest indice trebuie să varieze între valori de $1{,}4 \div 8{,}4$.

— *Indicele de filtrabilitate FI*, caracterizînd în principal proprietățile fizico-chimice ale influentului, legate de procesul de filtrare, se propune, după *M. Fox* și *L. J. Cleasby*:

$$FI = \lambda\sigma/h_r. \tag{6.56}$$

— *Coeficientul de filtrare* λ *și depozitul specific* σ, care corespund și relațiilor de bază propuse de Iwasaki, pot fi stabiliți, pentru un moment t al ciclului, de filtrare, cu relațiile:

$$\lambda = \frac{C_1 - \frac{C_2}{C_1}}{h_2 - h_1}\ ;\ \sigma_2 - \sigma_1 = \frac{[(C_1 - C_2)(t_2 - t_1)](-v)}{h_2 - h_1}, \tag{6.57}$$

în care: C_1, C_2 sînt concentrațiile dispersiei la adîncimea h_1, respectiv h_2 de la suprafața stratului filtrant; σ_2 — depozitul specific la timpul t_2 de la începutul ciclului de filtrare; σ_1 — idem, la timpul t_1; v — viteza de filtrare aparentă.

6.5.3.2. **Parametrii tehnologici în procesul de filtrare rapidă** pot fi sintetizați astfel:

● *Caracteristici influent.* Pentru ca un filtru să funcționeze în condiții optime, este necesar ca substanțele coloidale de natură minerală și organică să se găsească în stare de floculare. Este necesar să se urmărească cu atenție starea biologică a apei din punct de vedere al speciilor de microorganisme:

Elementele care trebuie urmărite permanent (orar) sînt:

— *Concentrația dispersiilor din apă* se evidențiază, fie direct în mg/dm³ fie prin turbiditate, în grade pe scara silicei; aceasta nu va depăși 20 mg/dm³.

Starea de agregare și echilibrul fizico-chimic și electric al dispersiilor poate fi caracterizat printr-o serie de indicatori ca: potențialul electrostatic; indicele de filtrabilitate FI; temperatura; coeficientul de coeziune K.

— *Indicele de filtrabilitate FI* — caracterizează proprietățile de formare a depozitelor de suspensii la anumite adîncimi în stratul filtrant, ținînd seama de concentrația suspensiilor și de viteza de filtrare. Acest indice constituie, împreună cu indicele de penetrabilitate B, un mijloc eficient de comparație, atunci cînd se propun diverse soluții de rezolvare a procesului tehnologic de filtrare.

Sînt necesare analize biologice și bacteriologice permanente asupra influentului, pentru a se asigura găsirea metodelor de inhibare a dezvoltării biomasei; se utilizează frecvent încercări de prognoză de tip *biossay* pentru condiții diferite de încărcare cu nutrienți și cu diferite substanțe inhibitoare.

● *Caracteristici strat filtrant.* Stratul filtrant este elementul vital al unui filtru rapid, pentru că în el se desfășoară în totalitate procesul complex de limpezire a apei.

Stratul filtrant trebuie definit prin caracteristicile granulometrice, suprafața specifică, volumul porilor, natura mineralogică, forma granulelor,

friabilitate, precum şi o serie de parametri geometrici ca: grosimea stratului filtrant şi suprafaţa filtrantă.

— *Curba granulometrică* a unui material filtrant se obţine prin cernerea nisipului uscat printr-o suită de site normalizate, cuprinse în general între 0,2 ··· 5 mm şi notînd greutatea nisipului reţinut pe fiecare sită cu ochiurile avînd diametrul d, în mm. În curba granulometrică se exprimă, pentru fiecare diametru al ochiului de sită, procentul din greutatea de nisip care a trecut prin sita respectivă; astfel, pe o curbă granulometrică, pentru fiecare dimensiune d a sitelor folosite (reprezentate pe axa absciselor), rezultă în ordonată procentul de nisip cu diametrul mai mic decît d.

De pe curba granulometrică se pot extrage trei valori caracteristice ale stratului filtrant:

— coeficientul de uniformitate K_u care se defineşte prin relaţia:

$$K_u = d_{60}/d_{10},$$

d_{60} şi d_{10} fiind diametrele care corespund pe curba granulometrică la procentele de 60 şi respectiv 10%;

— diametrul eficace d_{10} definit anterior;

— diametrul echivalent $d_{echiv.}$ al granulelor stratului filtrant, care rezultă din relaţia:

$$\frac{1}{d_{echiv.}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{a_i}{d_i}; \qquad (6.58)$$

în care: a_i este cantitatea de material filtrant, în % din greutate, pentru fracţiunea cuprinsă între două diametre; d_i — media aritmetică a acestor diametre. Pentru determinarea $d_{echiv.}$, se împarte curba granulometrică în 5—6 sectoare pe care se calculează rapoartele a_i/d_i.

— *Volumul porilor*, exprimat în % din volumul aparent ocupat de stratul filtrant poartă denumirea de coeficient de porozitate. El poate varia între valori de 0,15 ··· 0,30 şi pentru stratele filtrante utilizate în mod curent, are valoarea $m_0 = 0{,}20$.

— *Grosimea sau înălţimea stratului filtrant*, care se măsoară pe direcţia paralelă cu firele de curent, între secţiunile de intrare şi ieşire a apei din acest strat.

Alegerea înălţimii stratului filtrant este o problemă de optim tehnico-economic, care ia în consideraţie: durata ciclului de filtrare şi valoarea cantităţii de apă produsă; costurile pentru obţinerea unui nisip de filtru cu un coeficient de uniformitate redus; dotarea filtrului cu aparatură şi sisteme care să prezinte certitudinea asigurării elementelor hidrodinamice. Înălţimea adoptată curent pentru filtrele rapide este $h_N = 0{,}9 \cdots 1{,}20$ m.

— *Parametrii hidrodinamici ai procesului de filtrare*. În figura 6.53 se prezintă schema unui filtru rapid în curgere descendentă.

Influentul (apa decantată) este repartizat prin intermediul unui sistem (J) şi curge în sens descendent prin (N) în rezervorul de apă filtrată, de unde se prelevează filtratul (F). Refacerea capacităţii stratului se face prin spălare în contracurent (S) de aer comprimat şi apă filtrată; colectarea apei de la spălare se efectuează prin sistemul (J) şi se evacuează printr-un sistem hidraulic (AS). Drenajul (D) are rolul să asigure colectarea uniformă a filtratului din strat şi repartizarea uniformă a aerului şi apei pentru spălare în contracurent.

— *Viteza de filtrare* v_f se consideră ca fiind viteza aparentă care rezultă din raportul între debitul influent şi aria secţiunii normale, pe direcţia de curgere a apei; viteza de filtrare adoptată curent se situează între limitele: $v_f = 5 \div 10$ m/h; adoptarea vitezei de filtrare se face pe baza elementelor caracteristice ale influentului, caracteristicile stratului filtrant, rezultatul dorit pentru calitatea filtrantului şi disponibilităţile tehnice, energetice şi costuri implicate în proces.

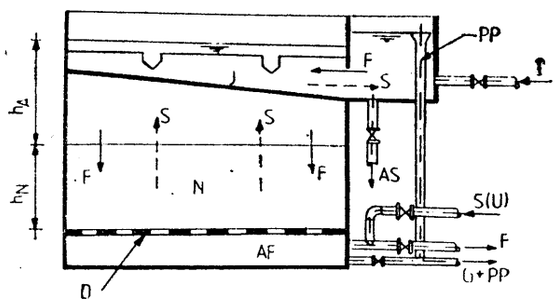


Fig. 6.53. Schemă filtru rapid deschis: I — influent; F — filtrat; J — jgheab; G — golire; $S(U)$ — spălare, umplere; AS — apă de la spălare; PP — preaplin; N — nisip; D — drenaj; AF — apă filtrată.

— *Tehnologia de filtrare* constă în două metode, prezentate în continuare.

Menţinerea debitului influent constant pe întreaga perioadă a ciclului de filtrare *(filtrarea cu debit constant)*, a constituit metoda utilizată în toată lumea pînă în anul 1960.

Deficienţele principale ale metodei sînt determinate de următoarele:

— încărcarea straturilor iniţiale ale filtrului, datorită limitării vitezelor iniţiale;

— creşterea vitezei reale de curgere în strat, datorită colmatării acestuia;

— şocurile hidrodinamice impuse stratului de reglajele necesare pentru creşterea vitezei reale de curgere, care conduc la degradarea calităţii filtratului.

Filtrarea cu debit constant este practic abandonată în momentul de faţă.

În cursul unui ciclu de filtrare *(filtrarea cu debit variabil)*, viteza este variabilă, mai mare la începutul filtrării şi mai mică la finele ciclului [33].

Utilizînd viteze mai mari la începutul filtrării, suspensiile sînt antrenate în profunzimea stratului şi pierderile de sarcină capătă o distribuţie mai uniformă pe înălţimea filtrului. Vitezele reale de curgere în mediul filtrant se autoreglează, în funcţie de gradul de colmatare.

La filtrarea cu viteză variabilă, fiecare filtru din cadrul staţiei de filtre produce un debit q_x, variabil în decursul ciclului de filtrare în limitele: q_i — q_f (iniţial—final). Dacă variaţia debitului, care este proporţional cu viteza de filtrare, este de tip liniar (cazul curent pentru condiţiile procesului tehnologic în filtrarea apei), la momentul t_x de la începutul cielului de filtrare de durată T, debitul unui filtru va fi:

$$q_x = q_i - \frac{q_i - q_f}{T} t_x \qquad (6.59)$$

Suma debitelor q_x furnizate de cele n filtre la fiecare moment t_x trebuie să corespundă cu debitul nominal al întregii instalații:

$$n\frac{q_i+q_f}{2}=\sum_{i=1}^{n}\left(q_i-\frac{q_i-q_f}{T}t_x\right) \tag{6.60}$$

$$\sum_{i=1}^{n}t_x=\frac{T\cdot n}{2}. \tag{6.61}$$

Deci suma timpilor de funcționare la cele n filtre, de la începutul fiecărui ciclu de filtrare pînă la momentul considerat, trebuie să fie jumătate din produsul dintre numărul filtrelor și durata T a unui ciclu.

Această condiție poate fi îndeplinită numai în cazul decalării în timp a ciclurilor de filtrare cu perioade:

$$t_s=\frac{T}{n-1}. \tag{6.62}$$

Se impune ca spălarea filtrelor să se facă riguros la intervale egale t_s.

— *Pierderea de sarcină* h_t este diferența de presiune a apei între două nivele ale stratului filtrant.

În figura 6.54. se poate urmări evoluția curbei de presiune în interiorul unui filtru rapid, pe parcursul ciclului de filtrare.

De la nivelul superior al stratului filtrant, la începutul ciclului de filtrare, pierderile de sarcină cresc liniar spre baza stratului filtrant, fiind aplicabilă legea de filtrare după relația Darcy. Presiunea la nivelul sistemului de drenaj va fi p_0, iar pierderea de sarcină corespunzătoare h_t-p_0. Presiunile variază în strat după dreapta f_0p_0, a cărei înclinare depinde numai de granulometria stratului și de viteza de filtrare.

Datorită mecanismului de depunere a suspensiilor în straturi elementare succesive din stratul filtrant, la timpul t_1 de la începutul ciclului de filtrare o anumită porțiune NI din stratul filtrant va fi colmatată la limita de echilibru. Nivelul poartă denumirea de *front de filtrare* la timpul t_i.

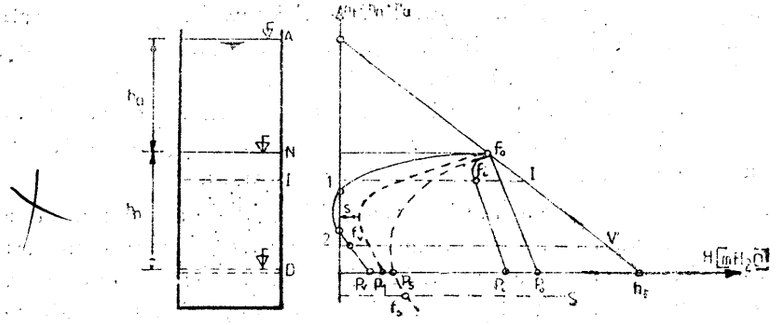


Fig. 6.54. Distribuția presiunilor în stratul filtrant: A — nivelul apei; N — nivelul superior al stratului filtrant; D — nivelul sistemului de drenaj; I, V, S — niveluri ale frontului de filtrare; h_tP_0 — pierderea de sarcină în stratul filtrant curat; h_tP_1 — pierderea de sarcină la sfîrșitul ciclului de filtrare; s — rezervă (siguranță) la atingerea pierderii de sarcină limită.

În acest strat superior, presiunile variază după curba f_0f_i. În porțiunea ID a stratului filtrant, sub nivelul I al frontului de filtrare, nisipul fiind curat, variația presiunilor va fi liniară după dreapta f_ip_i, paralelă cu f_0p_0. Pierderea de sarcină totală prin stratul filtrant este h_t-p_i.

Porțiunea IP din stratul filtrant, rămasă, necolmatată, conferă siguranță filtrării din punct de vedere calitativ. Suspensiile reținute deasupra nivelului I al frontului de filtrare nu pot fi antrenate în filtrat. Această porțiune se recomandă să nu se reducă sub grosimea minimă de **30 cm**.

Totodată, pe curba de presiune nu trebuie să existe nici un punct sub presiunea atmosferică.

În anumite situații în care vitezele de filtrare, calitatea influentului sau grosimea stratului filtrant nu corespund cerințelor hidrodinamice ale filtrării, cele două condiții anterioare nu sînt respectate, în special către finele ciclului de filtrare.

Frontul de filtrare coboară în decursul perioadei de filtrare spre baza stratului filtrant. Cînd acest front ar ajunge în poziția dată de curba de presiune f_0f_v, intersectînd axa coordonatelor în punctele *1* și *2*, chiar dacă presiunea la ieșirea din filtru ar fi pozitivă, pe porțiunea între *1* și *2* stratul filtrant s-ar găsi sub vacuum. Situația perturbă echilibrul hidrodinamic al suspensiilor reținute în stratul filtrant și calitatea apei; se corectează prin mărirea corespunzătoare a presiunii de lucru a filtrului, respectiv a înălțimii stratului de apă, sau reducerea vitezei de filtrare.

O altă situație limită la finele ciclului de filtrare ar fi aceea cînd frontul de filtrare f_0f_s s-ar găsi într-o poziție virtuală sub nivelul inferior al stratului filtrant. Este situația în care, cu toate că filtrul mai are o rezervă de presiune pentru a livra debitul solicitat (pierderea de sarcină este sub cea disponibilă), el este scos din funcțiune datorită deteriorării calității filtratului.

Corecția se face prin mărirea grosimii stratului filtrant, astfel încît frontul de filtrare la finele ciclului să se găsească, pentru siguranța calității filtratului, cu cel puțin 30 cm peste nivelul sistemului de drenaj.

Valorile practice ale pierderii de sarcină prin filtre rapide se situează în limitele 1,5 ÷ 2,0 m.

— *Refacerea capacității stratului filtrant.* Epuizarea capacității de reținere a mediului filtrant se materializează prin deteriorarea calității efluentului și creșterea pierderii de sarcină spre limita maximă. În această situație, filtrul trebuie spălat. Spălarea filtrelor rapide are două componente esențiale:

— asigurarea metodei de spălare prin duratele și intensitățile de spălare cu apă și aer;

— calitatea drenajului din punct de vedere al asigurării uniformității spălării; orice asimetrii sau deficiențe în funcționarea drenajului conduc la deteriorarea ansamblului complexului de filtrare.

Privind *metoda de spălare* este unanim acceptat, în momentul de față că spălarea eficientă a unui filtru rapid se execută după următorul program:

— în *faza I* se introduce apa filtrată în contracurent, la valori aal intensităților de $i_{apă}=3\div4$ dm³/s, m²; cînd apa ajunge la muchia jgheabului de deversare, se introduce aer comprimat la valori de $i_{aer}=18\div20$ dm³/s, m²; durata acestei faze este de 3′—5′; în acest mod, peliculele de nămol dezlipite de pe granule sînt antrenate de curentul de apă;

— *faza a II-a* constă în trecerea unui curent de apă filtrată de jos în sus, la o intensitate de 8 ÷ 12 dm³/s,m², timp de 10′—12′.

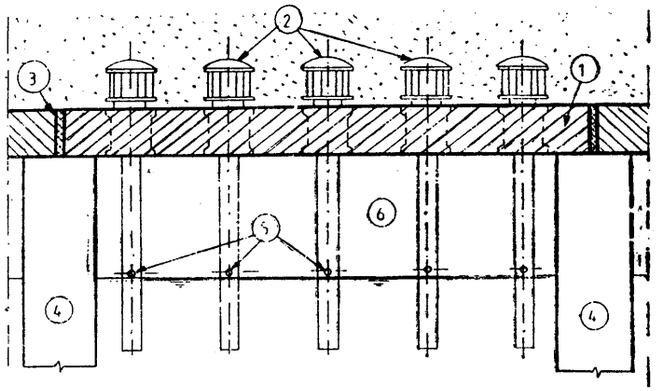


Fig. 6.55. Drenaj cu plăci cu crepine: *1* — placă din beton armat; *2* — crepină; *3* — etanşarea rosturilor dintre plăci; *4* — stîlp; *5* — orificiu pe ţeava crepinei; *6* — strat de aer comprimat în timpul spălării filtrului.

— *Drenajele de mare rezistenţă*, utilizate în prezent pentru filtrele rapide [36] sînt următoarele:

— *cu plăci cu crepine*; cerinţele impuse la execuţie sînt deosebit de severe pentru realizarea nivelului de separaţie apă-aer sub drenaj.

În figura 6.55. se prezintă schema unui drenaj cu plăci cu crepine. Acest sistem de drenaj este foarte eficient, însă necesită dotări speciale pentru asigurarea uniformităţii debitelor de aer şi apă pe perioada spălării. Crepinele executate la începutul secolului din porţelan, actualmente se execută din polietilenă.

— *cu tuburi şi crepine*, conceput în ideea de a reduce înălţimea pereţilor cuvei cu 40 ÷ 50 cm; este un dispozitiv mai pretenţios din punct de vedere al unei execuţii corecte; drenajul prezintă inconveniente pentru că reduce înălţimea de variaţie a nivelului de separaţie apă-aer şi necesită o rezistenţă hidraulică suplimentară la alimentarea cu apă şi aer a tuburilor cu crepine (fig. 6.56).

— *cu blocuri M sau A şi conducte de distribuţie a aerului* format din blocuri de beton simplu de forma literei M (A) 15 · 50 · 8 cm, aşezate pe radierul cuvei; distribuţia aerului se face prin intermediul tuburilor de PVC 32 · 1.8 mm, amplasate sub blocuri pe radier; lansarea aerului comprimat se face în bule mari, uniformizarea acestuia şi reducerea mărimii bulelor fiind efectuată de un filtru tip Baylis, format din straturi cu granule de mărime descrescătoare de la 25 la 3 mm, pe 40 cm înălţime.

În figura 6.57 se indică elementele componente pentru acest tip de drenaj. Figura 6.58 indică variaţia pierderii de sarcină în funcţie de intensităţile de spălare cu apă şi aer, la acest tip de drenaj.

Avantajele acestui tip de drenaj sînt:

— nu lucrează cu nivel de separaţie apă-aer, deci condiţiile de execuţie nu solicită exactitatea impusă de celelalte tipuri de drenaje;

— desfiinţează aşa-numitul planşeu al drenajului.

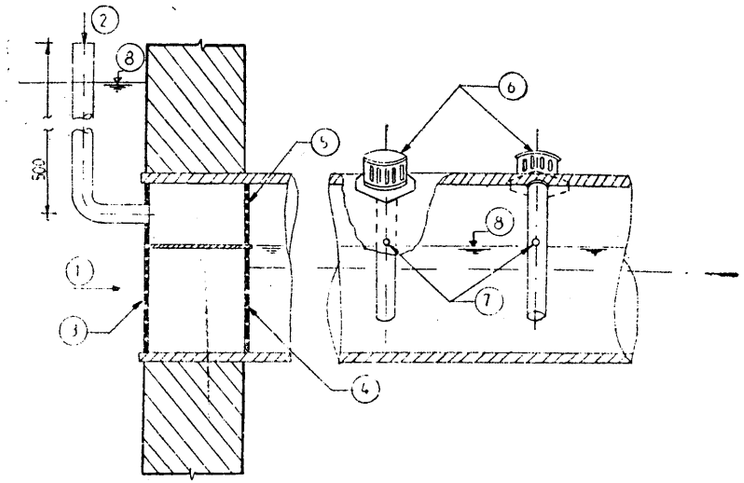


Fig. 6.56. Drenaj cu tuburi cu crepine: *1* — apă; *2* — aer; *3* — capac tip 1 (cu 163 orificii, Ø 45 mm); *4* — capac tip 2 (cu 103 orificii, Ø 8 mm); *5* — capac cu 144 orificii, Ø 5 mm; *6* — crepine; *7* — orificiu pe ţeava crepinei; *8* — nivel separaţie apă-aer.

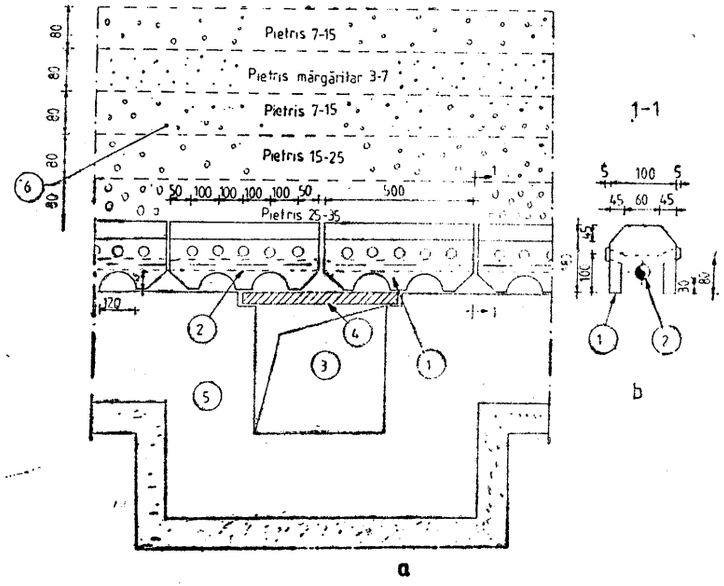


Fig. 6.57. Drenaj cu blocuri M: *a* — secţiune transversală; *b* — secţiune *1—1*: *1* — blocuri M; *2* — conductă aer; *3* — galerie apă spălare; *4* — placă beton; *5* — radier cuvă; *6* — filtru pietriş sortat.

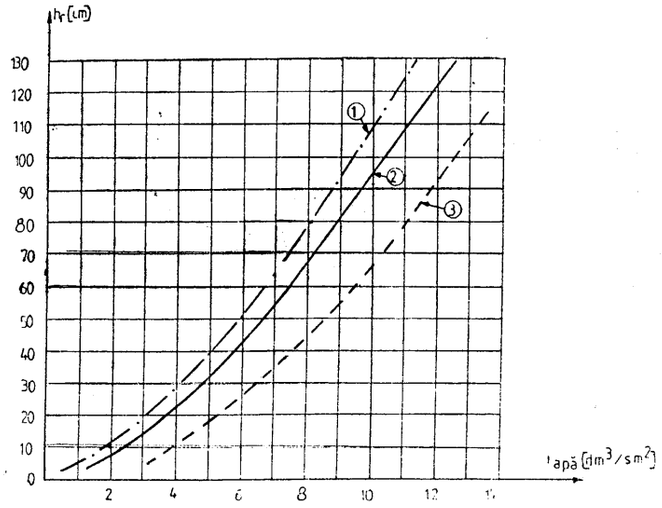


Fig. 6.58. Pierderi de sarcină la drenajul cu blocuri M: *1* — aer, $i = 18$ dm³/s, m²; *2* — aer $i = 16{,}8$ dm³/s, m²; *3* — numai apă.

Ca dezavantaj, se semnalează dificultăți în zona vitezelor de filtrare la limita de 10 m/h, datorită zonelor de microcavitație care apar în filtrul de pietriș sortat.

6.5.3.3. **Optimizarea filtrelor rapide.** Analiza elementelor determinante pentru procesul de filtrare a apei prin filtre rapide cu nisip cuarțos se efectuează pe baza principiului: cea mai mare cantitate de apă care este posibil să se obțină între 2 spălări succesive, va fi realizată cînd $T_1 = T_2$, adică penetrația impurităților în interiorul nisipului se va face cu aceeași viteză cu care crește pierderea de sarcină (T_1 este perioada în care apa filtrată rămîne limpede, iar T_2 este perioada în care se atinge pierderea de sarcină stabilită ca limită a filtrului respectiv).

Pentru o apă coagulată, *Richard și Croce—Spinelli* [15] au stabilit formule experimentale de tipul:

$$T_1 = a\sigma^{-0,95} k^{-0,75} d_{ef}^{-0,45} h_N^{0,95} v_F^{-1,85} \tag{6.63}$$

$$T_2 = b\sigma^{-0,75} k^{-0,7} d_{ef}^{1,5} \Delta h_r^{0,9} v_F^{-0,65}, \tag{6.64}$$

în care: a, b sînt coeficienți determinați experimental;
d_{ef} — diametrul eficace al materialului;
h_N — grosimea stratului de nisip;
Δh_r — creșterea pierderii de sarcină;
v_F — viteza de filtrare;
k — coeficientul de coeziune al nămolului reținut;
σ — volumul de materii în suspensie floculată în influent.

Numeroși autori susțin ca elemente determinante pentru realizarea optimului ($T_1 \equiv T_2$) următoarele:
— diametrul mediu eficace al materialului;
— grosimea stratului filtrant;

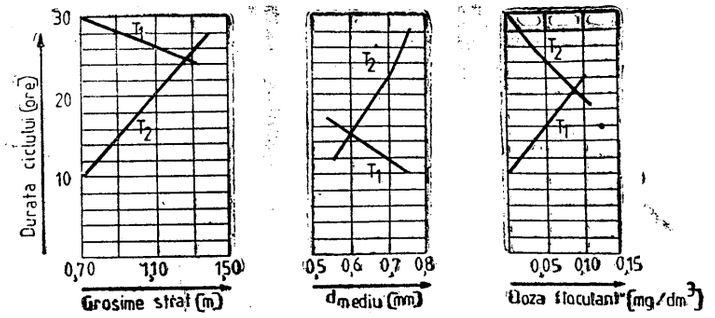


Fig. 6.59. Optimizarea ciclului de filtrare pentru $T_1 < T_2$.

— calitatea floculării suspensiilor din apă prin dozele de adjuvant de coagulare care să mărească coeficientul de coeziune și indicele de penetrabilitate.

În figura 6.59. se indică variația duratei ciclului de filtrare, exprimat prin T_1 și T_2 în funcție de grosimea stratului de nisip, diametrul mediu eficace al granulelor și doza de floculant.

Cele două elemente fundamentale care intervin în optimizarea filtrării apei sînt: materialul filtrant și calitatea influentului.

• *Materialul filtrant.* Calitățile pe care trebuie să le îndeplinească un nisip de filtru pentru a constitui un material corespunzător optimizării ciclului sînt:

— să realizeze un volum de goluri (porozitate) mare; în acest sens, se remarcă tendința de reducere a diferențelor dintre dimensiunile limită ale granulelor;

— forma granulelor trebuie să fie rotunjită pentru a se obține un grad de acoperire mai bun (pînă la 50÷60%) cu nămol și pentru a se evita sfărîmarea în timpul spălării:

— conținutul de cuarț (cu $\rho > 2{,}65$ daN/dm³) trebuie să depășească 92%.

Durata ciclului de funcționare al unui filtru este exprimată în funcție de mărimea efectivă a granulelor nisipului printr-o relație de tipul:

$$T = Kd_{ef}^{0,3}, \tag{6.65.}$$

în care coeficientul K depinde de natura și calitatea impurităților conținute în apă.

Un factor important, influențat de caracteristicile nisipului, este viteza de filtrare. În figura 6.60 se indică variația pierderilor de sarcină pentru două variante ale vitezei de filtrare ($v_F = 4$ și 10 m/h), pentru patru diametre eficace de nisip, cuprinse între 0,42 și 1,32 mm; se remarcă rezultatele bune obținute de la $d_{ef} = 0{,}91$ mm, cînd durata ciclului depășește 15 ore, fără să se atingă o pierdere de sarcină de 2 m.

În cadrul proiectului tip *Cuve de filtrarea apei* (161/1976), pentru nisipul de filtru s-au adoptat următoarele carcteristici:
— nisip cuarțos rulat, conținutul minim de SiO_2 de 94%;
— dimensiunile minime și maxime ale granulelor de 0,8 și 2,1 mm;
— coeficientul de neuniformitate $u = d_{60}/d_{10} \leqslant 1{,}6$;
— conținutul de material cu dimensiunile particulelor mai mici de 0,8 mm, nu va depăși 10% din greutate.

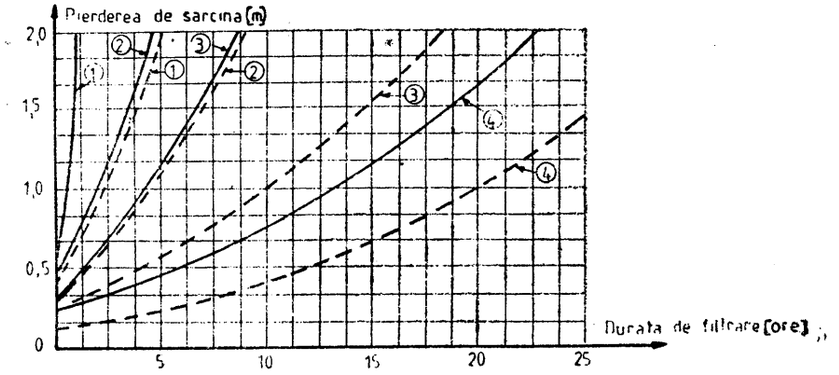


Fig. 6.60. Corelația $v_F = f(d_{ef})$; —— $v_F = 4$ m/h; ... $v_F = 10$ m/h; *1* — $d_{ef} = 0{,}72$ mm; *2* — $d_{ef} = 0{,}80$ mm; *3* — $d_{ef} = 0{,}91$ mm; *4* — $d_{ef} = 1{,}32$ mm.

Adoptarea acestor caracteristici pentru nisipul de filtre a avut la bază posibilitățile de realizare a sortului propus la un preț rezonabil și calculele tehnico-economice care au cuprins cheltuielile totale anuale din investiția și exploatarea stației de filtrare.

• *Calitatea influentului.* Apa care intră în filtre nu are caracteristici constante. Modificarea acestora în timp, datorită temperaturii sau stării de coeziune a suspensiei floculate, poate avea represiuni asupra duratelor T_1 și T_2. Se caută permanent un coeficient optim pentru fiecare moment; optimul se realizează în general prin asigurarea unui adaos de adjuvant de floculare in influent.

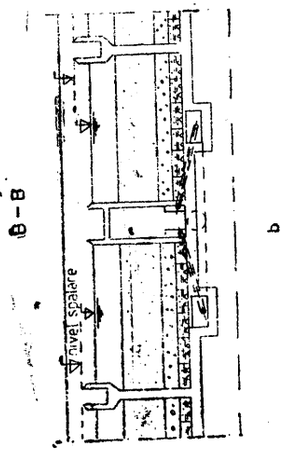
6.5.3.4. **Proiectarea filtrelor rapide.** Pentru filtrele rapide cu sens de filtrare descendent și strat filtrant monogranular, care au în prezent cea mai largă aplicabilitate, sînt adoptate dispoziții generale de tipul celei prezentate în figura 6.61.

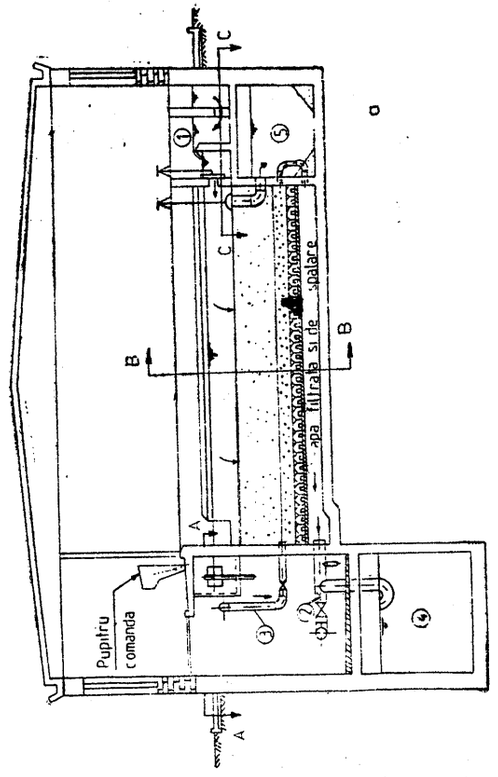
Stația de filtre este constituită din n cuve de filtrare, amplasate pe un rînd sau două rînduri, limitate de o galerie tehnologică și avînd sub acestea rezervorul de apă filtrată.

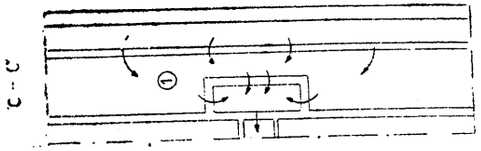
În cadrul proiectului tip *Cuve de filtrarea apei* (elaborat de ICB) au fost întocmite calcule detaliate, privind:

— mărimea cuvei unitare de filtrare;
— tipul de drenaj de mare rezistență hidraulică;
— amplasarea cuvelor de filtre rapide pe unul sau două rînduri;
— prevederea rezervorului de apă filtrată independent, sub galeria tehnologică sau sub toată hala de filtre;
— gruparea sistemelor hidraulice de deservire (după principiul totul în galeria tehnologică) sau separarea;
— alimentarea cuvelor de filtre longitudinal sau transversal prin distribuitor hidraulic sub presiune sau canale cu nivel liber;
— grosimi diferite de strat filtrant cuprinse între 0,9 ÷ 1,3 m;
— sisteme constructive modulate cu prefabricate pentru realizarea suprastructurii halelor de filtre rapide.

Pe baza combinațiilor elementelor de mai sus, au rezultat 200 de variante de cuve de filtrare a apei, pe baza cărora a fost elaborat tabelul 6.5, privind indicatorii sintetici de consum de materiale pe m² de suprafață







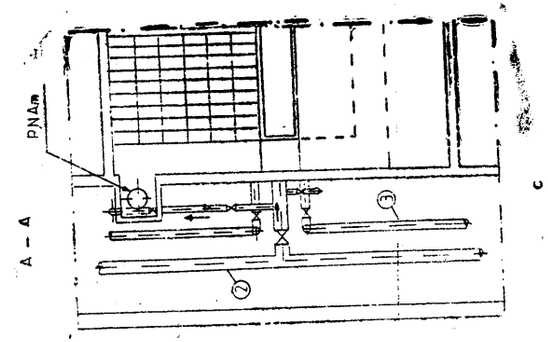


Fig. 6.61. Stație filtre rapide: *a* — secțiune longitudinală cuvă; *b* — secțiune transversală cuvă *B—B*; *c* — secțiune orizontală galerie tehnologică *A—A*; *d* — secțiune orizontală sistem de alimentare *C—C*; *1* — distribuție influent; *2* — apă filtrată și de spălare; *3* — aer de spălare; *4* — rezervor apă filtrată; *5* — sistem de preluare și transport apă de la spălare.

Tabelul 6.5

Indicatori sintetici la cuvele de filtrare a apei

Nr. crt.	Tip cuvă	Indici de materiale				Indici tehnologici		
		I.b.a. monolit $\frac{m^3 \text{ b.a. monolit}}{m^2\ SF}$	I.b.a. prefabricat $\frac{m^3 \text{ b.a. prefabr.}}{m^2\ SF}$	Indici cofraje $\frac{m^2\ S_{cf}}{m^2\ SF}$	Confecții metalice $\frac{Kg}{m^2\ SF}$	$\frac{m^3\ V_{constr}}{m^2\ SF}$	$\frac{m^3\ S_{constr}}{m^2\ SF}$	$\frac{m^3\ V_{gal.\ th}}{m^2\ SF}$
1	CF8,25–1–PC–O	2,1	0,1	16	75	15,5	2,1	3,47
2	CF17,10–1–PC–O	1,7	0,128	12,7	102,9	12,73	1,58	1,76
3	CF25,20–1–PC–O	1,25	0,1	7,49	70,3	19,4	2,84	2,36
4	CF25,20–1–PC–R1	1,5	0,1	8,5	63,8	21,3	2,84	2,36
5	CF25,20–1–PC–RT	1,7	0,1	10	63,8	27,9	2,84	2,36
6	CF28,75–1–BM–R1	1,7	0,15	12,6	98,2	8,61	1,93	2,34
7	CF40,16–1–BM–R1	1,77	0,168	9,48	47,7	15,8	2,33	1,25
8	CF62,7–1–BM–R1	1,5	0,17	9,3	40	12,7	1,77	1,51
9	CF62,7–1–BM–RT	1,9	0,17	10,9	40	19,6	1,77	1,51
10	CF18,9–2–PC–O	1,01	0,14	6,39	94,2	4,8	1,4	1,17
11	CF24,8–2–PC–O	1,05	0,087	8,08	77,62	4,65	0,66	0,85
12	CF44–2–MB–R1	1,0	0,29	8	44,8	6,85	0,88	0,96
13	CF52–2–BM–R1	1,2	0,28	8	31	7,2	0,86	0,93
14	CF62,2–2–BM–R1	1,15	0,186	4,12	31,23	6,16	0,83	0,83
15	CF62,2–2–BM–R1	1,59	0,131	10,6	32,5	16	1,66	1,1
16	SF CRAIOVA	1,45				15		1,68
17	SF VOILA	1,96				13		1,048
18	SF PALAS CONSTANȚA	1,8				9,7		1,196
19	SF SOROGARI IAȘI	2,23				9		3,25
20	SF TÎRLUNG BRAȘOV	1,245				16,83		2

Exemplu de notare: $CF_{x-y-z-R}$

x — suprafața unitară efectivă, în m^2

y — amplasare pe un rînd sau două rînduri

z — tipul de drenaj: PC — plăci crepine
TC — tuburi crepine
BM — blocuri M

R — rezervor: R_1 — rezervor sub galeria tehnologică
R_T — rezervor sub toată hala

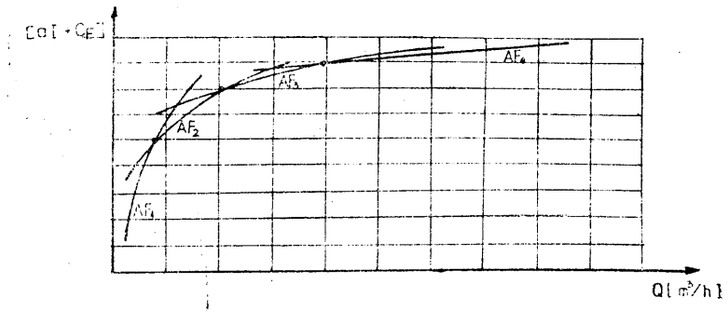


Fig. 6.62. Alegerea tipului de cuvă de filtrare: aI — cheltuieli anuale din investiții; C_E — cheltuieli anuale cu energia consumată; AF_i — suprafața utilă a cuvei; Q — debitul stației de filtre.

de filtrare și indici tehnologici raportați deasemenea la m^2 de suprafață filtrată.

Pe baza acestor elemente, a rezultat un criteriu fundamental, definit astfel: pentru fiecare mărime de debit Q, există un singur tip de cuvă, ca mărime, formă, dotare și încadrare în ansamblul stației de filtre, pentru care totalul cheltuielilor anuale din investiții și exploatare este minim.

Condițiile impuse pentru asigurarea bazelor criteriului de mai sus sînt:

— calitatea apei decantate (influent) să se încadreze în limita de pînă la 20 mg/dm³, cu un coeficient de coeziune al suspensiilor floculate $K = 0{,}9-1{,}0$ m/h;

— pentru apele filtrate direct (din lacuri) se vor alege dozele de reactivi pentru realizarea coagulării-floculării ,astfel încît pierderea de sarcină limită pentru un filtru să nu se atingă înainte de 3/4 din durata unui ciclu normal;

— viteza de filtrare nu va depăși pentru perioade scurte $8 \div 10$ m/h; aceasta impune ca numărul minim de cuve de filtrare pentru un debit dat să fie 5.

Alegerea tipului optim de cuvă de filtrare (ca suprafață și număr de cuve) se face pe baza unei diagrame de tipul celei prezentate în figura 6.62.

Un indicator acceptat în toată lumea pentru optimizarea stațiilor de filtre rapide se referă la indicele de consum de beton armat raportat la m^2 de suprafață filtrantă, după expresia:

$$I_b = 0{,}87 + 16\,A_F^{-0.75} + 1{,}3\,(h_N^{1.5} - 1{,}0)A_F^{-0.3}\ [\text{m}^3\text{b.a./m}^2SF], \quad (6.66.)$$

în care: I_b este consumul de beton armat raportat la m^2 de suprafață filtrantă; A_F — suprafața totală a stației de filtre; h_N — grosimea stratului de nisip.

Soluția cu volum minim de beton armat în cuvele de filtrare poate fi obținută și pe baza criteriului *perimetrului minim* al cuvelor care conduce la satisfacerea expresiei:

$$\frac{b}{a} = \frac{2n}{n+1}, \quad (6.67)$$

în care: n este numărul de cuve de filtru adoptat; b — lungimea unei cuve; a — lățimea cuvei.

În figura 6.61, se prezintă un exemplu de stație de filtrare a apei avînd cuvele amplasate pe un singur rînd, sisteme independente pentru

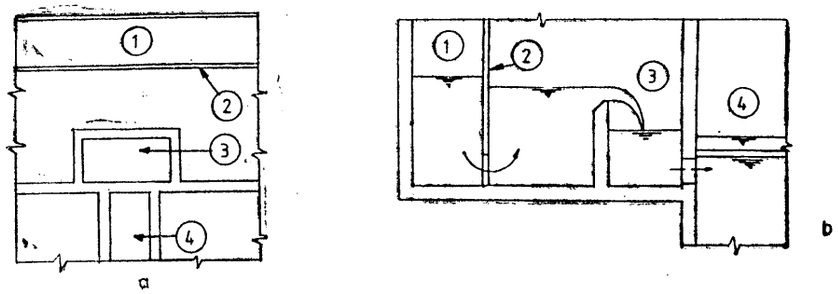


Fig. 6.63. Distribuitor deschis amplasat pe partea opusă galeriei tehnologice: *a* — plan; *b* — secţiune longitudinală: *1* — canal distribuţie; *2* — timpan; *3* — cămin cu deversor; *4* — jgheab.

distribuţia influentului şi colectarea apei de la spălare şi rezervor sub galeria tehnologică.

În continuare, sînt descrise elementele staţiei de filtre rapide, urmărind circuitul apei şi sistemul pentru refacerea capacităţii stratului filtrant (spălarea).

• *Alimentarea cuvelor de filtrare* se poate realiza în două variante:

1 — printr-un sistem de canal deschis amplasat la capătul filtrelor opus galeriei tehnologice;

2 — distribuitor cu ramificaţii multiple amplasate în galeria tehnologică.

1 — Sistemul de distribuţie — este prezentat în figura 6.63.

Apa decantată este distribuită longitudinal halei de filtre, printr-un canal de distribuţie care, trece spre cuvele de filtre printr-un timpan prevăzut cu fante la partea inferioară şi deversează într-un cămin ce încarcă jgheabul longitudinal al cuvei de filtrare.

Prin deversare din jgheabul longitudinal, apa decantată (influentul) încarcă cuva de filtrare după direcţia scurtă. Deversarea se realizează totdeauna neînecat, fiind prevăzută o amenajare specială a deversorului pentru a evita curgerea apei pe perete în stadiul iniţial şi pentru a opri particulele de material antrenate în procesul de spălare.

În figura 6.64. este prezentată schema amenajării deversorului.

Sistemul de alimentare prevăzut asigură repartizarea uniformă a influentului la toate cuvele de filtrare, chiar şi în situaţia scoaterii din funcţiune a uneia sau mai multor cuve pentru spălare sau revizie.

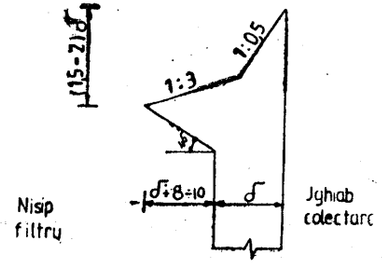


Fig. 6.64. Schema amenajării deversorului.

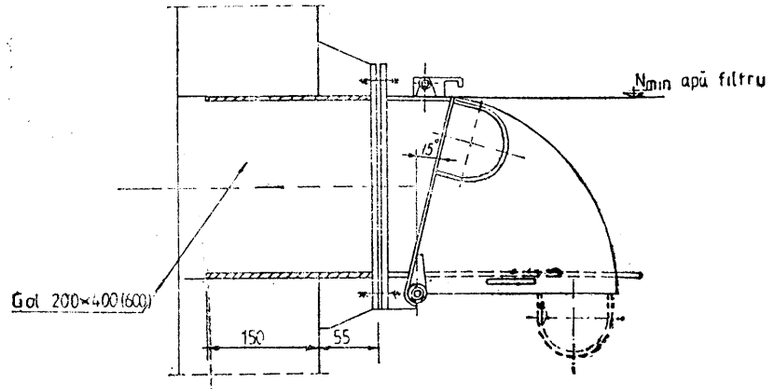


Fig. 6.65. Schemă de amplasare a clapeţilor cu flotor şi detaliu de clapet.

O altă soluţie în cadrul acestei variante constă în alimentarea cuvelor de filtrare prin intermediul unor clapeţi cu flotor, amplasaţi în pereţii transversali spre canalul de distribuţie a influentului.

În figura 6.65, se indică schema de amplasare a clapeţilor cu flotor şi detaliul de clapet.

Soluţia prezintă avantajul unei funcţionări automate (la creşterea nivelului în perioada de spălare, datorită forţei arhimedice pe flotor, clapetul închide accesul influentului), dar complică construcţia cuvei prin necesitatea amplasării canalelor de apă de la spălare la o cotă superioară şi poate realiza efect de decantare la curgerea influentului spre capătul opus al cuvei.

2 — Distribuitorul cu ramificaţii multiple (fig. 6.66.) este un sistem hidraulic sub presiune, dimensionat astfel încît să asigure repartizarea egală a debitului la fiecare cuvă de filtru. Apar dificultăţi la scoaterea din funcţiune a uneia sau mai multor cuve, situaţie în care, pentru o geometrie dată, repartizarea uniformă a debitului nu se mai realizează. În această situaţie, se impune reglarea vanelor de pe fiecare ramificaţie, pe baza datelor furnizate de un program de calcul.

• *Galeria tehnologică* cuprinde:

— sistemul de prelevare a apei filtrate şi introducerea în rezervorul amplasat sub galerie;

— sistemul de transport şi distribuţie la cuvele de filtrare a apei de spălare;

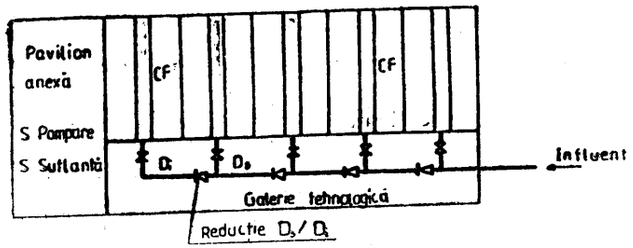


Fig. 6.66. Distribuitor cu ramificaţii multiple.

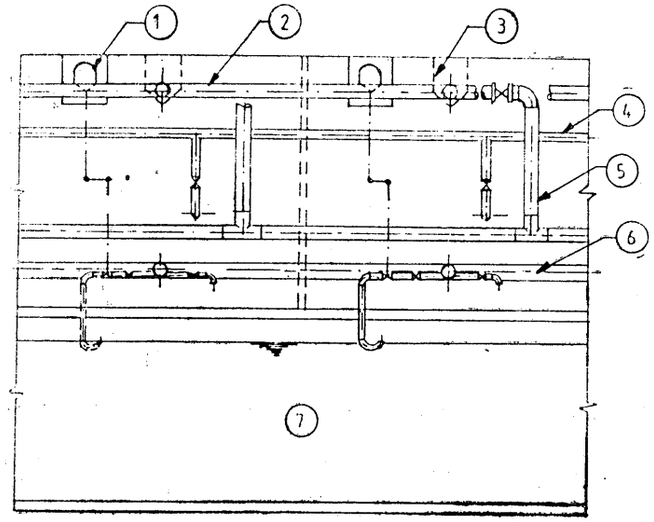


Fig. 6.67. Secţiune longitudinală printr-o galerie tehnologică: *1* — regulator de nivel amonte; *2* — influent; *3* — jgheab; *4* — sistem aer, spălare; *5* — sistem apă de la spălare; *6* — sistem apă filtrată şi de spălare; *7* — rezervor apă filtrată.

— sistemul de transport şi distribuţie a aerului utilizat în spălarea filtrelor.

Pentru cuvele cu suprafaţă redusă (< 25 m^2), galeria tehnologică poate să cuprindă şi distribuitorul cu ramificaţii multiple pentru alimentarea cuvelor şi chiar un sistem hidraulic de preluare a apei de la spălarea filtrelor. În figura 6.67 se indică secţiunea longitudinală într-o galerie tehnologică echipată integral (distribuţie influent, apă de spălare, aer de spălare şi colectoare apă de la spălare).

Sistemul de prelevare a apei filtrate, care asigură prelevarea apei din galeria de apă filtrată şi introducerea acesteia în rezervorul de sub galerie, este conectat cu un dispozitiv care asigură nivelul constant în cuva de filtrare, denumit *regulator de nivel amonte* (fig. 6.68.).

Prin intermediul dispozitivului se asigură reglajul clapei fluture a vanei de pe conducta de apă filtrată pe durata ciclului de filtrare, astfel încît nivelul de apă amonte să rămînă constant. Este necesar ca între vana fluture acţionată de regulatorul de nivel amonte şi sistemul de alimentare cu apă de spălare să se prevadă o vană care să fie închisă în perioada spălării filtrului, pentru a nu deregla sistemul de reglaj al regulatorului.

Privind *transportul şi distribuţia apei de spălare*, la spălarea filtrelor rapide în contra-curent de apă se asigură în general prin intermediul unei staţii de pompare, amplasate în capătul halei de filtre, care preia apa din rezervorul de apă filtrată şi o refulează într-un sistem hidraulic care asigură debitele de apă de spălare la fiecare cuvă. Există şi situaţii (cotele terenului sînt favorabile) în care rezervorul de apă filtrată se amplasează independent de hala filtrelor şi spălarea se asigură gravitaţional, din acesta.

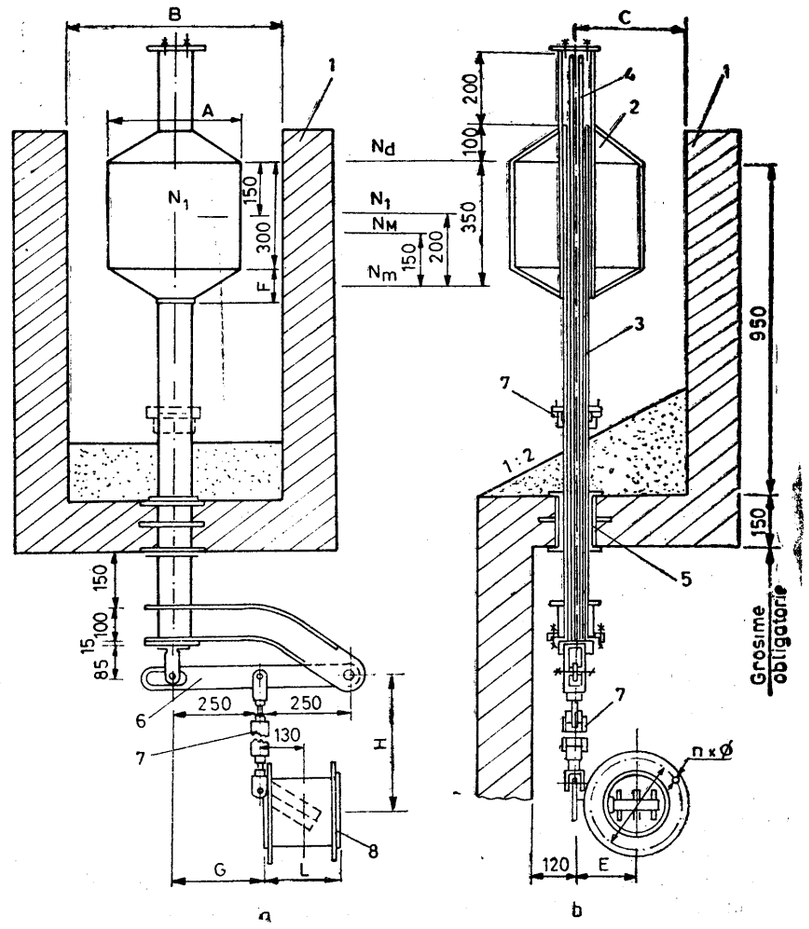


Fig. 6.68. Regulator de nivel amonte: *a* — vedere frontală; *b* — secţiune transversală: *1* — construcţie adiacentă cuvei de filtru şi galerie de conducte; *2* — flotor; *3* — ţeavă de ghidaj şi etanşare; *4* — tijă de acţionare; *5* — flanşă de înzidire; *6* — pîrghie de acţionare cu două articulaţii; *7* — dispozitiv de întindere; *8* — robinet cu clapă fluture; H — lungimea tijei; N_1 — nivel iniţial de testare al flotorului; N_d — nivelul muchiei superioare a jgheaburilor deversoare pentru apa de spălare; N_M — nivel maxim de exploatare; N_m — nivel minim de exploatare.

În figura 6.69, se indică o schemă cu elementele componente ale sistemului de spălare a filtrellor.

În cadrul acestui sistem, cerinţa fundamentală care se impune este de a asigura intensităţile de apă de spălare *riguros*, la valorile stabilite pentru fazele spălării; acest element nu se poate realiza fără măsuri speciale pentru asigurarea pompării cu turaţie variabilă (nivelul în rezervor variază, pierderea de sarcină prin stratul colmatat scade); alte sisteme (de tip închidere parţială vane) sînt consumatoare de energie.

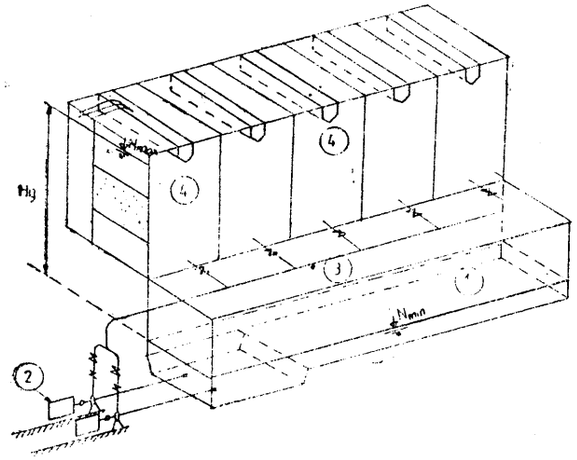


Fig. 6.69. Elementele componente ale sistemelor de spălare ale filtrelor: *1* — rezervor apă spălare; *2* — electropompe spălare; *3* — sistem hidraulic apă de spălare; *4* — cuve filtre.

Dotarea staţiei de pompare se va face astfel încît, în prima fază de spălare, să funcţioneze una sau două pompe, în faza a II-a numărul acestora fiind multiplicat după necesităţile debitelor de asigurat.

În figura 6.70 se dau elementele pentru calculul înălţimii de pompare şi un exemplu de calcul al punctului de funcţionare al sistemului pentru faza I şi a II-a de spălare.

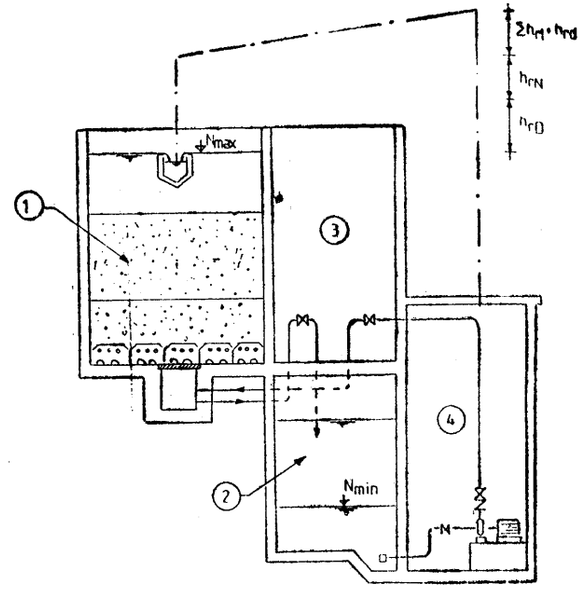
În tabelul 6.6 sînt prezentate vitezele economice optime pentru dimensionarea sistemelor hidraulice la filtrele rapide.

Spălarea filtrelor rapide în contra-curent de aer comprimat asigură, prin vibraţiile introduse în masa de nisip imersat, dezlipirea peliculelor de nămol de pe granule, antrenarea acestora fiind asigurată de curentul de apă ascendent. În literatura de specialitate se fac numeroase ipoteze

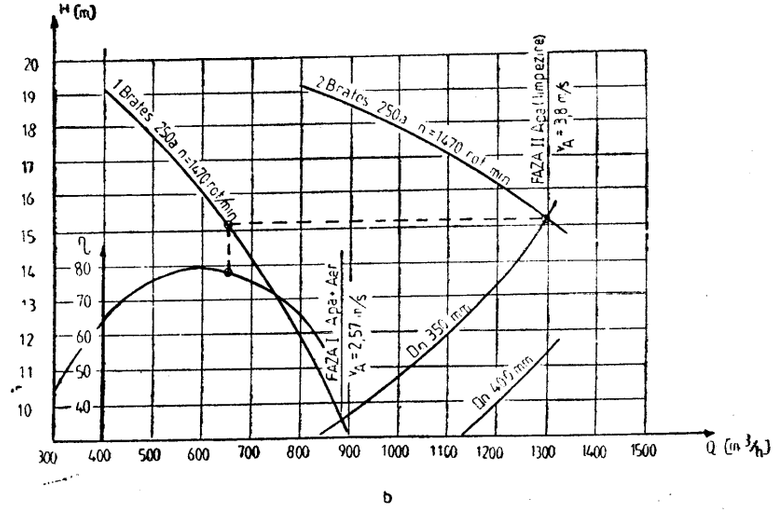
Tabelul 6.6

Valorile vitezei economice

Nr. crt.	Sistem hidraulic	v_{ec} [m/s]	Observaţii
1	Alimentare filtre	0,8...0,9	Evitarea ruperii microflocoanelor în influent
2	Apă filtrată	1,0...1,2	Optim pentru conducte cu funcţionare permanentă
3	Apa de spălare	2,5...3,5	Optim pentru conducte care funcţionează 1—2 ore/zi
4	Aer de spălare	12,0...15,0	
5	Ape de la spălare	1,8...2,0	Evitarea depunerii suspensiilor



a



b

Fig. 6.70. Schemă de calcul a înălţimii de pompare şi exemplu de calcul al punctului de funcţionare al sistemului pentru fazele I şi a II-a de spălare: *a* — schemă de calcul; *b* — exemplu de calcul: *1* — filtru rapid; *2* — rezervor apă filtrată; *3* — galerie tehnologică; *4* — staţie de pompare; h_{rN} — pierderea de sarcină nisip colmatat; h_{rD} — pierderea de sarcină sistem de drenaj; h_{rl}, h_{rd} — pierderi de sarcină locale şi de distribuţie; $H_g = N_{max} - N_{min}$ — înălţime geodezică de pompare.

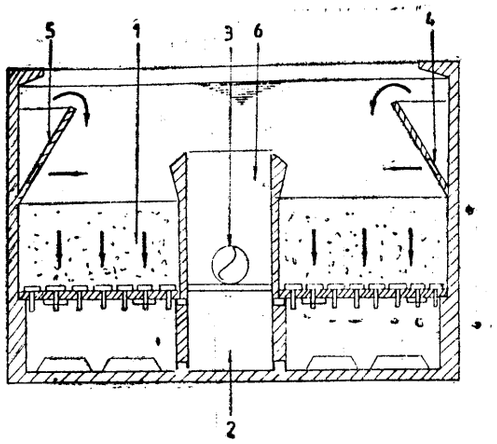


Fig. 6.71. Filtre AQUAZUR. Faza de filtrare: *1* — nisip; *2* — canal de apă filtrată, aer şi apă de spălare; *3* — vană evacuare apă de la spălare; *4* — orificiu acces apă baleiaj; *5* — jgheab influent; *6* — canal evacuare apă de la spălare.

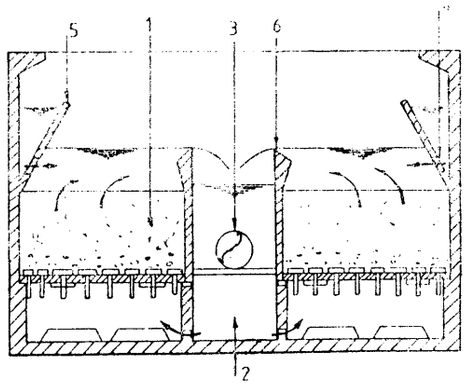


Fig. 6.72. Filtre AQUAZUR. Faza de spălare (repere idem fig. 6.71).

privind fenomenul de fluidizare a masei de nisip (datorită curentului ascendent de apă sau cu jeturi superficiale). La spălarea cu apă şi aer simultan, în etapa actuală (nu se pot emite încă unele teorii exacte care să poată stabili cu exactitate parametrii mişcării).

Comprimarea aerului se realizează cu ajutorul suflantelor tip SRD-20 şi SRD-40, transportul fiind efectuat prin conducte amplasate la partea de sus a galeriei tehnologice; pe ansamblul staţiei se va asigura, printr-o liră superioară nivelelor maxime, evitarea inundării suflantelor prin conductele de transport aer.

Problema distribuţiei uniforme a aerului de spălare impune adoptarea unor soluţii corespunzătoare, avînd în vedere:

— evitarea apariţiei fluctuaţiei nivelului de separaţie apă-aer la drenajele de mare rezistenţă cu plăci sau tuburi cu crepine;

— asigurarea eliminării apei, într-un timp cît mai scurt, din sistemele de distribuţie a aerului care intră în componenţa drenajului.

6.5.3.5. **Progrese în concepţia filtrelor rapide.** Cele mai perfecţionate tipuri de filtre rapide utilizate astăzi în lume sînt filtrele *Aquazur Degremont*.

În figura 6.71 se prezintă schema unui asemenea filtru în faza de filtrare şi în figura 6.72 schema aceluiaşi filtru, în faza de spălare.

Elementele tehnologice utilizate în concepţia acestui tip de filtru sînt:

— *viteza de filtrare* 7 ÷ 20 m/h; adoptarea vitezei de filtrare se bazează pe calitatea suspensiei floculate din influent; calitatea apei influentului nu depăşeşte 2 ÷ 3°SiO_2 şi se utilizează un adjuvant de floculare de sinteză, în amonte de filtrare;

— *înălţimea apei deasupra stratului filtrant* se adoptă de 1,20 m (cu 50 ÷ 60% mai mare decît la filtrele rapide obişnuite), ceea ce asigură presiunea necesară penetrării particulelor floculate în strat;

— *grosimea stratului de material filtrant* curpinsă între 0,8 ÷ 1,5 m, alegerea avînd la bază în principal calitatea influentului şi bilanţul energetic al procesului;

— *diametrul* granulelor materialului filtrant de 0,95—1,35 mm (cu o plaje de 0,7 ÷ 2 mm);

— spălarea *cu apă şi aer simultan*, completată de un curent de baleiaj a suprafeţei de apă decantată; spălarea se realizează fără expandarea stratului filtrant. Sistemul de baleiaj permite evacuarea rapidă a impurităţilor din apa de la spălare şi reduce durata spălării.

La acest tip de filtre rapide se remarcă intensităţile de spălare cu aer şi apă în contracurent, după cum urmează:

— faza I: apă 1,5 ÷ 2,0 $dm^3/s,m^2$; aer 14 ÷ 16 $dm^3/s,m^2$.

— faza a II-a: apă 4 ÷ 4,5 $dm^3/s,m^2$.

Debitul de baleiaj (apă decantată pe toată durata spălării) este de 1,5 $dm^3/s,m^2$.

Durata totală a spălării la filtrele de acest tip nu depăşeşte 10′—12′.

6.5.3.6. **Filtre de construcţie specială.** În cele ce urmează vor fi prezentate: filtrele cu dublu curent; filtrele cu dublu strat; filtrele rapide sub presiune; filtrarea cu membrane.

Filtrele cu dublu curent. Obţinerea unei productivităţi sporite la filtrele rapide şi căutarea unor soluţii de simplificare a construcţiei staţiilor de filtre, au condus la apariţia *filtrelor cu dublu curent*, care se bazează pe un proces de filtrare cu dublu sens (ascendent şi descendent) pe două strate filtrante suprapuse.

În perioada 1975 ÷ 1980 s-au materializat şi la noi în ţară, prin contribuţiile PROED-SA (ISLGC), o serie de staţii de tratare a apelor, avînd ca unică treaptă de limpezire filtrele cu dublu curent (Cluj-Napoca, Sibiu, Hunedoara).

Tehnologia filtrelor cu dublu curent este indicată în figura 6.73.

Filtrul cu dublu curent se compune în principal dintr-un prefiltru P care funcţionează în curent ascendent şi cumulează funcţiile de masă de contact şi reacţie şi de treaptă de limpezire grosieră. Peste prefiltru sînt suprapuse; în aceeaşi cuvă, două straturi de filtrare F_a şi F_d cu sensuri de filtrare ascendent, respectiv descendent, care au funcţia de limpezire finală a apei prefiltrate şi funcţionează cu viteze de aproximativ 40 ÷ 60% din viteza din prefiltru.

Fluxul tehnologic de filtrare este următorul: apa se distribuie la cuvele de filtrare dintr-o galerie de distribuţie, prin conducte pe care sînt montate regulatoare de nivel aval R_{av}; comandate de nivelul apei pe filtre.

Apa brută tratată cu reactivii coagulanţi şi adjuvanţii de floculare este distribuită în filtre prin sistemul de distribuţie B, alcătuit dintr-o galerie longitudinală de distribuţie şi o reţea de ţevi ramificate din această galerie. Apa parcurge în sens ascendent stratul suport de pietriş, unde are loc reacţia şi formarea microflocoanelor şi în continuare stratul de prefiltru, unde are loc limpezirea preliminară. Din apa prefiltrată, dQ este colectat de sistemul de ţevi p şi este condus la partea superioară a cuvei de filtru, de unde în sens descendent se filtrează prin stratul F_d, iar partea aQ trece direct prin stratul filtrant F_a în sens ascendent. Sistemul de ţevi f colectează apa filtrată pe cele două sensuri şi o conduce în afara cuvei de filtrare, prin intermediul regulatoarelor de nivel amonte R_{am} care menţin nivelul apei în filtru în anumite limite.

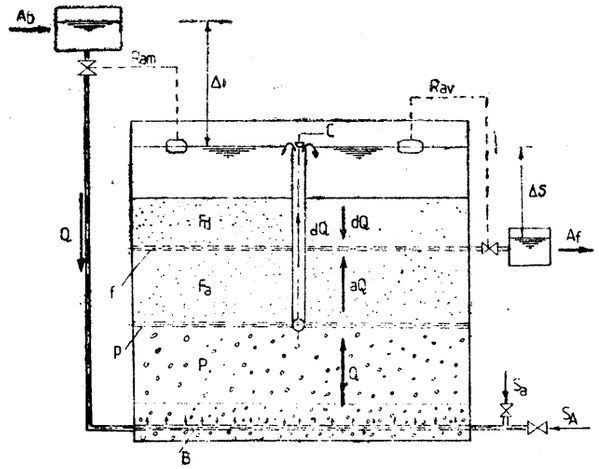


Fig. 6.73. Tehnologia filtrelor cu dublu curent: A_b — apă brută; A_f — apă filtrată; P — prefiltru și masă de contact; F_a — filtru ascendent; F_d — filtru descendent; B — sistem de distribuție a apei brute, apei și aerului de spălare; p — colectare apă prefiltrată; f — colectare apă filtrată; R_{am} — regulator pe sistemul de admisie al apei brute; R_{av} — regulator pe sistemul de plecare al apei filtrate; aQ — debit ascendent; dQ — debit descendent; Δ_i, Δ_s — pierderi de sarcină amonte, respectiv aval; SA — sistem spălare cu apă; S_a — sistem de barbotare cu aer; C — comandă regulator.

Rapoartele $dQ/Q = d$ și $aQ/Q = a$ indică proporția de distribuție a debitului total pe cele două strate filtrante și ele sînt determinate prin efectul pierderii de sarcină diferite pe traseul d (descendent), față de traseul a (ascendent).

Pe traseul a, pierderea de sarcină depinde de debitul aQ, de grosimea și granulozitatea stratului filtrant în curent ascendent F_a. Întrucît această filtrare se face în sensul descreșterii granulației stratului, pentru un anumit debit, filtrul F_a are pierderi de sarcină mai mici decît filtrul F_d cu circulație descendentă.

Pe traseul d, pierderea de sarcină depinde de debitul dQ, de granulozitatea și grosimea stratului filtrant F_d și de rezistențele hidraulice ale sistemului de colectare a apei prefiltrate. Datorită sortării hidraulice care se produce la spălare, filtrul F_d va avea o granulozitate mai fină decît F_a.

Pe circuitul d, pierderile de sarcină sînt deci inevitabil mai mari, datorită granulozității mai fine a filtrului F_d și filtrării prin acesta în sens descendent, precum și datorită rezistențelor hidraulice suplimentare de pe sistemul de colectare a apei prefiltrate.

Ca o consecință, debitul care ar trece prin acest circuit dQ, la aceleași grosimi de strat al filtrelor F_a și F_d este mai mic decît aQ ($dQ < aQ$).

Pentru a încărca mai uniform cele două filtre de-a lungul unui ciclu de filtrare, rezultă că se poate acționa în principal asupra grosimii stratelor filtrante, în sensul prevederii stratului inferior de filtru F_a cu grosime mai mare decît a stratului F_d și prin reducerea rezistențelor în sistemul de colectare a apei prefiltrate.

Egalizarea absolută a debitelor distribuite pe F_d și F_a este posibilă, întrucît circulația ascendentă în filtrul F_a conferă acestuia o capacitate sporită de reținere a suspensiilor din apă, astfel încît este normal ca acest filtru să primească un debit mai mare. Experimentările efectuate cu straturi filtrate cu granulometrie de 0,8 ÷ 1,25 mm sau 1,0 ÷ 1,5 mm, cu grosimi de 100 cm pentru F_a și 40 cm pentru F_d și cu apă cu conținut de suspensii de 70 ÷ 130 mg/dm³, au arătat că filtrul în curent ascendent se încarcă mai mult decît filtrul în curent descendent, în special spre sfîrșitul ciclului de filtrare, cînd debitul ascendent a fost $(0{,}55 - 0{,}65)Q$.

Pierderile de sarcină limită au fost de 60 cm la filtrele F_d și F_a și de 90 cm la alte filtre.

Spălarea filtrelor cu dublu curent se recomandă să se facă [31] după următoarea tehnologie:

— în *etapa I*, spălarea prefiltrului în contracurent de apă și aer comprimat, eliminarea apei de la spălare fiind realizată pe circuitul hidraulic de evacuare a debitului dQ;

— în *etapa a II-a*, spălarea întregului pachet de straturi (cu circuitul dQ închis). Intensitățile de spălare recomandabile sînt de 14 dm³/s, m² pentru apă și 18 dm³/s, m² pentru aer, durata spălării fiind de 12′—15′.

Problemele tehnice pe care le ridică filtrele cu dublu curent sînt date de următoarele:

— realizarea sistemelor de distribuție la nivelul de bază al prefiltrului și a sistemelor de colectare la nivelele p ale părții superioare ale prefiltrului și f pentru colectarea apei filtrate; acestea s-au executat din tuburi PVC cu crepine și rezultatele nu sînt dintre cele mai satisfăcătoare; se impune adoptarea soluției coloane NOLD protejate corespunzător sau din bare de oțel inoxidabil;

— tranzitarea unor cantități de suspensii floculate printr-un număr mare de sisteme și circuite hidraulice asigură cu dificultate reglajele acestui tip de filtru, ca și calitatea apei filtrate.

Se consideră că filtrele cu dublu curent pot deveni economice la ape de lac la care conținutul în suspensii trebuie să nu depășească 20 mg/dm³ și să fie puțin încărcate cu biomasă.

Filtrele cu dublu strat. Pe baza constatărilor privind reținerea suspensiilor în straturile superioare ale unui material granular, s-a introdus conceptul filtrelor cu dublu strat, la care stratul omogen este înlocuit cu două strate: un strat inferior de nisip cuarțos, asemănător cu cel de la filtrele obișnuite, și un strat superior cu granulometrie mai mare și greutate specifică mai mică. Aceasta oferă posibilitatea creșterii capacității de acumulare a particulelor reținute în stratul superior și în același timp, după spălare, așezarea celor două straturi rămîne identică (ideea a fost materializată în 1950 la stația de filtre de la Chicago, unde înlocuirea a 40 cm de nisip cuarțos cu un strat de cocs a permis trecerea de la o viteză de filtrare de 6 m/h la 12 m/h).

Problemele tehnice care se pun la filtrele cu dublu strat sînt determinate de alegerea caracteristicilor stratului filtrant superior, din punct de vedere al granulometriei, friabilității, grosimii stratului și modului de reținere a suspensiei floculate.

Ca materiale, pentru stratul superior, se utilizează: cocs; antracit; cărbune activ granular. Mărimea granulelor stratului superior se adoptă de 3 ÷ 4 ori mai mare decît mărimea granulelor stratului inferior (la d_{ef}).

O caracteristică importantă a acestor materiale trebuie să fie friabilitatea, care la 750 lovituri nu trebuie să depășească 20%.

Tabelul 6.7.

Înălțimea stratului filtrant

Funcția filtrului cu dublu strat	Înălțime strat superior	Înălțime strat inferior
Limpezire pentru ape tratate și decantate	35—40 cm	55—60 cm
Corectare gust, miros, și culoare	45—50 cm	50 cm
Reducerea totală a biomasei	30—40 cm	70 cm

Pentru grosimea straturilor filtrelor cu dublu strat, în tabelul 6.7, sînt indicate înălțimile de adoptat, în funcție de destinația filtrului, în corelație cu caracteristicile asupra cărora acționează.

Pentru filtrele cu dublu strat, o problemă sensibilă este spălarea acestora ; practic, nu este recomandabilă spălarea în contracurent de apă și aer comprimat, pentru că aceasta conduce la sfărîmarea materialului stratului superior și posibilitatea amestecării materialelor stratelor în zona de contact.

Se recomandă numai spălarea cu apă la limita de afînare a materialului stratelor filtrante, cu alegerea metodei pentru fiecare caz în parte.

Filtrele rapide sub presiune se utilizează în :

— instalații industriale, pentru schemele tehnologice unde se prevede o pompare unică și asigurarea consumatorului direct din filtre ;

— instalații unde se utilizează viteze de filtrare mari, se urmărește o tehnologie compactă sau recipienții necesită protecții speciale, impuse de fluidele vehiculate.

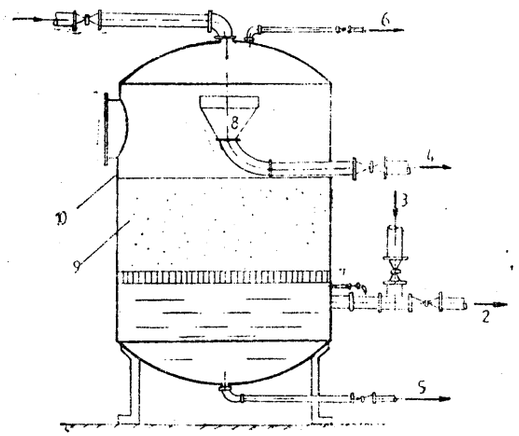


Fig. 6.74. Filtru rapid închis, vertical: *1* — apă decantată; *2* — conductă apă filtrată; *3* — conductă apă de spălare; *4* — conductă evacuare apă de la spălare; *5* — golire; *6, 7* — evacuarea aerului; *8* — pîlnie; *9* — material filtrant; *10* — recipient.

Filtrele rapide sub presiune se construiesc în recipienți metalici (amplasați cu axul vertical sau orizontal, fig. 6.74).

Înălțimea stratului filtrant se adaptează la viteza de filtrare de lucru și mărimea încărcării de materii în suspensie reținute. În industrie, aceste filtre utilizează înălțimi de strat de 1 ÷ 2 m și granulometrii cuprinse între 0,65 ÷ 2,0 mm.

Vitezele de filtrare utilizate sînt : 20 ÷ 40 m/h, pentru filtrare grosieră ; 30 ÷ 50 m/h, pentru filtrarea apelor cu un conținut redus de suspensii.

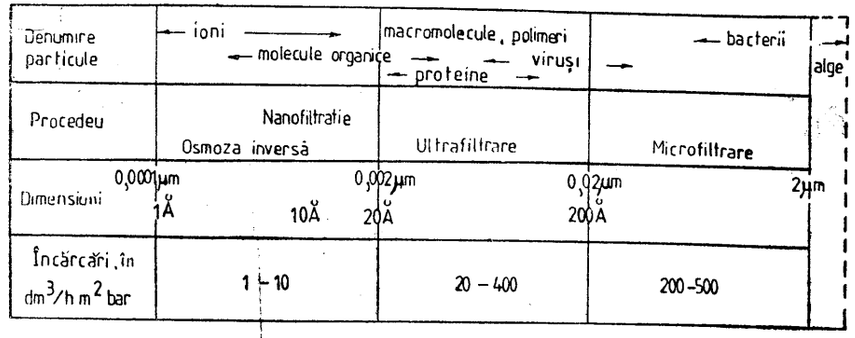


Fig. 6.75. Procedee de filtrare prin membrană.

Spălarea filtrelor rapide sub presiune se realizează în contracurent, fie numai cu apă, fie cu apă și aer. Intensitățile de spălare depind de metoda și caracteristicile stratului filtrant.

Microfiltrarea. Procedeele de filtrare prin membrane, deși cunoscute de multă vreme, abia din anul 1970 au cunoscut o dezvoltare considerabilă, datorită numărului mare de materiale de membrane apărute și performanțelor de utilizare a acestora în industrie sau în tratarea apei.

Mecanismele de transfer la filtrarea prin membrană pot fi :

— *filtrarea*, utilizînd membrane semipermeabile ; soluția este concentrată prin trecerea selectivă a apei, în timp ce alți compuși sînt opriți pe suprafața mediului poros.

— *dializa*, utilizînd membrane care permit trecerea selectivă a unor ioni din apă, fără ca aceasta să traverseze membrana.

În figura 6.75, membranele semipermeabile de filtrare sînt clasificate în funcție de mărimea porilor, încărcare și natura particulelor reținute. Se observă din această figură că microfiltrarea este aplicabilă pentru reținerea bacteriilor la debite de 200 ÷ 500 dm³/h pe m² de suprafață, la o diferență de presiune de 1 bar.

În practică, procesele utilizate în microfiltrare nu modifică compoziția soluției ; nu apar în aceste procese fenomene de presiune osmotică sau concentrații de polarizare.

Se utilizează două sisteme :

— *filtrarea frontală*, în care apa la mare presiune traversează membrana și particulele reținute se acumulează sub formă de depozit de filtrare, a cărui grosime crește concomitent cu descreșterea porozității și a debitului ; este cazul membranelor plane de laborator sau a *cartușelor* de filtrare ; în general, după colmatare, acestea devin inutilizabile.

— *filtrarea tangențială* asigură spălarea suprafeței de colmatare de către o parte din debitul influent.

Construcția *modulelor* sau *cartușelor* de membrane semipermeabile trebuie să asigure circulația lichidului, care să limiteze formele de polarizare a concentrațiilor și depozitele de particule.

În figura 6.76 se prezintă structura unui modul de membrane semipermeabile, executate în spirală. Diametrul unui element poate ajunge la 30 cm, cu lungimi pînă la 1.5 m.

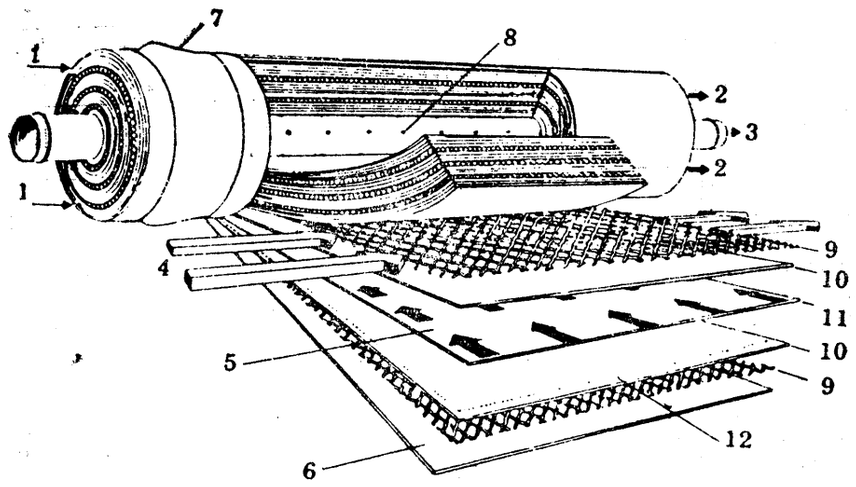


Fig. 6.76. Sistem de membrane semipermeabile: *1* — apă brută; *2* — soluție concentrată; *3* — efluent; *4* — sens de curgere al apei brute; *5* — sens de curgere al efluentului; *6* — material de protecție; *7* — rost de etanșare între module și anvelopă; *8* — orificii de colectare ale efluentului; *9* — distanțier; *10* — membrane; *11* — colector efluent; *12* — linie de sudură între două membrane.

6.5.3.7. **Execuția și exploatarea stațiilor de filtre.** Construcția și instalațiile stațiilor de filtrare trebuie să îndeplinească următoarele condiții tehnologice și funcționale:

— să asigure accesul ușor la toate compartimentele stației și posibilitatea de montaj, întreținere, revizie și reparație la toate instalațiile, fără a întrerupe procesul tehnologic la toate compartimentele vecine; pe această linie, trebuie prevăzute culoare de acces fără obstacole, chepenguri, monoraiuri, estacade de susținere;

— să asigure condițiile sanitare de perfectă securitate a protecției calității apei tratate și să împiedice orice posibilitate de contaminare din exterior a apei filtrate; sînt interzise trecerile de conducte cu diferite destinații prin rezervoarele de apă filtrată; pardoselile trebuie să aibă pante spre rigolele de colectare și evacuare a apelor de la eventualele pierderi din neetanșeități și a celor de spălare a pardoselilor;

— stația de filtrare trebuie dotată cu finisaje de calitate: pe pereți, placaje de faianță pînă la 1,5—1,8 m înălțime, pardoseli din plăci de gresie sau mozaic (de preferință în culori deschise, care să marcheze orice lipsă de întreținere a curățeniei), tîmplărie metalică sau pe rame de beton armat prefabricat, geamuri duble și izolații termice la acoperiș pentru evitarea condensului și jgheaburi din tablă de cupru pentru colectarea condensului la pervazul inferior al ferestrelor;

— să asigure o temperatură de minimum +5°C în hala filtrelor, de +25°C la stația de clorizare și o bună ventilație a halei filtrelor, atît pe timpul verii, cît și iarna.

Măsuri speciale se vor adopta pentru realizarea unor betoane și tencuieli de cea mai bună calitate la cuvele filtrelor, pentru a asigura etanșeitatea acestora, pierderile de apă fiind inadmisibile, întrucît ele creează

mediu umed în galeria conductelor, degradînd instalațiile și aparatajul de manevră și de comandă.

• *Procesul tehnologic și instalațiile.* Proiectul trebuie să precizeze poziționarea corectă a clapeților de intrare a apei în filtru, a dispozitivului de nivel constant și, corelat cu acesta, a poziției vanei fluture de reglaj. Aceasta din urmă trebuie amplasată în aval de vana de pe conducta de apă filtrată.

Pentru filtrele rapide, nu este necesară evacuarea primului filtrat.

În cazul filtrelor amplasate peste rezervoarele de apă filtrată, este necesar să se prevadă, pe conducta de apă filtrată, un dispozitiv de înecare care să împiedice coborîrea nivelului apei sub plăcile cu crepine.

Pentru filtrele rapide cu nivel constant, pierderea de sarcină se măsoară prin nivelul din conducta de apă filtrată, iar branșarea tubului piezometric al dispozitivului de măsurare trebuie făcută în aval de vana de pe conducta de apă filtrată și în amonte de vana de reglaj de pe aceeași conductă.

Golirea cuvelor trebuie prevăzută de preferință în galeria de evacuare a apei de spălare cu robineți, avînd *Dn* 100 mm pentru cuvele avînd peste 40 m² și *Dn* 50 mm, pentru cuvele mai mici.

Este indicat ca în cuva de filtrare să se prevadă o singură piesă de trecere pentru toate conductele tehnologice (apă, aer de spălare și apă filtrată). Această piesă răspunde cel mai bine funcției de etanșeitate cînd este înglobată direct în beton (avînd în secțiunea mediană a peretelui o flanșă sudată pe contur cu diametrul exterior $D + 30$ mm).

Pentru a realiza încă din prima fază a spălării o intensitate de spălare de 50% din aceea din perioada de limpezire, este necesar ca debitul de apă pentru spălare să fie asigurat prin două pompe în funcțiune și una de rezervă.

Pentru a preveni inundarea suflantelor, lira de siguranță de pe conducta de aer comprimat trebuie să aibă o înălțime peste nivelul apei în cuve de cel puțin 2,50 m.

• *Construcția filtrelor.* În proiectul părții de construcție trebuie menționate în mod expres condițiile de toleranțe admise la execuția construcției.

Planșeul cu crepine se verifică în afara sarcinilor verticale din încărcarea nisipului și pentru ipoteza unei subpresiuni de 2000 Kgf/m², care se poate produce în momentul începerii spălării.

Plăcile cu crepine și sistemul lor de rezemare trebuie ancorate în mod corespunzător.

În galeria de conducte, este necesar să se asigure un gabarit de liberă trecere cu o lățime de cel puțin 80 cm și o înălțime de cel puțin 1,80 m.

Adiacent peretelui filtrelor din această galerie, se impune să fie prevăzută o rigolă de 15 × 10 cm, cu pantă în lungul galeriei, care să colecteze eventualele scurgeri accidentale și să le evacueze spre exterior.

Este indicat ca galeria filtrelor să fie prevăzută cu ferestre pentru iluminare și ventilare naturală sau cu luminatoare în planșeu.

Proiectul stației de filtrare trebuie să indice: calitatea (condiții de granulometrie și granulozitate) și condițiile de recepție pentru materialul filtrant, precum și verificările obligatorii pe parcursul execuției și montajului instalațiilor.

La construcția filtrelor rapide deschise, trebuie prevăzut marcajul, printr-o plăcuță ceramică, a nivelului superior al stratului filtrant și al nivelului normal de exploatare a apei filtrate; aceste plăcuțe trebuie înglobate în tencuiala pereților longitudinali ai cuvelor, la distanța de 2m de galeria pupitrelor.

• *Execuția filtrelor rapide.* În cele ce urmează sînt date o serie de condiții privind o bună executare a stațiilor de filtrare, care se impun a fi menționate pe planșele de execuție și în memoriul proiectului părții de construcție și de instalații tehnologice.

În planșele de construcții. Înainte de montarea cofrajelor și armăturilor în pereții stației de filtrare, trebuie aprovizionate confecțiile metalice care se înglobează la turnarea betoanelor:

— ștuțurile de țeavă de înzidire în pereți și planșee;

— clapeții de admisie a apei în cuvele de filtrare;

— piesele metalice de înzidire aferente sistemelor de reglaj al nivelului apei de filtre;

— alte piese metalice de înzidire aferente sistemelor de rezemare a drenajelor (la filtrele cu dublu curent).

Montarea la poziția corectă din proiect a acestor piese trebuie verificată și certificată prin proces verbal (se verifică în mod special poziția clapeților de admisie și a sistemului de reglaj cu flotor).

Prin execuția lucrărilor sistemului de drenaj (montajul grinzilor de rezemare și apoi a plăcilor cu crepine sau a golurilor pentru asamblarea sistemului cu țevi), trebuie să se asigure orizontalitatea acestuia cu toleranțe de maximum +1 cm.

Muchiile deversoare ale jgheaburilor de colectare a apei de spălare aferente unei cuve de filtru trebuie să fie în același plan orizontal cu toleranțe de maximum ±3 mm. Corecta execuție se verifică prin umplerea cuvelor cu apă și corectarea orizontalității muchiilor deversante prin *polizare.*

Sistemul de drenaj trebuie fixat și etanșat conform detaliilor din proiect, pentru a evita smulgerea și degradarea lui în timpul spălărilor.

Materialul filtrant se procură pe baza unei comenzi însoțite de caietul de sarcini, în care trebuie date toate caracteristicile privind materialele, iar în condițiile de livrare se menționează în mod expres ca recepția să se facă de constructor și beneficiar la furnizor, pe baza unor probe de verificare a calităților solicitate.

Materialul filtrant se introduce în cuvele de filtrare numai după efectuarea probelor de reglaj a sistemului de drenaj, conform prevederilor din planșele de instalații.

În planșele de instalații. Înainte de montajul armăturilor din instalații. acestea se verifică astfel:

— se verifică robineții la proba de etanșeitate la presiune nominală, nefiind admise pierderi de apă sau de aer;

— clapeții de admisie se verifică la închidere și deschidere, pe un banc de probă facîndu-se ajustările necesare, pentru ca aceștia să funcționeze cu ușurință;

— dispozitivele de reglare a nivelului cu vană și flotor se verifică pentru buna funcționare a rulmenților și articulațiilor și pentru etanșeitatea robinetului fluture.

Înainte de introducerea nisipului în filtre, se face verificarea orizontalității sistemului de drenaj și reglajul crepinelor, astfel:

— se umple cuva de filtru cu apă pînă la 8 cm peste nivelul superior a plăcilor cu crepine și se măsoară orizontalitatea pe fiecare placă, fiind admise toleranțe de maximum ±1 cm;

— se introduce aer prin sistemul de barbotare cu o suflantă, verificîndu-se distribuția uniformă prin toate crepinele; crepinele care debitează

aer cu intensitate mai mică se vor regla prin deșurubare (din manșon), iar cele care debitează mai intens, prin înșurubare. Operația se consideră terminată cînd se obține o uniformitate de barbotare pe întreaga suprafață a cuvei.

Pentru operațiile de verificare și reglaj menționate, personalul va circula numai pe podine special amenajate, rezemate între crepine, fiind interzisă circulația direct peste crepine.

Aceste verificări se consemnează prin proces-verbal de lucrări ascunse cu beneficiarul, executantul și proiectantul lucrării.

• *Exploatarea stațiilor de filtrare.* Înainte de darea în funcțiune a stației de filtrare, se face dezinfectarea cu clorură de var. Soluția, cu concentrație de 20 g/m³, trebuie să rămînă în filtre timp de 24 h, după care se fac spălări consecutive cu apă curată.

Darea în exploatare a filtrelor pentru apă potabilă se face după obținerea avizului scris al organelor sanitare, după 5—10 zile de la îndeplinirea condițiilor de potabilitate cerute de standarde.

Funcționarea optimă a stației de filtrare este determinată în principal de îndeplinirea următoarelor condiții:

1 — Asigurarea condițiilor tehnologice și constructive cerute prin proiect pentru:

— calitatea materialului filtrant și a grosimii stratului;

— orizontalitatea și reglajul sistemului de drenaj;

— asigurarea intensităților de spălare cu aer și apă;

— orizontalitatea muchiilor deversante a jgheaburilor de colectare a apei de spălare;

— amplasarea și montajul corect al clapeților de admisie și a dispozitivelor de reglaj;

— etanșeitatea armăturilor din instalații, în special a vanelor de pe conductele de apă și aer de spălare;

— dotarea corespunzătoare a laboratorului cu materiale, reactivi și personal calificat.

Toate acestea se verifică și se consemnează, pentru îndeplinire, în actele de recepție și punere în funcțiune (de asemenea, ele se mai verifică periodic, semestrial).

2 — Coagularea și decantarea prealabilă a apei brute, care să asigure la intrarea în filtre a unei turbidități de cel mult 10—20 grade.

3 — Spălarea filtrelor la intervale de timp egale; intervalul de timp între spălarea consecutivă a două cuve fiind dat de relația:

$$t = \frac{T}{n-1} \text{ [h]} \tag{6.68}$$

în care: T este durata ciclului de filtrare a unei cuve de filtrare, între două spălări, în h; n — numărul total de cuve de filtrare.

Durata T se stabilește prin unul din următoarele trei criterii:

— cînd viteza de filtrare se reduce cu 20—25% față de viteza de filtrare inițială, condiție care asigură productivitatea maximă a filtrelor;

— cînd turbiditatea efluentului depășește turbiditatea admisă.

— cînd pierderea de sarcină în filtru depășește valoarea:

$$H = h_a + h_n - 0{,}2 \text{ [m]}, \tag{6.69}$$

în care: h_a este înălțimea stratului de apă, în m; h_n — grosimea stratului de nisip, în m 4.

Se alege valoarea T cea mai mică.

4 — Respectarea tehnologiei de spălare a filtrelor. Corecta spălare a filtrelor după un ciclu de filtrare are un rol determinant în buna funcționare a stației de filtrare, asigurînd în principal:

— calitatea cerută efluentului;

— productivitatea maximă a instalației (duratele T maxime ale ciclurilor de filtrare);

— consumurile specifice minime de aer și apă de spălare (respectiv, de cheltuieli de energie și manoperă de exploatare).

Spălarea eficientă a unei cuve de filtru se realizează după următoarea tehnologie:

— la constatarea terminării ciclului de filtrare, după perioada T, de la spălarea anterioară a cuvei respective și după perioada t, de la spălarea cuvei anterioare (perioadele T și t sînt definite anterior) se comandă începerea spălării;

— se închide vana de pe conducta de apă filtrată și se verifică închiderea clapetului de admisie a apei în filtru (sau vanei);

— se comandă deschiderea vanei de pe conducta de apă de spălare;

— se pornește una din pompele de apă pentru spălare (care asigură o intensitate de spălare de $\simeq 3-4$ dm³/s, m²);

— cînd apa în filtru ajunge să deverseze în jgheaburile de colectare a apei de spălare, se deschide vana de pe conducta de aer de spălare și se pornesc succesiv, la interval de 15", suflantele de spălare (care asigură o intensitate de barbotare de $\simeq 18$ dm³/s, m²);

— se continuă barbotarea timp de 3'—4';

— se comandă închiderea vanei de pe conducta de aer și se opresc suflantele;

— se pornește a doua pompă de spălare (asigurînd în această fază intensitatea de spălare de $\simeq 8-16$ dm³/s, m²);

— se continuă această fază de limpezire 5'—10', pînă cînd turbiditatea apei deversate în jgheaburi scade sub 20 grade SiO_2, cînd spălarea se consideră terminată. Durata de limpezire se determină periodic (pentru perioade caracteristice ale calității apei brute) prin analize de laborator asupra unor probe prelevate, la interval de 1', din apa de spălare din jgheaburi;

— se opresc pompele de spălare;

— se închide vana de pe conducta de spălare;

— se deschide vana de pe conducta de apă filtrată;

— se deschide sistemul de acces al influentului.

În cursul exploatării, funcționarea necorespunzătoare a filtrelor se poate manifesta prin înrăutățirea calității apei filtrate sau prin colmaterea rapidă a filtrelor și deci scurtarea ciclului de filtrare.

Calitatea necorespunzătoare a apei filtrate se poate datora:

— coagulării necorespunzătoare a suspensiilor coloidale rămase în apa decantată;

— temperaturilor scăzute din timpul iernii, care reclamă adjuvanți de floculare;

— schimbării calității apei brute (apariția de materii organice, fenoli, microfloră și microfaună), datorită unor condiții speciale la sursa de apă;

— spălării necorespunzătoare a filtrelor;

— modificării compoziției granulometrice a stratului filtrant sau grosimii lui, prin pierderea la spălare a părților fine de nisip.

Reducerea duratei ciclului de filtrare apare în condițiile:

— unui conținut mare de suspensii din apa decantată (peste 30 mg/dm³);

— spălării incomplete și neuniforme a filtrului.

Un rol determinant în buna funcționare a stațiilor de filtrare și în general a stațiilor de tratare a apei îl are laboratorul stației. Acesta, prin personalul de specialitate, trebuie să urmărească și să conducă în permanență procesul tehnologic, introducînd de cîte ori este necesar corecțiile ce se impun la: dozele de reactivi care determină procesul de coagulare, potențialul zeta, coeficientul de coeziune al nămolului, a duratelor și tehnologiei de spălare. Prin această activitate permanentă a laboratorului, se urmărește, pe lîngă asigurarea funcționării instalațiilor la parametrii proiectați, și o reducere a consumurilor specifice de energie și apă în procesul de exploatare.

Este necesar ca personalul de exploatare să cunoască în detaliu procesul tehnologic și instalațiile filtrelor.

6.6. DEFERIZAREA ȘI DEMANGANIZAREA APEI

O mare parte din rezervele de apă subterană din țară și apa din rîurile principale (Dunăre, Jiu, Olt, Mureș, Prut, Bega) conțin fier și mangan, fiind inutilizabile fără o tratare prealabilă.

În unele țări, normele limitează conținutul de Fe și Mn, în apa tratată, la valori sub 0,02—0,05 mg/dm³. Aceasta reflectă condiția de siguranță, în ceea ce privește înlăturarea riscurilor dezvoltării bacteriilor feruginoase manganoase în componentele sistemului de alimentare cu apă după tratare.

Fierul și manganul se găsesc în apele subterane sub formă de dispersii moleculare, care constituie sisteme discrete și stabile, formate din molecule simple în echilibru termodinamic, reprezentate prin soluții ale compușilor bivalenți.

Particulele dispersiei, cu mărimea sub 1 μm nu pot fi reținute în această stare decît pe membrane semipermeabile; în instalațiile clasice de tratare nu pot fi reținute ca atare.

În general, apele care conțin dispersii moleculare cu Fe și Mn sînt lipsite de oxigen, conțin și CO_2 și (sau) H_2S, au pH redus și au potențial electrocinetic ridicat.

Compușii de Fe și Mn se pot găsi în apă în cele 3 domenii de dispersie:

— *moleculară*, formată din sisteme discrete stabile și în echilibru termodinamic, avînd particule (molecule, ioni) cu mărimea sub 1 μm, care nu se depun, trec prin toate filtrele, dializează și difuzează;

— *coloidală*, formată din sisteme eterogene bifazice, cu suprafețe mari de separație, cu mărimea între 1 și 10 μm, care sînt reținute de ultrafiltre;

— *simplă*, cu mărimea particulelor peste 100 μm, care precipită sau se depun și sînt reținute pe filtre.

Dispersiile moleculare sînt reprezentate în special de compușii bivalenți ai Fe și Mn, iar cele coloidale și suspensiile rezultă prin trecerea acestor compuși la o stare superioară, prin oxidare și prin coagulare.

În contact cu aerul atmosferic, bicarbonatul feros, dizolvat în apă se descompune, rezultînd:

$$Fe(HCO_3)_2 \Rightarrow 2CO_2 + Fe(OH)_2, \quad (6.70)$$

iar hidroxidul feros se oxidează, producînd hidroxidul feric:

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \Rightarrow 4Fe(OH)_3, \quad (6.71)$$

care precipită sub formă de fulgi galben-roşietici.

Uneori, fierul se găseşte în apă sub formă de compuşi organici, datorită descompunerii organismelor plantelor şi animalelor moarte (compuşi humici, care se găsesc de obicei pe fundul bălţilor).

În alte cazuri, se constată creşterea conţinutului de fier şi mangan în apă, datorită dezvoltării bacteriilor feruginoase (Crenotrix polispora, Cladiotrix, Clonotrix, Leptotrix, Gallionella). Aceste bacterii concentrează fierul şi manganul pe învelişul lor. Din cercetările existente, rezultă că depozitul de Fe_2O_3 este legat de metabolismul celulei bacteriene; celula obţine energia vitală din oxidarea sărurilor feroase sau manganoase. Depozitele de fier de pe bacterii se produc deoarece bacteriile au nevoie, pentru a trăi, de o sare feroasă sau manganoasă. Se constată că depozitele se fac numai pe bacterii vii. Dezvoltarea bacteriilor feruginoase conduce la formarea unor bogate depozite de compuşi ai fierului şi filamente organice care, dezvoltîndu-se în reţeaua de distribuţie, conduc la degradarea acesteia.

6.6.1. PROCESE TEHNOLOGICE ÎN DEFERIZAREA ŞI DEMANGANIZAREA APEI

Procesul de oxidare are rolul de a corecta echilibrul general al compuşilor feroşi, manganoşi din apă, astfel încît acesta să devină favorabil reţinerii ulterioare a fierului şi manganului, prin filtrare. Procesul de oxidare are loc în condiţiile introducerii în apă a unei anumite cantităţi de oxigen, a eliminării CO_2 liber şi eventual a H_2S care constituie mediul reducător. Prin procesul de aerare-oxidare, pH-ul apei creşte odată cu eliminarea CO_2, creşte valenţa ionilor de Fe şi Mn, care trec parţial la starea 3 de oxidare.

Procesul de coagulare are rolul de a corecta potenţialul electrocinetic al dispersiilor, astfel încît particulele coloidale să poată fi reţinute prin sedimentare.

Procesul de filtrare are rolul de a reţine Fe şi Mn pînă la limitele admise în apa tratată.

Reţinerea compuşilor de Fe şi Mn, în diferitele stări de agregare şi oxidare, are, în procesul de filtrare o serie de componente: procese de depunere şi aglomerare, procese de adsorbţie şi chemosorbţie, procese biologice etc., care se interferează şi sînt greu delimitabile.

Tehnica deferizării şi demanganizării apei diferenţiază tehnologii distincte de filtrare, după cum tratarea prealabilă filtrării conduce la obţinerea unei stări de oxidare, mai mult sau mai puţin avansată, a fierului şi manganului din apă.

Dacă 70% din fierul total se găseşte la intrarea în filtru în stare de dispersie moleculară, are loc un proces de filtrare a fierului bivalent direct în stratul filtrant, un rol determinant avîndu-l efectul catalitic al peliculelor de oxizi de fier şi în special de mangan, depuse anterior pe granulele din

strat. Prin reţinerea compuşilor de fier şi mangan, în filtru se creează puternice forţe de legătură între particulele reţinute şi granulele stratului filtrant, generate în principal de adsorbţia superficială. Aceste legături imprimă întregului proces de filtrare o stabilitate avansată, independent de condiţiile hidrodinamice din stratul filtrant, astfel încît eficienţa filtrării se menţine de-a lungul întregului ciclu.

6.6.2. AERAREA APEI

Se folosesc sisteme cu pulverizarea apei în aer, injecţia aerului comprimat în apă, sisteme de aerare cu dispozitive mecanice.

În tabelul 6.7 sînt indicaţi parametrii fundamentali pentru comparaţia diverselor sisteme de aerare utilizate în deferizarea apei şi elementele pentru alegerea sistemului cu eficienţa cea mai bună [58].

Un criteriu important pentru alegerea sistemului de aerare este mărimea debitului instalaţiei, astfel: pentru instalaţii cu debite reduse, pînă la 50 dm³/s, sînt indicate sistemele cu sprinklere, avînd caracteristicile indicate în figura 6.77; la instalaţii mai mari se impune utilizarea aerării mecanice în bazine cu rotoare cu ax orizontal sau cu rotoare cu ax vertical.

În figura 6.78 sînt date caracteristicile bazinului de 6 m², echipat cu rotor cu ax orizontal, tip *Pasavant*, cu lungimea activă de 2,50 m, diametrul de 50 cm, avînd 60 de palete pe m. l., lăţimea paletelor de 5 cm, distanţa între palete de 5 cm şi care funcţionează cu 96 rot/min.

Tabelul 6.7

Parametrii sistemelor de aerare a apei

Nr. crt.	Sistemul de aerare		Timpul de aerare [min]	Volum construit total $\left[\frac{m^3}{1\ dm^3/s}\right]$	Utilaje necesare: Tipul	Utilaje necesare: Puterea [W/dm³/s]	Randamentul [gO₂/kWh]	Consumul de energie [Wh/m³ apă]
1	Dispersia apei în aer cu sprinklere		10,0	6,0—6,5	Pompe cu $H = 1daN/cm^2$	70—72	310	19—20
2	Difuzia aerului în apă	Instalaţii sub presiune	1,0	1,5—2,0	Compresoare $H = 6daN/cm^2$	33—40	540	9,0—11,0
3		Instalaţii cu bule medii	6,0—7,0	1,9—2,2	Suflante cu $H = 0,5\ daN/cm^2$	22—25	860	5,8—6,0
4	Aerare mecanică	Rotoare cu ax orizontal	2,5—3,0	0,8—1,2	Rotoare oxidante (import)	12—14	1480	3,3—3,9
5		Rotoare cu ax vertical	3,0	0,75—1,15	Rotoare radiale (import)	12—14	1570	3,3—3,7

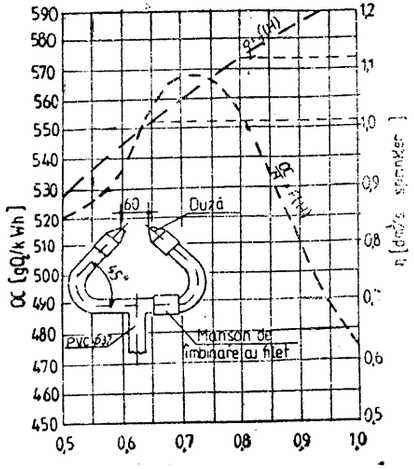


Fig. 6.77. Sprinkler pentru aerarea apei.

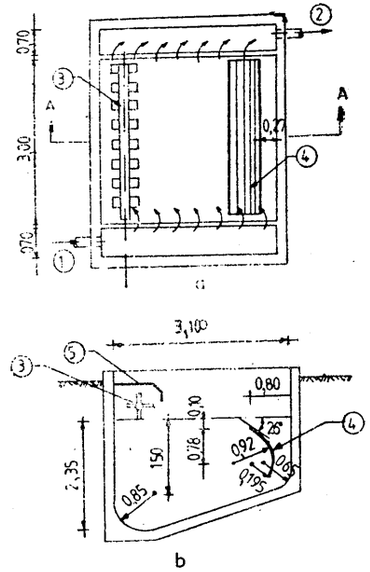


Fig. 6.78. Bazin de aerare echipat cu rotor cu ax orizontal: *a* — plan; *b* — secțiune transversală *A—A*: *1* — influent; *2* — efluent; *3* — rotor cu palete; *4* — perete de dirijare; *5* — copertină de dirijare.

6.6.3. FILTRAREA APEI

Experiențele de filtrare directă a apei, care au fost efectuate (fără prealabilă aerare și decantare) au dovedit că fierul este reținut în masa filtrantă, cînd se găsește în apă fie în formă solubilă $Fe(OH)_2$, fie insolubilă $(Fe(OH)_3$. Eficiența reținerii fierului este funcție de condițiile de filtrare (viteza de filtrare, caracteristicile stratului filtrant, compoziția granulometrică a acestuia).

Explicația reținerii fierului în filtrele de nisip de cuarț, a celui bivalent Fe^{2+}, cît și a celui trivalent Fe^{3+}, este următoarea: fierul se găsește în apă sub formă de hidrosol (sistem coloidal dispersat în apă) și este atras de granulele de nisip (SiO_2) încărcate cu sarcină electrică negativă; pe lîngă aceasta, fierul este reținut și prin fenomenul de adsorbție.

Rezultatele obținute în urma experiențelor efectuate pentru deferizarea apei, atît în țara noastră, cît și în alte țări, au condus la concluziile evidențiate în continuare.

Este necesară verificarea ipotezei caracterului fizico-chimic al procesului de reținere a fierului. Oxidarea nu este completă înainte de filtrare, iar în filtru nu se poate produce complet fenomenul chimic de oxidare, deoarece durata de parcurgere este de 5'—10', în timp ce acest proces durează în mod obișnuit mai mult timp.

Dubla filtrare asigură deferizarea; tipul de filtru se alege astfel:

— în cazul apelor cu conținut mic de fier (2—3 mg/dm³), se adoptă filtre cu grosime mare a stratului de nisip și cu strat subțire de apă;

— în cazul apelor cu conținut mare de fier (10—20 mg/dm³), se adoptă filtre cu grosime mică de nisip și grosime mare a stratului de apă sau filtre sub presiune.

Caracteristica principală a filtrului rapid de nisip, ca instalație de deferizare, este capacitatea de reținere a fierului, exprimată în kg/m² filtru. Experimental, s-a constatat că această caracteristică are ordinul de mărime de 1 ÷ 3 daN Fe/m². Aceasta depinde de:

— pH-ul apei (la un pH ridicat, capacitatea de reținere este mai mare);

— viteza de filtrare (capacitatea de reținere scade odată cu creșterea vitezei);

— conținutul de fier în apă (capacitatea de reținere este mai mare cînd apa conține mai mult fier);

— grosimea stratului filtrant și compoziția lui granulometrică (capacitatea de reținere scade cu creșterea mărimii granulelor).

Se adoptă *viteze de filtrare de 7 ÷ 10 m/h*, în funcție de conținutul de fier, la care ciclul de funcționare durează de la 15 pînă la 500 ore. Grosimea stratului filtrant se recomandă să se aleagă între (0,8÷1,2 m (eventual 2,0 m), iar mărimea granulelor de 1,5÷2,5 mm, în treapta întîi de filtrare și de 0,8÷1,25 mm, în treapta a doua. Spălarea nisipului se face cu apă (4÷6 dm³/s, m²) și aer comprimat (16÷25 dm³/s, m²).

Experiențele realizate (în Belgia) arată că efectul produs de dubla filtrare (cu prima treaptă de 8 m/h și o a doua treaptă de 4 m/h) este echivalent cu o filtrare unică cu viteza de 1 m/h.

6.6.4. ANSAMBLUL STAȚIEI DE DEFERIZARE – DEMANGANIZARE

În figura 6.79, se prezintă schema unei instalații de deferizare prin aerare, masă de contact, decantare și filtrare [40].

În anumite situații, se adoptă instalații de deferizare a apei, care funcționează sub presiune. În figura 6.80, se prezintă schema unei instalații de deferizare sub presiune.

Masa de contact. Este necesară în situațiile în care aerarea nu este eficace (în special cînd apele conțin fier sau hidrogen sulfurat de natură organică). Suprafața orizontală a acesteia se dimensionează la o viteză de 3÷5 m/h. Se pot prevedea fie un singur strat de 2÷3 m cu granule de 5÷10 mm, fie 3÷4 straturi de 0,5 m grosime, cu granule de 50—100 mm, avînd interspații de 0,2—0·3 m. În interiorul masei de contact se continuă procesul de aerare, uneori aceasta fiind favorabilă dezvoltării unor membrane biologice.

Utilizarea masei de contact este însoțită de dificultăți impuse de spălarea acesteia, care ridică probleme tehnice, datorită fierului adsorbit pe granulele de cocs, zgură sau spărtură de cărămidă.

Utilizarea reactivilor chimici. În cazul apelor care conțin compuși organici de fier și mangan sau sulfat feros, este necesar să se folosească reactivi chimici care să coaguleze acești compuși; ca reactivi se folosesc var, sulfat de aluminiu, clor și ozon. În aceste situații, stația de deferizare va cuprinde și o stație de stocare, preparare și dozare a reactivilor.

Clorul se utilizează cînd este nevoie de o oxidare suplimentară după aerare, în special în cazul compușilor organici ai Mn.

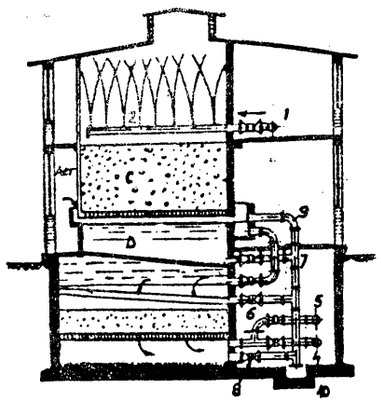


Fig. 6.79. Staţie de deferizare prin aerare, masă de contact, decantare şi filtrare: *1* — apă brută; *2* — pulverizatoare; *3* — alimentare filtru; *4* — ieşire apă deferizată; *5* — apă de spălare; *6* — evacuare apă de spălare; *7* — golire decantor; *8* — golire filtru; *9* — preaplin; *10* — canal colector de evacuare; *C* — masa de contact; *D* — decantor.

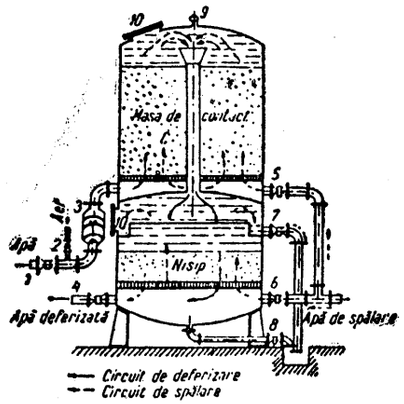


Fig. 6.80. Instalaţie de deferizare sub presiune: *1* — alimentare instalaţie; *2* — aer comprimat; *3* — trombă de amestec aer-apă; *4* — apă deferizată; *5, 6* — apă de spălare; *7* — evacuare apă de spălare; *8* — golire; *9* — supapă evacuare aer; *10* — gură de evacuare.

Varul se utilizează pentru mărirea pH (la ape cu pH-ului <6,5), în special în cazul demanganizării apei; utilizarea prealcalinizării este contraindicată pentru cazul compuşilor complecşi ai Fe şi Mn, care se elimină în mediu acid.

Reactivii coagulanţi, mai ales Fe_2SO_4, se utilizează pentru coagularea micelelor coloidale, în cazul apelor cu conţinut ridicat de substanţe organice sau acizi humici.

Permanganatul de potasiu se utilizează pentru formarea nisipului negru, peliculizat cu MnO_2; ca reactiv cu dozare permanentă, $KMnO_4$ nu este recomandabil (fiind scump). În cazul în care $KMnO_4$ nu se depune pe granulele stratului filtrant, datorită unui potenţial de oxidoreducere prea redus, se acţionează de obicei asupra echilibrului electrochimic al apei prin aerări mai energice sau prin preclorare.

Ansamblul staţiei de deferizare-demanganizare necesită măsuri speciale, ţinînd seama că apele feruginoase sînt însoţite de CO_2 şi H_2S, care eliminate fără un control riguros în proces pot produce accidente. Încăperile în care se produce aerarea, vor fi ventilate cu un debit de aer egal cu 5÷10 ori volumul încăperii, pe oră. În perioadele reci este necesară utilizarea aerului preîncălzit. La adoptarea soluţiei finisajelor, se va ţine seama de mediul agresiv, de atmosfera încărcată cu vapori de apă, care conţin Fe, Mn şi bacterii feruginoase.

6.6.5. ADOPTAREA PROCESULUI TEHNOLOGIC

• Conform STAS 9295/73, stabilirea tehnologiei de tratare şi a parametrilor de bază pentru determinare trebuie efectuată pe baza unor cercetări la scară pilot. Debitul staţiilor pilot se adoptă de 1÷5 dm³/s. Staţia pilot trebuie să funcţioneze şi după punerea în funcţiune a tehnologiei adoptate *in situ*, pentru corelarea rezultatelor şi încercarea unor modernizări sau completări de tehnologie prin modificarea caracteristicilor apelor cu conţinut de Fe şi Mn.

• *Alegerea schemelor tehnologice* în cadrul staţiei pilot se face pe baza unor încercări de laborator şi a următoarelor considerente:

— pentru ape cu un conţinut în O_2 peste 6÷7 mg/dm³, cu un conţinut de fier trivalent de 30—40% din fierul total, se indică schema filtrării în două trepte, în instalaţii deschise; dacă oxigenul lipseşte din apa brută, se introduce o preaerare;

— pentru ape avînd concentraţii de Fe şi Mn relativ mici (sub 3÷5 mg Fe/dm³ şi sub 1÷1,5 mg Mn/dm³), aflate în combinaţii de origine minerală, se impune schema: aerare, decantare, filtrare în prezenţa reactivilor de coagulare.

Schemele enunţate pot fi examinate şi în instalaţii sub presiune, în special pentru debite reduse.

• *Soluţii particulare pentru eliminarea Fe şi Mn din apă.* În Finlanda, a fost brevetată tehnologia reţinerii Fe şi Mn din apa subterană direct în stratul acvifer, folosind injectarea în strat a unui debit de apă aerată în prealabil; fenomenul este pus în evidenţă la o serie de captări din apa subterană din ţara noastră, unde s-a observat, datorită variaţiilor nivelului apei subterane şi în zona de izvorîre din apropierea forajelor, reţinerea fierului în strat.

În S.U.A. şi Canada, pentru concentraţii reduse de Fe şi Mn (sub 1—1,5 mg/dm³), compuşii bivalenţi în stare de dispersie moleculară sînt stabilizaţi ca atare, în apă, prin preclorare şi tratare cu silicat de sodiu, în doze apropiate valorii de 5 mg/dm³.

În Franţa se dezvoltă în ultimul deceniu tehnologia de eliminare a Fe pe cale biologică, pe baza observaţiilor că numeroase bacterii prezintă capacitatea de a oxida biologic fierul.

Oxidarea biologică a fierului este favorabilă în situaţiile în care oxidarea fizico-chimică nu este eficientă (concentraţii în oxigen dizolvat sub 0,5 mg/dm³, pH ≃ 6—6,2, potenţialul de oxido-reducere apropiat valorii de 100 mV).

În cazul reactoarelor biologice, se utilizează oxidarea rapidă printr-o injecţie de aer sub presiune, nu se utilizează reactivi (lucrează cu o capacitate de reţinere de 5 ori mai mare decît în cazul deferizării fizico-chimice, utilizează viteze de filtrare de 20—40 m/h). În ţara noastră, o astfel de tehnologie a fost brevetată de ICIM.

În figura 6.81, se indică schema unui reactor biologic, care prezintă avantajul mişcării radiale (încărcarea pe suprafaţa laterală a filtrului) şi alimentării cu aer după direcţia verticală.

6.7. DEDURIZAREA ŞI DECARBONATEREA APEI

Necesitatea eliminării parţiale a durităţii temporare *(decarbonatare)* sau a durităţii totale *(dedurizare)* apare din condiţiile protecţiei instalaţiilor care utilizează ape cu duritate.

Duritatea apei fiind determinată de sărurile de calciu şi de magneziu, săruri cu o solubilitate limitată, în condiţiile încălzirii şi vaporizării parţiale, acestea se depun pe pereţii cazanelor şi instalaţiilor tehnologice pe care

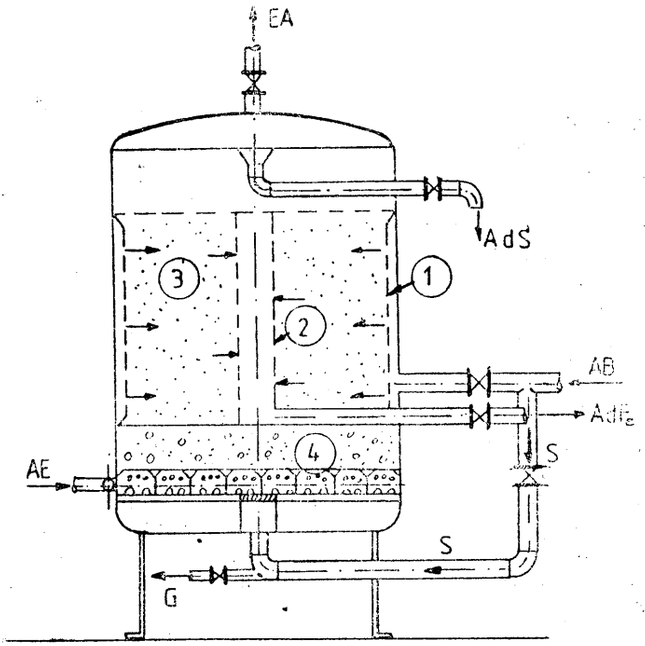


Fig. 6.81. Reactor biologic pentru deferizarea apei: *1* — sistem de încărcare filtru (perete perforat, $h_r = 5 - 7$ cm); *2* — crepină colectare apă; *3* — strat filtrant; *4* — drenaj; *AB* — apă brută; *AdFe* — apă deferizată; *S* — circuit spălare; *AdS* — apă de la spălare; *AE* — aer oxidare; *G* — golire; *EA* — ventil evacuare aer.

le deservesc. Crusta care se formează poate produce avarii grave, iar prin pierderile de randament, conduce la sporirea consumului de combustibil.

Duritatea apei poate fi temporară, permanentă şi totală.

Duritatea *temporară* este produsă de prezenţa în apă a bicarbonaţilor de calciu şi magneziu, iar duritatea *permanentă* este produsă de prezenţa în apă a clorurilor, sulfaţilor şi silicaţilor de calciu şi de magneziu.

Duritatea *totală* a apei exprimă conţinutul total de ioni de calciu şi magneziu şi este, de fapt, suma durităţii temporare şi permanente.

6.7.1. DECARBONATAREA APEI

Reducerea durităţii temporare a apei se poate face prin:
— procedee chimice cu reactivi;
— procedee chimice cu schimbători de ioni;

Alegerea unui anumit procedeu depinde de calitatea apei brute, de calitatea apei solicitate de consumator, de considerente economice şi de exploatare.

Pentru decarbonatarea apei, procedeul cel mai utilizat este cel cu reactivi chimici, celelalte procedee fiind utilizate pentru dedurizare.

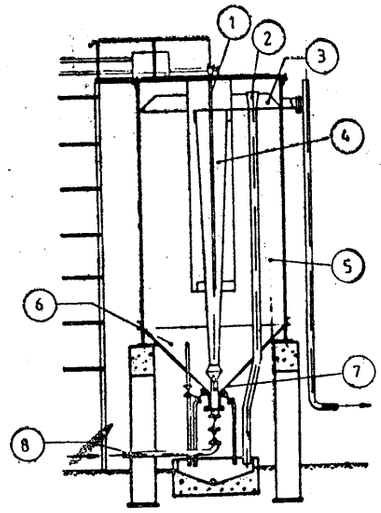


Fig. 6.82. Decantor tip CIRCULATOR: *1* — intrarea reactivilor; *2* — preaplin; *3* — jgheab de evacuare a apei limpezite; *4* — zonă de amestec şi reacţie; *5* — zonă de apă limpezită; *6* — zonă de concentrare a nămolului; *7* — hidroelevator; *8* — intrare a apei brute.

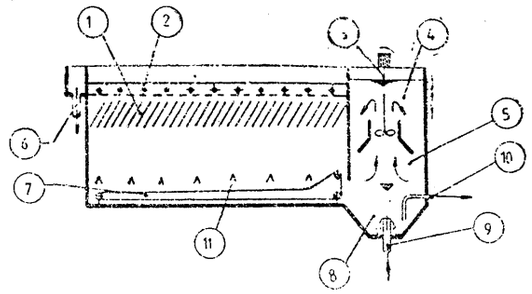


Fig. 6.83. Decantor tip TURBOSEPARATOR: *1* — zonă de decantare lamelară; *2* — colectarea apei limpezite; *3* — agitator cu elice; *4* — cameră de amestec şi reacţie; *5* — injectarea reactivilor; *6* — ieşirea reactivilor; *7* — pod raclor; *8* — concentrator de nămol; *9* — intrarea apei brute; *10* — extragere nămol; *11* — deflectori.

Reactivul utilizat în mod curent este varul, $Ca(OH)_2$, care în reacţie cu bicarbonaţii de Ca sau Mg aflaţi în apă, precipită în carbonat de Ca şi hidroxid de Mg, care sînt insolubili în apă.

Reacţiile chimice ale decarbonatării cu var sînt:

$$Ca(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2 \rightarrow \underline{2CaCO_3}\downarrow + 2H_2O \qquad (6.72)$$

$$Ca(OH)_2 + Mg(HCO_3)_2 \rightarrow 2MgCO_3 + 2H_2O \qquad (6.73)$$

$$Ca(OH)_2 + MgCO_3 \rightarrow \underline{CaCO_3}\downarrow + \underline{Mg(OH)_2}\downarrow \qquad (6.74)$$

Reacţiile (6.72) şi (6.73) se termină la un pH de 9,8, în timp ce reacţia (6.74) se amorsează la un pH de 9,8, pentru a se termina la un pH de 11,3. La introducerea varului în apă, au loc două reacţii, (6.72) şi (6.74), desfăşurate succesiv.

Instalaţiile pentru decarbonatare sînt de două tipuri:
— cu strat de nămol;
— decarbonatare catalitică.

• *Instalaţii cu strat de nămol.* Se pot clasifica în două tipuri: cu recircularea nămolului, cu pulsaţie; cu recirculare şi module lamelare.

În figura 6.82 se indică decantorul *Circulator* [15], [54], care lucrează la încărcări de 5÷7 m³/h, m².

În figura 6.83 este prezentată schema *turboseparatorului*, care admite încărcări de 15—20 m³/h, m².

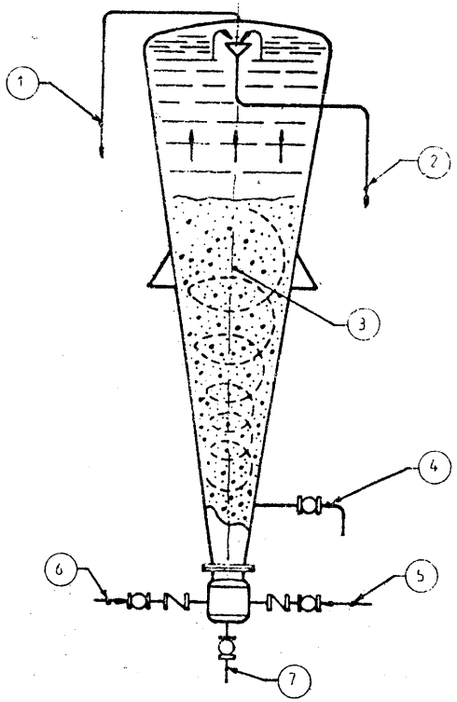


Fig. 6.84. Decantor tip GYRACTOR: *1* — aerisire; *2* — apă decarbonatată; *3* — masă catalizantă; *4* — golire; *5* — injectare var; *6* — intrarea apei brute; *7* — golire.

• *Decarbonatare catalitică.* Folosește drept catalizator al reacției ce are loc la punerea în contact a apei cu varul, cristalele de carbonat de calciu. Aceste cristale au un diametru de 0,2÷0,5 mm și sînt expandate într-un pat fluidizat. În locul cristalelor de carbonat de calciu (făina de marmoră) se utilizează și nisipul cuarțos.

Această masă catalizatoare are rolul de a amorsa cristalizarea și de a servi drept suport acestei catalizări, întrucît carbonatul de calciu este un precipitat foarte fin și ușor antrenabil în apă. Această metodă este utilizabilă numai în cazul eliminării durității temporare datorată bicarbonaților de calciu din apele fără substanțe coloidale. Bicarbonații de magneziu dau naștere unui precipitat care nu se fixează pe masa catalizantă și este antrenat în efluent. S-a conceput o gamă largă de instalații ce au la bază decarbonatarea catalitică, cu viteză ascensională la partea superioară de 15—50 m/h.

În figura 6.84 se prezintă decarbonatorul de tip *Gyractor* de formă tronconică; mișcarea ascendentă elicoidală a apei la decarbonatoarele de acest tip se realizează prin intrarea tangențială a curentului de apă la bază.

6.7.2. DEDURIZAREA APEI

6.7.2.1. **Procedeele chimice cu reactivi** includ două variante, după cum urmează:

• *Procedeul cu sodă* (carbonat de sodiu) se folosește cînd este necesară reducerea numai a durității permanente, datorată sulfatului și clorurii de calciu. Reacțiile chimice care au loc sînt de tipul:

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow \underset{\downarrow}{CaCO_3} + \underset{\text{solubil}}{Na_2SO_4} \qquad (6.75)$$

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow \underset{\downarrow}{CaCO_3} + \underset{\text{solubil}}{2NaCl} \qquad (6.76)$$

Doza de sodă calcinată (Na_2CO_3), necesară pentru asigurarea reacției chimice, se stabilește în laborator.

• *Procedeul cu var și sodă* se folosește în cazul în care este necesară reducerea durității permanente, datorată sulfatului și clorurii de magneziu sau cînd este necesară reducerea atît a durității temporare, cît și a celei permanente.

Reacțiile chimice care au loc, sînt de tipul (6.72), (6.73), (6.74), (6.75), (6.76), la care se adaugă:

$$MgSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow \underset{\text{solubil}}{MgCO_3} + \underset{\text{solubil}}{Na_2SO_4}, \qquad (6.77)$$

iar carbonatul de magneziu se combină cu varul, după reacția:

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow \underset{\downarrow}{CaCO_3} + Mg(OH)_2 \qquad (6.78)$$

$$MgCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow \underset{\text{solubil}}{MgCO_3} + \underset{\text{solubil}}{2NaCl} \qquad (6.79)$$

și, în continuare, carbonatul de magneziu se combină cu varul, conform (6.78).

Carbonatul de magneziu are o solubilitate mai mare decît cel de calciu și, pentru a realiza reacția pînă la sfîrșit, este necesară o doză de var în exces, care să conducă la formarea hidroxidului de magneziu insolubil.

Prin acest procedeu, duritatea totală a apei poate fi redusă pînă la 4—5 °D, deoarece atît carbonatul de calciu, cît și hidroxidul de magneziu sînt într-o oarecare măsură solubili în apă.

Duritatea totală a apei se poate reduce pînă la 0,1 °D, prin procedeul var-sodă, dacă se tratează cu fosfați biacizi sau monoacizi de sodiu (NaH_2PO_4) sau cu (Na_2HPO_4), care se transformă, într-un mediu alcalin, în fosfat trisodic, reacționînd cu ioni de Ca și Mg, cu formarea unor compuși greu solubili.

Ținînd seama de cheltuielile aferente, acest procedeu este folosit numai în cazuri excepționale, în special pentru tratarea apei de alimentare a cazanelor de presiune medie.

Doza de fosfat trisodic este de 19,5 mg/dm³, pentru fiecare grad de duritate, sau de 45 mg/dm³, dacă se folosește fosfat trisodic cristal, calitatea I ($Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$).

Pentru reducerea durității de la 4—5 °D la 0,1 °D, este necesară deci o doză de circa 200 mg/dm³ (ceea ce, numai ca reactiv, înseamnă un spor mare la prețul de cost al apei).

Procedeele de dedurizare chimică menționate pot fi folosite atît pentru apa rece, cît și pentru apa încălzită, durata procesului de dedurizare a apei fiind, după cum este cunoscut, mai scurtă la temperatură ridicată, gradul de dedurizare realizat fiind în acest caz mai mare. Apa pentru dedurizare trebuie să fie cu un conținut redus de suspensii coloidale și substanțe organice. Instalațiile de dedurizare trebuie să asigure, ca și în cazul decarbonatării, un amestec omogen cu apa brută și o decantare corespunzătoare precipitațiilor ce se formează.

6.7.2.2. **Procedeul cu schimbători de ioni.** Acest procedeu se aplică în schema modernă de dedurizare a apei pentru reținerea sărurilor de calciu și magneziu.

Schimbătorii de ioni sînt compuși macromoleculari insolubili, conținînd grupări monoactive, capabile de a realiza un schimb de ioni.

Schimbătorii de ioni se împart în:

— anorganici (zeoliţi şi permutiţi);

— organici (sintetici şi naturali).

Pentru tratarea apei se folosesc, în practică, numai schimbători de ioni sintetici, cu diferite caracteristici fizico-chimice.

Schimbătorii de ioni au capacitatea de a schimba cationii de Na sau H cu Ca sau Mg aflaţi în compuşii din apă, fiind denumiţi cationit de Na (cat Na) sau cationit de H (cat H).

Procesul de schimb de ioni din soluţia electrolitului cu ionii mobili ai schimbătorului de ioni se realizează în cinci etape şi anume:

1 — deplasarea ionului dislocat de soluţie spre suprafaţa granulei schimbătorului de ioni;

2 — deplasarea ionului substituit din interiorul granulei schimbătorului de ioni pînă la locul de schimb;

3 — schimbul de ioni;

4 — deplasarea ionului substituit din soluţie spre suprafaţa granulei schimbătorului de ioni;

5 — trecerea ionului dislocat din schimbătorul de ioni, în soluţie.

Structura chimică, în general macromoleculară, a schimbătorului de ioni, trebuie să conţină în molecula sa unul sau mai mulţi radicali acizi sau bazici.

Prezenţa radicalului acid, de forma H—R, defineşte un schimbător de cationi, iar prezenţa radicalului bazic R—OH, defineşte un schimbător de anioni.

• *Schimbătorii de cationi* se clasifică în:

— *minerali* (zeoliţi şi permutiţi), care au o utilizare foarte redusă;

— *organici puternic acizi* — conţinînd grupa HSO_3, reacţia de schimb ionic intervenind în orice mediu, indiferent de valoarea pH a acestuia;

— *organici slab acizi*, conţinînd grupa HCO_2; deoarece constanta de disociere pK a grupei HCO_2 este de 4—6, condiţia pentru o bună funcţionare a schimbului cationic slab acid este verificarea inegalităţii:

$$pH > pK \text{ (constanta de disociere a grupei } HCO_2),$$

din care rezultă că reacţia de schimb la aceşti schimbători intervine numai în mediu alcalin.

• *Schimbătorii de anioni* se clasifică în:

— *puternic alcalini*, la care reacţia de schimb intervine într-un mediu de orice tip, pentru un pH $0 \div 14$.

— *medii sau slab alcalini*, la care reacţia de schimb de ioni intervine numai într-un mediu acid, în general $pH < 5$.

Reacţiile chimice sînt de forma:

$$RNa_2 + Ca^{++} \rightleftarrows RCa + 2Na^{+} \qquad (6.80)$$

$$RH_2 + Ca^{++} \rightleftarrows RCa + 2H^{+} \qquad (6.81)$$

În timp, schimbătorii de ioni îşi pierd capacitatea de schimb şi trebuie să fie regeneraţi. Regenerarea se face prin tratare cu o soluţie acidă a schimbătorului de cationi şi o soluţie bazică a schimbătorului anionic.

6.7.3. INSTALAŢII DE DEDURIZARE CU MASE CATIONICE

Capacitatea de schimb a unei mase cationice se exprimă în tone grade (tgrd) prin numărul de metri cubi de apă dură căreia un mc de cationit îi poate reduce duritatea cu 1 grad, sau în miliechivalenţi pe cm^3 ($mval/cm^3$); unui $mval/cm^3$ îi corespund 2800 $tgrd/m^3$. Un cationit natural are o capacitate de schimb de 300—500 $tgrd/m^3$, iar unul sintetic de 4000—10 000 $tgrd/m^3$.

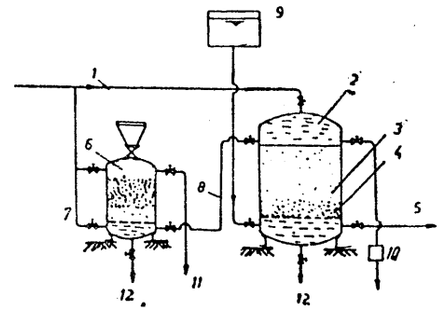


Fig. 6.85. Schema de dedurizare cu cationi de sodiu: *1* — apă dură; *2* — filtru cu cationit de sodiu; *3* — strat de cationit; *4* — strat suport de pietriş; *5* — apă dedurizată; *6* — recipient pentru pregătirea soluţiei de clorură de sodiu; *7* — strat filtrant de pietriş mărgăritar; *8* — conductă pentru soluţia de clorură de sodiu; *9* — rezervor de apă pentru afînare; *10* — regulatorul vitezei de afînare; *11* — conductă de evacuare a apei de spălare din recipientul de clorură de sodiu; *12* — goliri.

În figura 6.85 este reprezentată schema unei instalaţii de dedurizare cu cationit de sodiu. Instalaţia se compune dintr-un număr de filtre cu masă cationică funcţionînd sub presiune, un rezervor pentru prepararea soluţiei de clorură de sodiu şi un rezervor cu apă pentru afînarea materialului.

Ciclul de funcţionare cuprinde patru faze:

• *Dedurizarea apei* care intră prin conducta superioară, are loc în stratul de cationit şi la ieşirea din filtru se obţine apa dedurizată. Aceasta operaţie se continuă pînă în momentul în care materialul filtrant nu mai are capacitate de schimb.

Determinarea cantităţii de masă cationică se face cu relaţia:

$$V_{cat} = \frac{24QD_{tot}}{n(e - D_{tot}q_{sp})} \ [m^3], \qquad (6.82)$$

în care: V_{cat} este volumul masei cationice, în m^3;

Q — debitul instalaţiei, în m^3/h;

n — numărul de regenerări în 24 h (2—3);

e — capacitatea de schimb a masei cationice în $tgrd/m^3$;

D_{tot} — duritatea totală a apei;

q_{sp} — debitul de spălare (3—5 m^3 apă/m^3 material).

Suprafaţa totală a filtrelor se deduce astfel încît grosimea stratului de masă cationică (h) să fie aproximativ de 2—3 m:

$$A = \frac{V_{cat}}{h} \ [m^2]. \qquad (6.83)$$

Se prevăd mai multe filtre N, pentru a se ţine seama de fazele neproductive; se iau în plus 2—3 cuve de rezervă.

• *Afînarea materialului filtrant* se realizează prin trecerea unui curent de apă în sens invers trecerii apei la procesul de dedurizare. Apa pentru afînare este adusă din rezervorul de presiune şi introdusă prin partea inferioară a filtrului. După ce a produs afînarea materialului, apa trece printr-un dispozitiv de reglare a vitezei de afînare, după care este evacuată.

Afînarea masei cationice se face cu intensitatea de $q_{af} = 3-6$ dm³/s, m² și durează $t = 10'-15'$; cu aceste date se poate calcula capacitatea rezervorului de afînare și diametrul conductei de legătură, pentru o viteză a apei de $v = 2-2{,}5$ m/s. Rezervorul de afînare se așază cu 5—10 m deasupra stratului filtrant.

• *Regenerarea masei cationice* se face cu o soluție de clorură de sodiu preparată într-un rezervor special. Circuitul soluției de regenerare prin filtrul de cationit este de sus în jos, apa fiind trimisă apoi la golire.

Regenerarea masei cationice se face ținînd seama de următoarele:
— viteza soluției de regenerare prin filtre se ia $v_r = 3-4$ m/h;
— durata regenerării se ia de $t_r = 12 \div 15'$;
— consumul de sare (NaCl) se ia de $70 \div 80$ g/tgrd.

Cantitatea de sare (C) cu 5% impurități, necesară pentru regenerarea unui filtru, va fi:

$$C = \frac{0{,}08\, e\, V_1}{0{,}95} \text{ [daN]}, \qquad (6.84)$$

în care V_1 este volumul de cationit al unui filtru, iar e — capacitatea de schimb a cationitului.

— soluția de sare trebuie să aibă concentrația de 10%;
— doza practică de acid sulfuric pentru regenerarea masei cationice de hidrogen este de 60 g/tgrd.

• *Spălarea soluției de clorură de sodiu* din masa cationică a filtrului se face cu apă netratată, care se introduce prin conducta de apă dură, străbate stratul de material filtrant și este eliminată prin conducta de golire.

Spălarea se face cu viteze de $4 \div 25$ m/h, timp de 1,5—2 h.

În cazul utilizării cationitului de hidrogen, schema instalației este asemănătoare cu aceea arătată la cationitul de sodiu, cu deosebirea că instalația de regenerare cuprinde o serie de rezervoare pentru acid sulfuric concentrat și diluat (fig. 6.86).

Acidul sulfuric concentrat (75—78%) este depozitat într-un rezervor cilindric R_1, orizontal, prevăzut cu o pîlnie de alimentare, o țeavă pentru

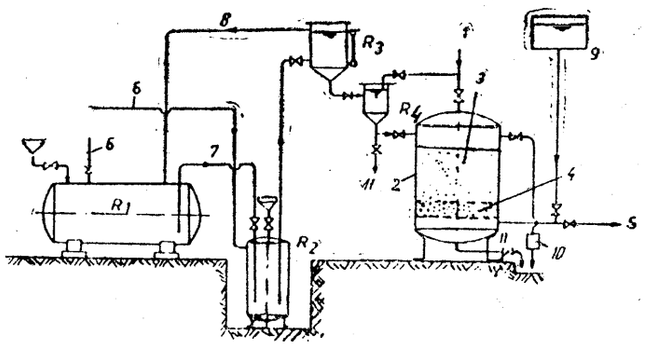


Fig. 6.86. Schemă de dedurizare cu cationit de hidrogen: *1* — apă dură; *2* — filtru de cationit de hidrogen; *3* — strat de cationit; *4* — strat suport din pietriș; *5* — apă dedurizată; *6* — conductă de aer comprimat; *7* — conductă pentru transvazarea acidului sulfuric; *8* — conductă pentru recuperarea acidului sulfuric în exces; *9* — rezervor de apă pentru afînare; *10* — regulatorul vitezei de afînare; *11* — goliri.

evacuarea aerului și un sifon pentru luarea acidului; de aici, acidul sulfuric este sifonat în rezervorul de trecere R_2, situat mai jos, care are și el o pîlnie pentru alimentarea cu acid, în cazul în care primul rezervor este gol. Prin introducerea aerului comprimat în acest rezervor, acidul sulfuric concentrat este ridicat în rezervorul de măsurare R_3, prevăzut cu o sticlă de nivel și țeava de preaplin, care conduce surplusul în rezervorul R_1. Acidul sulfuric concentrat din rezervorul R_3 este trecut în rezervorul R_4, care conține apă, astfel încît se prepară o soluție diluată (1—2%), necesară pentru regenerare.

Pereții rezervorului și ai conductelor care vin în contact cu acidul sulfuric concentrat nu se protejază de obicei, deoarece acidul sulfuric concentrat nu corodează oțelul. Suprafețele interioare ale rezervorului în care se păstrează soluția diluată de regenerare (1—2%) se protejază contra coroziunii, prin acoperirea lor cu Pb, cu masă plastică sau cauciuc. Conductele care transportă acid sulfuric diluat se protejază cu un strat de cauciuc sau se execută din masă plastică rezistentă la acid sulfuric.

6.8. DEZINFECTAREA APEI

Reprezintă procesul de reducere a bacteriilor sub limita admisibilă, astfel încît acestea să nu fie dăunătoare organismului omenesc.

Dezinfectarea apei se poate face prin următoarele metode:
— metode bazate pe agenți chimici (clor, ozon);
— metode bazate pe agenți fizici (fierbere, raze ultraviolete);
— metode biologice (membrane biologice);
— metode oligodinamice (acțiunea bactericidă a ionilor metalelor grele).

6.8.1. CLORAREA APEI

Clorul este reactivul cel mai utilizat pentru dezinfectarea apei. Este utilizat dizolvat în apă. Reacția este următoarea:

$$Cl_2 + H_2O \rightleftarrows HClO + HCl, \qquad (6.85)$$

însoțită fiind de o reacție secundară:

$$HClO \rightleftarrows ClO^- + H^+ \qquad (6.86)$$

Funcție de pH-ul apei, vor exista situațiile:
— $pH < 2$, clorul se află sub formă moleculară;
— $pH = 5$, clorul molecular dispare și se află sub forma HClO;
— $pH > 10$, clorul se află sub formă de ioni de hipoclorit ClO^-.

Efectul oxidant al clorului este maxim dacă clorul se află sub formă de HClO, denumit *clor liber activ*.

Introducerea clorului în apă pune în evidență următoarele fenomene:
— pînă la doze de 2—2,5 mg/dm³, apare formarea de mono și dicloramine, care dau o corelație practic rectilinie între doza și clorul rezidual;
— la doze cuprinse între 2,5—4,5 mg/dm³, se formează tricloramine, care conduc la reducerea clorului rezidual pînă la valori sub 1 mg/dm³; acest punct este denumit *punct critic*;

— după punctul critic (doze > 4,5 mg/dm³), clorul rezidual crește liniar cu doza de clor introdusă în apă.

Cinetica reacției clorului în apă este deosebit de complexă [15] și depinde de numeroși factori: pH, temperatura apei și formele ionului amoniu.

În paragraful §6.3.4, în figura 6.13 s-a prezentat schema unui aparat de clorare pentru prepararea și introducerea soluției de clor în apă.

După aceasta, trebuie să se asigure amestecul și un timp de contact pentru reacție. Timpul de contact necesar se stabilește pe cale experimentală, funcție de caracteristicile apei și variază de la cîteva minute pînă la două ore. Bazinele de contact se vor amenaja corespunzător evitării scurtcircuitării, ca bazine șicană (raport lungime/lățime $\simeq$ 50—70), pentru a permite un flux optim.

În cazul apelor de consum, problema menținerii clorului rezidual ($\cong$0,1 mg/dm³) este o problemă de mare dificultate tehnică și trebuie corelată cu posibilitățile de clorare intermediară în rezervoare.

Procedeele utilizate în clorarea apei sînt:

— *clorare simplă*, care constă în introducerea în apă, după limpezirea completă, a unor doze mici de clor (0,5÷1 mg/dm³), pentru a menține condițiile bacteriologice cerute unei ape potabile;

— *dublă clorare*, care constă în introducerea unei doze de clor (1÷1,5 mg/dm³), în amonte de decantoare, și a unei doze de 0,3÷0,5 mg/dm³, după filtrare.

6.8.2. OZONIZAREA APEI

Problemele dezinfectării apei cu ozon sînt amplu cercetate, fiind abordate pe tipuri de substanțe, alge, micropoluanți, viruși. Concluzia care se desprinde este că simpla operație de oxidare este necesară, dar nu suficientă (spre exemplu, cazul detergenților: prin oxidare dispare caracterul tensioactiv, norma este satisfăcută, dar nu se poate spune că a dispărut caracterul nociv). În acest cadru, se asociază dezinfectarea finală cu ozon cu filtrarea pe cărbune activ granular (CAG). Majoritatea materialelor apărute în ultimii 10 ani în S.U.A. (JAWWA), FRANȚA (T.S.M. L'EAU) analizează post-ozonizarea împreună cu filtrarea pe CAG.

Consumul de ozon pentru dezinfectarea apei este în general de 0,5÷1 mg/dm³ și reprezintă 70÷80% din doza de clor la aceleași caracteristici ale apei.

În §6.35 au fost prezentate caracteristicile ozonului și instalațiile pentru producerea acestuia.

Elementele tehnologice determinante în dezinfectarea apei cu ozon sînt:

— timpul de contact necesar obținerii unei ape lipsite de bacterii este de cîteva minute;

— ozonul are un puternic efect asupra virușilor, realizînd o inactivare practic totală în 3′—4′;

— dezinfectarea cu ozon îmbunătățește calitățile organoleptice ale apei (gust, miros) și nu conduce la formarea de compuși secundari (formarea clorfenolilor, în cazul clorului).

Dificultățile în dezinfectarea apei cu ozon sînt date de costurile energetice ridicate și de ansamblul dozare — amestec — control (mai dificile decît în cazul clorului).

Cantitățile de ozon dizolvate în apă depind de temperatura apei și de presiunea de aplicare a dozei. Determinarea coeficientului de stabilitate se face cu dificultate, pentru că ozonul se descompune ușor în apă.

6.8.3. DEZINFECTAREA CU RAZE ULTRAVIOLETE

Razele ultraviolete cu lungime de undă cuprinsă între 200 și 300 nm, prezintă o acțiune bactericidă eficientă, cu un maxim care se realizează la 260 nm. Utilizarea razelor ultraviolete în distrugerea bacteriilor și virușilor este frecvent adoptată, întrucît nu se intervine în nici un mod cu agenți chimici în structura masei de apă.

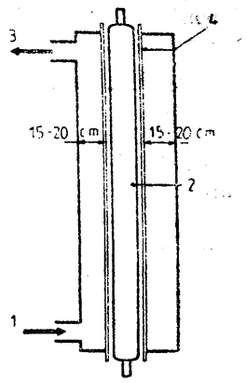


Fig. 6.87. Schema unui reactor cu raze ultraviolete: *1* — intrare apă brută; *2* — lampă ultraviolete; *3* — ieșire apă tratată; *4* — tub de cuarț.

Razele ultraviolete sînt produse de lămpi cu vapori de mercur, amplasate în baloane de cuarț.

Există două tipuri de lămpi:

— de presiune joasă, cu un consum de 8 W/W UV;

— de presiune înaltă, cu un consum de 15 W/W UV.

Cele de joasă presiune pot funcționa pînă la 8000 h, în timp ce lămpile UV de înaltă presiune pot asigura funcționarea pînă la 3000 h.

Aparatele de dezinfectare cu raze ultraviolete se compun din cilindri etanși, în care sînt amplasate lămpile plasate în tuburi de cuarț, pentru a fi izolate termic de apă.

În figura 6.87 se prezintă schema unui reactor cu raze ultraviolete.

Se realizează un curent de apă, cu grosimea de 15÷20 cm, care este străbătut de radiația UV și asigură oxidarea bacteriilor și virușilor.

Energia consumată pentru dezinfectare variază, în funcție de calitatea apei (turbiditate, conținutul de ioni metalici, oxizi), de la 15 la 40 Wh/m³.

Utilizarea metodei este indicată pentru sisteme izolate, cu debite reduse, unde alte sisteme de dezinfectare pot fi aplicate cu greu.

6.8.4. DEZINFECTAREA PRIN METODA OLIGODINAMICĂ

Se bazează pe proprietatea bactericidă a ionilor metalelor grele (argint, cupru) la o concentrație redusă în apa de dezinfectat (10—25 μg/dm³).

Studiile efectuate în Germania și S.U.A. indică eficiența ionilor de argint asupra bateriilor și virușilor, în condițiile unei ape fără conținut de suspensii și cu maximum 100 mg/l cloruri. Timpul de contact trebuie să fie de 4÷6 h.

Rezultate eficiente sînt citate la utilizarea procedeului prin electroargintare, la care un dispozitiv format dintr-un anod de argint și doi catozi din plăci de oțel, alimentat de la o sursă de curent continuu asigură trecerea ionilor de argint în apă. Metoda se aplică pentru debite mici în sisteme de alimentare cu apă izolate.

6.9. CĂRBUNELE ACTIV UTILIZAT ÎN TRATAREA APEI

6.9.1. CARACTERISTICI GENERALE

Utilizarea cărbunelui în conservarea calității apei (pe nave) este cunoscută de 200 de ani. În Anglia și Franța, cărbunele a fost utilizat în amonte de filtrele lente pentru corectarea caracteristicilor organoleptice ale apei; în 1942, existau în SUA 1200 uzine de apă, care utilizau sistematic cărbunele activ. Pentru prima oară cărbunele activ a fost fabricat în 1909, de către firma Norit — Franța.

Fabricația cărbunelui activ este realizată pornind de la diferite esențe de lemn, în două etape:

— carbonizarea lemnului, în prealabil uscat în atmosferă controlată la temperaturi de 500 °C; această distilare conduce la formarea unei structuri microporoase, scheletul fiind construit din microcristale asemănătoare cu cele ale grafitului (dimensiuni 20 la 50 Å); în acest stadiu, suprafața obținută este de ordinul a 10 m^2/g;

— *activarea* pe cale fizică sub forma unei oxidări cu gaz carbonic sau vapori de apă, la o temperatură de 1000 °C, timp de 10 pînă la 40 h; procesul asigură dezvoltarea unei structuri alveolare a scheletului de cărbune, suprafața obținută fiind de 600—1500 m^2/g, în funcție de gradul de activare.

Legea fundamentală a adsorbției pe cărbune activ a fost stabilită empiric de *Freundlich*, sub forma:

$$\frac{x}{m} = KC^{1/n}, \tag{8.65}$$

în care: x reprezintă cantitatea de impurități adsorbite; m — masa de cărbune activ; C — concentrația impurităților; K, n — constante experimentale.

În ultimele decenii, au fost efectuate numeroase cercetări, referitor la cinetica adsorbției; s-a ajuns la concluzia că aceasta se desfășoară în trei etape:

— transportul moleculelor pe suprafața exterioară;
— difuzia moleculelor în microporii materialului;
— adsorbția pe suprafața interioară a microporilor.

Weber a elaborat legea care caracterizează cel mai bine desfășurarea reacției la adsorbție, sub forma:

$$C_0 - C_t = K\sqrt{C_0 t}\, q, \tag{8.66}$$

în care: C_0, C_t sînt concentrațiile în substanțe în apă, inițială și la timpul t; q — cantitatea de cărbune activ; t — timpul; K — constanta experimentală care depinde de caracteristicile cărbunelui activ.

Influența diferiților parametri ai cărbunelui activ se poate sintetiza astfel:

— *finețea granulelor:* cercetări efectuate în S.U.A. arată că materialele foarte fine (sub 4 μm) sînt cu 50% mai adsorbante, comparativ cu cele cu granulometrie superioară (pînă la 50 μm);

— *densitate:* pentru un material dat, există o relație liniară între reducerea densității aparente și creșterea activității adsorbante;

— *conținutul de cenușă* nu influențează structura cărbunelui, dar reduce masa utilă de adsorbție; un factor important este dat de regenerarea chimică care duce la creșterea conținutului de cenușă cu 50%, fiind susceptibilă de reducerea proprietăților adsorbante.

Eficacitatea utilizării cărbunelui activ, din punct de vedere al tratării apei, se determină pe baza *indicelui FINAD*, stabilit de C. Gomella și admis unanim la congresul AIDE (Viena 1969).

Denumirea este stabilită astfel: F — fenol, I — iod, N — indol, A — antipirină, D — detergent (indicele de iod I reprezintă greutatea iodului, în g, adsorbit de 100 g de cărbune activ, în 4'; idem pentru indicele A, într-un timp de contact de 20'; ceilalți indici, F, N și D caracterizează tipurile de poluanți frecvent întîlniți în apele tratate cu cărbune activ).

În realizarea acestor teste, ținînd seama de complexitatea mecanismului de adsorbție sînt indicate elemente care să asigure condiții de diluție reprezentative.

În literatura de specialitate, se semnalează două procese de acțiune particulară a cărbunelui activ;

— în corelație cu clorul, cărbunele activ joacă nu numai rolul de adsorbant, dar și de catalizator, în sensul accelerării formării clorului ionic avînd la bază clor liber. Cărbunele activ este utilizat în multe situații pentru declorarea apei;

— s-a pus în evidență de către numeroși autori importanța taliei virușilor și influența sarcinii electrice în mecanismul de adsorbție. Se demonstrează că există un risc de desorbție, în special la virușii de talie mare (Polyo I).

6.9.2. TEHNICI DE UTILIZARE A CĂRBUNELUI ACTIV

• Ca regulă generală, *cărbunelc activ pudră* este adăugat în apă ca și majoritatea reactivilor utilizați pentru coagulare-floculare. Folosirea acestuia în fazele incipiente ale procesului de tratare a apei este indicată doar pentru poluări accidentale (Roterdam, Chicago), datorită inhibării capacității adsorbante a cărbunelui activ de către suspensiile care pot fi reținute prin floculare, în schemele obișnuite de tratare.

Se insistă foarte mult asupra unui amestec eficace al cărbunelui activ pudră cu apă, pentru a putea beneficia de capacitatea adsorbantă a acestuia; pentru o doză de 1 g/m^3, există practic pentru fiecare mm^3 de apă o particulă de cărbune activ, cu condiția realizării unui amestec perfect.

Recuperarea și regenerarea cărbunelui activ pudră, din nămolurile extrase din stația de tratare, a fost încercată prin preuscarea pînă la umiditatea de 75%, în timp de 20', la o temperatură de 400 °C; rezultatele obținute în SUA indică o pierdere de 1—5% material și creșterea conținutului în cenușă cu 2% la fiecare regenerare.

• *Cărbunele activ granulat* este utilizat în strate filtrante: în filtre cu nivel liber sau sub presiune, filtre în serie, filtre cu pat fix sau mobil și filtre cu straturi multiple.

Acțiunea cărbunelui asupra apei tratate este caracterizată prin existența în masa filtrantă a unei zone de transfer ZT (mass transfer zone) care indică că, în decursul ciclului de funcționare al unui filtru de cărbune, acesta își epuizează progresiv capacitatea de adsorbție, începînd cu stra-

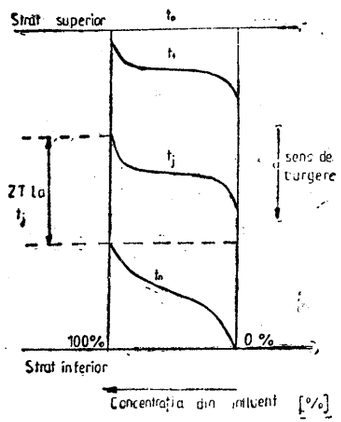


Fig. 6.88. Deplasarea zonei de transfer *ZT* într-un pat granular.

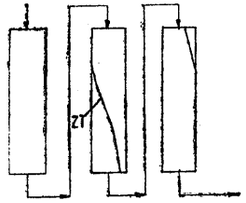


Fig. 6.89. Filtre de cărbune granular în serie (*ZT* — zonă de transfer).

turile apropiate intrării apei; zona *ZT* se definește ca suprafața de separație, la interiorul filtrului, dintre straturile epuizate din punct de vedere al capacității de adsorbție și straturile la care adsorbția nu se realizează.

În figura 6.88 se indică deplasarea *ZT* într-un strat de CAG.

La începutul ciclului de filtrare, ZT este foarte redusă, pentru că întreaga masă a cărbunelui activ este curată; apoi frontul de unde se deplasează în sensul curgerii, în interiorul filtrului.

Mecanismul zonei de transfer este același pentru toate tipurile de cărbune activ granular. În figura 6.89 se prezintă schema zonei de transfer pentru filtre amplasate în serie. ZT se deplasează de la interiorul primului filtru în al doilea filtru. Cînd ZT este situată în al doilea filtru, se poate by-passa primul filtru, pentru a regenera masa filtrantă.

Acest concept a condus la apariția instalațiilor de filtrare cu pat mobil, în care masa filtrantă se deplasează în sens invers curentului de apă, astfel încît să elimine progresiv materialul, avînd capacitatea de adsorbție epuizată în vederea regenerării.

Dimensionarea filtrelor de cărbune activ granular ține seama de următoarele:

— calitatea influentului și nivelul de calitate al apei tratate din punct de vedere al concentrațiilor și numărului de substanțe care este necesar să fie adsorbite;

— viteza de filtrare (10÷50 m/h) și grosimea stratului (1÷3 m) stabilite pe baza obiectivelor filtrului în schemele de tratare;

— caracteristicile cărbunelui din punct de vedere al capacității adsorbante și granulometriei; tipurile de cărbune activ granular utilizate actualmente au mărimea granulelor cuprinsă între 0,5÷2,5 mm, conținutul în apă <10%, masa volumică aparentă după tasare de 285÷340 kg/m³, suprafața porilor de 650—750m²/g, indicele de iod de 600—650 mg/g.

Actualmente, se apreciază că cea mai eficientă regenerare pentru cărbunele activ este regenerarea termică, în cuptoare cu pat fluidizat (sînt necesare în medie ≃ 150 dm³ de gaz și un kg de vapori pentru 1 kg de cărbune activ). În diagrama din figura 6.90 se indică variația costurilor funcție de capacitatea zilnică a instalațiilor de regenerare.

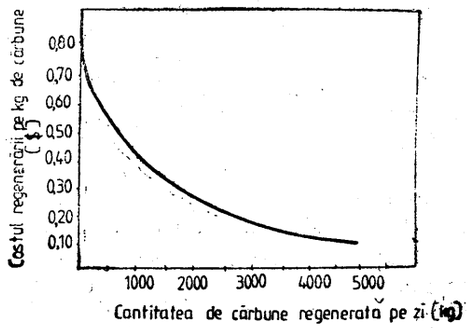


Fig. 6.90. Costul regenerării cărbunelui activ.

6.10. AMPLASAMENTUL ȘI DISPOZIȚIA GENERALĂ A STAȚIILOR DE TRATARE

6.10.1. ALEGEREA AMPLASAMENTULUI

Stațiile de tratare sînt complexe de construcții și instalații care se amplasează de regulă în afara centrelor populate, pentru asigurarea unei protecții sanitare mai simple și pentru eliminarea riscurilor de poluare în ambele sensuri.

Amplasamentul unei stații de tratare se adoptă luînd în considerare următoarele:

— poziția surselor de apă brută și protecția acestora împotriva eventualelor poluări din activitățile colectivităților umane sau activităților industriale;

— soluția de transport a apei tratate la consumatori, în condiții de siguranță totală;

— criterii tehnico-economice impuse de momentul proiectării și execuției stației de tratare (costul apei, indicatori de consumuri de materiale, capacitatea de a dispune de tehnologii);

— criterii sociale determinate de asigurarea cerinței de apă, cantitativ și calitativ, în primul rînd pentru populație.

Sînt recomandate amplasamentele din apropierea surselor pe spații sau terenuri slab productive, care să permită un traseu minim pentru apa brută, pentru recuperarea nămolurilor rezultate din stațiile de tratare, considerînd că soluția optimă, fără complicații tehnice de moment sau în perspectivă, este dată de transportul apei prin apeducte.

6.10.2. DISPOZIȚIA GENERALĂ A STAȚIILOR DE TRATARE

În alcătuirea dispoziției generale a stațiilor de tratare se va ține seama de următoarele principii fundamentale:

— utilizarea rațională a terenului, prin gruparea optimă a obiectelor care formează tehnologia de tratare;

— asigurarea curgerii gravitaționale cel puțin pentru linia tehnologică a apei ca debit principal;

— asigurarea soluțiilor tehnice pentru o exploatare sigură și fără dificultăți tehnice majore;

— minimizarea costurilor sistemelor anexe de deservire a stațiilor de tratare (electrice, apă, canalizare, transport soluții reactivi, nămoluri și ape de la spălare);

— respectarea distanțelor de protecție sanitară pentru toate calitățile de apă vehiculate prin stația de tratare; pentru fiecare stație de tratare trebuie să se elaboreze un act-normativ cu privire la distanțele de protecție sanitară în funcție de amplasament, distanțele față de sursele de poluare sau așezări umane, implicații posibile în caz de accidente.

Din punct de vedere al grupării obiectelor, se pun în evidență două dispoziții constructive caracteristice:

— dispoziția cu desfășurarea obiectelor în plan;

— dispoziția cu desfășurarea etajată a obiectelor.

În figura 6.91 se prezintă schema unei staţii de tratare, la care desfăşurarea obiectelor se realizează în plan, iar în figura 6.92 se prezintă schema unei staţii de tratare cu desfăşurarea etajată a obiectelor.

Fiecare din aceste dispoziţii constructive prezintă avantaje şi dezavantaje. În concepţia modernă a alcătuirii dispoziţiilor constructive ale staţiilor de tratare, se au în vedere următoarele:

— pentru fiecare calitate de apă brută există o singură tehnologie care conduce în mod optim la obţinerea calităţii apei tratate, deci şi o singură dispoziţie constructivă;

— în cadrul creşterii poluării surselor de apă, se impune ca, în următorii 10÷15 ani, toate tehnologiile să fie modernizate; acest element trebuie avut în vedere la proiectarea şi execuţia fiecărei staţii de tratare; în acest sens, se va ţine seama de posibilităţile de extindere în acelaşi amplasament, concomitent cu modernizarea proceselor tehnologice.

6.10.3. SISTEME ANEXE STAŢIILOR DE TRATARE

6.10.3.1. **Laboratoare şi spaţii de deservire.** În orice staţie de tratare este necesar să se prevadă spaţiile, dotările şi personalul corespunzător pentru efectuarea analizelor fizico-chimice, biologice şi bacteriologice, în vederea conducerii proceselor tehnologice şi asigurării parametrilor de calitate pentru apa tratată.

În tabelul 6.8 sînt indicate orientativ spaţiile necesare pentru deservirea ansamblului staţiei de tratare şi personalul de deservire complex care să asigure exploatarea unei astfel de instalaţii. Valorile din tabel au un caracter general, fiind stabilite pe baze statistice, luîndu-se în consideraţie situaţia actuală; în mod practic, fiecare staţie de tratare trebuie să dispună de un proiect complet al spaţiilor de deservire, al dotărilor şi în mod

Tabelul 6.8

Schema de organizare a staţiei de tratare

Nr. crt.	Tip laborator sau construcţie deservire	Suprafaţa [m²]	Personal de deservire staţie						Total personal
			Tehnologi	Chimişti	Biologi	Maiştri	M. calificaţi	M. necalificaţi	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Chimie	16,0—30,0							
2	Biologie	14,0—25,0							
3	Camera balante	4,0—5,0							
4	Depozit reactivi, analize	4,0—5,0	1—3	1—3	1—3	1—4	5—50	2—17	11—80
5	Atelier mecanic	30,0—50,0							
6	Camere personal	30,0—50,0							
7	Dispecer (+şef staţie)	50,0—100,0							

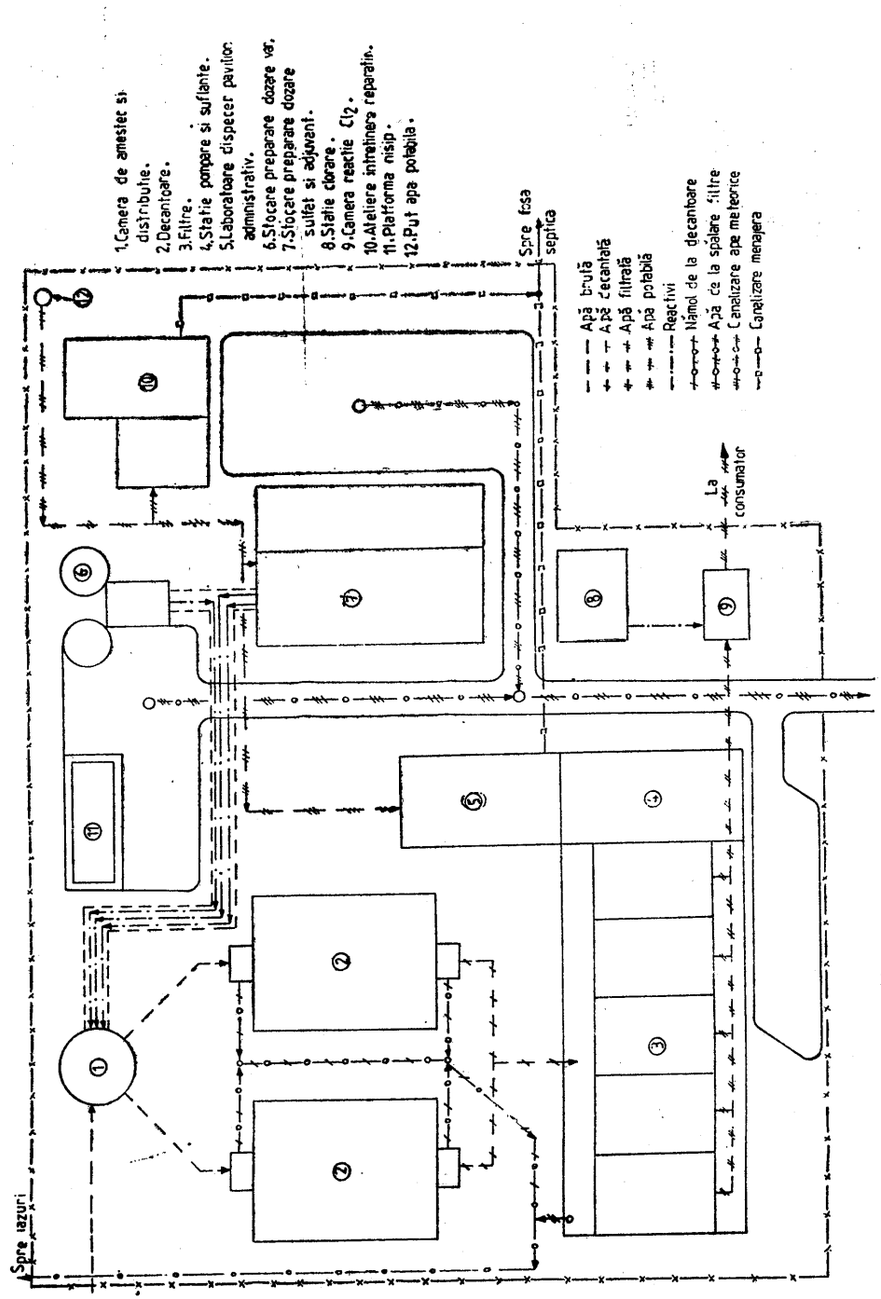
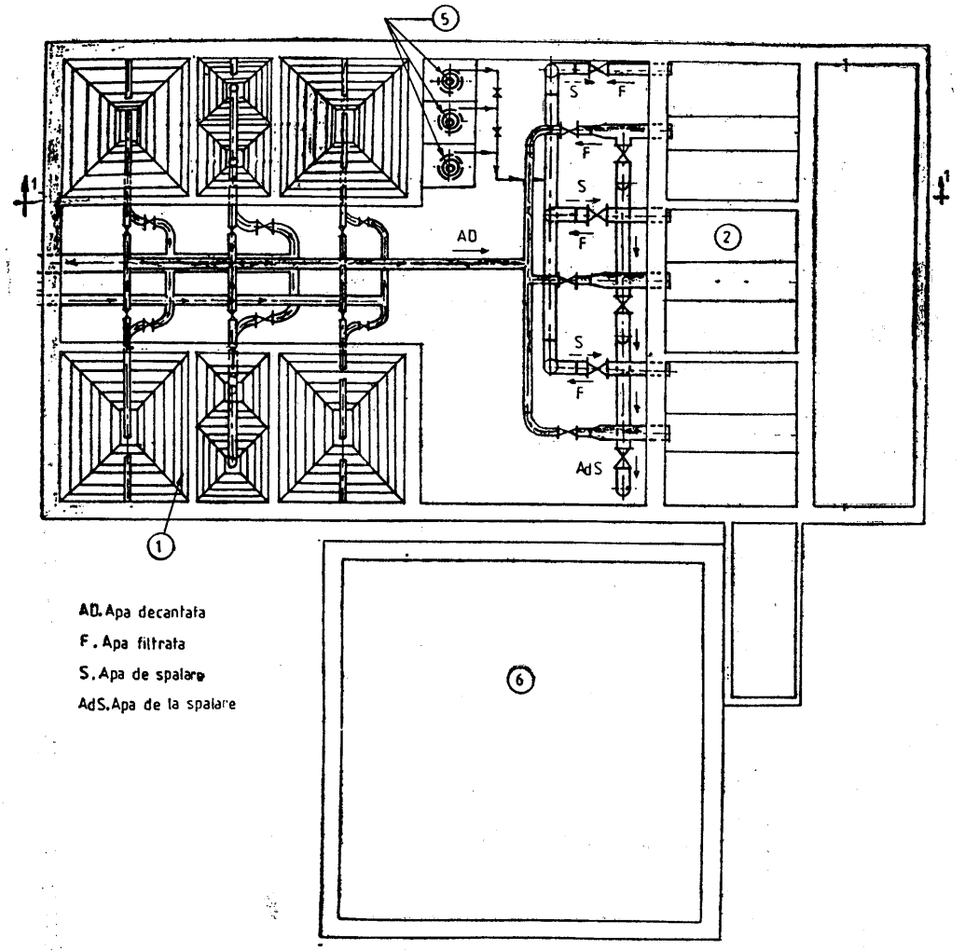


Fig. 6.9.1 Schema staţiei de tratare cu desfăşurarea obiectelor în plan.

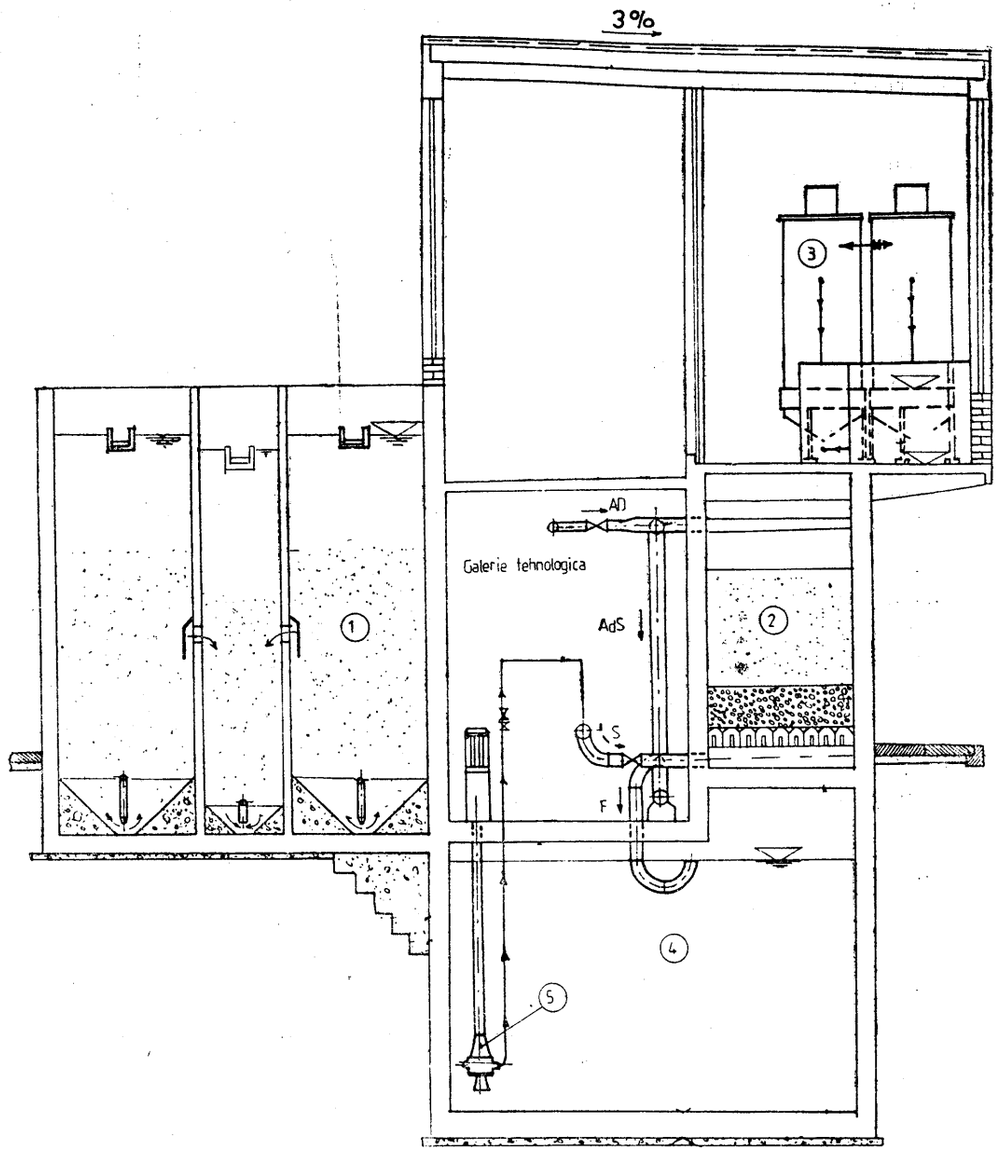


a

Fig. 6.92. Schema unei staţii de tratare cu desfăşurarea etajată a obiectelor: *a* — plan; *1* — decantor suspensional static; *2* — filtru rapid; *3* — staţie reactivi; *4* — rezervor apă filtrată; *5* — pompe spălare filtre; *6* — dezinfectare Cl_2; *AD* — apă decantată; *F* — apă filtrată; *S* — apă de spălare; *AdS* — apă de la spălare.

special al categoriilor de personal, pe nivele de calificare şi meserii, care să asigure o exploatare în bune condiţii a tehnologiei staţiei.

Pentru funcţionarea în condiţii corespunzătoare a unei staţii de tratare, este necesar să se asigure: alimentarea cu apă potabilă a staţiei (din apa subterană sau tratată), grupurile sanitare aferente, în funcţie de numărul persoanelor deservite, un sistem independent de canalizare menajeră (cu fosă septică sau staţie de epurare în afara incintei staţiei de tratare).



b

Fig. 6.92, (continuare): *b* — secţiunea *1—1*.

6.10.3.2. **Exploatarea staţiior de tratare.** Conducerea exploatării unei staţii de tratare are la bază un regulament pe baza căruia fiecare element din compunerea staţiei este pornit, oprit, revizuit, reparat, în concordanţă cu un program stabilit, funcţie de parametrii tehnologici şi necesităţile impuse de variaţiile calitative ale apei brute sau factorilor de mediu. Activitatea tuturor factorilor subiectivi şi obiectivi din complexul staţiei de

tratare este subordonată desfășurării optime a procesului tehnologic de corectare a calității apei.

Categoriile de lucrări și operații care intervin în exploatarea stațiilor de tratare sînt [34]:

— recoltări de probe și analize pe fluxul tehnologic;
— funcționarea în regim optim a instalațiilor, din punct de vedere tehnologic, al părților mecanice, electrice și de automatizare;
— revizia periodică provizorie și definitivă, în conformitate cu caietele de sarcini ale tuturor construcțiilor, utilajelor și instalațiilor;
— urmărirea sistematică a sănătății personalului de exploatare și a respectării normelor de igienă și de protecția muncii.

Eficiența de exploatare a unei stații de tratare se determină prin gradul de asigurare al indicatorilor de calitate normați sau ceruți de beneficiari, impuși de necesitățile consumatorilor, pentru orice calitate a apei din sursă, în condițiile de debit stabilite prin proiect (eficiența tehnologică) în limitele admisibile ale costului planificat (eficiența economică).

Eficiența economică presupune cunoașterea continuă a parametrilor calitativi și cantitativi ai apei brute și a celei tratate, în diferite trepte de prelucrare a apei, cunoașterea caracteristicilor calitative ale reactivilor utilizați.

Eficiența economică și tehnică a procesului tehnologic constă în utilizarea rațională a tipurilor de reactivi, a dozei acestora, a utilajelor și agregatelor care consumă energie electrică și a personalului tehnic ajutător, astfel încît, prin funcționarea corespunzătoare pentru fiecare treaptă de tratare, să se obțină un produs corespunzător normelor stabilite, la cost minim.

Parametrii calitativi și cantitativi care trebuie să fie măsurați pentru verificarea eficienței stațiilor de tratare depind de calitatea apei brute și complexitatea procesului de tratare. În funcție de mărimea debitului de tratare, se poate diferenția frecvența de măsurare a parametrilor tehnologici.

• Este necesar să fie măsurați în permanență următorii *parametri cantitativi:*

— debitul de apă brută (la intrarea în stație de tratare);
— debitul de apă tratată (la ieșirea din stația de tratare);
— debitul soluțiilor de reactivi și concentrația acestora, pentru verificarea dozelor de reactivi;
— frecvența evacuării nămolurilor și durata operației de evacuare;
— concentrația stratului suspensional, în cazul decantoarelor suspensionale;
— viteza colmatării micrositelor;
— viteza de fitrare;
— înălțimea și granulozitatea stratului filtrant;
— debitul de apă pentru spălare;
— debitul de aer pentru spălare;
— timp de spălare cu apă și aer;
— pierderea de sarcină prin filtre;
— durata între două spălări;
— consumul de energie electrică pe ansamblul stației și pe obiecte.

Pentru toate debitele de fluid neuniforme se va măsura și timpul pentru fiecare debit constant, pentru a se putea deduce toate cantitățile de apă,

aer și reactivi trecute prin instalație pe perioada de timp în care urmează a se face verificarea eficienței instalației.

Pentru stațiile de tratare dotate cu dispozitive mecanice (poduri racloare, agitatoare, site rotative), se recomandă efectuarea, mai frecvent în perioadele caracteristice (temperaturi scăzute, ploi, viituri), a următoarelor determinări: parametrii de funcționare optimă ai dispozitivelor mecanice de la floculator (camera de reacție); parametrii de funcționare optimă a podului raclor; verificarea turației sitei rotative.

• *Parametrii calitativi* care trebuie să fie determinați pentru procesele tehnologice de tratare a apei, locul de prelevare a probelor, precum și frecvența recoltării lor se stabilesc pentru fiecare stație.

Determinările pentru stabilirea încadrării caracteristicilor apei brute captate în limitele stabilite de STAS 4706-88 și ale apei tratate în normele corespunzătoare folosinței se vor efectua în conformitate cu prevederile instrucțiunilor tip de exploatare și ale regulamentelor de exploatare ale construcțiilor respective. Aceste determinări pot fi utilizate și pentru verificările de eficiență tehnologică.

Pentru stațiile de tratare la care echiparea laboratorului permite efectuarea de analize de tehnicitate cu precizie deosebită, se recomandă următoarele determinări suplimentare:

— conținutul de materii în suspensie în apa brută și decantată, în vederea stabilirii exacte a eficienței decantării pe baza echilibrului suspensiilor;

— conținutul de coagulant în apa filtrată, prin determinarea aluminiului (respectiv a fierului, siliciului) rezidual;

— conținutul de coagulant în nămolul depus în decantor;

— determinarea cantitativă a substanțelor care pot imprima apei culoare, gust și miros, prin concentrarea acestora pe cărbune activ și extragerea cu cloroform.

Prelevările de probe se vor efectua în secțiunile caracteristice ale procesului tehnologic, în conformitate cu instrucțiunile privind recoltarea probelor de apă.

Determinările se vor efectua pe probe momentane, dat fiind evoluția relativ lentă a indicatorilor de calitate în perioade caracteristice. În cazul unor modificări bruște și importante ale caracteristicilor calitative ale apei și la schimbarea dozelor de recativi, prelevarea probelor din fiecare fază a procesului tehnologic se va face la intervale egale de timp, corespunzătoare timpului real de rămînere a apei în fiecare fază, astfel încît să se poată examina aceeași masă de apă la trecerea prin fazele de tratare.

Analizele pentru verificarea eficienței treptelor de limpezire a apei se vor efectua urmărind indicatorii: turbiditate, pH, temperatură, materii în suspensie, culoare, alcalinitate, aluminiu, silice, stabilirea dozei optime de coagulant.

Analizele pentru verificarea eficienței reducerii indicatorilor de impurificare organică se vor efectua la oxidabilitatea substanțelor organice, exprimată prin consumul de $KMnO_4$, amoniac, azotați și azotiți, necesarul de clor.

Se precizează că efectuarea probelor de gust de la apa brută și filtrată este condiționată de caracteristicile fizice, chimice și bacteriologice ale apei, care nu trebuie să prezinte pericol pentru sănătatea degustătorilor.

Analizele biologice se efectuează în conformitate cu prevederile STAS 6329-90.

Pentru apa brută se vor urmări modificările biologice ale apei, în corelație cu indicatorii fizico-chimici (înflorire, apariția gustului și mirosului neplăcute).

Verificările efectuate pe apa decantată urmăresc să pună în evidență eventualele colmatări permanente ale filtrelor, datorită prezenței în apă a unor organisme care nu sedimentează în procesul de decantare.

Analizele bacteriologice se efectuează în conformitate cu STAS 3001-91 (pentru apa clorată). Pentru apa din treptele anterioare (brută, decantată, filtrată) se aplică schemele de diluție necesare pentru a depista și gradele mai mari de contaminare bacteriană.

6.10.4. AUTOMATIZĂRI ȘI CENTRALIZĂRI LA STAȚIILE DE TRATARE

Datorită complexității proceselor care intervin în stațiile de tratare, acestea foarte rar sînt în întregime automatizate. Un mare număr de funcțiuni, parametri și comenzi sînt automatizate, întrucît numai în acest mod se poate realiza un proces complet care să conducă la parametri de calitate doriți.

• *În instalațiile de reactivi* se urmărește cunoașterea concentrațiilor, dozelor și debitelor de soluție corelate cu debitele de apă brută.

Se adoptă principiul realizării unor linii independente de dizolvare, diluare, dozare, prin care se asigură: recircularea, pînă la atingerea concentrației dorite în depozitul umed; pomparea controlată a unui volum de o anumită concentrație în bazinul de diluție; introducerea apei de diluție pînă la atingerea concentrației; pornirea amestecului și pornirea pompei dozatoare. Elementul care ridică probleme în momentul de față este stabilirea automată a dozei de reactivi. Este în curs de implementare și dezvoltare în Europa sistemul S.C.D. (streaming current detector) care asigură automat confirmarea unei doze prestabilite prin metoda Jar Test și necesită calare la fiecare modificare semnificativă a calității apei brute.

• *În decantoare* se prevede controlul nivelelor, debitelor de apă decantată și de nămoluri extrase, concentrațiile în suspensii din stratul suspensional și în nămolurile evacuate. Toate utilajele se automatizează prin relee de timp, pe baza unui algoritm stabilit, luînd în considerație echilibrul suspensiilor intrate, reținute și ieșite din decantor.

• *În stațiile de filtrare*, progresele efectuate în domeniul automatizării sînt notabile, practic procesul de filtrare fiind condus automat în multe stații de tratare. Sînt concepute automate care înregistrează debite influente și efluente, viteze de filtrare, calitatea apei la intrarea și ieșirea din filtru, pierderile de sarcină totală în diferite secțiuni ale stratului filtrant. Acestea programează oprirea unui anume filtru, pregătirea instalației hidraulice (apă de spălare, aer comprimat) și spălarea acestuia după o metodă stabilită apriori.

Tipurile moderne de automate programabile [15] cu care sînt echipate cuvele filtrelor rapide sînt dotate cu:

— intrări tot sau nimic, care indică starea dispozitivului de închidere din dotarea filtrelor;

— ieșiri care permit declanșarea spălării prin acționarea vanelor, pompelor și compresoarelor de apă și aer și regulatoarelor;

— intrări analogice pentru măsurarea nivelului de apă, pierderii de sarcină și poziția vanei pe conducta de apă filtrată;

— microprocesor care gestionează reglajul fazei de filtrare, prin închiderea sau deschiderea vanei de pe conducta de apă filtrată;

— microprocesor care gestionează ciclul de spălare.

Stațiile de filtre sînt dotate cu automate echipate cu terminale, care realizează integral gestionarea ciclului de filtrare, atît din punct de vedere al cantităților de apă produse, cît și utilizate ca și calitatea apei filtrate și a apelor rezultate din procesul de spălare.

7.

CONSTRUCȚII PENTRU ÎNMAGAZINAREA APEI REȚEAUA DE DISTRIBUȚIE A APEI

7.1. ROLUL REZERVORULUI ÎN SCHEMA DE ALIMENTARE CU APĂ. COTA ȘI VOLUMUL REZERVORULUI

7.1.1. ROLUL REZERVORULUI

În schema de alimentare cu apă, prezența rezervorului permite:

— dimensionarea mai rațională a sistemului de alimentare cu apă;

— funcționarea tehnologică mai ușoară a obiectelor tehnologice; debite foarte lent variabile în timp pentru toate obiectele, exceptînd rețeaua de distribuție;

— sporirea siguranței în funcționare a sistemului de alimentare cu apă, prin acumularea unei rezerve de apă de calitate, în apropierea localității și situarea pe o cotă ce permite curgerea gravitațională a apei în rețea.

După cum a rezultat în capitolul 1, schema de alimentare cu apă este, rațional să fie dimensionată la debitul $Q_{s.zi\ max}$, pînă la rezervor și la $Q_{s.o.max.}$, după rezervor. Această divizare a valorii debitelor de dimensionare prezintă avantaje economice și tehnice de exploatare:

— toate construcțiile din amonte de rezervor se dimensionează la un debit constant o mare parte din timpul anului, debit care este și mai mic decît debitul instantaneu (debitul orar maxim, v. fig. 1.7).

— funcționarea la un debit constant permite menținerea instalațiilor la parametrii hidraulici relativ constanți în timp, fapt care ușurează mult exploatarea; totodată, permite obținerea unei eficiențe bune a unora dintre obiecte (la debit variabil, captarea cu puțuri sau drenuri se poate colmata, stația de tratare conduce la o calitate mai slabă a apei și la un consum mai mare de reactiv, stațiile de pompare se automatizează mai greu și au capacități mai mari etc.).

• Rezultă deci că, în *primul rînd*, rezervorul trebuie să aibă un anumit volum, care să asigure funcționarea curentă a rețelei de distribuție și să sporească siguranța în funcționare a sistemului de alimentare cu apă. Asigurarea funcționării rețelei se referă la faptul că în mod corect volumul de apă din rezervor trebuie să acopere diferența de debit, $Q_{o\ max} - Q_{zi\ max}$, la orice oră din an. Volumul de rezervor care asigură acest joc al debitelor de

apă este numit *volum de compensare a consumului*, V_c. Totodată, pentru combaterea incendiului, este necesară o cantitate de apă ce trebuie să fie la dispoziția organelor PSI, în orice moment și utilizabilă în rețea în orice punct. Pentru aceasta, trebuie înmagazinată în rezervor cantitatea necesară de apă. Acest volum de apă este numit *rezerva intangibilă* pentru combaterea incendiului, V_{inc}.

Tot în rezervor mai trebuie asigurat un volum de apă pentru cazul în care în circuitul amonte de rezervor (aducțiune, sursă etc.) apar situații de avarie (*volum de avarie*, V_{av}). În unele cazuri speciale mai pot fi asigurate volume de apă pentru funcționarea intermitentă a stației de pompare — înainte sau după rezervor — (volum numit volum suplimentar, V_{supl}), sau volume de apă justificate din considerente economice sau de siguranță în funcționare (V_{jus}).

Conform STAS 4165—88, volumul rezervorului va avea cea mai mare valoare dintre cele două valori calculate cu relațiile:

$$V_{rez} = V_c + V_{inc} + V_{supl} + V_{jus} \tag{7.1}$$

sau

$$V_{rez} = V_c + V_{av} + V_{supl} + V_{jus}$$

În mod normal, volumul rezervorului V_R este format din volumul de compensare, volumul intangibil de apă pentru combaterea incendiului (volumul rezervei de incendiu) la valori integrale și, total sau parțial, volumul de avarie, după cum rezultă din calcule tehnico-economice.

Avînd acest volum, rezervorul asigură din punct de vedere cantitativ debitul de apă solicitat de beneficiar în condiții normate.

• A doua funcționalitate a rezervorului este *asigurarea presiunii în rețea*. După cum a rezultat în capitolul 1, debitul cerut efectiv în rețea variază de la oră la oră, de la zi la zi. În această situație, acoperirea în condiții ușoare a presiunii necesare la branșamente (notată H_b, v. cap. 8) se poate face numai prin amplasarea cuvei rezervorului la o cotă convenabil aleasă. Pomparea directă a apei în rețea, cu un debit care să urmărească exact cererea de apă, este încă o soluție rar aplicată la noi în țară (din punct de vedere tehnic acest lucru este posibil, există însă probleme din punct de vedere economic). Acest sistem de pompare a apei, direct în rețea, se aplică numai pentru debite reduse (în cazul instalațiilor de hidrofor) sau al rețelelor de distribuție foarte dezvoltate și cu debite foarte mari (exemple: București, Timișoara, Constanța etc.), unde rețeaua însăși poate asigura o anumită compensare prin volum și utilizarea efectivă a apei de beneficiari, iar cota pentru amplasarea rezervorului lipsește (din cauza terenului relativ plat).

Totodată, pomparea directă a apei în rețea pune problema de siguranță în funcționare: cînd în rețea apare un incendiu, trebuie ca stația de pompare să funcționeze în orice condiții — lucru pentru care, conform prevederilor PSI, trebuie să aibă asigurată cel puțin o dublă sursă de energie pentru alimentare; acest deziderat este realizat de rezervorul amplasat la cotă ridicată, deoarece rezerva de incendiu poate și trebuie să fie folosită, chiar în cazul întreruperii alimentării cu apă a rezervorului.

Prin apropierea de consumator a unei rezerve mari de apă, amplasată la o cotă convenabilă, se asigură o funcționare robustă și economică a sistemului de alimentare cu apă, din care cauză rezervorul este rațional și justificat să fie prevăzut în schema de alimentare cu apă și cît mai aproape de utilizator.

7.1.2. DETERMINAREA COTEI

Cota rezervorului se determină astfel încît rețeaua de distribuție să asigure la marea majoritate, dacă nu la totalitatea beneficiarilor din incintă, presiunea la branșament (valorile presiunii la branșament H_b sînt date orientativ în tab. 8.1, cap. 8); pentru aceasta, se reprezintă grafic o secțiune verticală prin rezervor și un circuit din rețeaua de distribuție ales convenabil (fig. 7.1, *a*).

Prin *cota rezervorului* se înțelege cota văzută în interior a radierului construcției de înmagazinare a apei. Se notează cu C_R și se calculează conform schiței din figura 7.1, *a* cu relația:

$$C_R = C_c + H_b + h_e, \tag{7.2}$$

în care: C_c este cota topografică la branșamentul consumatorului;

H_b — presiunea necesară la branșament, în m . H_2O (conform tab. 8.1);

h_e — pierderea de sarcină pe circuitul rezervor — punct luat în considerare.

Pierderea de sarcină h_e se poate aprecia inițial cu relația:

$$h_e = i_{med}\Sigma l, \tag{7.3}$$

în care: Σl este suma lungimii tronsoanelor străbătute de apă pe drumul cel mai scurt între rezervor și consumator (măsurată pe conducta de legătură rezervor-rețea și apoi pe traseul străzilor);

i_{med} — panta hidraulică medie, apreciată în etapa de predimensionare în limita 0,003 ÷ 0,008 (limitele corespund valorilor vitezelor economice de curgere prin conductele rețelei de distribuție; în cazul alimentării gravitaționale a rezervorului, valoarea poate fi mai mare).

Pentru aplicarea relației (7.2) sînt necesare aproximații succesive, întrucît nu se cunoaște nici poziția rezervorului, nici poziția punctului care ar conduce la stabilirea cotei rezervorului și nici dimensiunea conductelor prin care apa curge între cele două puncte.

În mod sistematic se procedează astfel:

— se predimensionează cota rezervorului;

— se caută cota maximă a spațiului locuit (C_c);

— se determină presiunea la branșament;

— se dispune de un plan de situație general, cu curbe de nivel;

— se calculează suma $C_c + H_b = C'_R$

— se caută pe plan o cotă C'_R așezată pe direcția sursă de apă-oraș astfel încît, formal, lungimea traseului să fie cît mai mică;

— se stabilește dacă punctul de cotă respectivă există la distanțe mici de oraș (3—5 km) și (1) atunci calculul se continuă pentru rezervor sau (2) cota nu există, deci va fi nevoie de castel de apă sau altă soluție.

• Dacă soluția cu rezervor este posibilă, C'_R devine cota provizorie a rezervorului. În continuare, se stabilesc:

— punctul de legătură al rezervorului cu rețeaua; nodul de legătură va avea cel puțin trei bare și va fi la o cotă mai înaltă (dacă este posibil);

— se alege din rețea poziția punctelor care ar putea conduce la o cotă mai mare a rezervorului — punctul de cotă maximă și depărtat de punctul

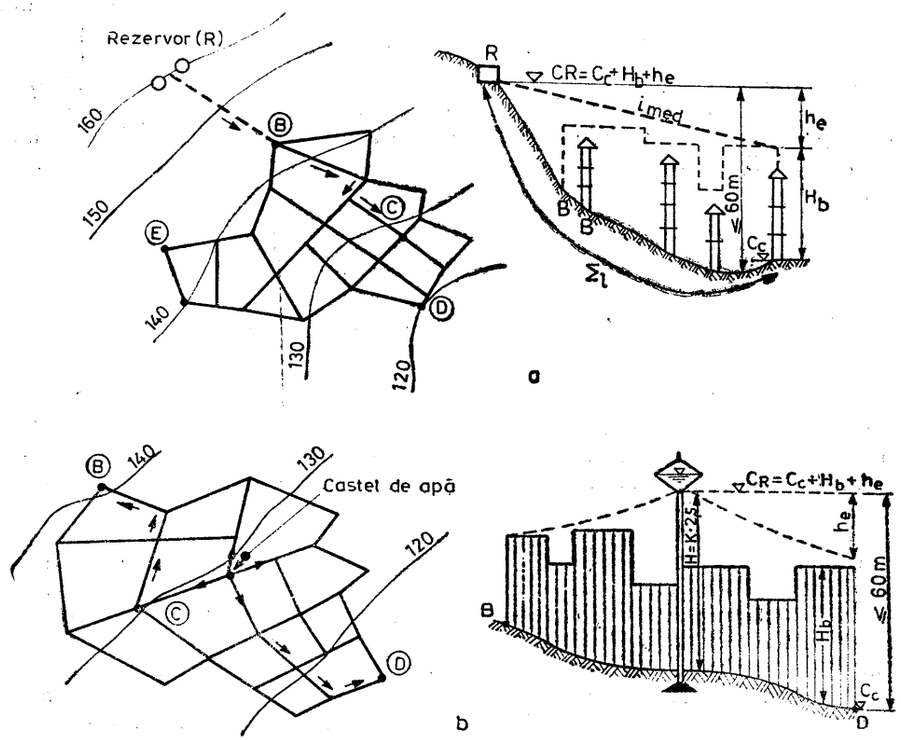


Fig. 7.1. Determinarea cotei rezervorului: *a* — rezervor-rețea (vedere în plan și secțiune verticală); *b* — castel de apă-rețea (vedere în plan și secțiune verticală).

de intrare (*E* în fig. 7.1, *a*), punctul de cotă mai mică, dar cel mai depărtat de punctul de intrare (*D*), punctul de amplasare a unor utilizatori cu presiune mare la branșament, punctul de cotă minimă din rețea (*D*);

— pentru fiecare din punctele alese, se calculează pierderea de sarcină pe circuitul rezervor-punct de intrare în rețea — drumul cel mai scurt între punctul de intrare și punctul de calcul;

— pentru fiecare punct se calculează suma:

$$C_R = C_c + H_b + h_e$$

— se alege valoarea C_R cea mai mare și se compară cu valoarea aproximată la început C'_R;

• Se reia calculul, modificînd poziția rezervorului funcție de diferența $C_R - C'_R$ și se reface calculul pînă cînd această diferență este mică (0,5 ÷ ÷ 1,0 m); în această situație, se fixează cota rezervorului și se cunoaște punctul din rețea care conduce la această cotă, *punct dificil* sau *punct de comandă*.

• Se verifică dacă presiunea statică maximă în rețea depășește 60 m ($C_R - C_c^{min} < 60$ m); *dacă nu*, rețeaua de distribuție este unitară, alimentată din același rezervor; *dacă da*, rețeaua trebuie *ruptă* în zone de presiune; fiecare zonă de presiune se comportă ca o rețea independentă avînd rezervorul ei; soluția în acest caz trebuie analizată mai detaliat;

• Cota rezervorului va putea fi corectată după dimensionarea completă a rețelei de distribuție;

• Dacă din calcul, în condițiile reliefului dat, rezultă că este necesar un castel de apă, calculele sînt similare cu cele de la rezervor, cu două observații: castelul se amplasează în oraș sau cît mai aproape de oraș pe un amplasament cu cotă mare; înălțimea castelului este limitată și va fi modulată la 2,5 sau 5,0 m pentru a putea folosi proiectele tip existente (fig. 7.1, *b*).

7.1.3. DETERMINAREA VOLUMULUI REZERVORULUI

Volumul rezervorului se determină ținînd seama de mărimea celor trei volume componente curent întîlnite și de tipul construcției, rezervor sau castel de apă.

• *Rezerva de compensare* (V_c) se determină grafic sau analitic, astfel încît volumul de apă să fie reținut în rezervor în perioadele în care nu este solicitat în rețea și să fie distribuit în perioadele cînd este solicitat în rețea, în perioadele de consum maxim. Pentru înțelegerea calculului, se execută un grafic de forma celui din figura 7.2.

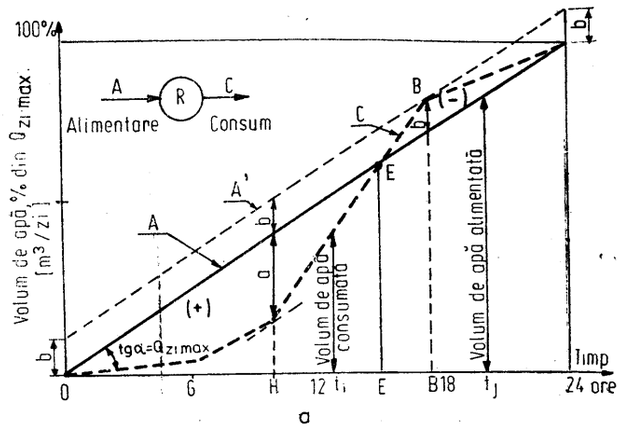
În abscisă sînt trecute cele 24 ore ale zilei. În ordonată este trecut volumul consumat sau alimentat, în procente din debitul zilnic maxim, (măsurat în m³/zi). Pe acest grafic se desenează cele două curbe care reprezintă debitul de alimentare — volumul de apă intrat (alimentat) în rezervor, *A* și debitul de consum — volumul de apă plecat din rezervor (consumat) *C*. Dacă din rezervor nu ar ieși apă deloc timp de 24 ore și la ora zero rezervorul era gol, la sfîrșitul zilei în rezervor ar trebui să se găsească volumul (100%) $Q_{s\ zi\ max}$. S-a arătat mai înainte că debitul de alimentare a rezervorului este uniform, deci în fiecare oră intră în rezervor $100\%Q_{s\ zi\ max}/24\ h = 4{,}16\%\ Q_{s\ zi\ max}$, în m³/h. Din figura 7.2, *a* rezultă că alimentarea va fi reprezentată printr-o dreaptă, iar tangenta unghiului de înclinare este chiar debitul zilnic maxim, măsurat la scara graficului ($V_i/t_i = Q_i$).

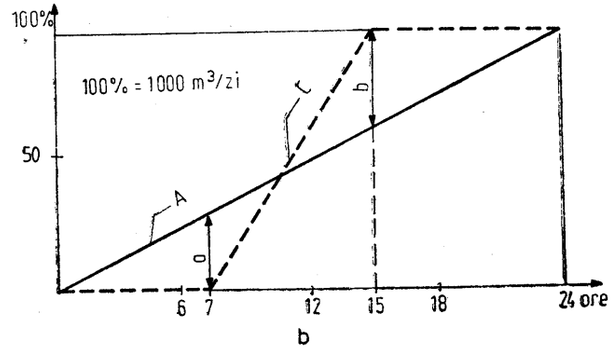
Se reține deci că *înclinarea tangentei* la curbă *reprezintă*, la o scară ce se poate construi, *debitul* la timpul t_i respectiv.

Să presupunem că, printr-un mijloc oarecare, putem cunoaște care este regimul de consum al apei din rezervor (cîtă apă iese din rezervor în fiecare oră sau cîte procente din volumul zilnic de apă ies în fiecare oră).

Reprezentînd grafic volumele de apă care ies, însumate de la ora zero, se obține o curbă oarecare *C* — *curba de consum*. Se observă că în prima perioadă consumul este mai mic decît alimentarea (tangenta la curba *C*, care reprezintă debitul orar în momentul respectiv, este mai puțin înclinată decît tangenta la curba *A*), deci în rezervor se acumulează apă. Volumul cel mai mare acumulat se realizează în momentul în care debitul de consum este egal și tinde să depășească debitul de alimentare (punctul *H* în care tangentele la cele două curbe sînt paralele). Acest volum se notează de obicei cu *a*. La ora *E*, tot volumul de apă acumulat s-a consumat, deci rezerva este zero. Rezultă că, dacă în rezervor există un spațiu de înmagazinare egal cu *a*, se poate asigura consumul la beneficiar pînă la ora *E*.

În continuare, consumul este mai mare decît alimentarea (tangenta la curba de consum este mai înclinată decît tangenta la curba de alimentare între punctele *H* și *B*) și deci, pentru a putea asigura diferența de debit,





Volumul de compensare % din $Q_{zi\ max}$ [m³/zi] conf STAS 4165-88

În localitățile mici	N<5	5<N≤10	10<N≤20	20<N≤50	50<N≤100	100<N<300
%	50	40	30	30	25	20

Fig. 7.2. Determinarea grafică a volumului de compensare: *a* — alimentare constantă, consum variabil în timp la rezervor de trecere; *b* — alimentare constantă pe durata unei zile, consum constant pe o durată mai mică de o zi.

ar trebui să existe înmagazinat în prealabil un volum de apă. Volumul cel mai mare necesar pentru ca să se poată asigura consumul pînă la ora 24 este realizat în punctul *B* (debitul de consum este egal cu debitul de alimentare), apoi consumul începe să scadă, deci începe să se acumuleze din nou apă în rezervor, astfel încît a doua zi, cuva rezervorului nu mai este goală, ci are acumulat volumul *b*. Cu acest volum, curba de alimentare se translatează (curba punctată *A'*) și are ordonata egală cu curba de consum în punctul *B* (rezerva este consumată).

Rezultă că cea mai mare diferență între volumul de apă acumulat și volumul de apă consumat pe parcursul zilei se realizează în punctul *H* și este egală cu suma celor două volume *a* și *b*:

$$V_c = \frac{a+b}{100} Q_{zi\ max} \quad [m^3]. \tag{7.4}$$

În această relație, $Q_{zi\ max}$ trebuie exprimat în m³/zi, volumul rezultînd în m³. Pentru completare, mai trebuie să fie lămurite două probleme: (1) de ce în grafic se lucrează în procente și nu în valori absolute, (2) de unde se cunoaște curba de variație a consumului, întrucît sistemul de alimentare nu există pentru a se putea măsura cum folosește beneficiarul apa.

Astfel: (1) se lucrează în procente pentru ușurința calculului; (2) se apreciază din literatura tehnică de specialitate făcîndu-se măsurători la localități alimentate cu apă și care au condiții climatice și mărimi apropiate; nu se face un calcul detailat, întrucît, pentru localități, STAS 4165—88 precizează valorile volumului de compensare în funcție de mărimea localității; valorile sînt date în tabelul din figura 7.2; prin măsurători în rețea se poate stabili volumul de compensare real necesar abia după executarea lucrărilor și *exploatarea lor normală.*

Se atrage atenția că funcționarea discontinuă a alimentării cu apă a beneficiarului denaturează complet modul rațional de alimentare cu apă și deci volumul de compensare poate fi oricînd insuficient (fig. 9.3).

Un alt factor care poate face ca volumul să fie insuficient este risipa, pierderea de apă în rețea (nu a intrat în calcul dar, va greva modul de lucru al rezervorului).

Practic nu se lucrează grafic ci analitic, în tabele, precizia fiind mult mai mare.

Aplicația 9

Să se determine volumul de compensare necesar rezervorului din schema de alimentare cu apă a unei industrii. Debitul zilnic maxim, ce se asigură uniform de la o captare cu puțuri, este de 10 000 m³/zi, iar consumul se realizează uniform într-un schimb, între orele 7—15.

Alimentarea din sursă subterană prin captare cu puțuri presupune o funcționare uniformă, deci curba de alimentare A a rezervorului va fi uniformă în cursul zilei. Conform temei, consumul se va face uniform între orele 7—15 (uzina funcționează într-un schimb).

Cele două curbe sînt reprezentate în graficul din figura 7.2, *b*.

Rezultă că se realizează valoarea a a volumului acumulat (numit și maxim pozitiv) la ora 7, iar valoarea b (maxim negativ) la ora 15. Forma curbei permite calculul imediat, prin interpolare:

$a = (100/24)\cdot 7$

$b = (100/24)(24-15)$

$$V_c = \frac{a+b}{100} Q_{s\ zi\ max} = \frac{7+9}{24} Q_{s\ zi\ max} = (16/24)\ 10\,000 = 6700\ \text{m}^3$$

• *Volumul de avarie* V_{av} se determină, conform prevederilor STAS 4165—88, în funcție de lungimea conductei de aducțiune, stabilitatea și accesibilitatea terenului de execuție a aducțiunii, importanța obiectivului alimentat etc., astfel:

$$V_{av} = Q_{min}(T_{av} - T_i) - Q'T_{av}\ [\text{m}^3], \qquad (7.5)$$

în care: Q_{min} este debitul minim, în m³/h, necesar pentru funcționarea sistemului de alimentare cu apă pe durata avariei (pentru localități se consideră 60 ÷ 80% din debitul zilnic maxim);

T_{av} — durata maximă, în ore, de remeidere a unei avarii pe circuitul amonte de rezervor (18 ÷ 24 ore pentru conducte cu diametrul peste 800 mm, 9 ÷ 16 ore în celelalte cazuri) sau cel de scoatere din funcțiune a stației de pompare (timpul admis pentru întreruperea cu energie electrică a stației de pompare este de 6 ore pentru localități cu mai puțin de 10 000 locuitori, de 4 ore pentru localități de 10 000 ÷ 50 000 locuitori, de 2 ore pentru localități cu 50 000 ÷ 100 000 locuitori, zero la localități cu peste 100000 locuitori);

T_i — timpul maxim, în ore, în care se admite întreruperea completă a alimentării cu apă a localității (pentru orașe cu mai mult de 100 000 locuitori, $T_i = 0$);

Q' — debitul care poate fi obținut de la alte surse considerate că funcționează la capacitatea maximă.

Rezultă că cele două elemente care grevează mărimea rezervei de avarie sînt siguranța în funcționare a aducțiunii și siguranța alimentării cu energie electrică a stațiilor de pompare, pe traseul amonte de rezervor.

Pentru o alegere corectă a soluției (mărimea rezervei de avarie), este necesar să fie puse în balanță și soluții alternative. Astfel:

— se poate asigura o rezervă mare de apă în rezervor, necesară pentru alimentarea cu apă pînă la remedierea celei mai complicate avarii, alimentînd localitatea cu debite reduse (strict necesare), în care caz rezultă o construcție mare, cu un cost ridicat;

— se poate reduce volumul acestei construcții, dacă: se asigură alimentarea rezervorului printr-o aducțiune formată din două sau mai multe sisteme de transport sau din două sau mai multe surse de alimentare cu apă; se asigură două sau mai multe surse de alimentare cu energie a stațiilor de pompare, astfel încît acestea să funcționeze continuu (timpul de oprire este cel de schimbare a surselor de alimentare — cuplarea noii surse electrice de alimentare, pornirea grupurilor electrogene pentru producerea energiei electrice, pornirea motopompelor și racordarea lor la circuitul principal etc.); în ultimul caz, se va reduce volumul de avarie, deci costul rezervorului, dar va crește costul pentru lucrările pe aducțiune, la stația de pompare, sistemul de automatizare și control.

Mai trebuie reamintit că pierderea și risipa de apă în zona de utilizare a apei pot face ca rezerva de apă să fie redusă (spațiu în rezervor există), din cauză că această rezervă de apă nu este protejată. Pentru a putea fi disponibilă oricînd, ar trebui să fie protejată după modul în care este protejată rezerva de incendiu.

Trebuie precizat că nu se poate asigura orice valoare a volumului de avarie, limita maximă fiind legată de asigurarea calității apei. La volume ce depășesc necesarul pe cîteva zile, sînt necesare soluții de combatere a degradării calității apei (de regulă ar trebui introdus ozon în apa din rezervor).

• *Rezerva intangibilă de incendiu* V_i se determină conform prevederilor PSI (v. cap. 1) și este formată din rezerva efectivă pentru combaterea incendiului și volumul de apă necesar consumatorilor obișnuiți, pe perioada în care se combate incendiul.

Ca ordin de mărime, volumul rezervorului rezultă, pentru centre populate (conform prescripțiilor actuale), egal cu circa jumătate din necesarul zilnic de apă.

Suma celor trei volume formează volumul rezervorului. Din motive de uniformizare, STAS 4165—88 impune rotunjirea volumelor rezultate, astfel: 25; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 750; 1000; 1500; 2000 5000; 7500; 10 000 m³. La volume mai mari, se adoptă valori de la caz la caz.

Rezervoarele cu volum sub 200 m³ pot fi prevăzute cu o singură *cuvă*, iar cele mai mari, cu 2 sau mai multe cuve, egale, avînd volumul rotunjit la una din valorile de mai sus.

Castelele de apă se prevăd cu o singură cuvă, al cărui volum nu va depăși 2000 m³ (din motive de execuție). În cuva castelului, nu se va păstra decît rezerva de compensare și parțial rezerva de incendiu. Rezerva de avarie va fi ținută într-un rezervor la sol din care apa va fi pompată în caz de nevoie.

În cazul în care, din condițiile de teren, rezultă că nu este posibilă soluția cu rezervor la sol, se impune soluția cu castel de apă. Din calculele legate de stabilirea volumului, rezultă însă un volum foarte mare (la noi în țară cel mai mare volum înmagazinat în castelul de apă este de 2000 m³, iar în lume sînt cîteva castele de apă cu volume peste 5000 m³). În această situație, castelul nu se poate prevedea, întrucît nu asigură volumul necesar.

Soluțiile ce pot fi adoptate presupun amplasarea în poziția avantajoasă a rezervorului, care se va executa de volumul necesar (o parte de compensare, volumul de avarie, o parte din volumul rezervei de incendiu) și una din variantele:

1 — pomparea apei în regim variabil direct în rețea cu o automatizare complicată și riscul de a nu asigura cerințe de apă în condiții bune la toți utilizatorii;

2 — pomparea apei în regim variabil într-un castel de apă de volum redus (100 ÷ 500 m³), cu rol de asigurare a cotei apei în rețea și automatizare ușoară a stației de pompare.

În ambele soluții, stația de pompare va avea sursă dublă de alimentare cu energie și în ambele cazuri stația de pompare va asigura, cu pompele uzuale sau cu pompe special prevăzute, pomparea debitului de incendiu.

Soluțiile prevăzute au avantaje și dezavantaje. Astfel, prima soluție, deși complicată în exploatare (pomparea trebuie să urmărească real curba de consum efectiv a apei — altfel se consumă suplimentar energie — și în mod accidental presiunea în rețea nu trebuie să depășească 60 m), are un mare avantaj — este o soluție elastică; dacă după un timp rețeaua de distribuție se dezvoltă peste limitele prevăzute în proiectul inițial (sînt prevăzute blocuri mai înalte), prin schimbarea pompelor (nu în limite mari, întrucît apar dificultăți la schimbarea gabaritului pompelor), se poate ridica presiunea în rețea sau spori debitul (prin corectarea corespunzătoare și a rețelei de distribuție). Modificările vor fi făcute cu multă atenție, pentru a nu ajunge la o soluție neeconomică pe ansamblu (se poate lua în considerare o soluție cu modificarea locală a presiunii sau o soluție cu zonarea rețelei de presiune).

A doua soluție (rigidă, deoarece castelul odată executat nu mai poate fi modificat) prezintă avantajul unei soluții economice, întrucît automatizarea pompelor poate fi făcută astfel încît pompele să funcționeze în zona randamentului maxim. Dimensionarea pompelor nu este făcută în funcție de necesarul cerut imediat de rețea, ci prin intermediul castelului de apă, deci cu oarecare rezerve; automatizarea pompelor se face după nivelul apei din cuva castelului și pompele vor funcționa numai în zona randamentului

maxim (dacă au fost alese astfel); rezerva se poate determina dacă se urmărește schema de calcul dată în figura 7.3. Uneori se poate greși în ceea ce privește valoarea debitului $Q_{o\ max}$ și anume: dacă în realitate, în localitate, debitul real $Q_{o\ max}$, din diferite motive (pierderi mari de apă, risipă de apă, folosirea discontinuă a apei, apreciere greșită a necesarului de apă etc.), este mai mare, atunci pompele nu vor putea asigura valoarea cerută pentru $Q_{o\ max}$ și funcționarea va fi deficitară pînă la stabilirea unei utilizări corecte a apei.

Cînd aprecierea necesarului de apă a fost deficitară sau s-a modificat în timp, gradul de dotare cu instalații interioare (deci a crescut necesarul de apă), singura soluție rămîne schimbarea pompelor.

Calculul analitic [1], [26], [28], [26] se face în următoarea ordine (manual sau pe baza unui program de calcul, v. fig. 7.3, în următoarele ipoteze de calcul: durată de compensare — o zi; bază de timp — o oră):

— se predimensionează rezervorul și, după alegerea tipului de construcție, se obține curba $V_{rez} = f(h)$, h fiind înălțimea apei în rezervor (de regulă fără rezerva de incendiu care este obligatorie);

— se predimensionează castelul (cotă, volumul adoptîndu-se proporțional cu mărimea debitului $Q_{o\ max}$ între 100—1000 m³) și se determină curba $V_{castel} = f(h)$;

— se alege tipul de pompă, cunoscînd înălțimea maximă de pompare H și apreciind debitul pompat aproximativ egal cu debitul minim orar;

— se stabilește curba tip de consum a apei din castel, $C(t)$ și curba de alimentare a rezervorului $A(t)$ — de regulă alimentare constantă în timp;

— la ora de începere (curba f) se citește debitul necesar în rețea $C(t)$ și debitul de alimentare $A(t)$;

— se determină, în funcție de volumul apei în rezervor, h_{rez} (curba b) și deci H;

— din curba c rezultă debitul pompat și numărul de pompe; debitul se concretizează în curba e, curbă care cu valori cumulate conduce la obținerea curbei Q_p din graficele g și h;

— din graficul h diferența $Q_p - C(t)$ conduce la volumul de apă existent în castel (care nu poate fi negativ — deci în castel există apă la orice oră — teoretic la limită volumul poate fi zero, v. fig. 7.2);

— volumul de apă din castel permite aflarea cotei apei din castel, (graficul d) și deci se stabilește prin graficul de automatizare pornirea sau oprirea motoarelor; atenție deci, pompele sînt automatizate pe nivelul apei din cuva castelului — deci prin schimbarea nivelelor de pornire-oprire se poate schimba curba de pompare funcție de curba de consum; reglarea se va face astfel încît să nu se piardă apa prin preaplin;

— se continuă calculul pînă la trecerea perioadei de compensare de o zi și rezultă curbele A, Q_p, C din graficele g, h;

— se calculează volumul de compensare din castel și dacă este mai mic decît cel predimensionat sau este posibil constructiv, se consideră calculul terminat; dacă volumul rezultă prea mare se reia calculul, chiar cu modificarea tipului de pompă (pentru a mări numărul pompelor și a face un joc *mai fin* al funcționării acestora);

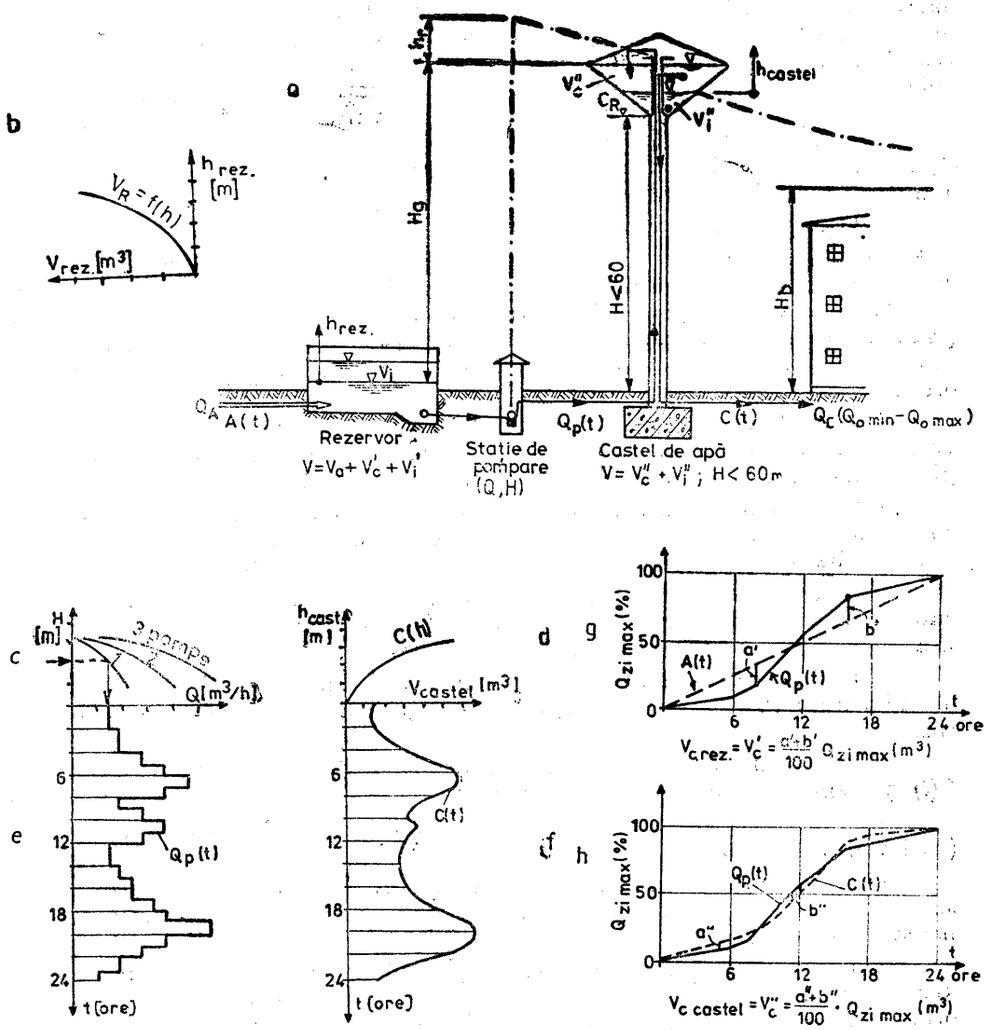


Fig. 7.3. Determinarea volumului de compensare la un complex de înmagazinare format din rezervor şi castel de apă: *a* — schema generală de funcţionare; *b* — curba variaţiei volumului rezervorului cu înălţimea; *c* — curba de funcţionare a pompelor; *d* — curba de variaţie a volumului castelului în funcţie de înălţimea apei în cuvă; *e* — curba de pompare; *f* — curba de consum a apei în localitate; *g* — grafic pentru determinarea volumului rezervorului; *h* — idem pentru castel.

— se calculează volumul de compensare din rezervor şi se compară cu cel predimensionat;

— pentru siguranţă, la echipărea rezultată (volum rezervor, număr şi tip de pompe, volum de castel) se poate încerca verificarea gradului de siguranţă posibil, dacă se modifică graficul curbei de consum $C(t)$, grafic care, după cum s-a precizat, nu este cunoscut în mod real decît după darea în funcţiune şi exploatarea normală a întregului sistem.

Observaţii:

• În cazuri justificate, se poate considera o perioadă de compensare, alta decît cea zilnică, acceptată în mod curent; deşi în literatura tehnică de specialitate nu se indică un asemenea calcul, el se poate face şi rezultatele, dacă sînt avantajoase, pot fi adoptate pentru realizarea practică; sînt însă necesare măsuri robuste pentru menţinerea calităţii apei pe noua durată de compensare — de exemplu compensarea săptămînală; această compensare trebuie să fie însă o compensare reală a unei folosiri raţionale a apei şi nu acoperirea unor deficienţe în funcţionarea sistemului.

• Pentru cazuri speciale, se poate lua în considerare pomparea apei în sistemul de alimentare în regim discontinuu; dacă de exemplu sursa de apă este la distanţă şi energia de pompare necesară este mare, se poate lua în considerare soluţia cu divizarea rezervorului şi pomparea apei în orele în care consumul de energie este mai redus (se evită vîrful de sarcină în sistemul energetic); în acest caz, volumul suplimentar din rezervoare este justificat.

• Atunci cînd rezervorul este alimentat gravitaţional, cota acestuia se va alege astfel încît: să nu fie depăşită presiunea maximă în reţea (60 m), să se permită dezvoltări viitoare, să se realizeze viteze mari de circulaţie a apei în reţea (deci nu se mai respectă precizarea că panta medie hidraulică este de 3—8‰).

• Din cauză că în general castelul de apă este o construcţie puţin aspectuoasă, scumpă, greu de executat şi *rigidă* în perspectivă (şi acum în oraşele noastre există multe castele care sînt goale întrucît presiunile asigurate de acestea sînt mai mici decît presiunea din reţea care a crescut între timp), s-a început înlocuirea lor cu rezervoare metalice pe sol de tip hidrofor (în Franţa există realizări la volume de 1500...2000 m³); aceste construcţii pot fi mascate relativ uşor, pot fi recuperate la nevoie şi, ce este mai important, prin modificarea presiunii de funcţionare, pot fi adoptate la un nou regim de presiune în reţea.

• În multe cazuri, în rezervoare, pot fi prevăzute volume de apă pentru alte folosinţe decît pentru cele menţionate, şi anume: volum de apă pentru dezinfectarea apei, volum de apă pentru o rezervă de apă de spălare etc.

• Se atrage atenţia asupra importanţei utilizării raţionale a apei în reţea. Dacă se pierde apa nejustificat, rezervorul, oricît de bine ar fi dimensionat, nu va fi suficient de mare.

• Se poate considera că un volum mare de rezervor este mai sigur în funcţiune; un asemenea volum poate fi extrem de util pentru cazul unor poluări accidentale în zonă sau la sursă; din motive de dimensionare *economică*, volumele rezervoarelor din localităţile ţării noastre sînt modeste ($0{,}2 \div 0{,}5\ Q_{zi\,max}$, cînd ar trebui să fie de $0{,}5—1{,}5\ Q_{zi\,max}$; în alte ţări volumele acestor rezervoare ajung şi pînă la $3\ Q_{zi\,max}$).

7.2. TIPURI ŞI FORME CONSTRUCTIVE PENTRU REZERVOARE ŞI CASTELE DE APĂ. MATERIALE DE EXECUŢIE

7.2.1. TIPURI ŞI FORME CONSTRUCTIVE PENTRU REZERVOARE

După cum rezultă în capitolul 1 şi din paragraful precedent, rezervorul (rezervor propriu-zis sau castel de apă) este un obiect absolut necesar în orice schemă clasică de alimentare cu apă (acolo unde există mai multe circuite apă cu diverse calităţi, pe unele din aceste circuite ar putea să lipsească, în condiţii speciale).

Deoarece au fost executate o multitudine de sisteme de alimentare cu apă de mărimi diferite şi în condiţii diferite de teren, este normal să se fi găsit forme diferite de construcţie, materiale diferite pentru execuţie etc., şi pentru rezervoare. În momentul în care aceste tipuri au fost suficient de numeroase, s-a început uniformizarea lor în funcţie de condiţiile de fundare şi considerente economice. Totodată, pentru volumele şi formele de rezervor cele mai des folosite, au fost elaborate proiecte tip.

Astfel, în ţara noastră există proiecte tip pentru toate rezervoarele cu un volum mai mic de 10 000 m³/cuvă.

Este normal ca la forma constructivă a rezervorului să contribuie şi materialele de execuţie, de aceea, înainte de a aborda soluţiile constructive date cuvelor rezervoarelor, se va face o scurtă trecere în revistă a materialelor.

Materialele de execuţie pentru rezervoare, în ordinea importanţei şi preferinţei de folosire, sînt următoarele:

— *betonul armat* de marcă B200—B300, armat cu OB sau PC în procente obişnuite, constituie materialul de bază în execuţia rezervoarelor (pînă de curînd aproape toate rezervoarele, cu excepţia celor speciale, fundate în locuri greu accesibile sau de volume mici, erau executate din beton armat);

— *betonul precomprimat* este materialul care a început relativ recent să fie folosit pentru executarea rezervoarelor de dimensiuni mari (peste 2500 m³; au fost realizate şi rezervoare de 20 000 m³/cuvă), din cauza avantajelor importante pe care acestea le oferă; (betonul armat obişnuit din pereţii rezervorului, elementul cel mai dezvoltat, nu lucrează destul de bine, din cauza condiţiilor de limitare a mărimii deschiderii fisurilor; betonul nu poate fi solicitat peste o anumită limită, deoarece fisurile capătă o deschidere mare, prin care apa, care se află în permanenţă în cuvă, se poate infiltra, şi, ajungînd la armătură şi fundaţie, poate provoca în ultimă instanţă distrugerea rezervorului; s-a încercat remedierea acestui neajuns prin folosirea betonului precomprimat);

— *betonul simplu* este materialul folosit la rezervoare tip bazin (descoperit) sau la unele rezervoare mai vechi (cele mai cunoscute sînt rezervoarele de la Cotroceni de 7000 m³/cuvă, executate de ing. Elie Radu acum peste 100 ani, încă în funcţiune în bune condiţii);

— *zidăria de piatră* a fost folosită pentru executarea de rezervoare de volume mici, în locuri greu accesibile, dar unde există rocă dură, uşor de aprovizionat; bine executate, acestea s-au comportat în condiţii bune;

— *tabla de oţel* este folosită numai în cazul unor rezervoare de capacitate redusă, cu o durată de folosire mică (construcţii provizorii), atunci cînd termenul de execuţie este foarte scurt sau confecţia metalică existentă, poate fi transportată; este necesată protecţia tablei pentru păstrarea calităţii apei.

După cum se va vedea în continuare, astăzi sînt destul de frecvente cazurile în care se foloseşte atît betonul armat, cît şi betonul precomprimat în elemente prefabricate şi într-o astfel de combinaţie încît costul să se reducă substanţial, durata de execuţie să fie scurtată la maximum, iar calitatea lucrărilor să se îmbunătăţească.

Elementele componente ale rezervorului. Pentru realizarea funcţiunilor tehnologice, rezervorul se compune din următoarele elemente constructive:

— *cuva* (cuvele) propriu-zisă, elementul care conţine apa; este formată din (fig. 7.4): radier, pereţii laterali, stîlpi şi planşeu (acoperiş plat sau sub formă de cupolă), ca elemente principale şi protecţia termică, ventilaţia, izolaţia hidrofugă etc., ca elemente secundare;

— *casa vanelor*, o construcţie anexă cuvelor, care adăposteşte toată instalaţia hidraulică necesară funcţionării rezervorului; poziţia acesteia faţă de cuve depinde de tipul şi mărimea acestora; astfel, la volume mici, casa vanelor se aşază între cuve (la volume mai mici de 3000 m³ — cuve circulare) sau lîngă cuve (la cuve rectangulare), iar la volume mari poate avea forme şi aşezări speciale.

— *zona de protecţie sanitară* în cazul în care rezervorul păstrează apă potabilă;

— *instalaţii de iluminat, forţă* etc., după rolul rezervorului.

Cuva rezervorului se caracterizează prin impermeabilitate atît la exfiltraţii, cît şi la infiltraţii (contra infiltraţiilor prin pereţi, în unele cazuri se pot lua măsuri, prin realizarea unei izolaţii hidrofuge). Tavanul este neapărat prevăzut cu izolaţie hidrofugă împotriva infiltraţiilor din precipitaţii. Asigurarea unei bune circulaţii a apei în cuvă se realizează cu ajutorul unor *pereţi şicană*, convenabil amplasaţi şi sprijiniţi de stîlpi, iar primenirea permanentă a aerului din cuvă se realizează prin tuburi de ventilaţie, odată cu variaţia nivelului apei în cuvă (cînd rezerva de compensare se goleşte şi se umple). Pentru a asigura o bună circulaţie a aerului, peste nivelul apei se lasă un spaţiu liber de minimum 30 cm (dacă din condiţiile de protecţie în caz de cutremur nu rezultă mai mare). Toate trecerile prin pereţi se realizează cu piese de trecere etanşe.

Amplasarea rezervorului pe teren. Din motive de asigurare a presiunii în reţea, a rezultat că rezervorul trebuie amplasat pe o cotă înaltă (de obicei un deal vecin localităţii). Datorită expunerii directe la acţiunea directă a soarelui, există posibilitatea ca, în perioada de vară, apa reţinută un timp în rezervor să se încălzească, fapt care poate provoca înrăutăţirea calităţii acesteia, prin: ridicarea temperaturii (un gust neplăcut); favorizarea degajării aerului dizolvat în apă, deci pierderea caracteristicii de apă aerată (devine apă stătută, cu gust de apă de lac); favorizarea intrării în putrefacţie a substanţelor organice conţinute în apă. Pentru evitarea acestui lucru, de regulă, rezervoarele se protejează din punct de vedere termic (deoarece materialele de izolaţie erau reduse, s-a recurs la acoperirea cu pămînt, în strat de cca. 80 cm; astfel, marea majoritate a rezervoarelor vechi sînt protejate cu acest strat de pămînt, dis-

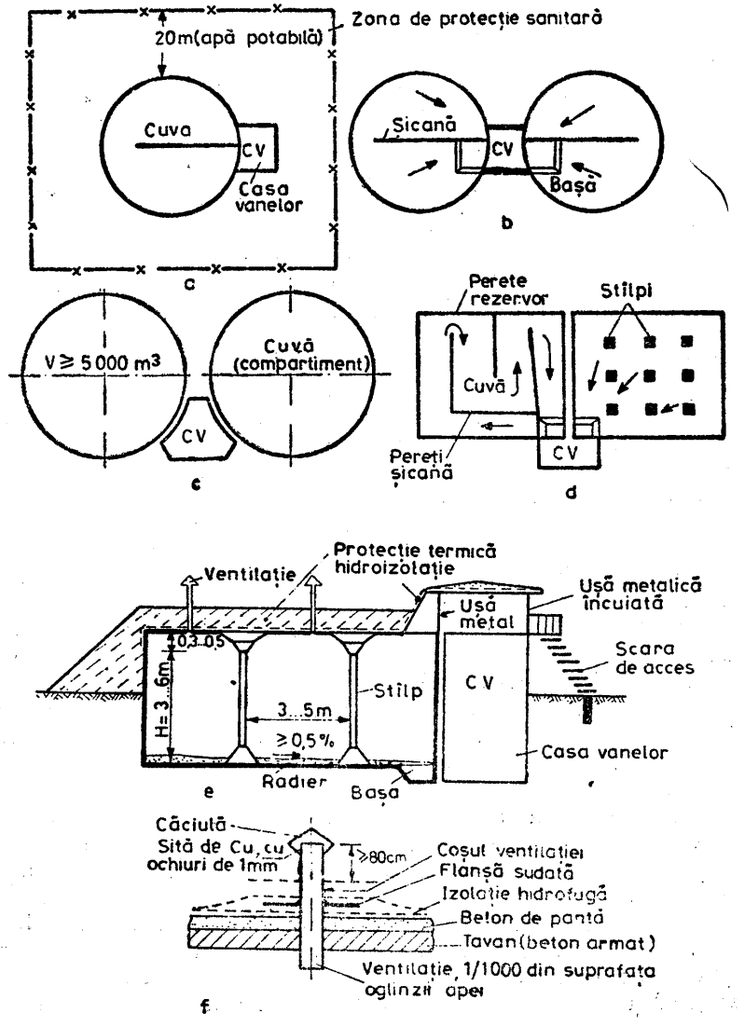


Fig. 7.4. Elementele componente ale construcției rezervorului: *a* — rezervor cu o cuvă (și zonă de protecție sanitară); *b* — rezervor cu 2 cuve, de volum mic (sub 1000 m³); *c* — idem pentru volume mari (beton precomprimat); *d* — rezervor cu 2 cuve rectangulare, cu stîlpi; *e* — secțiune verticală prin rezervor cu planșeu ciupercă; *f* — detaliu de trecere a tubului de ventilație prin placa de acoperiș.

punînd din loc în loc de dispozitive de ventilație; astăzi, protecția termică se asigură cu materiale speciale: BCA, Polistiren etc.).

Există situații în care, din condiții tehnologice de funcționare în sistemul de alimentare cu apă, se cere îngroparea completă în pămînt a rezervorului, dar și situații în care acest lucru nu este necesar, ci trebuie asigurată numai adîncimea de fundare sub nivelul de îngheț al pămîntului în zona respectivă.

Plecînd de la aceste cerințe, rezervoarele au fost clasificate după modul în care sînt amplasate față de sol, în: rezervoare îngropate; rezervoare semiîngropate; rezervoare neîngropate.

Soluția rezervor semiîngropat era mai avantajoasă, deoarece reducea la minimum volumul de excavație, iar pămîntul rezultat se folosea pentru realizarea protecției termice la acoperiș și pereți.

Astăzi, cînd volumele rezervoarelor au crescut mult, din motive de economicitate, acestea se așază pe teren la limita de îngheț și se protejează termic cu materiale termoizolante ușoare (BCA, polistiren etc.). Pereții rezervoarelor din beton precomprimat sînt liberi și vizibili, iar ai celor din beton armat sînt acoperiți cu un strat de pămînt.

Forma cuvei rezervoarelor. Din condiții de economicitate și execuție, forma cuvei rezervoarelor (fig. 7.5) a fost stabilită astfel:

— pentru cuve cu un volum mai mic de 2500 m³ din beton armat, formă circulară;

— pentru cuve cu un volum mai mare de 3000 m³, formă rectangulară, în cazul folosirii betonului armat, și circulară, în cazul folosirii betonului precomprimat (pot fi executate cuve din beton precomprimat și la volume de 1000 m³);

— pentru volume peste 20 000 m³ din beton armat, formă rectangulară.

Înălțimea apei este de ordinul a 3÷5 m, la rezervoarele din beton armat și 6÷15 m, la rezervoarele din beton precomprimat.

Acoperirea cuvelor se realizează cu o cupolă, dacă volumul cuvei este mai mic de 500 m³ sau cu placă dreaptă și diferite sisteme de susținere (planșeu ciupercă, grinzi prefabricate, chesoane etc.), dacă volumul este mai mare de 500 m³.

După cum s-a precizat, pentru aproape toate rezervoarele de volum mic există proiecte tip. Acestea trebuie numai adaptate la condițiile de teren. În ceea ce privește realizarea rezervoarelor din beton armat precomprimat, la noi în țară au fost preconizate două soluții:

— rezervor cilindric cu pereți conici, precomprimat după principiul butoiului (aplicat la rezervoare mici de 2500 m³);

— rezervor cilindric cu înălțime mare, precomprimat cu cabluri de SBP, amplasate convenabil în pereți. Precomprimarea se execută pe inele cu ajutorul cablurilor pe sectoare (s-a aplicat la rezervoare de volume mari, 5—20 000 m³/cuvă); se poate aplica și soluția de precomprimare prin înfășurare pe loc cu sîrmă SBP.

Aceste forme constructive nu sînt restrictive. În principiu, se poate adopta forma constructivă cel mai bine adaptată la terenul respectiv, din materialul și cu soluția constructivă (turnat pe loc, prefabricat etc.) care asigură maximum de eficiență: execuție ușoară, volum redus de materiale, întreținere ușoară în exploatare, păstrarea calității apei.

7.2.2. TIPURI ȘI FORME CONSTRUCTIVE PENTRU CASTELE DE APĂ

Datorită faptului că este așezat în incinta deservită și este o construcție cu înălțime mare, cerințele estetice la un castel de apă sînt mult mai mari decît la rezervoare (rezervoarele pot fi mascate mai ușor).

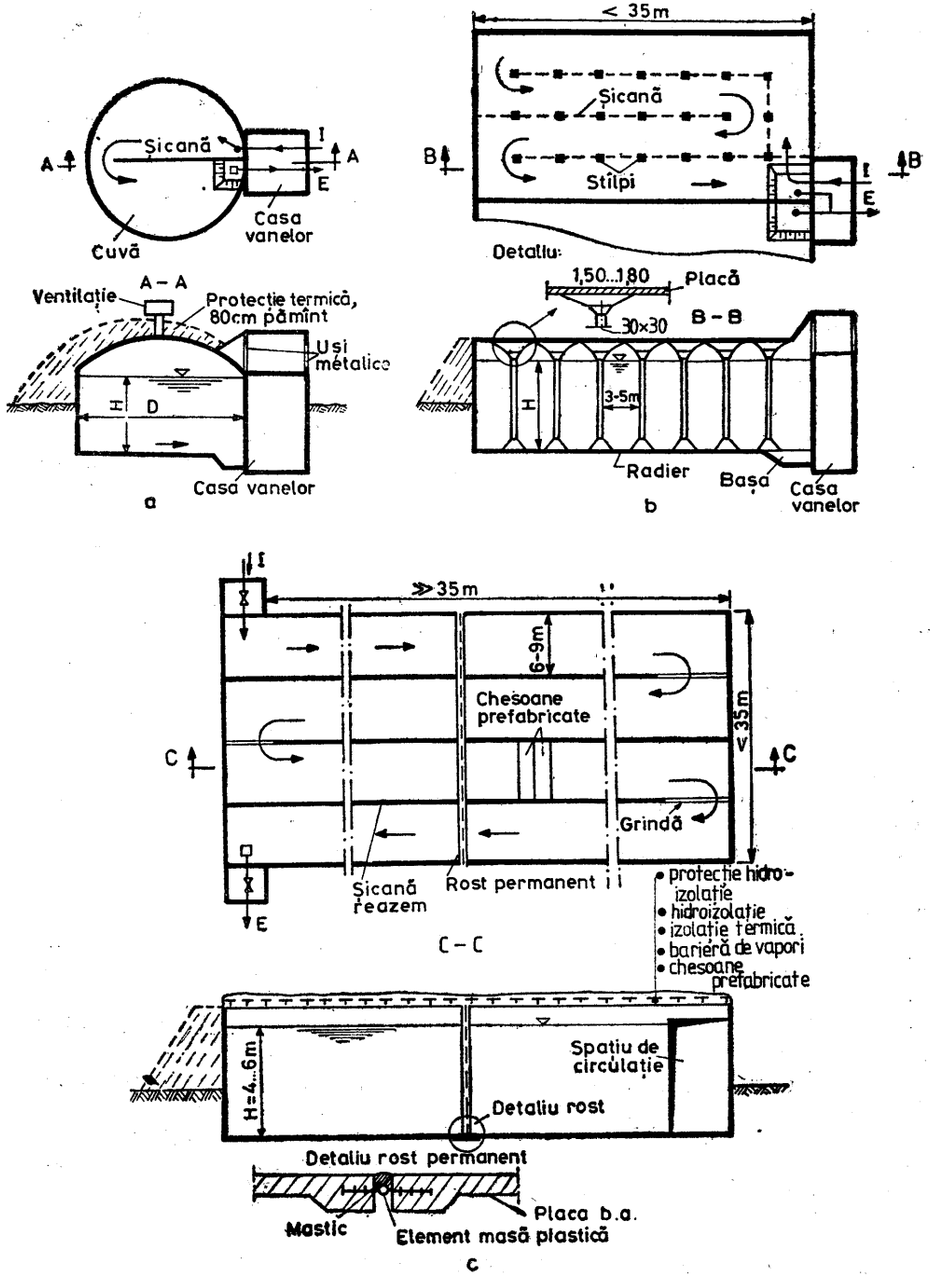


Fig. 7.5. Detalii de construcție pentru rezervoare: *a* — rezervor cu o cuvă (secțiune orizontală și secțiune verticală); *b* — rezervor cu planșeu ciupercă (secțiune orizontală și secțiune verticală); *c* — rezervor din beton armat de mari dimensiuni (peste 20 000 m³; vedere în plan, secțiune verticală și detaliu de rost permanent).

Totodată, fiind construcții dificil de realizat, pentru soluția constructivă au fost depuse mai multe eforturi; au rezultat o mare diversitate de soluții, unele mai economice, altele mai estetice.

Materialele folosite pentru execuția castelelor de apă sînt mult mai diverse decît la rezervoare, astfel:

— *pentru cuvă*: betonul armat (la lucrări definitive); tabla de oțel (la lucrări provizorii, organizare de șantier sau lucrări definitive, dar numai pentru volume mici); lemnul (sub formă de butoi așezat *pe picioare*, pentru lucrări provizorii de mică importanță);

— pentru *turnul* de susținere al cuvei: beton armat (sub formă de pînză cilindrică, stîlpi sau prefabricate speciale); zidăria din elemente de beton, cărămidă, pentru castele definitive cu cuvă din beton armat sau tablă de oțel; elemente din oțel, care alcătuiesc turnul de susținere pentru cuve metalice sau din lemn (la construcții provizorii și definitive); bare din lemn (la construcții provizorii cu cuve din lemn, metal).

Fundația castelului se execută din beton, beton armat, și beton armat sub formă de placă, element circular din beton precomprimat etc., funcție de mărimea construcției și condițiile de rezemare (calitatea solului și condițiile de solicitare la cutremur).

Castelele moderne executate după proiecte tip, cu volum de 25—1000 m³ și înălțime de 20—30 m, se execută în întregime din beton armat, sub forma din figura 7.6.

Turnul castelului este executat din beton, cu ajutorul cofrajului glisant, iar cuva din beton armat turnată la cotă pe un eșafodaj special sau glisată după ce a fost turnată la sol.

Trebuie precizat că, în cadrul castelului de apă, turnul are un rol multiplu, și anume: element de susținere al cuvei, adăpostirea conductelor, acces la cuvă și casă a vanelor. În cazul în care turnul este alcătuit din elemente tip bară, conductele se izolează sau cel mai bine se închid într-o coloană cu rol numai de protecție.

Problema protecției termice este o problemă specială care se rezolvă de la caz la caz. De regulă, la volume ale cuvei peste 100 m³, nu se realizează o protecție termică, apreciind că aportul de căldură din apă este suficient. Pentru cazuri speciale pot fi găsite însă soluții.

7.3. INSTALAȚIA HIDRAULICĂ LA REZERVOARE ȘI CASTELE DE APĂ

7.3.1. INSTALAȚIA HIDRAULICĂ LA REZERVOARE

Totalitatea conductelor, armăturilor și pieselor de trecere, cu ajutorul cărora se asigură funcționarea tehnologică în bune condițiuni, formează instalația hidraulică. Aceasta este adăpostită în casa vanelor.

Deși alcătuirea efectivă a instalației hidraulice diferă în funcție de tipul construcției, poziția efectivă a rezervorului față de rețea, scopul pentru care este prevăzut rezervorul etc., în principiu, alcătuirea este similară. La *fiecare cuvă* trebuie să existe:

— o *conductă de alimentare I*, al cărui diametru, de regulă, este egal cu al conductei de aducțiune; pe legătura la fiecare cuvă există o vană de închidere, a cărei manevră se poate efectua de pe platforma superi-

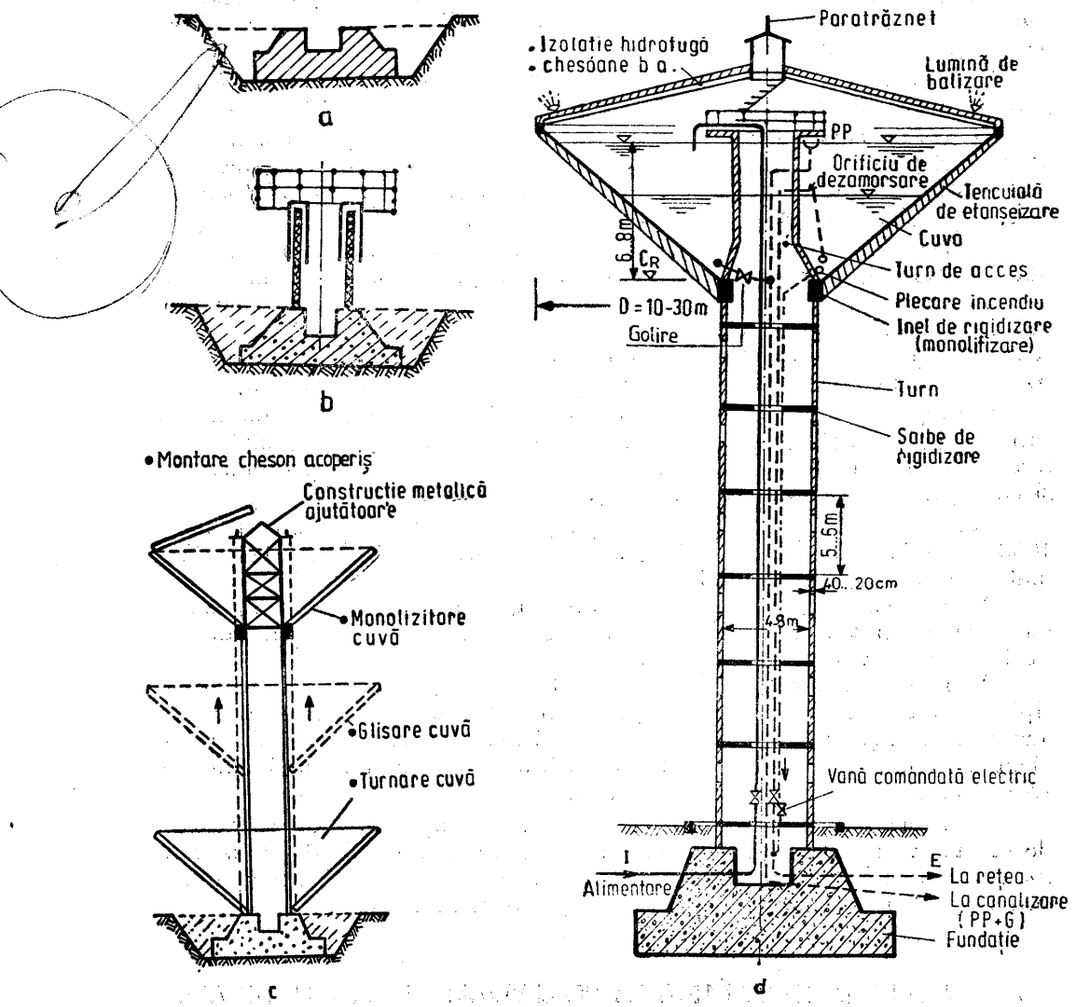


Fig. 7.6. Detalii de execuție și elemente componente ale castelului de apă: *a* — executarea fundației; *b* — liftarea turnului; *c* — liftarea cuvei; *d* — secțiune verticală prin castel de apă cu amplasarea și a instalației hidraulice.

oară (fig. 7.7); la rezervoarele alimentate prin pompare, este rațional să se prevadă și dispozitiv de închidere automată cu plutitor, pentru a nu pierde apa în cazul umplerii rezervorului;

— o conductă de *preaplin PP*, al cărui diametru este, de obicei, egal cu al conductei de alimentare, cu rolul de a menține un nivel maxim de apă în cuvă; se evită inundarea casei vanelor, zonei vecine și terenului de fundare, efectele negative fiind considerabile; o dimensionare mai strictă se poate face [31] avînd în vedere ca supraînălțarea peste deversor să nu aibă valori mari, valori care măresc spațiul liber între nivelul apei și tavanul cuvei rezervorului; la rezervoare

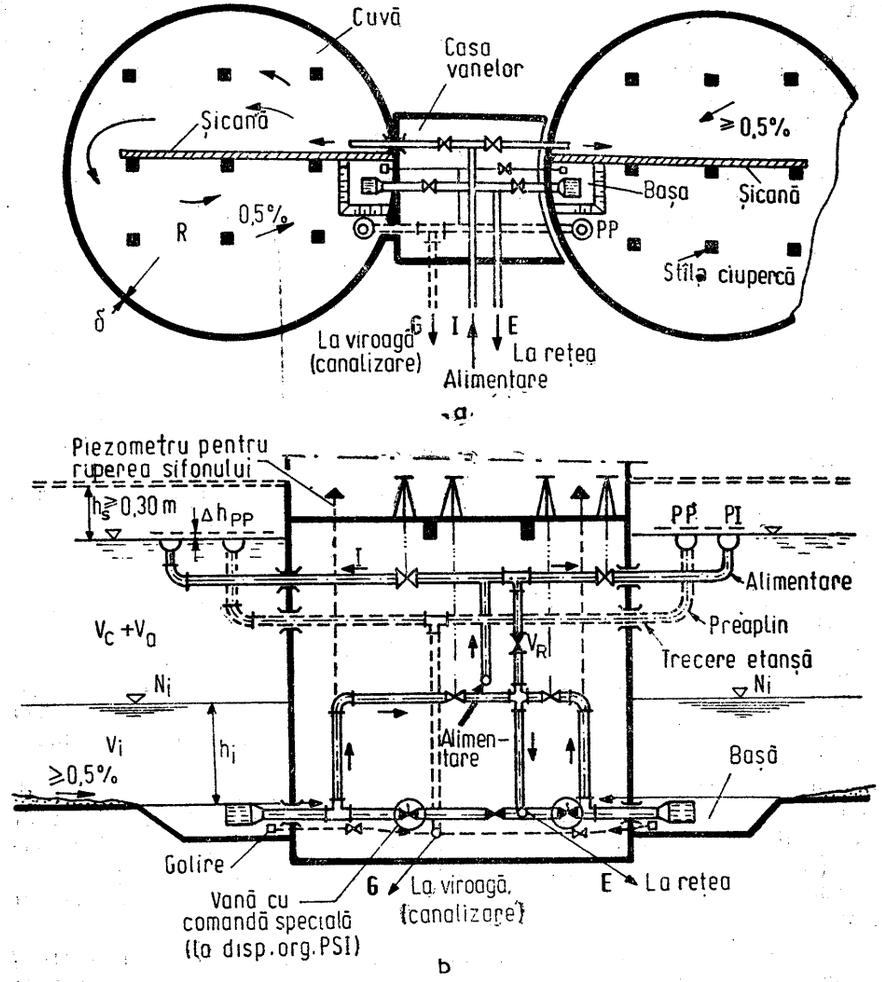


Fig. 7.7. Instalația hidraulică la un rezervor de apă de mici dimensiuni (sub 1000 m³): *a* — vedere în plan; *b* — secțiune verticală.

mari este chiar indicat să se studieze, pe model, capacitatea de deversare (care trebuie să fie egală cu debitul maxim cu care se poate alimenta un rezervor, chiar dacă pe conducta de alimentare sînt prevăzute dispozitive de închidere automată); pentru a evita înălțimi mari de lame deversante, este indicat să se execute deversoare lungi (din beton armat pe perete sau metalice) legate la conducta de evacuare; fiind un sistem de siguranță, pe *conducta de preaplin nu vor fi prevăzute vane sau alte armături*, care, în mod accidental, fiind închise, să nu mai permită realizarea rolului de sistem de siguranță; totodată, evacuarea apei din preaplin trebuie făcută în exterior, fără a afecta siguranța propriilor construcții sau ale construcțiilor vecine (case, drumuri, linii electrice etc.); în scopul protejării construcțiilor proprii contra exfiltrațiilor, este bine ca țeava de evacuare

a apei preaplinului să fie racordată la sistemul de canalizare, în afara casei vanelor; la rezervoarele de apă potabilă *nu* este admisă *racordarea directă* a preaplinului şi golirii la canalizare; tot în acest sistem se poate evacua şi apa colectată din drenajul de siguranţă, realizat pe conturul rezervoarelor amplasate pe pămînt sensibil la înmuiere (loessoid);

— o conductă pentru *plecarea curentă* a apei la consumator *E*, al cărui diametru se dimensionează la debitul maxim orar (debitul maxim prelevat), pentru o viteză de curgere de 0,8÷1,5 m/s; la această conductă se leagă, printr-un racord special, blocat cu vană sigilată (accesibilă direct sau cu dispozitiv de comandă de la distanţă numai organelor PSI), sorbul de plecare a apei pentru incendiu. Dimensiunea racordului se adoptă egală cu a conductei de plecare; sorbul de plecare curentă a apei se amplasează deasupra nivelului rezervei intangibile de incendiu, iar sorbul pentru incendiu, într-o adîncitură specială numită *bașă*; conform prevederilor PSI, dacă incinta are prevăzut un debit de incendiu mai mare de 25 l/s, este obligatorie prevederea a două conducte de plecare la reţea, legate convenabil la cele două cuve de rezervor; soluţia constructivă de racordare a celor două plecări poate fi diferită în funcţie de rolul rezervorului, raportul înălţimilor de apă (înălţimea totală de apă — înălţimea volumului de incendiu; trebuie asigurată o bună circulaţie a apei în rezervor, pentru a evita deteriorarea calităţii apei) şi funcţie de soluţia constructivă a rezervorului (fig. 7.8);

— conductă de *golire definitivă G*, cu diametrul ales constructiv de 100÷300 mm, care serveşte pentru evacuarea apei din rezervor, în cazul în care, dintr-un motiv oarecare, trebuie golită cuva (spălare periodică, dezinfectare, avarii, remedierea unor fisuri etc.); se amplasează în bașă, la partea de jos şi se racordează de obicei la conducta de preaplin; apa evacuată este condusă în exterior printr-o reţea de canalizare la o viroagă apropiată, şanţul unui drum (care are însă scurgere, pentru a evita inundarea acestuia sau infiltrarea sub patul căii de comunicaţie), o reţea de canalizare vecină etc.; în acelaşi sistem pot fi evacuate, dacă este cazul, şi apele din precipitaţiile colectate de pe versantul din spatele rezervorului (colectate printr-un şanţ de gardă); în mod expeditiv, golirea se dimensionează astfel încît golirea rezervorului (plin) să se poată face în 6÷8 ore;

— pentru o siguranţă suplimentară între conducta de alimentare *I* şi conducta de plecare a apei *E*, se realizează o conductă de legătură (by-pass), prevăzută cu o vană permanent închisă; în cazuri cu totul accidentale, cînd ambele cuve ale rezervorului sînt scoase din funcţie, se deschide această vană şi se închid vanele de pe alimentarea şi plecarea din rezervor — rezervorul fiind ocolit (by-passat); legătura poate fi făcută în casa vanelor sau în exterior şi este obligatorie cînd rezervorul are o singură cuvă;

— armăturile prevăzute pe instalaţia hidraulică sînt: *vane* sub formă de robinet cu sertar şi corp plat sau vane fluture; *robinet* special *cu închidere automată* pe conducta de intrare (robinet cu plutitor de regulă, la care este esenţial să se poată ajunge uşor, pentru a putea să se asigure întreţinerea curentă); *sorb* pe orice conductă, prin care apa pleacă din rezervor (sorbul poate avea componenţa clasică sau se poate confecţiona special în cazul conductelor de mari dimensiuni); *compensator de montaj* prevăzut lîngă orice piesă care periodic poate fi demontată, iar spaţiul în care se află are dimensiuni fixe (schema unui compensator este dată

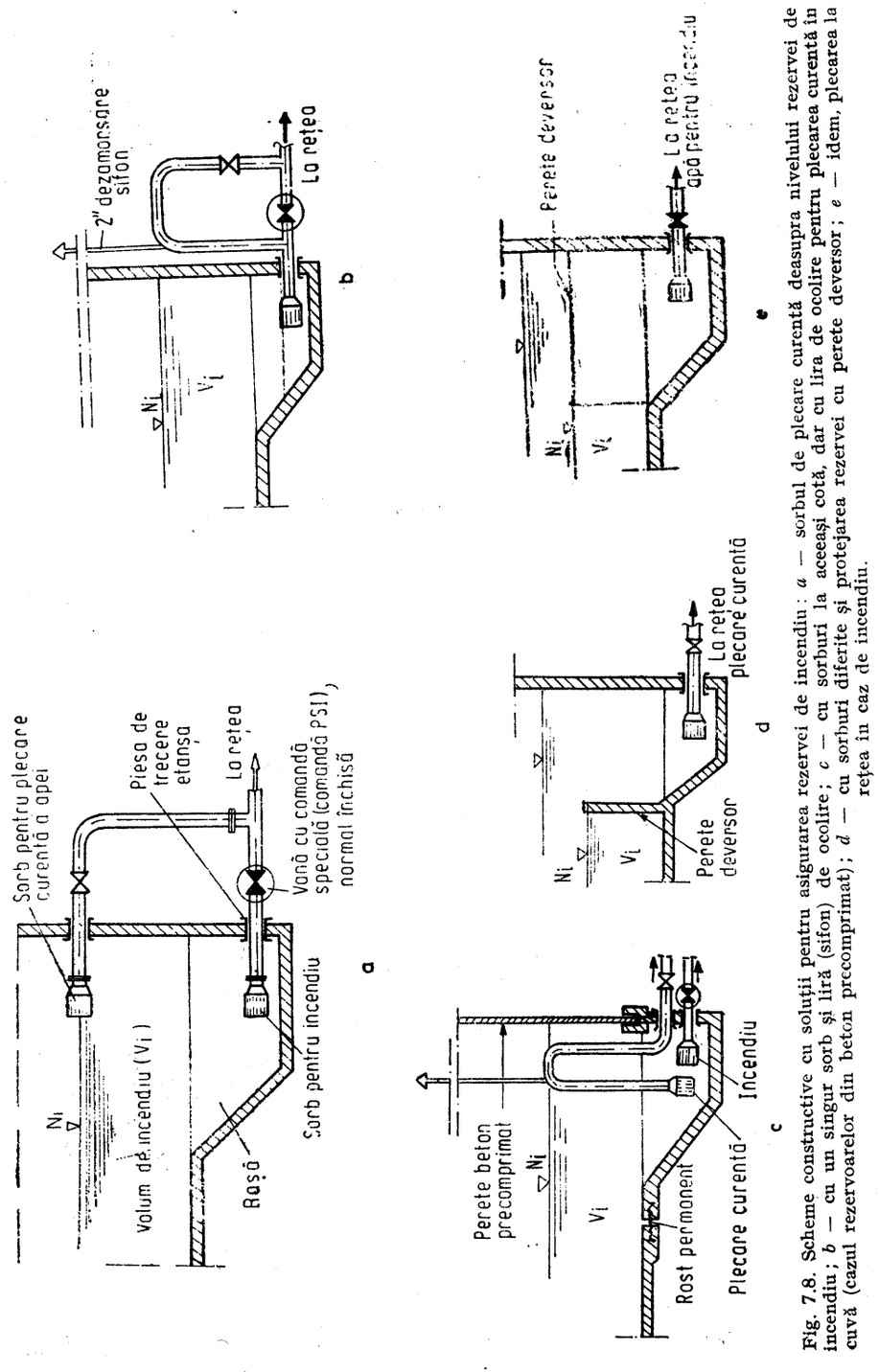


Fig. 7.8. Scheme constructive cu soluţii pentru asigurarea rezervei de incendiu: *a* — sorbul de plecare curentă deasupra nivelului rezervei de incendiu; *b* — cu un singur sorb şi lira (sifon) de ocolire; *c* — cu sorburi la aceeaşi cotă, dar cu lira de ocolire pentru plecarea curentă în cuvă (cazul rezervoarelor din beton precomprimat); *d* — cu sorburi diferite şi protejarea rezervei cu perete deversor; *e* — idem, plecarea la reţea în caz de incendiu.

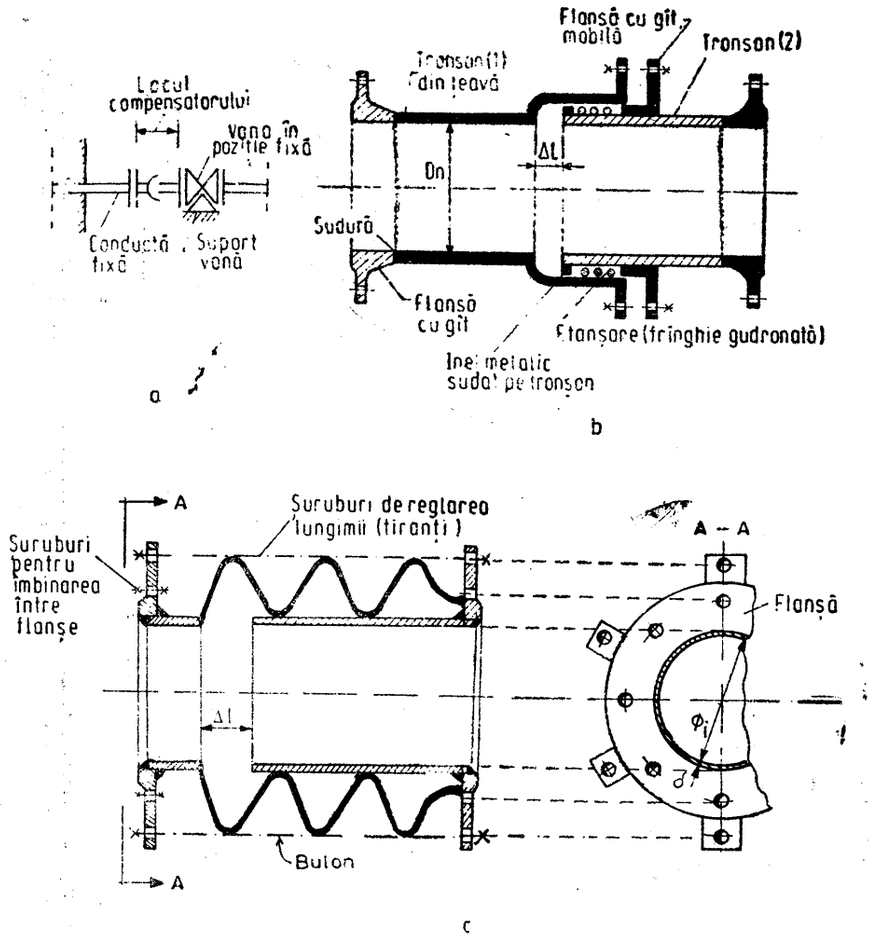


Fig. 7.9. Detalii de alcătuire a compensatorului de dilatație și montaj: *a* — amplasarea compensatorului față de vană; *b* — compensator telescopic; *c* — compensator lenticular (cu burduf; secțiune longitudinală și vedere laterală).

în fig. 7.9); compensatorul de montaj poate avea și rol de compensator de dilatație — recomandabil cînd apa transportată este apă din sursă de suprafață; toate armăturile grele vor fi rezemate;

— aparatură de măsurat și control; orice rezervor trebuie să aibă cel puțin un *plutitor și o mină*, pentru cunoașterea nivelului de apă (deci a volumului de apă aflat la un moment dat în cuve); ar trebui să mai existe și un *debitmetru* pe conducta de intrare și plecare (se poate verifica și eventuala pierdere de apă din rezervor); în cazuri speciale, pot fi prevăzute și alte aparate și dispozitive de comandă locală sau de la distanță;

— *instalație de spălare a rezervoarelor*: toate rezervoarele cu volume mari (peste 5000 m³) vor avea instalații interioare de spălare periodică.

Această componență *clasică* a instalației hidraulice poate fi modificată și adoptată specificului construcției, pentru a realiza cîteva deziderate importante:

— instalația trebuie să asigure tranzitarea debitului maxim din schema de alimentare;

— să se asigure o bună circulație a apei în cuva rezervorului, în scopul evitării zonelor moarte, unde apa stagnantă provoacă înrăutățirea calității apei înmagazinate, dacă nu și alte deranjamente;

— instalația să fie posibil de realizat printr-un număr cît mai mic de treceri prin peretele cuvei și la cote cît mai înalte, deoarece peretele este mai puțin solicitat în această zonă, deci are mai puțină armătură;

— să permită o manevră a vanelor și o intervenție relativ simplă, în caz de avarie.

Dacă se analizează care sînt pozițiile posibile ale rezervorului față de rețeaua de distribuție se constată că se pot distinge 3 cazuri:

— schema de alimentare cu rezervoare de trecere, cînd toată apa de la sursă trece prin rezervor înainte de a ajunge la rețea;

— schema de alimentare cu rezervoare de capăt, cînd numai o parte din apă ajunge în rezervor, cea mai mare parte mergînd direct la consumator;

— scheme de alimentare cu apă cu rezervoare de trecere și rezervor de capăt sau contrarezervor.

Plecînd de la aceste considerente, în figura 7.7 este dată de schema unei instalații hidraulice pentru rezervoare de trecere (2 cuve).

Gabaritul casei vanelor se stabilește astfel:

— între conductele paralele sau conducte și pereți să se asigure o distanță de minimum 25 cm (pentru a se putea strînge buloanele flanșelor, executa vopsitoria etc.);

— între conductă și radier, în cazul în care nu sînt prevăzute armături, se menține distanța de 25 cm, iar cînd sînt prevăzute armături, se prevede distanța necesară pentru montarea acestora, inclusiv a masivelor de reazem, dacă este cazul;

— să se poată manevra, monta și demonta armăturile de pe instalație;

— să se asigure păstrarea rezervei intangibile pentru incendiu;

— la trecerea prin doi pereți adiacenți, vor fi luate măsuri care să permită funcționarea și în cazul tasării diferite a celor două construcții vecine.

7.3.2. INSTALAȚIA HIDRAULICĂ A CASTELELOR DE APĂ

În cazul castelelor de apă, problemele sînt ceva mai simple, deoarece castelul se execută cu o singură cuvă, dar și mai complicate, deoarece, prin forma sa constructivă, turnul joacă rol de casa vanelor. În figura 7.4 este dat un exemplu de instalație hidraulică într-un castel de apă, precum și o variantă pentru conducta de plecare, în cazul în care volumul de incendiu ocupă un spațiu prea mare din cuvă. În acest caz, deoarece nu se poate realiza un perete șicană pentru a forța apa să circule prin toată cuva, există riscul stagnării apei în zona conică de jos. Se amplasează, de aceea, sorbul de plecare la partea de jos, conducta ieșind din cuvă la nivelul rezervei de incendiu și, în cotul de schimbare a direcției,

se practică un orificiu de dimensiuni mici ($1 \div 2''$), care dezamorsează sifonul format de conductă, sifon care tinde să golească toată apa din castel. Apa va circula astfel prin toată cuva, dar nu va putea să fie evacuată rezerva de incendiu decît prin deschiderea vanei speciale.

Tot din cauză că se execută cu o singură cuvă, la partea de jos, se realizează o legătură de siguranță (by-pass), blocată cu o vană, obișnuit în poziția închis, între conducta de alimentare și conducta de plecare. Cînd castelul trebuie golit pentru spălare, reparații, se închid vanele de sosire-plecare, se deschide vana by-pass (ocolire) și castelul este scos din circuit pe o perioadă limitată (nu există rezervă de incendiu). În această perioadă, localitatea va fi alimentată direct de la sursă, cu debitul $Q_{s\ zi\ max}$. Este preferabil deci ca întreținerea curentă să se facă în perioadele mai reci (dar nu iarna) ale anului, cînd consumul zilnic de apă

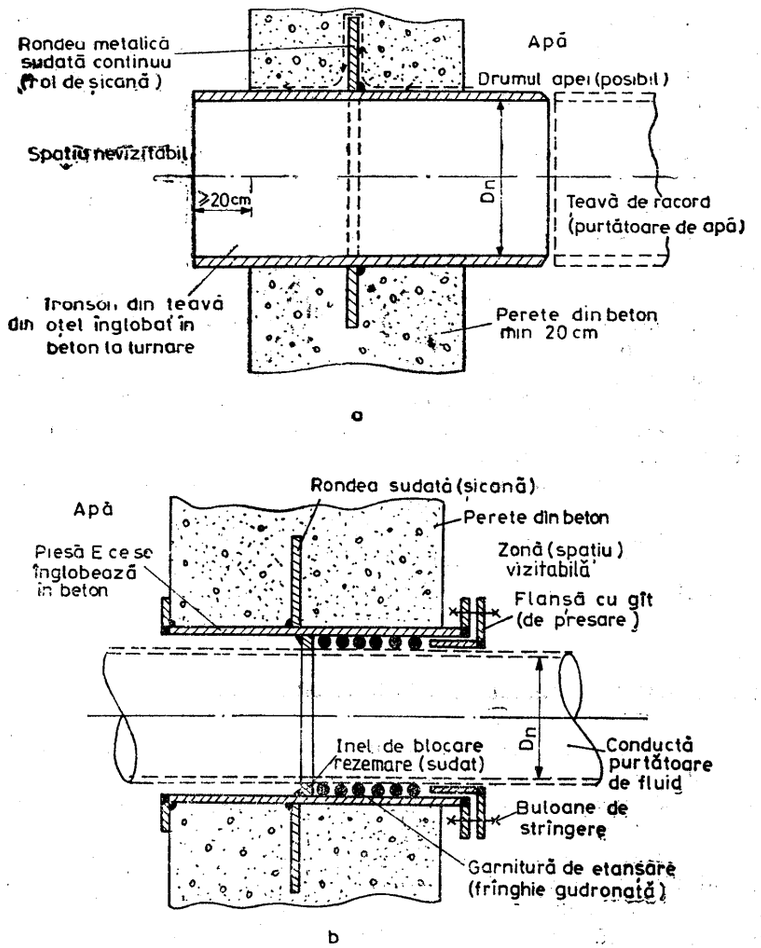


Fig. 7.10. Detalii de piese de trecere prin peretele rezervorului: *a* — piesă simplă de trecere; *b* — piesă de trecere etanșă cu conductă mobilă.

este mai redus (cu un debit orar maxim sensibil egal cu debitul zilnic maxim pe care instalația poate să-l furnizeze).

Se observă că, în ideea reducerii numărului de străpungeri prin pereți, intrarea apei se face prin turnul central de acces, iar preaplinul este scos la partea de sus a cilindrului.

La partea de jos, instalația iese din turn printr-un canivou, special lăsat în fundație. Se atrage atenția că acest canivou trebuie neapărat canalizat, deoarece în caz contrar există riscul ca apa care se scurge de la neetanșeități să se acumuleze în acesta și, prin exfiltrație sub fundația castelului, să pună în pericol stabilitatea acestuia (în țară au existat cîteva cazuri în care castele fundate pe teren sensibil la înmuiere, prin umezire necontrolată la fundație, s-au înclinat, fiind scoase din funcțiune; redresarea lor s-a făcut cu mare greutate).

Toate trecerile prin pereți se fac cu piese etanșe de trecere, cu flanșa de strîngere a garniturii spre exterior (fig. 7.10).

În figura 7.11 sînt date cîteva scheme de instalație hidraulică pentru un castel de apă în diferite ipoteze de utilizare a acestuia (în același mod pot fi alcătuite și instalațiile hidraulice și pentru rezervoare).

7.4. EXECUTAREA CONSTRUCȚIILOR DE ÎNMAGAZINARE A APEI

7.4.1. EXECUTAREA REZERVOARELOR DIN BETON ARMAT ȘI BETON PRECOMPRIMAT

Rezervoarele sînt construcții de mare importanță în schema de alimentare cu apă și pentru ca ele să se comporte în cele mai bune condiții o perioadă foarte lungă de timp (50÷100 ani), trebuie ca, pe lîngă o soluție bună dată în proiect, să se urmărească o tehnologie de execuție corectă.

Efortul necesar pentru realizarea unor construcții impermeabile, stabile și economice se concentrează asupra a două elemente constructive:

— executarea unui radier și a unor pereți etanși;

— executarea unor acoperiri cu un consum minim de materiale auxiliare; tipul de acoperire influențează asupra alcătuirii generale (v. fig. 7.5).

7.4.1.1. **Tehnologia de execuție a rezervoarelor din beton armat.** Operațiile prin care se deschid lucrările de execuție la rezervor sînt cele cunoscute și de la alte lucrări: confruntarea proiectului cu terenul; trasarea (obținerea de repere fixe de nivelment pentru verificarea exactă a cotei în timpul execuției); defrișarea; organizarea șantierului. Este recomandabil ca operațiunile de execuție efectivă să fie începute primăvara, astfel încît pînă la toamnă (deci în afara perioadei reci a anului cu temperaturi sub zero grade) să se poată încheia principalele lucrări și să se poată acoperi săpătura de lîngă radier.

• *Executarea săpăturii* este prima operațiune importantă în tehnologia execuției. Se poate face manual (în cazul unor volume mici, sau în locuri greu accesibile) sau cu mijloace mecanizate (numai finisarea manuală). În timpul execuției, trebuie să fie luate măsuri pentru executarea de șanțuri de gardă și șanțuri perimetrale pentru evacuarea apei din precipitații, în special în terenurile sensibile la înmuiere. De obicei, săpătura

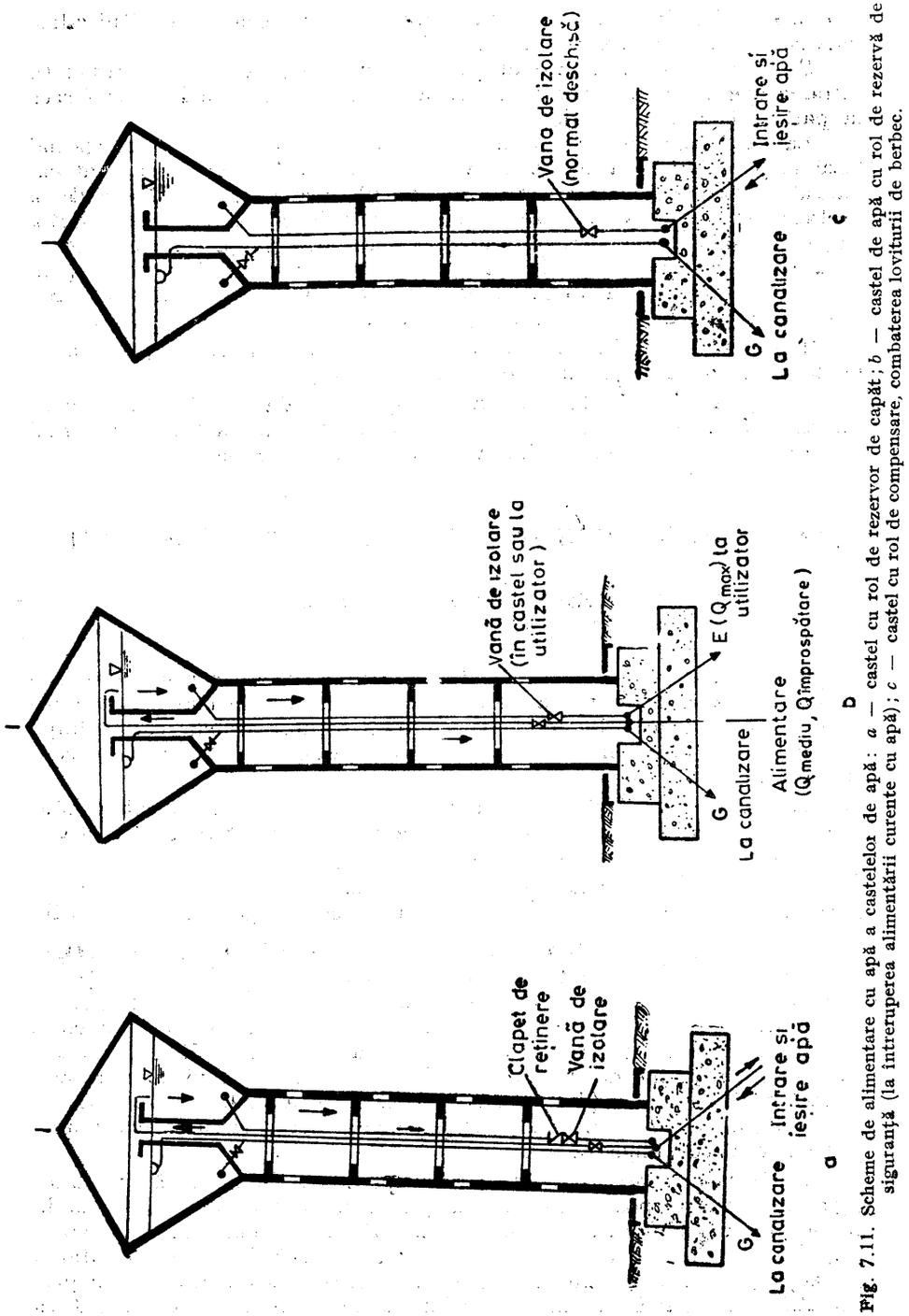


Fig. 7.11. Scheme de alimentare cu apă a castelelor de apă: *a* — castel cu rol de rezervor de capăt; *b* — castel de apă cu rol de rezervă de siguranță (la întreruperea alimentării curente cu apă); *c* — castel cu rol de compensare, combaterea loviturii de berbec.

se execută în taluz. Finisarea săpăturii pe o grosime de 10÷15 cm se va face imediat înainte de începerea turnării betonului de egalizare la radier.

În cazul executării rezervorului sau castelului pe teren sensibil la înmuiere (loessoid), excavația se va face cu 50÷80 cm mai adîncă, iar peste săpătură se va așeza un strat (pernă) de beton de loess. Betonul de loess este format din amestec de loess curat (bine mărunțit) amestecat cu circa 50÷100 kg ciment/m³. Betonul umezit corespunzător este turnat pe săpătură, în straturi subțiri de 10÷20 cm, și cilindrat (compactat) puternic. În terenuri slabe, fundația se va executa după detalii speciale date de proiectant.

● *Executarea radierului* comportă următoarele faze:

— *executarea betonului de egalizare* pe toată suprafață radierului, în grosime de circa 10 cm, cu beton B50, are drept scop să asigure un pat uniform de rezemare a armăturii din betonul radierului și să protejeze săpătura pînă la executarea radierului; în unele cazuri bine justificate (rezervor amplasat astfel încît se găsește în permanență sub nivelul apelor freatice — este cazul rezervoarelor necesare în stația de tratare, deoarece din motive economice aceste stații de tratare se amplasează de multe ori în albia majoră a rîurilor din care se captează apa), peste betonul de egalizare se execută o izolație hidrofugă din 1—2 straturi de carton și 2—3 straturi de bitum turnat la cald; hidroizolația se continuă pe perete;

— *montarea armăturii din radier* se execută conform detaliilor din proiect, urmărindu-se cu grijă executarea fasonării armăturii așa cum cere proiectul, montarea întregii cantități de armătură, asigurarea barelor de jos cu distanțieri, din capete de armătură sau bare special confecționate (așa-numiții purici) care să asigure sub armătură acoprirea de 2÷3 cm de beton; în armătura din radier, se montează și barele de legătură cu celelalte elemente ale rezervorului (stîlpi, pereți) sau garnitura de etanșare la rosturile permanente; după montarea armăturii, se verifică de către beneficiar, prin delegatul său permanent (dirigintele de șantier), concordanța calitativă și cantitativă a armăturii montate; datele constatate se consemnează în proces verbal, care va fi prezentat la recepția provizorie a lucrărilor; se va da atenție montajului armăturii, alegîndu-se un astfel de flux, încît să nu se circule peste armătura montată (pentru a nu o deforma), iar dacă acest lucru nu este posibil, vor fi executate platforme provizorii de circulație (din panouri de lemn rezemate pe bile de lemn);

— *turnarea betonului de rezistență din radier* se începe după ce în prealabil toate platforma este curată, degajată de orice urmă de pămînt, bucăți de lemn, armătură risipită etc.; locul în care se toarnă betonul se udă în prealabil; betonul de marcă superioară (B200—B250) se prepară după rețeta indicată, cu o compoziție granulometrică foarte bine aleasă, în scopul obținerii unei compactări maxime; vor fi luate probe din șarjele de beton, preparat pe loc sau adus de la o fabrică de beton, din betonul turnat pe platformă, iar rezultatele încercării (cel puțin rezistența la compresiune și proba de permeabilitate) vor fi păstrate pentru recepție; betonul se toarnă continuu, se vibrează în limite normale, se netezește la partea superioară și se acoperă cu rogojini sau panouri special confecționate, pînă la o bună întărire (3÷5 zile); în acest interval și în următoarele 10÷15 zile va fi udat în permanență, în special în anotimpul foarte călduros, cînd apa se evaporă ușor și betonul poate să fisureze la suprafață; dacă suprafața radierului este mare (peste 10 · 10 m), nu se poate turna toată placa oda-

tă, ci trebuie lăsate *rosturi de lucru*, radiale și circulare, de 0,8÷1,0 m deschidere, rosturi care se betonează după terminarea întăririi și contracției betonului (cca. 2—4 săptămîni); turnarea rosturilor se va face numai după curățirea în cele mai bune condiții și eventual buciardarea (ciocănirea) suprafețelor drepte ale rosturilor, astfel încît înfrățirea betonului să fie completă.

În cazul în care placa de bază are dimensiuni care depășesc circa 35 m, trebuie să fie prevăzute *rosturi permanente* de dilatare, pentru a permite plăcii să lucreze în momentul în care temperatura apei variază (apa captată dintr-o sursă de suprafață are cca. 1÷3°C, iarna și cca. 20—25°C, vara). Pentru a nu se crea complicații de execuție, se va alege o astfel de soluție constructivă, încît rosturile să fie executate pe o singură direcție, deoarece o intersecție de rosturi etanșă se poate realiza în condiții foarte grele și nesigure. Rosturile, care se vor prelungi și în pereți, se pot executa după una din soluția dată în figura 7.9, cu bandă din cauciuc sau PVC tip SIKA.

Atunci cînd se execută rezervoare de dimensiuni mari (peste 10 000 m³), în vederea unei conlucrări bune a betonului din radier cu cel din pereți și a asigurării unei bune etanșeități a rostului de lucru, inevitabil, se poate îngloba în beton un element-bandă din PVC cu profil special de etanșare.

• *Executarea stîlpilor* de susținere a elementelor de acoperiș (sau a pereților șicană de reazem). Pînă la dezvoltarea industriei prefabricatelor, soluția cea mai des aplicată pentru rezervoare cu capacitate de peste 500 m³ era prevederea de placă turnată monolit, rezemată pe stîlpi cu capitel. Se obținea astfel *un planșeu tip ciupercă*. Stîlpii se execută din beton armat cu dimensiunile de 30 · 30 cm — 40 · 40 cm, amplasați la distanțe de 3÷5 m unii de alții. La partea de jos, evazarea numită ciupercă are o singură pantă, iar la partea de sus are două pante.

Ordinea operațiunilor de execuție a stîlpului este următoarea: se trasează cu mare atenție poziția stîlpilor; se montează armătura și se reazemă prin distanțieri cu ajutorul cofrajului, întrucît, datorită lungimii mari, cu toată prezența etrierilor, armătura nu este rigidă; se toarnă betonul într-o singură repriză; betonul se toarnă prin ferestre special lăsate în cofraj la înălțime de maximum 2 m, în scopul evitării segregării; compactarea se realizează prin batere cu ciocane de lemn în pereții laterali ai cofrajului sau și mai bine cu pervibratoare; betonul va fi suficient de lucrabil pentru a acoperi bine armătura, corecturile ulterioare din tencuială nefiind eficiente. Turnarea stîlpilor este o operație laborioasă și de aceea, se poate executa concomitent cu cofrarea și armarea pereților laterali ai rezervorului.

În momentul în care posibilitățile au crescut substanțial, s-a adaptat soluția cu stîlpi prefabricați. Stîlpii se toarnă pe șantier sau în ateliere specializate și *se montează* în fundații de tip pahar executate pe radier sau prefabricate și ele. În cazul stîlpilor prefabricați (și cînd și acoperișul se execută cu elemente prefabricate), poziționarea stîlpilor este esențială. Capetele libere ale stîlpilor se leagă cu grinzi-tiranți monolitizate pe care vor rezema și chesoanele de acoperiș.

Pe pereții turnați monolit sau prefabricați vor fi prevăzute elemente metalice pentru prinderea pereților șicană, în momentul de față executați din elemente prefabricate.

• *Realizarea pereților rezervorului* din beton impermeabil (sau cu permeabilitate redusă) *este cea mai dificilă operație pe care o comportă tehnologia de execuție a rezervorului.*

Dificultatea constă în faptul că trebuie turnat un perete subțire de 12—20 cm și de înălțime mare; turnarea trebuie făcută astfel încît să nu rămînă rosturi, goluri de turnare, iar în final peretele să fie practic impermeabil. Ordinea operațiunilor este următoarea: se execută cofrajul interior din panouri bine rostuite și rezemate de un eșafodaj; se execută armătura din perete, rezemînd-o pe panoul de cofraj; *se montează* la cotă și în poziție corectă *toate piesele de trecere*, care vor fi înzidite în beton; se montează jumătate din cofrajul exterior; se toarnă betonul de la o înălțime de maximum 2 m pentru a se evita segregarea și vibrîndu-l pentru a obține o compactare maximă; turnarea se face în inele continui de 30—50 cm înălțime, cu o astfel de viteză încît un inel să nu facă priza pînă la turnarea inelului de deasupra; se completează cofrajul și se continuă turnarea. După turnarea pereților, se începe organizarea execuției pentru planșeu (dacă se toarnă monolit, organizarea se începe după întărirea pereților — minimum 7 zile, iar dacă se prevede din elemente prefabricate, organizarea se începe imediat).

Din cauză că turnarea pe loc este o operațiune dificilă, de multe ori s-a recurs și la executarea pereților rezervoarelor din elemente prefabricate, elemente tip L cu mustăți de legătură. Elementele se amplasează liniar și cu spații de 10÷30 cm. După armare, se toarnă pe loc spațiul dintre prefabricate.

După decofrarea pereților, betonul proaspăt se umezește, pînă la întărirea completă.

• *Executarea planșeului* turnat pe loc este o operațiune care necesită un consum ridicat de materiale și manoperă pentru realizarea eșafodajului de susținere a betonului. Din această cauză, la rezervoarele mari, s-a recurs de multe ori la folosirea prefabricatelor (v. fig. 7.5). Pentru rezervoare rectangulare mici au fost folosite boltișoare sau elemente drepte, iar pentru cele mari — prefabricate din beton precomprimat rectangulare, chesoane de o formă specială în plan pentru rezervoare circulare. Turnarea acestora se face în condiții mai bune pe poligon la sol și se montează cu macarale alese convenabil.

Indiferent de modul de execuție, peste elementul de rezistență se execută un beton de pantă (1%), în cazul în care nu se pot monta prefabricatele cu această pantă, și apoi protecția termică și izolația hidrofugă.

Soluția pentru izolarea termică, dată în proiectul tip, este următoarea: beton de egalizare și pantă (pe placa de acoperiș); barieră de vapori-strat difuzie (carton asfaltat perforat); termoizolație—polistiren de 2,4 cm grosime; protecția termoizolației (mortar de aracet); hidroizolație (2 pînze bitumate, 1 carton asfaltat, 4 strate de bitum); protecția hidroizolației.

Printre operațiunile de finisare a acoperișurilor sînt înscrise și cele de realizare a ventilației. Coșurile de ventilație (cu suprafață totală orizontală de cca. 1/1000 din suprafața apei) se ridică la minim 80 cm peste cota finală a terenurilor, se protejează anticoroziv, se prevăd cu site la zona de legătură cu căciula de protecție (ochiuri de maxim 1 mm) și se așază astfel încît să fie respectată condiția de impermeabilitate a tavanului.

În cazul rezervoarelor cu pereții afară din pămînt, se poate accepta ca ventilația să se facă prin ferestre prevăzute în pereți, deasupra nivelului apei (în acest caz garda va fi aleasă adecvat).

• *Proba de etanşeitate* se efectuează la minimum 28 zile de la turnarea betonului din pereţi. Rezervorul se umple lent cu apă (bineînţeles că este executată instalaţia hidraulică în întregime — cu conducte protejate prin vopsire în 2 straturi) pînă la nivelul preaplinului şi se lasă 7 zile. Dacă în aceste 7 zile pe suprafaţa exterioară, descoperită, a rezervorului apar cel mult pete slabe de umezeală, se verifică volumul de apă pierdută prin aducerea nivelului de apă la semn (deci măsurarea cantităţii de apă adăugată); cînd cantitatea de apă pierdută nu depăşeşte 0,25 l/zi/m² de suprafaţă udată, rezervorul se declară etanş. Altfel, se încep lucrările de remediere.

• *Executarea tencuielii de impermeabilizare* se face astfel: se udă peretele interior de beton curat, proaspăt; se aplică un strat de amorsaj, format din mortar de nisip cu 1000÷1200 kgf ciment/m³ (grosimea stratului 2—4 mm); se aplică grundul în strat de 5—6 mm, format din mortar de nisip (1÷3 mm) cu dozaj de 600÷700 kgf ciment/m³ şi 30÷35 kgf var pastă; se aplică tencuiala propriu zisă, în 2 straturi de 5—6 mm fiecare (nisip 1—3 mm şi 6—700 kgf ciment/m³), pe două direcţii perpendiculare; se aplică stratul de scliviseală cu lapte de ciment (200÷250 g/m²) cu o drişcă de metal sau pîslă (mişcarea va fi circulară la netezire, pentru a nu lăsa direcţii preferenţiale de fisurare). Toate colţurile se vor racorda cu raza de minimum 10 cm. Tencuiala se poate aplica şi prin torcretare în 2 strate. Pe toată durata de întărire, tencuiala se umezeşte zilnic prin stropire cu apă, cu peria.

O tencuială bine făcută nu are fisuri (acestea se văd prin umezirea peretelui), iar suprafaţa este finisată la un grad de netezire asemănător cu al faianţei. Un asemenea perete se poate spăla uşor şi nu permite prinderea şi dezvoltarea germenilor patogeni (veniţi din aerul înconjurător prin ventilaţie).

Se completează tencuiala şi pe radier, asigurîndu-se panta de scurgere către başă; se lasă orificii de scurgere a apei în pereţii şicană.

• După încheierea lucrărilor privitor la *instalaţia hidraulică*, se execută tencuiala în exterior; în cazul în care rezervorul este amplasat în apa subterană, se execută şi izolaţia hidrofugă.

• Se pot face *lucrările de finisare* (umplutură, spaţiu verde, zone de protecţie sanitară); se prevăd instalaţii electrice, de automatizare, dacă este cazul etc.

• Cînd totul este gata pentru darea în exploatare, se execută *dezinfectarea*.

Înainte de darea în folosinţă, rezervorul se dezinfectează cu clorură de var 20—30 mg/dm³ şi se spală. Cu avizul organelor competente, rezervorul poate servi pentru alimentarea cu apă potabilă a consumatorilor.

7.4.1.2. **În cazul rezervorului din beton precomprimat,** există trei elemente distincte în tehnologia de execuţie (rezervorul are totdeauna forma circulară): peretele trebuie *rezemat* pe radier, pentru a se putea roti şi deplasa în momentul postcomprimării; precomprimarea pereţilor (cu cabluri — toroane sau prin înfăşurare) după o tehnologie foarte strictă şi protecţia armăturii contra coroziunii (injecţia cablurilor sau torcretarea sîrmei înfăşurate); trecerea conductelor se face pe sub peretele precomprimat. Există şi soluţia de executare a pereţilor din prefabricate şi precomprimarea pe inele.

Peretele se execută din beton armat. Se aşază pe o grindă de formă specială, prin intermediul unui cordon de cauciuc natural (fig. 7.12).

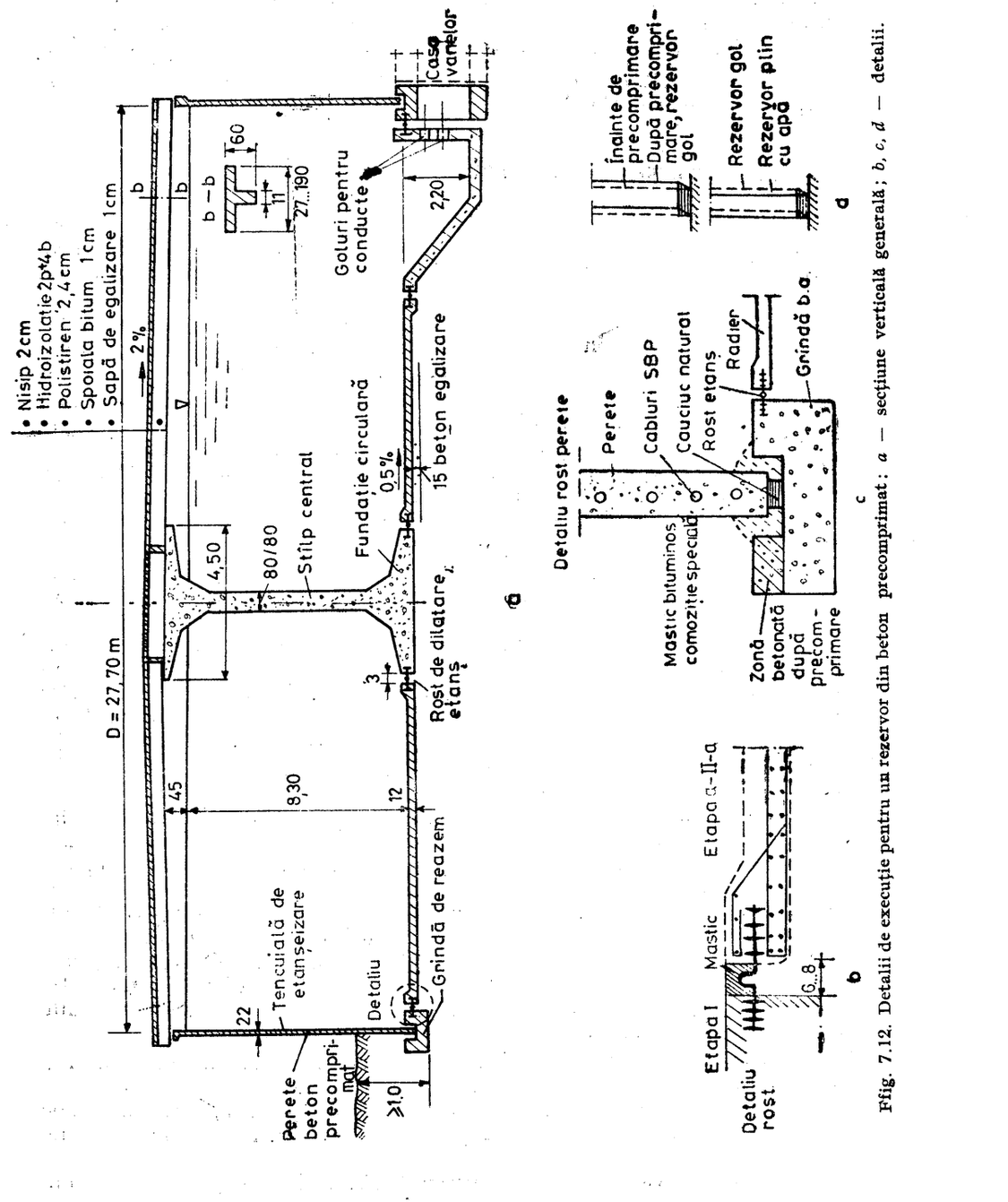


Fig. 7.12. Detalii de execuţie pentru un rezervor din beton precomprimat: *a* — secţiune verticală generală; *b, c, d* — detalii.

În interiorul peretelui se montează, odată cu armătura, şi teci din PVC, în care, după întărirea betonului, se introduc fascicule de sîrmă SBP. Întinderea se face pe sectoare şi blocare cu sistemul Freysinnet (fig. 7.12).

Legarea grinzii de sub perete cu radierul se face prin rost permanent.

În figura 7.12 este dată schema generală a unui rezervor de 5000 m³, după proiectul tip IPCT.

7.4.2. EXECUTAREA CASTELELOR DE APĂ

Tehnologia de execuţie a castelelor de apă este mai simplă decît a rezervoarelor pentru anumite faze şi mai complicată pentru altele (se va insista deci mai puţin asupra fazelor simple şi mai mult asupra dificultăţilor, cu indicarea unor soluţii mai bune care au fost aplicate).

Executarea fundaţiei se face după regulile de execuţie a construcţiilor masive de beton, beton armat: excavaţie, finisare a săpăturii, turnare a betonului de egalizare, armare a fundaţiei, cofrare şi turnare a betonului.

Executarea turnului de formă cilindrică se face cu ajutorul cofrajului glisant: se montează şi centrează cofrajul peste fundaţie (se reface parţial umplutura), se montează armătura şi se toarnă betonul folosind bene ridicate cu o macara turn, instalată, în prealabil, în apropiere. Turnarea se face continuu, pînă la terminarea turnului (se va da deci o mare importanţă aprovizionării ritmice cu materiale şi asigurării unei calităţi bune a betonului). Se va face o urmărire riguroasă a verticalităţii turnului.

Executarea cuvei de înmagazinare pune cele mai complicate probleme, deoarece are o greutate mare, iar în perioada de turnare betonul nu poate prelua singur eforturile. Soluţia clasică este realizarea unui eşafodaj rezemat pe sol şi rezemarea pe acesta a cofrajului pentru cuvă. Au fost realizate mai multe asemenea cuve, dar durata de execuţie a fost mare şi consumul de materiale şi manoperă ridicate (se menţionează că la un castel de 2000 m³ şi 40 m înălţime, au fost necesare 300 t de ţeavă de construcţie pentru executarea eşafodajului). Din această cauză, s-au căutat soluţii mai bune. Cea mai recentă soluţie aplicată la noi în ţară este cuva turnată jos şi liftată pînă la poziţia finală (v. fig. 7.6).

În Suedia, au fost executate, în condiţii bune de fundare, castele, după următoarea tehnologie: s-a executat fundaţia (pe stîncă), s-a executat cuva din beton precomprimat şi apoi aceasta a fost ridicată treptat, cu ajutorul unor prese hidraulice puternice aşezate pe turnul care se executa progresiv. În final, *cuva* de beton, cu un volum de 9000÷18 000 m³, *reazemă pe turn* (fundarea s-a făcut în condiţii de teren deosebit de favorabile, iar problema efectului cutremurului nu se punea în această ţară), astfel încît ulterior, dacă va fi cazul, să poată fi ridicată la altă cotă (unul din puţinele cazuri cînd construcţia castelului nu este *rigidă* din punct de vedere funcţional).

Cuva castelului nu se protejează contra variaţiei mari de temperatură, decît atunci cînd există riscul îngheţării apei în timpul iernii.

Acoperirea cuvei castelului se face cu o pînză conică, turnată pe loc sau executată din elemente prefabricate (aceasta din urmă fiind cea mai bună soluţie).

În final, se va da o atenţie specială finisării şi vopsirii castelului, astfel încît el să se încadreze cît mai bine în peisaj.

7.4.3. PRECIZĂRI LEGATE DE PROTECŢIA MUNCII

Din toate obiectele componente ale sistemului de alimentare cu apă, rezervoarele ocupă un loc important în folosirea unor cantităţi mari de betoane turnate pe loc (pot fi depăşite doar în cazul executării prizelor de baraj de derivaţie, multe reguli de execuţie fiind comune). Din această cauză vor fi făcute unele referiri la măsurile de protecţie a muncii, măsuri valabile ori de cîte ori se lucrează cu acest material:

— prepararea betonului va fi făcută într-un loc special amenajat, deservit de personal specializat;

— toate locurile adînci sau înalte vor fi protejate cu balustradă, iar zidurile de sprijin pentru materiale vor fi temeinic executate;

— nu se lasă părţile mobile ale betonierei, încărcătorului etc. în poziţie ridicată, chiar dacă sînt blocate;

— curăţirea utilajelor se face numai după deconectarea de la sursa de curent electric şi asigurarea acestora;

— pentru perioadele în care se lucrează noaptea, se va asigura o iluminare corespunzătoare a locului de muncă şi căilor de acces;

— nu se va lucra cu utilaje care nu au verificarea mecanică şi avizul organelor competente;

— nu vor fi folosite improvizaţii, mai ales la instalaţiile electrice;

— confecţionarea armăturii se va face în locuri ferite de circulaţie şi cu spaţiu de depozitare; armătura asamblată în elemente (stîlpi, grinzi) va fi manevrată cu utilaje adecvate; nu se va circula pe plasele de armătură, gata confecţionate sau puse în operă;

— armăturile montate vor fi bine solidarizate sau prinse de cofraj, astfel încît să nu poată fi doborîte de vînt sau prin lovire accidentală; nu se va face depozit de armătură pe eşafodaje;

— cofrajele verticale vor fi ancorate şi monolitizate şi în mod obligatoriu, vor fi controlate ca poziţie şi stabilizate, înainte de începerea turnării betonului;

— benzile transportoare folosite pentru beton vor fi prevăzute cu unghiuri (în funcţie de consistenţa acestuia, gradul de segregare, distanţă etc.); pot fi folosite şi pompe de beton cu o productivitate corespunzătoare;

— vibratoarele pentru beton vor avea legătură la pămînt, iar cordoanele de cauciuc pentru protecţia conductelor de alimentare cu energie vor fi intacte şi ferite de muchii ascuţite; manevrarea lor se va face de personal calificat, astfel încît să nu se producă deteriorarea cofrajelor sau a calităţii betonului;

— cofrajele glisante vor fi verificate zilnic de către şeful punctului de lucru;

— personalul care lucrează pe cofraje glisante la înălţime va avea aviz medical favorabil;

— în cazul în care se folosesc instalaţii de aburire a betonului sau protecţie pe timp friguros, vor fi adoptate măsuri pentru a evita accidentele (opărire cu abur, orbire cu evacuări de abur, electrocutări etc.).

7.4.4. PROBLEME ALE EXPLOATĂRII CONSTRUCȚIILOR DE ÎNMAGAZINARE

Rezervoarele și castelele de apă au în general o exploatare simplă, deoarece, dacă sînt bine executate, funcționează fără să fie necesară o supraveghere permanentă. Dacă sînt greșit executate, trebuie să fie remediate (lucru destul de greu) sau abandonate, deoarece pot provoca pagube mari prin distrugerea lor.

Principala preocupare a personalului de exploatare este păstrarea calității apei în cuvă. Se întîmplă uneori ca în cuvă să ajungă și apă insuficient de bine tratată sau cu un conținut ridicat de substanțe organice și, la o circulație defectoasă, să se înrăutățească mult calitatea apei etc.

De aceea, periodic, după caz, cuvele vor fi golite, spălate, instalația hidraulică revopsită și ansamblul dezinfectat.

Curățirea nămolului acumulat în rezervoarele de dimensiuni mari este o problemă încă nerezolvată suficient de bine. Practic, se spală cu jet de apă, iar dacă pereții sînt rugoși, se freacă bine cu peria și cu apă, operațiune grea și laborioasă. Nămolul rezultat este evacuat cu pompe de epuisment sau prin sistemul de golire al rezervorului. Deoarece de multe ori volumul de nămol acumulat poate avea valori mari (strat de $10 \div 20$ cm), este bine ca panta radierului să fie corect amenajată, ținînd seama și de prezența pereților șicane.

O altă preocupare a personalului de întreținere și exploatare a unor asemenea construcții este verificarea continuă a exfiltrațiilor din cuvă sau a pierderilor la neetanșeitățile datorate garniturilor de la instalația hidraulică, în special dacă rezervorul se află pe un teren sensibil la înmuiere. Atunci cînd rezervorul are prevăzute lucrări de drenaj, acestea vor fi verificate săptămînal.

Periodic, se va face o verificare a stabilității terenului în zona rezervorului, deoarece se poate ca, din cauza unor exfiltrații prin radier sau pereții acoperiți, terenul să devină instabil și să se pericliteze stabilitatea generală a zonei și deci și a rezervorului.

Cînd există asemenea indicii, se va trece la o probă de verificare a etanșeității, închizînd alternativ cele 2 cuve și controlînd scăderea nivelului de apă.

7.4.5. EXEMPLE DE LUCRĂRI PENTRU ÎNMAGAZINAREA APEI

În lume există zeci de mii de construcții pentru înmagazinarea apei, cu zeci sau sute de forme constructive. Această varietate de construcții este datorată faptului că, în timp, au crescut nevoile de apă și deci au fost necesare construcții cu volume mai mari, s-a modernizat tehnologia de lucru, deci au trebuit adaptate formele constructive (de la construcții săpate în stîncă, pînă la construcții din beton precomprimat), au apărut materiale noi mai bune și mai ușor de pus în operă, s-a dezvoltat tehnologia prefabricării.

● Cel mai vechi *rezervor* din țară (executat, în 1888—1890, de inginerul Elie Radu), din beton, se află și astăzi în funcțiune (la Cotroceni, București), după circa 100 ani de la darea în exploatare [30]; are următoarea soluție constructivă: galerie laterală pentru controlul pierderilor de apă și drenaj; ventilație prevăzută în afara spațiului de apă — deasupra galeriei uscate de control.

● Rezervoare mari din beton armat au fost executate la Iași (Șorogari), avînd cuve de 5000 m³, executate cu radier și pereți monolit și acoperiș din elemente prefabricate — grinzi și bolțișoare.

Începînd din anul 1960, au fost dezvoltate rezervoarele din beton precomprimat, executîndu-se cuve de 5000 m³ și 10 000 m³ (Craiova—Simnic, Ploiești-Nord, Suceava etc.) și apoi de 20 000 m³ (Brăila, Galați, Constanța — Constanța Sud, precomprimat pe două direcții).

● În paralel, au fost realizate rezervoare din beton armat — pentru București (Nord-Grivița), de circa 35 000 m³ (cu acoperiș din chesoane prefabricate), existînd tendințe de a mări volumul pe unitate, la 90—100 000 m³.

● Unul dintre puținele rezervoare cu durată îndelungată de funcționare semnalate în literatura de specialitate este cel din Constantinopole (mai ales ca operă de artă — cu stîlpi, coloane de marmură cioplită, vechi de cca. 800 de ani).

Preocuparea pentru obținerea de volume cît mai mari s-a concretizat în cîteva construcții remarcabile:

— rezervoarele *El Goloso* (lîngă Madrid, 550 000 m³/cuvă); executate cu acoperiș tip bolțișoare turnate cu cofraj glisant orizontal (cu lungime de cca. 450 m);

— rezervoarele *Port Lilas* (Paris, 330 000 m³) din beton precomprimat, pe două direcții;

— rezervoarele pentru orașul München (450 000 m³); s-a studiat în mod special intrarea apei în rezervor pentru a asigura o circulație bună a apei (rezervoare rectangulare);

— rezervor de apă industrială în Africa de Sud (300 000 m³) avînd cuvă tronconică, etanșată cu dale din beton, rostuite și acoperite cu prefabricate așezate pe cabluri ancorate pe o grindă perimetrală și un stîlp central *(umbrelă întoarsă)*;

— rezervoarele orașului Manchester (250 000 m³).

Construcții mai complicate, *castelele de apă* au apărut mai tîrziu.

● În literatura de specialitate [30] se semnalează că în Anglia există un castel de circa 1300 m³, executat în anul 1905, și astăzi în funcțiune.

● La noi în țară există construcții vechi de peste 50 ani, de formă și volume remarcabile; astfel: la Turnu Severin, castelul din centrul orașului (adevărată operă de artă) are două cuve suprapuse, de 1000 m³; la Timișoara există două castele, avînd cuve suprapuse cu un beton turnat în condiții foarte bune; la Brăila există un castel de 2000 m³, în bune condiții de existență. Din păcate presiunea din rețea crescînd, aceste castele au rămas goale sau au fost transformate (cazul cel mai cunoscut fiind cel al Foișorului de Foc — castel de apă cu cuvă dublă, suprapusă, de 500 m³, transformat în Muzeul pompierilor).

● După cel de-al doilea război mondial, în forme și cu tehnologii dezvoltate progresiv, au fost realizate sute de castele de apă, din care cu dimensiuni mai mari la: Suceava—Zamca (750 m³); București—Militari (2000 m³); Craiova—Işalnița (1000 m³); Oradea (1000 m³); Hunedoara (2000 m³); Galați—Combinatul Siderurgic (1000 m³); Iași—CUG (1000 m³ etc. Există și soluția pentru un castel de apă „demontabil" din metal, cu cuvă sferică și turn din țeavă de oțel de Ø 1000 mm, ancorat cu cabluri, cu volum 50 m³ (numit și *hidrosferă*).

● *În lume* au fost executate multe castele de apă. Cele mai remarcabile sînt cele din Suedia, la Orebrö (de 9000 m³ volum și circa 45 m înălțime) și Upsalla (de 18 000 m³ volum);

Urmează, ca volum, un castel de 12 000 m³ în Orientul Apropiat, și cîteva castele în SUA, Italia cu volume peste 5000 m³. Dificultățile de execuție au făcut ca aceste construcții să nu capete volume foarte mari.

8.

REȚEAUA DE DISTRIBUȚIE A APEI

8.1. ALCĂTUIREA REȚELEI DE DISTRIBUȚIE. SCHEME ALE REȚELEI ȘI FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ ACEASTĂ SCHEMĂ

8.1.1. FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ SCHEMA REȚELEI DE DISTRIBUȚIE

Rețeaua de distribuție este ultimul obiect (ca poziție) al sistemului (schemei) de alimentare cu apă. Este formată din totalitatea conductelor, armăturilor, aparatelor de măsurat și control și construcțiilor anexă, prin care apa este preluată de la construcțiile de înmagazinare și distribuită la toți consumatorii, în cantitatea și la presiunea cerută.

Totodată, rețeaua de distribuție este elementul cel mai dinamic din sistemul de alimentare cu apă; este un sistem în dezvoltare continuă, odată cu obiectivul deservit.

Schema (forma) *rețelei de distribuție* depinde de o serie de elemente ca:

— *rețeaua stradală a localității;* la localitățile (orașe) care există și își construiesc sistemul de alimentare cu apă, forma rețelei coincide (cu mici abateri) cu rețeaua stradală (deoarece străzile sînt singurul spațiu disponibil unde pot fi amplasate conductele din rețeaua de distribuție prin care pot fi alimentate cu apă clădirile amplasate în lungul acestora, existente sau previzibile); cînd cartierul sau orașul este nou, cu o sistematizare bună și cînd între poziția blocurilor și rețeaua stradală nu există o dependență strictă, rețeaua va avea o astfel de formă, încît lungimea totală a conductelor să fie minimă, iar amplasarea acestora se va face, pe cît posibil, în zona spațiului verde;

— *amplasarea efectivă a consumatorilor importanți;* în cazul în care în incintă există consumatori importanți, rețeaua va avea conducte cu diametrul mai mare și pe trasee mai scurte în această zonă;

— *relieful terenului;* vor fi amplasate conducte ale rețelei în zonele mai ușor de executat, de trecut peste sau pe sub cursuri de apă, căi de comunicații; pe cît este posibil sensul în care circulă apa trebuie să coincidă cu sensul pantei naturale a terenului; se va ține seama totodată de diferența de nivel între extremitățile orașului, deoarece la diferențe mari există posibilitatea împărțirii rețelei în două sau mai multe zone (după cum se va vedea în continuare); trebuie menționat un aspect destul de important legat de amplasarea construcțiilor înalte în oraș: există tendința,

uneori lăudabilă din punct de vedere al arhitecturii ansamblului, de a amplasa construcții înalte pe zone dominante din oraș sau pe zone libere, la marginea orașului, opuse locului de intrare a apei în rețea; se scapă din vedere însă, la calculul economic, faptul că prevederea acestor construcții pe cote înalte sau în puncte depărtate impune ridicarea presiunii în rețea, deci un cost suplimentar al energiei de pompare, cost care poate avea valori importante și care poate face de fapt ca și soluția să nu fie economică pe ansamblu; în unele cazuri, se procedează la extinderi fără a ține seama de posibilitățile rețelei și abia ulterior se constată că presiunea existentă nu este suficientă, fapt care angrenează o serie de alte construcții suplimentare sau deficiențe în aprovizionarea curentă cu apă;

— *sistematizarea actuală și de perspectivă a localității;* în cazul în care se prevede o extindere importantă a localității sau o sporire a densității de construcție, trebuie ținut seama de aceasta la alcătuirea rețelei, în caz contrar adăugirile ulterioare pot conduce la soluții neraționale sau neeconomice (au fost cazuri cînd o dezvoltare nerațională a făcut ca, în timp, pe aceeași stradă să existe 2 sau chiar 3 conducte pentru distribuția apei, fapt care a creat neajunsuri în exploatare);

— *natura terenului în zona localității;* în cazul localităților amplasate pe teren loessoid, sensibil la înmuiere, trebuie luate măsuri speciale care merg pînă la amplasarea tuturor conductelor și cablurilor din subsolul străzii într-o *galerie* — pentru acces ușor și în special pentru controlul pierderilor de apă care pot produce mari neajunsuri construcțiilor vecine; orașul Brăila a avut de suferit mari pagube, ca urmare a pierderilor de apă din rețea; apa s-a acumulat în subsolul orașului; loessul fiind puțin permeabil în direcție orizontală — a condus la creșterea nivelului hidrostatic, la atingerea cotelor de amplasare a hrubelor vechi, cu pereți necăptușiți, de sub construcții; hrubele s-au prăbușit antrenînd și construcțiile de deasupra); bineînțeles că soluția cu galerie vizitabilă pentru executarea rețelelor de distribuție este cea mai bună, dar trebuie ținut seama de investiția sporită care trebuie să fie făcută chiar de la început;

— *natura îmbrăcămintii căilor de circulație și importanța acestora, precum și prezența sau perspectiva construcției de pasaje denivelate:* este rațional ca pe arterele principale de circulație, cu trafic intens și cu îmbrăcămintea definitivă (de multe ori betonată), conductele să fie executate (în cele mai bune condiții) o singură dată la dimensiunea de perspectivă, astfel încît să nu fie nevoie de spargerea repetată pentru remedieri sau extinderi, deoarece refacerea îmbrăcămintii în rare cazuri ajunge să fie de calitatea execuției inițiale, iar pagubele, care se produc prin deteriorarea mijloacelor de transport (uneori și accidente), precum și întreruperile de circulație (care de multe ori nu se evaluează), sînt mai mari decît eventualul cost suplimentar, ca urmare a prevederii unei conducte cu un diametru mai mare (dimensionată pentru perspectiva de 10÷12 ani); pe arterele importante este chiar indicată pozarea acestor conducte în *galerii edilitare;* în cazul perspectivei de executare a unor treceri denivelate, soluțiile vor fi gîndite de la început pentru a nu recurge mai tîrziu la soluții grele de deviere;

— *prezența sau perspectiva prezenței celorlalte rețele subterane* necesare în localitate, precum: rețeaua de canalizare, rețeaua de termoficare, gaze, cable telefonice, cabluri electrice pentru instalație de iluminat și de forță;

trebuie ţinut seama de posibilitatea amplasării tuturor acestor reţele, precum şi de poziţia relativă şi necesitatea intervenţiei, separate la fiecare dintre ele.

8.1.2. SCHEMA REŢELEI DE DISTRIBUŢIE

În funcţie de numărul de reţele de distribuţie a apei dintr-o incintă, localităţile se clasifică astfel:

— *localităţi* sau incinte industriale *cu o singură* reţea de distribuţie ce asigură pentru toţi utilizatorii o apă de calitatea apei potabile; este cazul cel mai des întîlnit pentru oraşe, comune şi mai rar întîlnit la industrii (se întîlneşte în general la unităţile industriale mici, unde nu este raţional să se prevadă mai multe reţele);

— *localităţi*, în special unităţi industriale, *cu două sau mai multe reţele* de distribuţie a apei, în cazul în care în incintă sînt consumatori de apă — pentru debite importante — care suportă calităţi diferite de apă sau funcţionează cu presiuni foarte importante. Nu este raţională executarea unei singure reţele de distribuţie, deoarece aceasta presupune asigurarea apei de calitate cerută pentru consumatorul (secţia, instalaţia, fabrica) cel mai pretenţios, deci o reţea mai ieftină dar, pentru o calitate bună a apei, deci mai scumpă.

Astfel, de exemplu, există industrii care au nevoie de multă apă pentru răcire, apă cu turbiditate mică şi fără limite în ceea ce priveşte culoarea, gustul, mirosul etc.; în incinta respectivă este nevoie însă şi de apă potabilă pentru anumite procese sau cel puţin pentru nevoile igienico-sanitare ale muncitorilor, pentru combaterea incendiului; unele instalaţii au nevoie de apă dedurizată (apă pentru producerea aburului în cazane de înaltă presiune) sau apă complet demineralizată etc. Cantităţile de apă cu calitate superioară sînt însă mult mai mici decît apa de răcire şi nu este raţional să se trateze toată apa în scopul distribuţiei pe o singură reţea.

Poate apare şi un alt caz: toată apa necesară trebuie să fie de aceeaşi calitate, dar presiunea cerută de diferite secţii sau ansambluri de locuinţe poate să difere substanţial; există secţii cu debit mic şi presiune mare, dar şi secţii care cer un debit mare la presiuni mici; nu este raţional să se asigure toată apa la presiunea consumatorului cel mai pretenţios, ci pot fi separaţi consumatorii prin reţele ce funcţionează la presiuni diferite (uneori reţeaua este denumită după valoarea presiunii — reţea de joasă presiune sau reţea de înaltă presiune etc.).

Ţinînd seama de toate aceste considerente şi de altele, precum durata de execuţie, materialul din care se pot executa etc., schema reţelei (forma reţelei de conducte, în plan) poate fi: ramificată, inelară sau mixtă.

• *Reţeaua ramificată* (fig. 8.1, *a*), caracteristică localităţilor dezvoltate în lungul unei artere importante de circulaţie, este reţeaua prin care fiecare consumator nu poate fi alimentat decît pe un singur circuit; are avantajul că este mai scurtă, dar şi dezavantajul că prezintă o siguranţă mai mică în exploatare (o avarie pe conducta principală în zona amonte întrerupe alimentarea cu apă în aproape toată localitatea — punctul A pe figura 8.1, *a*), iar, în zonele terminale ale reţelei, circulaţia apei în mod normal se face cu viteze foarte mici, deoarece aceste tronsoane

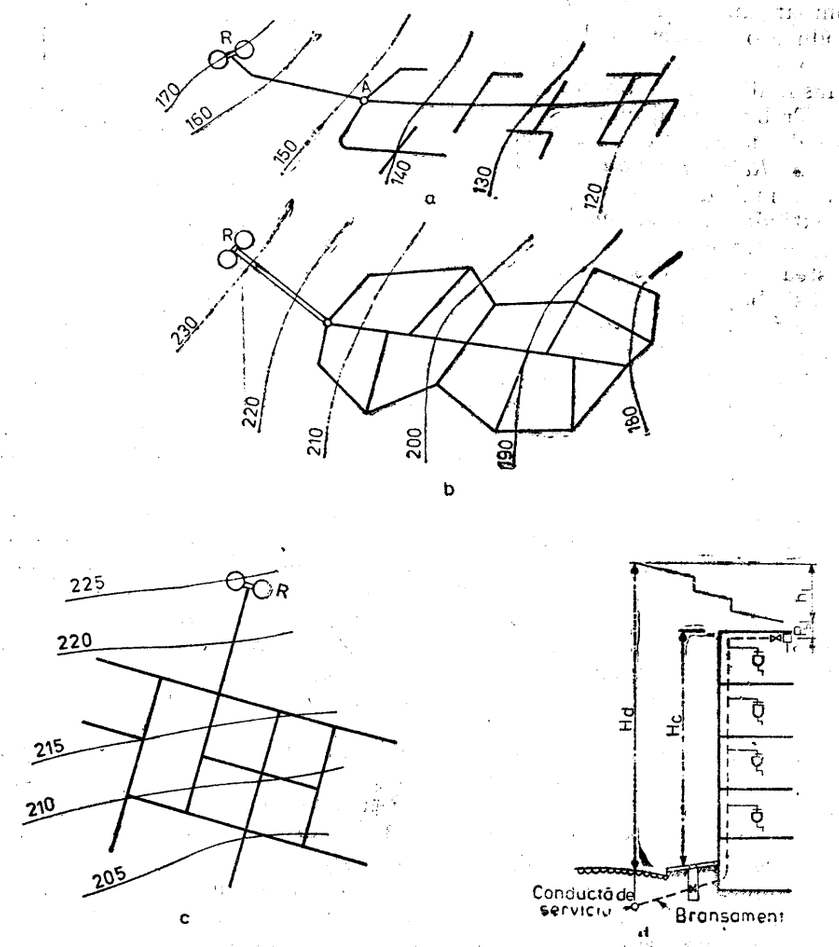


Fig. 8.1. Scheme ale reţelei de distribuţie: *a* — ramificată; *b* — inelară; *c* — mixtă; *d* — calculul presiunii la branşament (H_b).

sînt dimensionate pentru a asigura debitul şi presiunea la hidranţii de incendiu;

• *Reţeaua inelară* (fig. 8.1, *b*), specifică unităţilor industriale şi localităţilor mari, este formată din numeroase circuite închise (inele) alăturate şi alimentate prin una sau două conducte din rezervor sau castel.

Deşi lungimea unei asemenea reţele este mai mare decît a reţelei ramificate (se observă că ea poate proveni dintr-o reţea ramificată la care au fost închise, în timp, unele circuite), prezintă avantaje importante în exploatare, precum: siguranţă sporită (consumatorii putînd fi asiguraţi cel puţin prin două circuite, cu excepţia porţiunii avariate); comportare mai bună în caz de incendiu (debitul putînd fi asigurat prin toată reţeaua, nu numai pe un circuit ca la reţeaua ramificată); preluarea în condiţii mult mai bune a loviturilor de berbec, care apar în special la sistemele de

pompare în rețea. Totodată, la rețelele caracteristice localităților mari, se produce o reducere a debitului maxim transportat. Aceasta deoarece, cu cît localitatea este mai mare, simultaneitatea folosirii apei poate fi mai redusă, din cauza programului de activitate al locuitorilor.

Trebuie menționat că rețeaua inelară are avantaje mult superioare, față de dezavantajul că este mai scumpă decît rețeaua ramificată.

• *Rețeaua mixtă* (fig. 8.1, *c*) este de fapt forma practică a rețelei la cele mai multe localități și incinte industriale. Aceasta deoarece orașul se extinde întotdeauna lateral, cu străzi mai întîi radiale, deci unde nu se poate închide un inel și abia după ce s-au consolidat străzile radiale, acestea se închid cu bretele, deci pot fi executate inele noi ale rețelei de distribuție. În cazul industriilor, apar întotdeauna secții așezate puțin excentric față de rețeaua de bază și care pot fi legate printr-un singur racord la rețeaua inelară.

Din motive de siguranță, în caz de incendiu, ramificațiile la rețeaua mixtă nu trebuie să depășească 200 m. Se observă că rețeaua mixtă este faza a doua de dezvoltării rețelei ramificate, în tendința de a ajunge rețea inelară. În cazul orașelor, rețeaua tinde la o rețea inelară, dar nu ajunge decît rar la o asemenea formă.

Legat de *noțiunea de inel*, trebuie făcută o precizare importantă: nu orice rețea aparent inelară se comportă ca o rețea inelară; *rețeaua este inelară atunci cînd dimensiunile barelor (conductelor) inelului sînt sensibil apropiate*, deci blocarea unei conducte conduce la refacerea circuitului în sens invers la barele rămase. De exemplu, dacă un inel are bare de 300, 400, 500 mm, dar una singură din bare are 100 mm, formal este un inel, dar practic este o ramificație, deoarece blocarea uneia din barele cu diametru mare nu poate fi compensată de conducta cu diametrul foarte mic.

Atît în cazul rețelei inelare, cît mai ales în cazul rețelei mixte (care poate fi considerată și ca o rețea inelară în dezvoltare), este foarte importantă mărimea conductelor rețelei. Pentru îmbunătățirea funcționării rețelei, conductele care o compun au fost împărțite în *două grupe*:

— *conducte principale* sau *artere*, care asigură transportul apei în zona de distribuție; au diametre mai mari de 250 mm și nu sînt perforate de branșamente, decît în cazuri cu totul speciale (hidranți de incendiu de mari dimensiuni, branșamente speciale pentru consumatori importanți etc.). Pe parcurs, toate arterele sînt dublate cu conducte de dimensiuni mai mici ($Dn < 200$ mm) legate la conductele principale, în puncte convenabil alese, la distanțe de 200÷300 m;

— *conductele de serviciu*, care primesc apa de la conductele principale și o distribuie în zona adiacentă la toți consumatorii, pînă la punctele de legătură (branșamente); pe ele sînt amplasați toți hidranții de incendiu.

Pentru a fi ușor de identificat, aceste două conducte, în cazul în care sînt prevăzute pe aceeași stradă, pot fi amplasate în același șanț, dar la cote diferite (conducta principală cu cca. 30 50 cm mai jos, astfel încît, în caz de executare a săpăturii, să se întîlnească întîi conducta de serviciu) sau pe o parte și pe alta a străzii, sub porțiunea verde (cînd există).

Cînd străzile sînt foarte late (peste 25 m), pentru a evita executarea de branșamente lungi și numeroase, care să traverseze într-o parte sau alta subsolul străzii, se recomandă amplasarea de conducte de serviciu, pe ambele părți.

În cazul amplasării în galerie vizitabilă, împreună cu alte rețele, artera se așază la partea de jos, dar cu grija de a asigura posibilitatea de acționare a tuturor armăturilor prevăzute sau de reparații la conductă.

8.1.3. CLASIFICAREA REȚELELOR DUPĂ FUNCȚIONAREA ÎN CAZ DE INCENDIU

Din punct de vedere al funcționării în caz de incendiu, se deosebesc două cazuri: rețele de înaltă presiune și rețele de joasă presiune.

— *Rețeaua de înaltă presiune* asigură debitul de incendiu și presiunea de funcționare a tuturor hidranților exteriori de combatere a incendiului. Conform prevederilor PSI [46], presiunea de funcționare a hidranților se stabilește astfel încît, la hidrantul de incendiu, echipat cu furtun cu lungimea de 120 m, să se obțină o vînă de apă de 10 m lungime peste punctul cel mai înalt al clădirii deservite; din cauză că presiunea cerută este de obicei mare, cu mult mai mare decît presiunea cerută la branșament pentru o funcționare normală, această schemă nu se aplică decît la unele instalații industriale deosebit de pretențioase și unde timpul de intervenție trebuie redus la minimum.

— *Rețeaua de joasă presiune* este rețeaua de distribuție care asigură în mod normal presiunea de funcționare H_b la branșament, iar în caz de incendiu 7 m. col. H_2O; această presiune minimă este necesară deoarece, în caz de incendiu, pentru asigurarea presiunii la furtun, se folosesc motopompe din dotare (cazul industriilor) sau aparținînd formațiilor de pompieri; pentru a intra în regim într-un timp cît mai scurt, motopompele trebuie să fie umplute cu apă din rețea (pentru a fi amorsate); în ultimul timp au fost perfecționate aceste pompe, ajungîndu-se la așa-numitele *autopompe*, pompe care pot să-și realizeze singure, cu un dispozitiv special, vacuumul necesar pentru amorsare. Este tipul de rețea cu funcționare rațională adoptat în toate orașele țării noastre. Se menționează că rețeaua de distribuție avînd valori diferite de presiuni în cuprinsul orașului, pot exista zone, cele mai joase în special, unde hidranții pot să aibă asigurată presiunea fără ajutorul motopompelor.

Presiunea normală la branșament este valoarea presiunii apei în conducta de serviciu, care asigură alimentarea cu apă în condiții normale la robinetele tuturor obiectelor sanitare instalate în locuință (fig. 8.1, *d*).

Valoarea presiunii în branșament H_b, măsurată în metri coloană de apă, peste cota trotuarului, se obține astfel:

$$H_b = H_c + p_s + h_{ri}, \tag{8.1}$$

în care: H_c este înălțimea deasupra trotuarului străzii a ultimului robinet ce trebuie alimentat; la construcții locuite, se poate considera egală cu înălțimea construcției; un cat (etaj) se poate considera de 3,00 m înălțime;

p_s — presiunea de serviciu la robinet (se măsoară în m. col. H_2O și are valoarea de 2,00 m pentru toate robinetele din casă, cu excepția celor de la duș sau a celor care au prevăzută baterie de amestec apă rece/caldă, unde valoarea este 3,00 m); pentru presiunea necesară la hidrantul interior vor fi respectate prevederile STAS 1343 [46];

h_{ri} — pierderea de sarcină pe conducta de branşament şi pe reţeaua interioară de distribuţie ; se poate considera de ordinul a 3—5 m H_2O (se va lua valoarea superioară sau se poate calcula exact, în funcţie de forma şi lungimea reţelei ; pierderea de sarcină în contorul de apă, apometru, se va considera de cca. 1,00÷2,00 m).

Pentru orientare, în tabelul de mai jos sînt date valorile presiunii la branşament, în funcţie de înălţimea clădirilor de locuit care se construiesc în prezent [31].

Tabelul 8.1

Valorile presiunii la branşament

Numărul de nivele al construcţiei	1	2	3	4	peste 4
Presiunea minimă la branşament H_b, în m. col. H_2O	8	12	16	20	4.5 m pentru fiecare nivel

Calculul detaliat se va execută în conformitate cu prevederile STAS 1478.

8.1.4. ZONAREA REŢELEI IN FUNCŢIE DE PRESIUNEA MAXIMĂ

Din punct de vedere al alimentării reţelei, se deosebesc :

— reţele alimentate cu apă gravitaţional din rezervoare sau castele (fig. 8.2, *a*) ;

— reţele alimentate cu apă prin pompare (fig. 8.2, *b*) ;

— reţele cu alimentare combinată, parţial gravitaţional, parţial prin pompare, în tot timpul zilei sau numai o parte a zilei ; în figura 8.2, *c* este dată o asemenea schemă numită cu rezervor de capăt (contra-rezervor).

În toate cazurile, din motive de rezistenţă a armăturilor interioare şi uneori a celor din reţeaua de distribuţie, limita maximă a presiunii în reţea este de 60 m.

Există situaţii specifice în care condiţiile locale impun separarea reţelei de distribuţie în mai multe părţi (zone), care funcţionează independent. Factorii care concură la obţinerea unei asemenea soluţii sînt :

— localitatea se desfăşoară pe un teren cu diferenţa de cotă mai mare de 60 m ;

— localitatea este foarte întinsă ca suprafaţă şi nu este raţional să se pompeze toată apa la o cotă înaltă de la început ;

— sînt utilizatori care cer presiuni total diferite pentru folosirea apei (exemplu zone la blocuri P + 4, zone cu blocuri P + 8, P + 10).

Realizarea unei reţele viitoare ar conduce la zone în care presiunea ar depăşi (permanent sau periodic) valoarea limită de 60 m.

Ridicarea presiunii în reţea, chiar numai temporar, face ca armăturile (conductele în general rezistă la 10 daN/cm²) să fie avariate, producînd pagube în locuinţe, pierderi de apă şi obligarea beneficiarului de a-şi procura

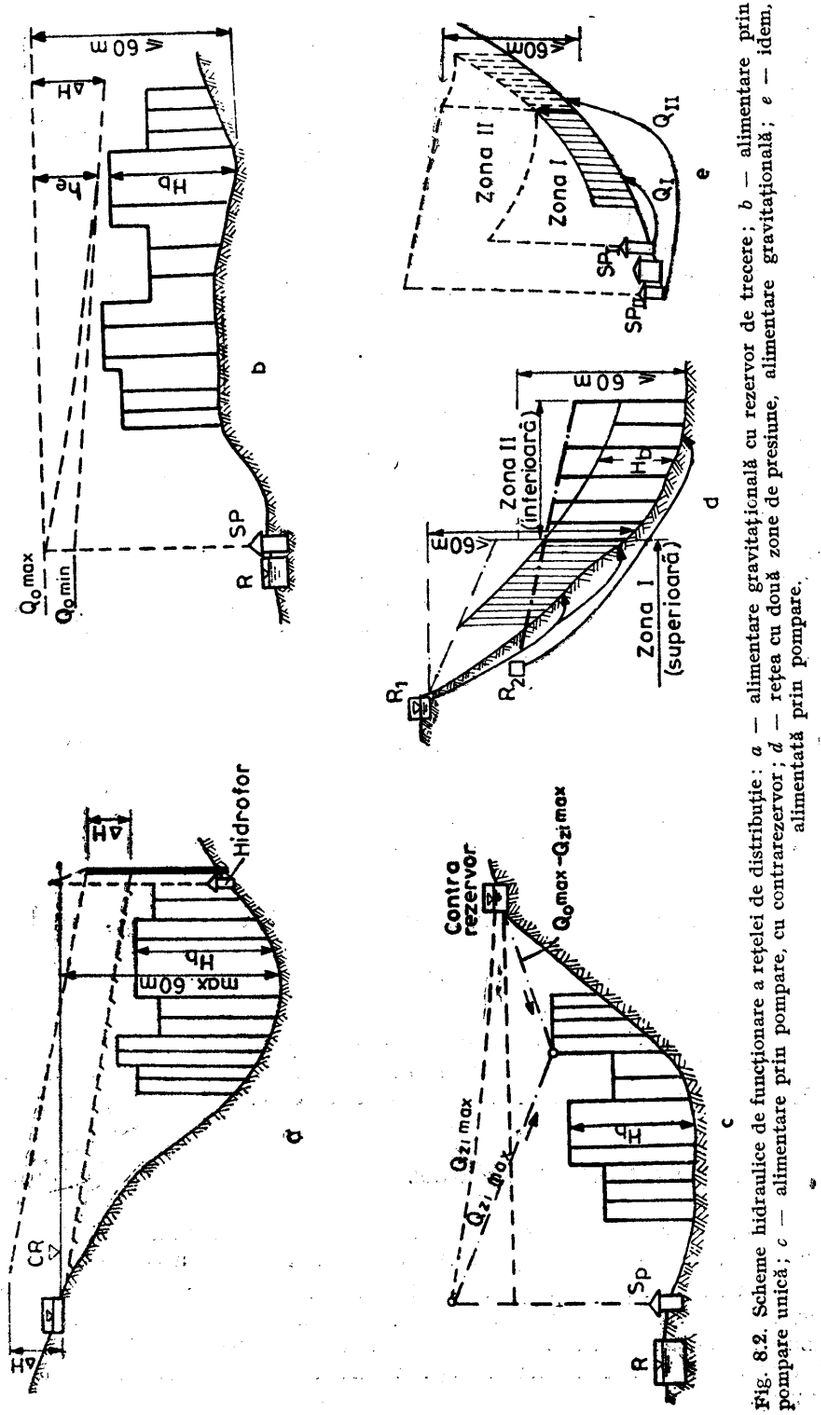


Fig. 8.2. Scheme hidraulice de funcţionare a reţelei de distribuţie : *a* — alimentare gravitaţională cu rezervor de trecere ; *b* — alimentare prin pompare unică ; *c* — alimentare prin pompare, cu contrarezervor ; *d* — reţea cu două zone de presiune, alimentare gravitaţională ; *e* — idem, alimentată prin pompare.

armături mai bune. Totodată, trebuie precizat că pierderile şi risipa de apă în reţeaua interioară sînt cu atît mai mari, cu cît presiunea în reţea este mai mare. Pentru o funcţionare bună, se recomandă chiar ca presiunea maximă în reţea să nu depăşească 45—50 m. col. H_2O.

Depăşirea presiunii de 60 m col. H_2O în reţea rezultă ca urmare a aşezării localităţii pe o suprafaţă cu denivelări extrem de mari (peste 400 m în cazul oraşelor de deal sau munte, fig. 8.2. *d*). În această situaţie, reţeaua se împarte în două sau mai multe zone, fiecare lucrînd ca reţea independentă (eventual numai cu legături de siguranţă care, în mod normal, sînt închise), astfel încît, pe fiecare zonă, presiunea maximă să fie de 60 m col.H_2O. Este preferabil ca valoarea presiunii să fie echilibrată pe cele două zone, sau să fie asigurată presiunea mai mică pe zona cu cea mai mare dezvoltare.

Atunci cînd este raţional ca oraşul să fie alimentat prin pompare cu sensul de circulaţie al apei invers pantei terenului, pentru a nu depăşi presiunea de 60 m col. H_2O pe zona inferioară, se procedează, de asemenea, la separarea reţelei în două zone, fiecare din ele fiind alimentată prin pompare separată (fig. 8.2, *e*).

Se poate întîmpla ca, tot din motive arhitectonice sau de spaţiu, să apară sau să se prevadă construcţii a căror înălţime să fie cu mult mai mare ca aceea a celorlalte clădiri din incintă. Pentru a asigura cu apă acest consumator, direct din reţea, ar însemna că trebuie să fie ridicată, toată presiunea în reţea şi aceasta pentru un debit relativ mic (pentru clădirea care solicită acest lucru).

În aceste cazuri, este raţională executarea reţelei şi construcţiilor anexă pentru o presiune normală la marea majoritate a consumatorilor şi prevederea de instalaţii speciale de ridicare a presiunii pentru acei consumatori care cer o presiune mai mare ; soluţia este raţională şi economică. Se poate realiza cu ajutorul *staţiilor de pompare cu hidrofor*. Se obţine o zonare interioară, foarte mică din punct de vedere al suprafeţei, dar cu importante efecte economice (fig. 8.2, *a*).

8.2. DIMENSIONAREA HIDRAULICĂ A REŢELEI DE DISTRIBUŢIE

Dimensionarea reţelei de distribuţie se poate face pe mai multe căi :

— *prin calcul* (manual, cu mijloace automate) ;

— *prin modelare* (hidraulică, analogică).

Întrucît metodele de dimensionare prin calcul sînt aproape unanim folosite, va fi dezvoltată mai mult această cale.

8.2.1. DIMENSIONAREA PRIN CALCUL

Dimensionarea oricărei reţele de distribuţie presupune de fapt etapele de calcul, care decurg după schema logică din figura 8.3.

Pentru cunoaşterea modului de calcul, deci pentru a putea elabora şi programul de calcul al unei reţele, precum şi pentru a putea interpreta rezultatul obţinut prin calculul automat, în cele ce urmează sînt date etapele de lucru pentru dimensionarea manuală a unor reţele de distribuţie de formă simplă.

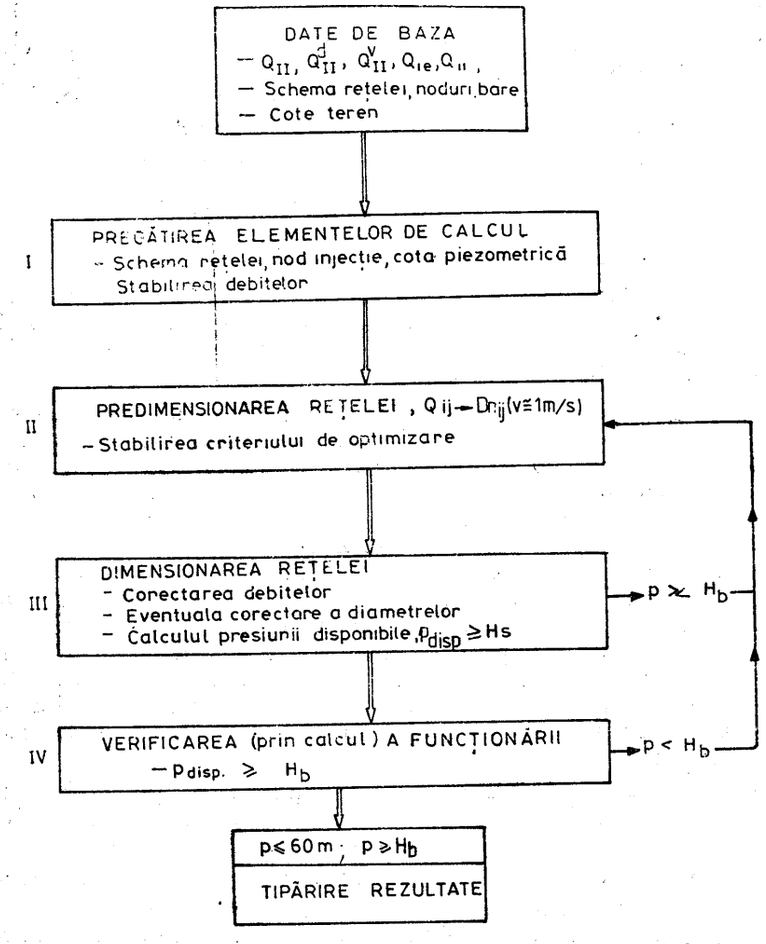


Fig. 8.3. Etapizarea calculelor în dimensionarea reţelei de distribuţie.

8.2.1.1. **Principii generale de calcul.** Dimensionarea hidraulică a reţelei de distribuţie comportă toate operaţiile prin care se stabilesc : dimensiunea şi materialul conductelor reţelei ; presiunea de lucru şi viteza de curgere a apei, în caz normal şi la incendiu pentru numărul de incendii teoretic simultane pe toată suprafaţa incintei acoperită de reţea ; definirea tuturor armăturilor, aparatelor de măsurat şi construcţiilor accesorii necesare în funcţionarea corectă a reţelei.

Debitul de dimensionare al reţelei de distribuţie este conform prevederilor normelor în vigoare (v. cap. 1) :

$$Q^d_{II} = Q_{s\,o\,max} + \sum_{i=1}^{n} Q_{ii}, \qquad (8.2)$$

în care : $Q_{s\,o\,max}$ este debitul orar maxim al cerinţei de apă, calculat conform STAS 1343 ; Q_{ii} — debitul hidranţilor interiori pentru combaterea

unui incendiu ; n — numărul de incendii, teoretic simultane, ce trebuie să fie stinse.

Pentru acest debit, în fiecare punct al rețelei trebuie să fie asigurată presiunea H_b la branșament, specifică beneficiarului din zonă (inclusiv pentru incendiu, în secțiunile cu clădiri care au prevăzuți hidranți interiori).

Debitul de verificare al funcționării rețelei în caz de incendiu se stabilește ca fiind cel mai dezavantajos dintre următoarele valori :

$$Q^v_{II} = Q_{s\ o\ max} + Q_{ii} + (n-1)Q_{ie} \tag{8.3}$$

$$Q^v_{II} = Q'_{s\ o\ max} + nQ_{ie}, \tag{8.4}$$

în care Q_{ie} este debitul necesar pentru combaterea unui incendiu folosind hidranții exteriori, iar $Q'_{s\ o\ max} = aQ_{s\ o\ max}$ ($a = 1{,}0$ pentru rețele de înaltă presiune și $a = 0{,}7$, pentru rețele de joasă presiune, apreciat în funcție de schema de combatere a incendiilor).

În cazul funcționării hidranților interiori, trebuie să se verifice ca presiunea la branșament în rețea să permită folosirea lor în condiții bune (echipați cu furtun lung de 20 m să permită obținerea, la duza finală, a debitului cerut, de 2,5—5,0 dm³/s, într-o vînă compactă de minimum 6 m), iar în cazul funcționării hidranților exteriori, presiunea la branșament trebuie să aibă valoarea de cel puțin 7 m col. H_2O, la rețeaua de joasă presiune.

Deoarece dimensionarea comportă o tehnologie diferită pentru rețeaua ramificată față de rețeaua inelară, calculul se face separat pentru fiecare dintre ele. Etapele de calcul sînt în general aceleași, și anume :

— obținerea schemei generale a rețelei de distribuție cu dimensiuni (lungimea tronsoanelor) și cote la noduri și în alte puncte caracteristice ;

— stabilirea nodului de alimentare cu apă și a schemei hidraulice de funcționare (gravitațională, prin pompare, cu contrarezervor, cu zonă de presiune etc.) ;

— obținerea sensului rațional de circulație a apei pe conducte ;

— stabilirea modului și ritmului (uniform, neuniform), la ce presiune și cum se preia apa din rețea de către beneficiar ;

— stabilirea schemei de calcul pentru dimensionarea hidraulică ;

— determinarea debitelor de calcul pe tronsoane (conductă între două noduri succesive) ; prin *nod* se înțelege secțiunea de intersecție între cel puțin două conducte cu diametre identice sau diferite sau secțiunea pe o conductă în care debitul variază ca urmare a unei plecări sau intrări de apă ;

— dimensionarea conductelor în limite economice și verificarea presiunii disponibile în toate nodurile ($p \geqslant H_b$) ;

— verificarea rețelei în caz de incendiu, în toate ipotezele care asigură în practică funcționarea bună în orice situație în care ar apare incendiul ;

— verificarea rețelei la funcționare în caz de avarie pe unele tronsoane (în special în cazul industriilor importante) ; prevederi normative ferme nu există pentru acest caz, ele fiind la latitudinea proiectantului.

Schema generală a rețelei de distribuție se obține după indicațiile date în §8.1.1. Rezultă o rețea de tipul menționat : ramificată, inelară sau mixtă. În cazul rețelei cu zone de presiune, fiecare rețea dintr-o zonă de presiune se comportă ca o rețea separată, deci se dimensionează ca o rețea separată (este interpretabil modul de apreciere a coeficientului de variație orară a debitului, care este cu atît mai mare cu cît numărul de beneficiari asigurați cu apă este mai mic).

Stabilirea nodului de alimentare (sau nodurilor de alimentare, în cazul în care rețeaua se alimentează din mai multe surse distincte sau pentru a realiza o siguranță mai mare) se face respectînd următoarele recomandări :

— intrarea apei să se facă într-un nod puternic, format din cel puțin 3 conducte, cu diametre apropiate ca valoare ;

— nodul alimentat să permită o distribuție echilibrată și centrală în rețea ;

— nodul alimentat să fie amplasat cît mai aproape de rezervorul de înmagazinare ; nu este neapărat un nod pe conturul exterior al rețelei.

Stabilirea nodului de alimentare și a schemei hidraulice de funcționare a rețelei se face după situația locală, în funcție de poziția rezervorului și forma rețelei, astfel : rețea ramificată alimentată gravitațional sau cu pompare, cu rezervor sau castel de apă ; rețea inelară cu rezervor (castel) de trecere sau de capăt sau alimentată prin pompare ; rețea formată dintr-o singură structură sau împărțită pe zone de presiune etc. În prealabil se va determina cota aproximativă și poziția rezervorului sau castelului de apă (v. cap. 7).

Stabilirea modului în care apa este distribuită din rețea la consumator se face după următoarele considerente :

— dispunerea consumatorilor în lungul tuturor străzilor sau pe anumite suprafețe, eventual cu densitate diferită de populație ;

— după mărimea consumului, se deosebesc consumatori de mică importanță, dar numeroși (clădirile așezate în lungul unei străzi) sau consumatori mai mari, cu debite importante (blocuri, unități industriale, debitul de incendiu etc.).

Pentru ușurința calculului, se stabilește la început dacă în incinta respectivă consumatorii pot fi considerați uniform distribuiți sau nu și dacă distribuția este aceeași pe toată suprafața sau pe zone (cartiere, cvartale etc.).

Dacă așezarea consumatorilor este uniformă pe lungimea străzilor, se acceptă (STAS 4163) că, pentru calcul, distribuția debitului din rețea se poate face uniform pe lungimea aferentă (Σl). Astfel, se poate calcula un debit specific uniform distribuit în lungul rețelei :

$$q_s = \frac{Q_{s\ o\ max}}{\Sigma l}\ [\mathrm{dm^3/s \cdot m}]. \tag{8.5}$$

Dacă distribuția consumatorilor este uniformă pe suprafață (cazul cvartalelor noi de locuințe), se calculează un debit specific :

$$q_s = \frac{Q_{s\ o\ max}}{\Sigma S}\ [\mathrm{dm^3/s\ ha}], \tag{8.6}$$

considerînd că fiecare tronson de conductă distribuie acest debit pentru suprafața adiacentă delimitată cu ajutorul bisectoarelor duse în noduri.

Cunoscînd lungimea tronsoanelor, sau mărimea suprafețelor aferente, se poate calcula pe fiecare tronson care este debitul distribuit în exterior, cu relații de forma :

$$q_d = l_{ij} q_s \quad \text{sau} \quad q_d = S_{ij} q_s\ [\mathrm{dm^3/s}], \tag{8.7}$$

în care l_{ij}, S_{ij} sînt lungimea, respectiv suprafața aferentă tronsonului pe care se distribuie apa.

8.2.1.2. **Dimensionarea hidraulică a rețelei ramificate.** Pentru dimensionarea hidraulică a rețelei de distribuție de tip ramificat se dispune de două serii de relații între parametrii hidraulici:

— ecuația de continuitate în fiecare nod, scrisă sub forma:

$$\sum_{i=1}^{n} Q_i = 0 \tag{8.8}$$

și care exprimă faptul că în orice nod al rețelei suma debitelor care intră trebuie să fie egală cu suma debitelor care ies din nod;

— relația Bernoulli între două puncte din rețea (în speță între rezervor și oricare punct din rețea) scrisă sub forma simplificată:

$$\Delta H = \Sigma h_r, \tag{8.9}$$

în care cu ΔH s-a notat energia disponibilă într-un punct oarecare al rețelei, iar cu Σh_r suma pierderilor de sarcină distribuită între cele două puncte (fig. 8.5).

Dimensionarea rețelei se începe prin stabilirea schemei de calcul. Se definitivează forma rețelei; se determină lungimea (sau dacă este cazul suprafețele aferente tronsoanelor) și cotele topografice ale nodurilor; se numerotează nodurile (în numerotare sînt prinse și punctele terminale ale tronsoanelor marginale, precum și toate nodurile unde pleacă un debit concentrat); se stabilește sensul rațional de circulație a apei și se marchează cu o săgeată. Întrucît rețeaua de distribuție ramificată are de regulă o dezvoltare redusă, *criteriul de optimizare* se alege ca fiind cel al *investiției minime*, deci a unei lungimi minime a rețelei. Atunci cînd se pompează în rețea, criteriul de optimizare este *costul total anual minim* (de regulă pe lîngă o lungime redusă a rețelei sînt necesare anumite diametre a conductelor tronsoanelor).

Următoarea operație importantă în calculul de dimensionare constă în determinarea debitelor de calcul pe tronsoane. Operațiunea se realizează în 2 etape: etapa I de calcul a debitelor prin echilibrarea nodurilor și etapa a II-a de calcul a debitelor pe bare.

— *Etapa I*, determinarea debitelor de la capetele barelor, constă în aplicarea ecuației de continuitate în fiecare nod; debitul care intră (pleacă din nod) în bară este notat Q_i, iar debitul care pleacă din bară (intră în nodul următor) cu Q_f (fig. 8.4).

Pentru calcul se pleacă întotdeauna de la nodul cel mai depărtat și în care se cunoaște debitul care pleacă. Calculul se conduce mergînd în contra curent (contra săgeată), astfel încît debitul pe tronsonul parcurs să fie întotdeauna cunoscut.

Cînd calculul a ajuns în nodul de alimentare din rezervor, se face prima verificare: se cunoaște debitul care intră în rețea ($Q_{o\ max} + \Sigma Q_{ii}$), dar se cunosc și debitele care pleacă pe conductele din nodul *1*. Dacă la calcule nu s-au strecurat greșeli, nodul trebuie să fie echilibrat. În caz contrar, calculul se reia. Se atrage atenția că această verificare trebuie făcută pentru control (există riscul, la rețele mai dezvoltate, să se omită cîte un debit pe drum), deoarece greșelile sesizate ulterior conduc la reluarea integrală a calculelor.

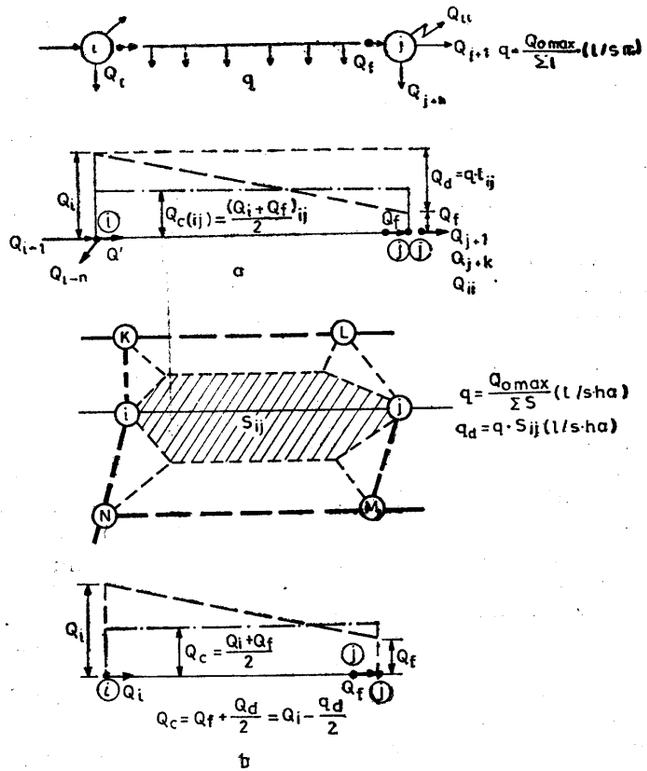


Fig. 8.4. Determinarea debitelor de calcul pe barele rețelei: *a* — în ipoteza distribuției debitului uniform pe lungimea rețelei; *b* — în ipoteza distribuției debitului uniform pe suprafața alimentată.

— *Etapa a II-a* constă în determinarea debitelor de calcul cu următoarea relație simplificată, suficient de exactă pentru conducte ce nu depășesc 300—400 m:

$$Q_c = \frac{Q_i + Q_f}{2}, \tag{8.10}$$

pentru fiecare tronson de rețea.

Într-adevăr, dacă se urmărește un tronson oarecare ij, se observă că în nodul i intră în conducta ij debitul Q_i, care servește pentru alimentarea consumatorilor din aval; se tranzitează prin conductă debitul Q_f, se distribuie pe tronsonul ij în mod uniform, asigurînd consumatorilor aferenți debitul q_d; debitul distribuit se calculează conform precizărilor anterioare cu relația:

$$q_d = ql_{ij} = Q_i - Q_f. \tag{8.11}$$

Pentru calcule suficient de exacte, se demonstrează că, dacă se dimensionează conducta la debitul constant egal cu media debitelor de la capete, rezultatele diferă puțin de calculul exact în care conducta lucrează cu debit

uniform distribuit (cu condiția ca să nu fie prea lungă conducta, 300—400 m) [4], [17], [40].

Cunoscute fiind debitele de calcul pe tronsoane, se începe determinarea diametrelor conductelor, folosind diagramele Manning, Colebrook-White sau alte relații uzuale de calcul hidraulic. Calculul se efectuează centralizat în tabele. Viteza apei în conductă se recomandă, din condiții economice să fie în limitele 0,6—1,0 m/s, cînd apa este pompată în rezervor sau direct în rețea, sau de maximum 3,0 m/s, cînd apa curge gravitațional în sistemul de alimentare cu apă (presiunea în rețea fiind sub 60 m).

Se calculează elementele cunoscute (tab. 8.2, coloanele 1, 2, 3, 8); se determină, în funcție de debit și în limita de viteză, diametrul, viteza exactă și panta hidraulică și apoi pierderea de sarcină h_r; cunoscînd cota rezervorului C_R și pierderea de sarcină h_r ($i \cdot l$), se poate calcula cota piezometrică în punctul *1*; dacă din cota piezometrică a punctului 1 se scade cota topografică, rezultă presiunea disponibilă (coloana a 9-a) a cărei valoare trebuie să fie cel puțin egală cu valoarea presiunii de serviciu la branșament H_b, cerută de beneficiar. Calculul se continuă folosind cotele piezometrice ale punctelor cunoscute (în toate nodurile presiunea disponibilă este cel puțin egală cu H_b). Cînd dimensionarea s-a terminat, se trece la verificarea funcționării în caz de incendiu sau pentru alte ipoteze.

Operațiunile de verificare sînt identice cu cele de dimensionare, cu următoarele observații:

— debitul de incendiu se consideră concentrat posibil în orice nod; pentru ușurința calculelor se consideră pozițiile cele mai grele ca fiind cele de cotă înaltă, depărtate de rezervor etc.;

— diametrul conductelor este stabilit și nu poate fi modificat decît după ce se schimbă și calculul de dimensionare;

— rețeaua este bine dimensionată dacă, la verificare, viteza de circulație a apei nu depășește 3 m/s, iar presiunea disponibilă este de cel puțin 7 m col. H_2O în toate nodurile (la rețeaua de joasă presiune).

Dacă în calcul nu se asigură presiunea de 7 m se caută cauza: se poate întîmpla ca rezervorul să fie așezat la o cotă prea joasă și deci se ridică la cota necesară; se poate întîmpla însă, ca unul sau două tronsoane să aibă un diametru prea mic (se vede din valoarea pierderii de sarcină) și în acest caz se schimbă diametrul și se reface calculul.

Observație: Alegerea diametrului conductelor se poate face în două moduri aproximativ distincte, după cum (1) rezervorul există efectiv, deci cota lui nu se poate schimba, sau (2) rezervorul (castelul) nu există încă pe teren și deci cota lui se poate schimba după nevoie, astfel încît ansamblul rețea-rezervor să conducă la o soluție optimă.

În cazul în care rezervorul nu există, rețeaua se dimensionează normal după metodologia indicată înainte, alegînd diametrele conductelor în funcție de realizarea unei valori a vitezei cuprinse între limitele economice, pe toate tronsoanele. În final, se alege sau se confirmă cota rezervorului.

Atunci cînd cota rezervorului — presupusă cunoscută inițial în calcule nu este suficientă, aceasta se modifică pentru a obține valoarea necesară. În final trebuie să rezulte o soluție economică.

În cazul în care rezervorul există (este situația extinderii unei rețele existente sau refacerea totală, odată cu sistematizarea orașului), trebuie ținut seama de faptul că diametrele alese pentru conducte trebuie să aibă asemenea dimensiuni încît diferența de cote între cota rezervorului și cota

piezometrică necesară la branșament (ΔH) să fie mai mare sau la limită egală cu suma pierderilor de sarcină pe circuitul respectiv. De aceea, pentru a găsi ușor valoarea diametrelor, se recomandă determinarea prealabilă a pantei hidraulice medii, maxime ce se poate atinge pe circuitul cel mai lung al rețelei (Σl):

$$i_{med} = \Delta H_{disp} / \Sigma l \qquad (8.12)$$

În momentul alegerii diametrului conductei, se va verifica automat dacă panta este aproximativ egală cu panta medie rezultată. Se poate lucra prin compensare, în sensul că, pe tronsoanele cu diametru mare, panta poate avea o valoare mai mică și invers, pe tronsoanele cu diametru mic panta este bine să aibă o valoare mai mare.

Pentru concretizarea etapelor de calcul, se poate urmări exemplul simplificat din aplicația 10.

Aplicația 10

Să se dimensioneze rețeaua de distribuție, dată în figura 8.5, dacă debitul orar maxim este de 50 dm³/s, din care 20 dm³/s sînt preluați concentrat pentru o industrie. Lungimea totală a conductelor este de 3000 m. Cotele topografice a punctelor sînt date în tabelul 8.2.

În incintă, debitul de incendiu ce trebuie să fie asigurat este de 10 dm³/s. Presiunea la branșament cerută de beneficiari este de 16 m col. H_2O (inclusiv industria). Coeficientul de variație orară are valoarea 1,5.

Dimensionarea rețelei. Schema rețelei rezultă chiar din figura 8.5, *a*. Industria este amplasată în zona punctului *8*, debitul fiind preluat din punctul *8*.

Debitul specific, debitul distribuit uniform pe lungimea rețelei este:

$$q = \frac{Q_{s\ o\ max}}{\Sigma l} = \frac{50 - 20}{3000} = 0{,}01 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}$$

Observație: Lungimea conductei de legătură rezervor-rețea nu se include în lungimea tronsoanelor ce distribuie apa.

Debitul distribuit uniform pe tronsoanele de rețea, conduce la valorile notate în figura 8.5, *b*, pentru debitele de dimensionare a tronsoanelor.

Calculul debitelor inițiale și finale pe tronsoane se efectuează cel mai ușor prin izolarea nodurilor pe rînd, deoarece există o posibilitate de recalculare mai ușoară în caz de comitere a unei greșeli pe parcurs. În cazul de față, echilibrul se poate face și direct pe figură, dar pentru învățarea netodologiei se va recurge la schemă, numai pentru nodul *3* și nodul *1*. de verificare.

Debitele de calcul pe tronsoane, obținute prin media debitelor de la capete, sînt date în tabelul de calcul 8.2, în coloana a 2-a. Deoarece presiunea în rețea este mică, se adoptă conducte din tuburi de azbociment (v. diagrama din fig. 4.4).

Presiunea disponibilă se calculează punct cu punct, ca diferența între cota piezometrică și cota topografică. Se constată că punctul *1* este și *punctul dificil*, avînd presiunea disponibilă cea mai redusă. Se face observația că diametrul minim se adoptă (1) din motive constructive (pentru a se putea monta hidranții de incendiu exterior, al căror diametru este de 60—80 mm) și (2) pentru a nu se realiza viteze prea mari în caz de incendiu (v. tab. 8.3).

Tronsoanele cu viteze mici ale apei *(4—6)*, *(8—9)* trebuie să fie în atenția celor care exploatează sistemul. Periodic va trebui spălată rețeaua, prin deschiderea, timp de cîteva minute, a hidranților de incendiu de la capătul aval, cu prioritate pentru tronsoanele cu viteză redusă. La intervale convenabile va fi controlată și calitatea apei în rețea.

Verificarea rețelei. Se face la funcționarea în caz de incendiu (fig. 8.5, *c*). Debitul de verificare $Q_{II}^{v} = 0{,}7\, Q_{s\ o\ max} + Q_{ie} = 45$ dm³/s.

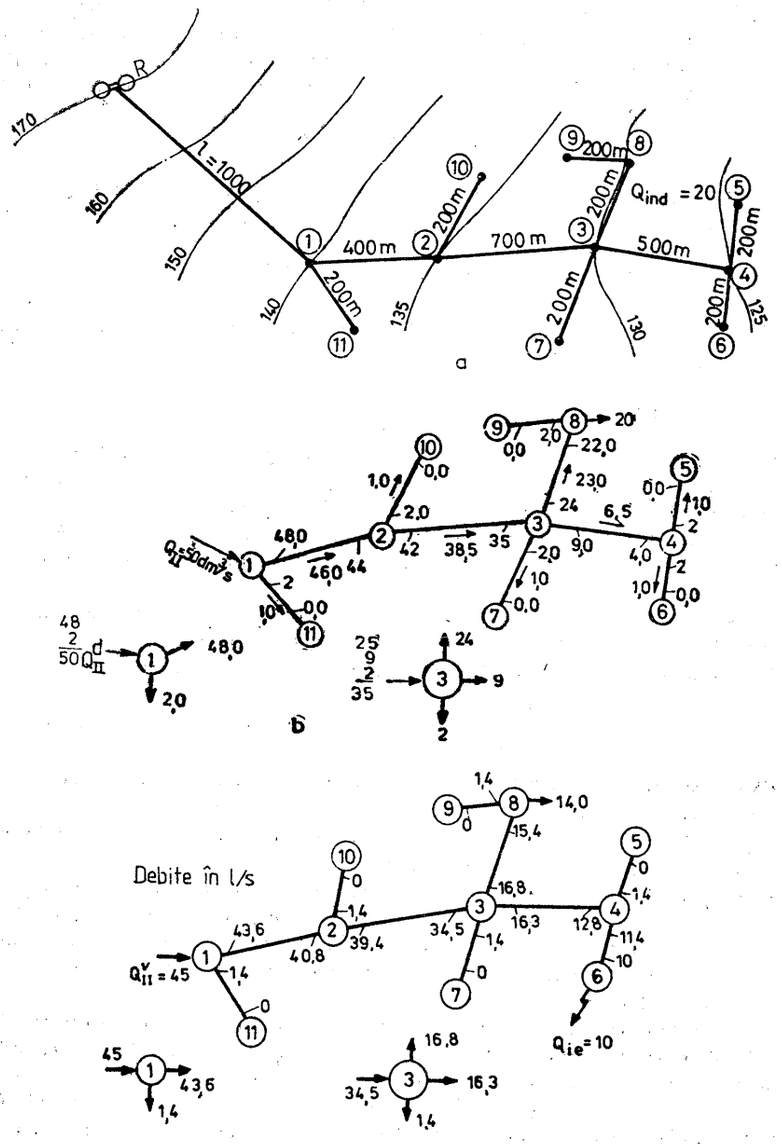


Fig. 8.5. Dimensionarea unei rețele ramificate (aplicația 10): *a* — plan cu elementele generale; *b* — debite de calcul pentru dimensionare; *c* — debite de calcul pentru ipoteza de verificare.

Rezultă că debitul specific uniform distribuit pe rețea va fi:

$$q' = \frac{0{,}7(50 - 20)}{3000} = 0{,}07 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}$$

Punctul care este posibil să solicite cel mai mult rețeaua în caz de incendiu este de regulă punctul cel mai depărtat (în cazul de față punctul *6*). Incendiul se consideră deci în punctul *6*, $Q_{ie} = 10$ dm³/s.

Tabelul 8.2

Dimensionarea rețelei ramificate

Tronson	l [m]	Q_c [dm³/s]	v [m/s]	Dn [mm]	i	$h_r = i \cdot l$ [m]	Cote [m]		Pres. disp. [m]
							piezometrice	topografice	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R							160	160	0
1	1000	50	1,00	250	0,0036	3,6	156,4	140	16,4
1							156,4	140	16,4
2	400	46	0,95	250	0,0031	1,24	155,16	135	20,16
2							155,16	135	20,16
3	700	38,5	0,78	250	0,0022	1,40	153,76	130	23,76
3			0,85	100	0,0080	4,50	153,76	130	23,76
4	500	6,5	(0,55)	(125)	(0,0025)	(1,25)	149,26	125	24,26
4							149,26	125	24,26
6	200	1,0	0,20	80	0,0008	1,16	149,10	126	23,10
3							153,76	130	23,76
8	200	23,0	0,75	200	0,0027	0,54	153,22	130	23,22
8							153,22	130	23,22
9	200	1,0	0,20	80	0,0008	0,16	153,08	134	19,08

Cu aceste valori, se recalculează, după aceleași reguli, debitul de verificare, dat în tabelul 8 3 (tab. 8.3 se poate considera o continuare a tab. 8.2, din care se vor reține numai coloanele 1 și 4 pentru ușurința calculului).

Tabelul 8.3

Verificare la incendiu a rețelei ramificate

Tronson	Dn [mm]	Q_v [dm³/s]	v' [m/s]	i'	$h' = i' \cdot l$ [m]	Cote piezometrice	Pres. disp. [m]
R						160	0,00
1	250	45	0,90	0,0030	3,0	157	17,00
1						157	17,00
2	250	42,2	0,85	0,0026	0,92	156,08	21,08
2						156,08	21,08
3	250	36,5	0,74	0,0020	1,40	154,68	24,68
3						154,68	24,68
4	125	14,5	1,20	0,0120	6,0	148,68	23,68
4						148,68	23,68
6	80	10,7	2,20	0,0620	12,40	136,18	10,18
3						154,68	24,68
8	200	16,1	0,50	0,0013	0,26	154,42	24,42
8						154,42	24,42
9	80	0,7	0,20	0,0007	0,14	154,28	20,28

Variantă de calcul

3						154,68	24,68
4	100	14,5	1,85	0,0350	17,05	137,63	12,00
4						137,63	12,00
6	80	10,7	2,20	0,0620	12,4	125,23	1,00

Se observă din tabelul 8.3 că, dacă pe tronsonul 3—4 se menţine diametrul de 100 mm, reţeaua nu asigură presiunea la hidranţi (vezi varianta de calcul). Pentru remediere, se sporeşte diametrul conductei tronsonului 3—4, la 125 mm; rezultă valorile din tabel şi presiunea disponibilă de 10,18 m este suficientă. Această corectură atrage după sine corectarea calculelor şi în tabelul de dimensionare 8.2 (valorile din paranteză). Se confirmă astfel că, pe tronsoanele finale, reţeaua ramificată funcţionează dificil. Se observă din tabelul 8.2 că pe ultimele tronsoane viteza apei este redusă.

Calculul de verificare se poate continua presupunînd incendiul declanşat în diferite locuri pe reţea (la capătul aval al tronsoanelor cu diametru mic sau în punctele de cotă ridicată).

8.2.1.3. **Dimensionarea hidraulică a reţelei inelare.** Deosebirile esenţiale între dimensionarea reţelei inelare faţă de reţeaua ramificată provin din faptul că: la reţeaua ramificată este cunoscut sensul de circulaţie al apei şi se poate determina de la început debitul de calcul pe orice tronson, ca sumă a debitului de apă necesar beneficiarilor din aval; la reţeaua inelară, nu este cunoscut sensul real de curgere a apei şi deci nu pot fi determinate debitele de calcul.

Într-adevăr, se demonstrează că, pentru o reţea inelară cu n noduri şi p laturi (bare), pot fi scrise următoarele ecuaţii: $n - 1$ ecuaţii de forma $\Sigma Q_i = 0$; $p - n + 1$ ecuaţii de forma $\Sigma h_r = 0$ (8.13)

În total deci p ecuaţii. Necunoscutele care trebuie să fie determinate sînt debitele şi diametrele pe fiecare tronson, deci $2p$ necunoscute.

Rezultă că se dispune de mai puţine ecuaţii decît necunoscute şi deci sistemul este nedeterminat. Rezolvarea este posibilă numai prin încercări, punînd condiţii (stabilind funcţia obiectiv) de optimizare. Astfel, păstrînd elementele de bază constante (asigurarea debitului şi presiunii la utilizator), se poate dimensiona reţeaua: (1) din condiţia de investiţie (cost) minimă; este cazul reţelelor din sistemele de alimentare cu apă, în care apa curge gravitaţional între captare şi beneficiar; (2) se poate dimensiona reţeaua din condiţia de cost total minim (investiţie şi cheltuieli cu energia) sau cost total anual minim; este cazul reţelelor din sistemul de alimentare cu apă unde apa este pompată (amonte de reţea sau în reţea); (3) se poate dimensiona reţeaua din condiţia de energie totală înglobată minimă atît în sistemul constructiv al reţelei (energie de fabricaţie pentru tubulatura şi armăturile reţelei, pentru execuţie şi reparaţii pentru exploatarea reţelei), cît şi energia necesară pentru funcţionarea reţelei. În ultimele două cazuri este importantă stabilirea duratei normate de funcţionare a reţelei (ca orice element construit, acesta îmbătrîneşte în timp — deci se uzează fizic şi moral).

Problema dimensionării unei reţele inelare de distribuţie fiind complicată, va fi expusă întîi problema în mod simplu — mai mult aplicativ — iar după înţelegerea complexităţii, vor putea fi abordate probleme mai complicate pentru care încă la unele aspecte sînt încă necesare soluţii mai bune.

De aceea, procedeele de calcul puse la punct pentru dimensionarea reţelei inelare se referă în special la determinarea sensului de curgere şi valorii debitelor de calcul. Cînd acestea sînt cunoscute, calculul se continuă la fel ca la reţeaua ramificată (v. tab. 8.2 şi 8.3). În cele ce urmează, vor fi expuse în detaliu două metode pentru determinarea debitelor de calcul pe tronsoane şi vor fi menţionate alte trei metode.

1 — *Metoda secţionării fictive* urmăreşte transformarea reţelei inelare într-o reţea ramificată, care să funcţioneze în aceleaşi condiţii. Metoda

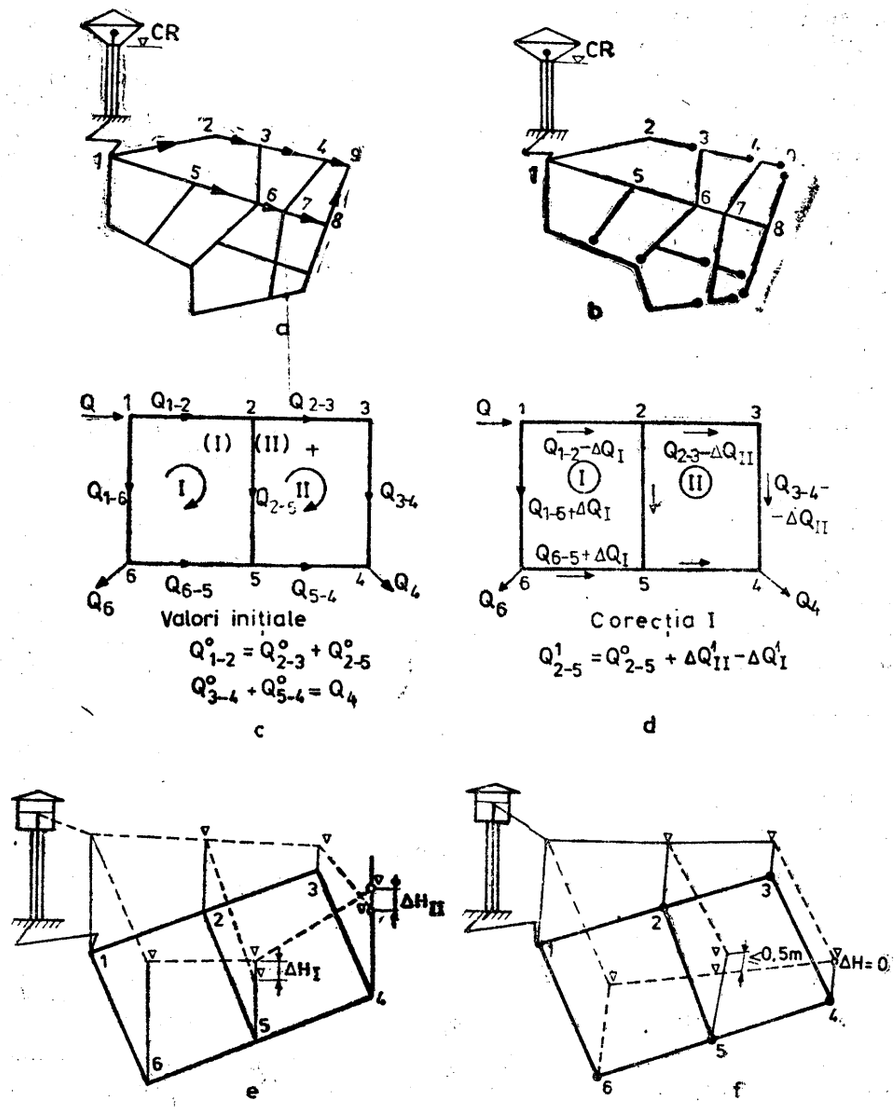


Fig. 8.6. Scheme de calcul pentru dimensionarea reţelei inelare: *a* — schema generală a reţelei; *b* — transformarea reţelei inelare în reţea ramificată; *c* — schema unei reţele cu două inele (valori iniţiale ale debitelor); *c* — debitele pe bare după prima corecţie; *e* — linia piezometrică pe inele cu neînchiderea finală (ΔH_I, ΔH_{II}); *f* — linia piezometrică în faza finală de calcul.

se poate aplica în cazul reţelelor simple sau a unei bune experienţe a proiectantului, care poate alege cu uşurinţă o schemă ale cărei rezultate să fie foarte apropiate de funcţionarea practică. Dacă se urmăreşte reţeaua din figura 8.6, *a*, se constată că ea va funcţiona în aceleaşi condiţii cu reţeaua ramificată din figura 8.5, *b*, dacă în toate punctele *de secţionare*

presiunea disponibilă (respectiv cota piezometrică) este aceeași pe ambele părți ale secțiunii. Adică, plecînd din punctul 1, pe circuitul *1—5—6—7—4—9* să se obțină în punctul *9* aceeași cotă piezometrică cu aceea de pe circuitul *1—5—6—7—8—9*. La fel se procedează în toate punctele de secționare. Cînd s-a obținut o asemenea *rețea ramificată*, aceasta se poate considera *echivalentă rețelei inelare*. Rețeaua ramificată echivalentă se dimensionează identic cu o rețea ramificată propriu-zisă, tăieturile fiind efective pentru calcul (fictive în realitate).

2 — *Metoda aproximațiilor succesive* pleacă de la faptul că pe un inel, dacă se notează cu (+) pierderile de sarcină date de debitele ce curg în sens orar și cu (—) pierderile de sarcină date de debitele ce curg în sens trigonometric (antiorar), suma pierderilor de sarcină este nulă ($\Sigma h_r = 0$) dacă debitele sînt corect distribuite.

În cazul în care nu se verifică relația de mai sus ($\Sigma h_r \neq 0$), se notează $\Sigma h_r = \Delta H$ (ΔH fiind neînchiderea pe inel) și se efectuează o corecție ΔQ. Aceasta modifică debitele, schimbînd valoarea pierderii de sarcină pe fiecare tronson (fig. 8.6, *c* și *d*). Se continuă calculul de corecție pînă cînd pe fiecare inel ecuația de forma $\Sigma h_r = 0$ este verificată (STAS 4163 admite o neînchidere de 0,5 m, $\Sigma h_r \leqslant 0{,}5$ m). Se cunoaște acum valoarea și sensul debitului pe fiecare tronson, deci se poate completa un tabel de calcul de forma tabelelor 8.2, 8.3.

Determinarea pierderii de sarcină pe fiecare inel presupune însă cunoașterea debitului și diametrului conductei fiecărui tronson. Pentru aceasta, se face o *distribuție inițială arbitrară a debitelor*, care însă verifică ecuația de continuitate în fiecare nod și cu aceste debite se face o *predimensionare* a conductelor (respectînd limita de viteză economică). Rezultă că pot fi obținute o infinitate de soluții.

Valoarea aproximativă a corecției ΔQ se poate calcula din sistemul de ecuații ce rezultă din scrierea pe fiecare inel a ecuațiilor de continuitate în noduri și de închidere energetică pe inele.

Într-adevăr, pe rețeaua inelară din figura 8.6, *c* se poate scrie, pentru fiecare inel, ecuația de continuitate în noduri și cea energetică, cunoscînd valoarea debitului (valoarea inițială) și mărimea diametrelor, deci valoarea modulului de rezistență.

De exemplu, pentru inelul *I*:

$$\begin{aligned} &Q = Q_{1-2} + Q_{1-6};\ Q_{5-4} = Q_{2-5} + Q_{6-5};\ Q_{1-6} = Q_{6-5} + Q_6; \\ &M_{1-2}Q_{1-2}^2 + M_{2-5}Q_{2-5}^2 - M_{5-6}Q_{6-5}^2 - M_{1-6}Q_{1-6}^2 = \Delta H. \end{aligned} \tag{8.14}$$

Întrucît pierderea de sarcină pe inel nu se echilibrează (se presupune $\Delta H > 0$), rezultă că debitele nu sînt cele corecte. Trebuie deci făcută o corecție cu valoarea ΔQ și atunci sistemul de ecuații se scrie:

$$\begin{aligned} Q &= (Q_{1-2} - \Delta Q) + (Q_{1-6} + \Delta Q) \\ Q_{5-4} &= (Q_{2-5} - \Delta Q) + (Q_{6-5} + \Delta Q) \\ (Q_{1-6} &+ \Delta Q) = (Q_{6-5} + \Delta Q) + Q_6 \\ M_{1-2}(Q_{1-2} - \Delta Q)^2 &+ M_{2-5}(Q_{2-5} - \Delta Q)^2 - M_{5-6}(Q_{6-5} + \Delta Q) - \\ &- M_{1-6}(Q_{1-6} + \Delta Q)^2 = 0. \end{aligned} \tag{8,15}$$

Dacă se dezvoltă ultima ecuație și ține seama că în ecuația (8.14), pentru valorile inițiale ale debitelor, $\Sigma MQ_{ij}^2 = \Delta H$, rezultă o ecuație în

ΔQ care poate fi rezolvată și de unde rezultă valoarea ΔQ. Noile debite pe bare, debite corectate, sînt obținute din relația (unde cu exponentul zero s-a notat valoarea inițială):

$$Q_{i-j}^1 = Q_{i-j}^0 \pm \Delta Q^1 \tag{8.16}$$

Dacă debitul ΔQ^1 se calculează cu semn schimbat, atunci valoarea corectată a debitului se obține mecanic prin însumare algebrică:

$$Q_{i-j}^1 = Q_{i-j}^0 + \Delta Q^1 \tag{8.17}$$

Dacă în ecuația energetică din sistemul (8.15) se neglijează, la dezvoltare, termenii de ordinul 2, atunci se poate obține mai ușor valoarea corecției ΔQ^1, după o relație ce se scrie simplificat:

$$\Delta Q^1 = \frac{\Sigma M(Q^0)^2}{2\Sigma MQ^0} = \frac{\Delta H}{2\Sigma MQ^0} \tag{8.18}$$

Însă valoarea calculată ΔQ^1 nu anulează suma $M(Q^1)^2$ din ecuația (8.15), fiind o valoare aproximativă. Verificarea relației energetice va duce la concluzia:

$$M(Q_{i-j}^1)^2 = \Delta H^1 \text{ (diferit de zero, de regulă)} \tag{8.20}$$

Deci se face o nouă corecție a debitului:

$$\Delta Q^{(2)} = \frac{\Sigma M(Q_{i-j}^1)^2}{2\Sigma MQ_{i-j}^1} \tag{8.21}$$

Calculul se continuă pînă cînd se atinge precizia dorită, exprimată sub formă de pierdere de sarcină (coză piezometrică):

$$H_i^{n+1} - H_i^n \leqslant \varepsilon \tag{8.22}$$

sau sub formă de debit:

$$Q_{i-j}^{n+1} - Q_{i-j}^n \leqslant \beta \tag{8.23}$$

Cînd inelul este corectat ($\Sigma MQ^2 \leqslant \beta$), se trece la inelul următor ș.a.m.d., pînă cînd toate inelele au un debit distribuit pe bare ce verifică cele două serii de ecuații.

Dar (v. fig. 8.6) cînd inelul *II* este corectat după inelul *I*, se modifică debitul de bara *2 — 5*, bară comună celor două inele. Prin aceste modificări, inelul *I* nu va mai fi echilibrat, deci operațiunea trebuie luată de la început, cu noile valori. Calculul se continuă pînă cînd în toate inelele simultan se respectă ecuațiile (8.22), (8.23).

Se poate face însă și un calcul simultan: se calculează prima corecție ΔQ pe toate inelele și se calculează debitul corectat cu relația:

$$Q^{i+1} = Q^i + \Delta Q_j - \Delta Q_k, \tag{8.24}$$

în care: ΔQ_j este corecția proprie a debitului pe inelul ce se echilibrează; ΔQ_k — corecția de debit (pe barele comune) a inelului vecin. Calculul se poate conduce astfel pe etape.

Calculul poate fi transpus într-un program de calcul și executat pe un calculator (cu cît rețeaua este mai mare, cu atît trebuie utilizat un calculator mai puternic). Au fost obținute rezultate remarcabile în ultimile două decenii. Scheme logice pentru elaborarea programelor și unele rezultate sînt date în literatură [19], [21], [41], [48], [49], [50], [52[.

Aplicația 11

Să se stabilească debitele de calcul pe rețeaua de distribuție din figura 8.7, folosind metoda aproximațiilor succesive. Datele corespund localității din aplicația 1.

Se desenează schema rețelei și se caută un sens rațional (apa curge pe drumul cel mai scurt) de curgere a apei, folosind indicațiile de la metoda precedentă. Se obține schema din figura 8.7, *a*. Se numerotează inelele și nodurile. Se alege un sens de parcurgere pozitiv (de obicei sensul orar).

Debitele de calcul se obțin echilibrînd nodurile pe rînd. În fig. 8.7, *a* și 8.7, *b* sînt date schemele de calcul pentru debitele la noduri în ordinea necesară.

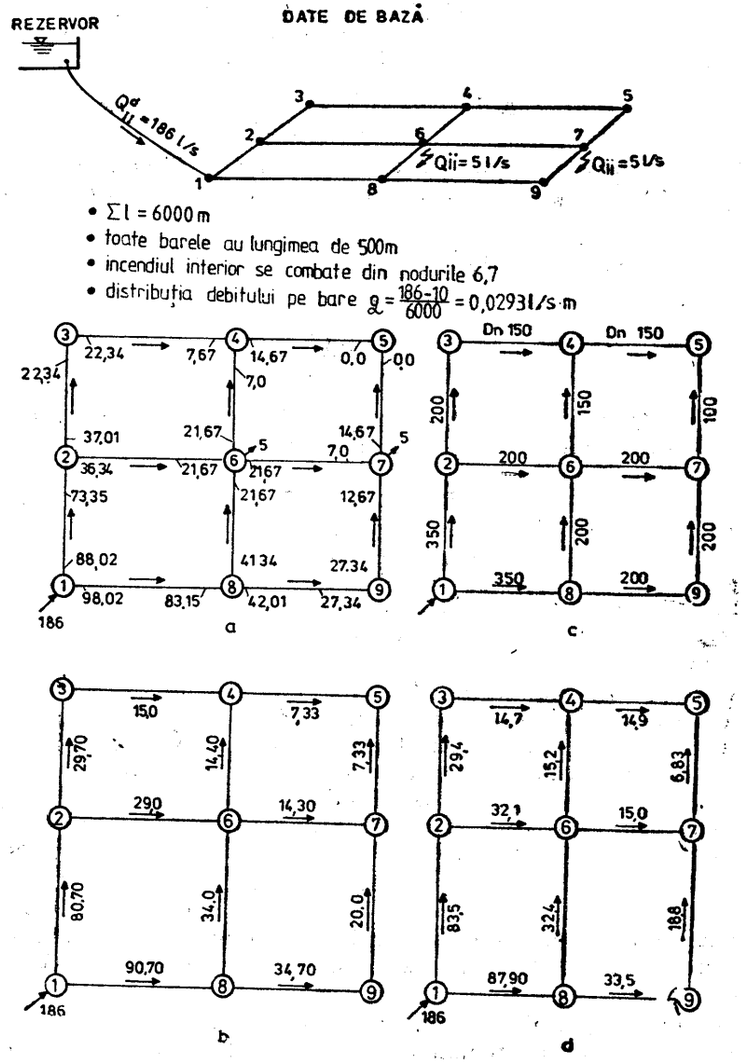


Fig. 8.7. Elementele de calcul pentru rețeaua inelară (aplicația 11): *a* — debite la noduri; *b* — debite inițiale pe bare; *c* — diametrele barelor (predimensionare); *d* — debite finale pe bare (cu diametrele din *c*).

Tabelul 8.4

Calculul debitelor prin aproximații succesive

Inel	Bara	L_{ij} [m]	D_m [mm]	s_0 [s²/m⁶]	$M=s_0l$ [s²/m³]	Valori inițiale Q^0 [dm³/s]	Valori inițiale MQ^0	Valori inițiale $M(Q^0)^2$ [m]	Corecția 1 ΔQ_j^1 [dm³/s]	Corecția 1 ΔQ_k^1 [dm³/s]	Corecția 1 Q^1 [dm³/s]	Corecția 1 MQ^1	Corecția 1 $(MQ^1)^2$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	1—2	500	350	0,343	171,5	80,7	13,8	1,12	2,8	—	83,5	14,3	1,20
	2—6	500	200	6,79	3395	29,0	98,5	2,86	2,8	0,3	32,1	109	3,50
	6—8	500	200	6,79	3395	—34	115,0	—3,92	2,8	—1,6	—32,8	111,4	—3,65
	8—1	500	350	0,343	171,5	—90,7	15,6	—1,41	2,8	—	—87,9	15	—1,33
							243,3	—1,35					—0,28
	$j=1$ $\Delta Q_I^1 = -\frac{(-1{,}35)}{2\times 243{,}3} = 0{,}0028$ m³/s												
II	2—3	500	200	6,79	3395	29,7	100,8	3,0	—0,3	—	29,4	99,8	2,93
	3—4	500	150	31,5	15750	15,0	236,2	3,54	—0,3	—	14,7	231,5	3,40
	4—6	500	150	31,5	15750	—14,4	226,8	—3,27	—0,3	—0,5	—15,2	239,4	—3,63
	6—2	500	200	6,79	3395	—29,0	98,5	—2,86	—0,3	—2,8	—32,1	109	—3,50
							662,3	0,41					0,80
	$j=II$ $\Delta Q_{II}^1 = -\frac{0{,}41}{2\times 662{,}3} = -0{,}0003$ m³/s												
III	4—5	500	150	31,5	15750	14,4	226,8	3,27	0,5	—	14,9	234,7	3,50
	5—7	500	100	274	137000	—7,33	1004,2	—7,36	0,5	—	—6,83	935	—6,39
	7—6	500	200	6,79	3395	—14,30	48,5	—0,69	0,5	—1,2	—15,00	51	—0,76
	6—4	500	150	31,5	15750	14,40	226,8	3,27	0,5	0,3	15,20	239,4	3,63
							1506,3	—1,51					—0,02
	$j=III$ $\Delta Q_{III}^1 = -\frac{-1{,}51}{2\times 1506{,}3} = 0{,}0055$ m³/s												
IV	6—7	500	200	6,79	3395	14,30	48,5	0,69	1,2	—0,5	15,0	51,0	0,76
	7—9	500	200	6,79	3395	—20	67,9	—1,36	1,2	—	—18,8	63,8	—1,20
	9—8	500	200	6,79	3395	—30,7	117,8	—4,09	1,2	—	—33,5	113,7	—3,81
	8—6	500	200	6,79	3395	34	115,4	3,92	1,2	—2,8	32,4	110	3,56
							349,6	—0,84					—0,68
	$j=IV$ $\Delta Q_{IV}^1 = -\frac{-0{,}34}{2\times 349{,}6} = 0{,}0012$ m³/s												

Continuînd calculul în corecția a 2-a rezultă pentru inelul II o corecție nouă $\Delta Q_{II}^2 = 0{,}50$ l/s.

Calculul debitelor exacte și a pierderii de sarcină se face conform tabelului 8.4.

Completarea se face astfel:

— se trec inelele într-o ordine oarecare;

— la fiecare inel se trec, tot într-o ordine oarecare, toate barele care îl compun (coloana 1), cu lungimea respectivă (coloana a 2-a);

— în coloana a 6-a se trece debitul de calcul rezultat din echilibrarea nodurilor: debitul va fi trecut fără semn (se subînțelege că are semnul plus) dacă sensul debitului în inel coincide cu sensul pozitiv de parcurgere și cu semnul minus, dacă sensul de curgere al apei este contrar sensului pozitiv de parcurgere; acest semn este figurativ și va fi același cu al pierderii de sarcină $M(Q^0)^2$ din coloana a 8-a;

— cu debitul din coloana a 6-a și diagrama Manning, sau alte tabele de calcul, se predimensionează rețeaua (fig. 8.7, *c*), alegînd diametre pentru viteza economică de funcționare (0,6—1,0 m/s); diametrele se completează în coloana a 3-a; în cazul de față, se alege azbocimentul ca material pentru tuburi;

— se caută modulul de rezistență specific s_0 (v. tab. 4.1), care se completează (este dat în s^2/m^6) în coloana a 4-a;

— se calculează modulul de rezistență al conductei $M = s_0 l$, în s^2/m^6, care se introduce în coloana a 5-a;

— se efectuează pe inele produsele MQ^0 (termen care nu are semn) și $M(Q^0)^2$, care are semnul lui Q^0 (din coloana a 6-a), avînd grijă de transformarea respectivă (M este dat în s^2/m^5, iar Q^0 în dm^3/s);

— se calculează prin sumare algebrică termenii MQ_0 și MQ_0^2 și se verifică dacă este îndeplinită condiția $\Sigma MQ \leqslant 0{,}5$ m; în tabelul 8.4, în coloana a 8-a este îndeplinită condiția; calculul se continuă numai pentru exemplificare;

$$\Delta Q^1 = \frac{\Sigma M(Q^0)^2}{2\Sigma MQ^0}, \ [dm^3/s] \qquad (8.25)$$

corecție care se adaugă în coloana a 9-a pentru fiecare latură a inelului (ΔQ_j, corecția proprie) precum și în coloana a 10-a pentru latura comună la inelul vecin, (ΔQ_k) cu semn schimbat;

— se calculează pe fiecare tronson debitul corectat Q^1;

— se recalculează ΣMQ^1, $\Sigma M(Q^1)^2$ și se verifică din nou închiderile pe inele ($\leqslant 0{,}5$ m).

Operațiunea se repetă pînă cînd se atinge precizia cerută ($\Sigma MQ^2 \leqslant 0{,}5$ m) pentru toate inelele.

Din tabel rezultă următoarele: (1) valoarea debitului (coloana a 11-a) și sensul acestuia (se observă că nu s-a schimbat față de presupunerea inițială); (2) valoarea pierderii de sarcină MQ^2 pe fiecare latură; (3) valoarea diametrului conductelor.

Calculul presiunii disponibile se poate face într-un tabel de forma tabelului 8.2, în care sînt cunoscute valorile $h_r = MQ^2$ de la început. În tabel ar trebui ca în punctele comune (același semn pe două circuite) valoarea cotei piezometrice să nu difere cu mai mult de 0,5—1,0 m (ordinul de mărime al neînchiderii).

Observații:

● Este rațional ca inelul să fie constituit din conducte cu diametre sensibil egale, altfel debitul în rețea oscilează mult pînă ajunge să se echilibreze; de altfel, și practic, pentru un inel, conductele trebuie să aibă diametre cu valori apropiate, în caz contrar nu va funcționa ca un inel efectiv;

● În cazul în care la prima neînchidere toate inelele sînt apropiate de valoarea limită de 0,5 m ($1 \div 2$ m), dar unul sau două inele au valori mult mai mari pentru neînchidere ($10 \div 20$ m), nu este bine să se continue calculul, ci este mai rațional să se redistribuie debitul sau să se schimbe diametrele, deoarece calculul este mai rapid;

● Se observă că este importantă completarea primelor 6 coloane din tabel, după aceea calculul este independent și se poate face mecanic.

8.2.2. DIMENSIONAREA REȚELELOR PRIN MODELARE

În perioadele în care mijloacele de calcul automat erau foarte slab dezvoltate, au fost căutate mijloace de dimensionare (și verificare) a rețelelor, folosind mijloace auxiliare. S-a dezvoltat în special metoda analogiei electro-hidrodinamică și metoda de modelare hidraulică.

8.2.2.1. **Metoda analogiei electro-hidraulică**. După cum a rezultat din calculul rețelelor inelare, sînt folosite două serii de ecuații: $\Sigma Q_i = 0$; $\Sigma MQ^2 = 0$.

Aceste ecuații sînt similare ecuațiilor Kirckhof pentru rețele electrice, asimilînd debitul prin curent și pierderea de sarcină hidraulică prin pierderea de sarcină (tensiune) electrică.

Dacă se asimilează debitul care pleacă din rețea printr-un dispozitiv electric de consum și se modelează schema rețelei (prin legături electrice cu rezistență variabilă), se poate măsura modul în care circulă curentul electric în rețea în anumite ipoteze de alimentare. Prin transformare, la scară, a intensității curentului în debit se află debitele pe bare, iar prin măsurarea tensiunii la noduri se poate determina cota piezometrică; deci presiunea disponibilă.

Modelul este relativ complicat de realizat și exploatat, dar bine realizat poate fi folosit pentru verificarea multor ipoteze de calcul. Se pretează foarte bine în special pentru exploatarea rețelelor existente, deoarece pot fi verificate diferite ipoteze în caz de avarie pe rețea; se poate studia soluția cea mai rațională pentru extinderea rețelei în anumite situații etc. Metoda nu a fost folosită decît pentru scopuri de cercetare, din cauza complexității și preciziei cu care trebuie lucrat.

8.2.2.2. **Metoda modelării hidraulice**. Se poate executa un model hidraulic format din bare echipate cu robineți cu reglare ușoară și ștuțuri echipate cu robineți pentru evacuarea apei din model. Configurația rețelei (numărul de noduri și bare se păstrează. Pe bare, în locuri convenabile, se amplasează debitmetre (cu citire pe loc sau automată cu transmitere la distanțe sau cu înregistrare automată), iar la noduri se montează piezometre (sau/și traductoare de presiune) pentru măsurarea cotei piezometrice sau presiunii. Se testează modulul de rezistență a barelor, capacitatea de debitare a sistemului de evacuare. Se poate analiza funcționarea rețelei în diferite ipoteze și, prin transformarea la scară a debitelor transportate, pot fi obținute debitele rețelei reale și diametrele barelor acestora.

Modelul, greu de realizat și echipat, poate fi exploatat relativ ușor și permite încercarea a unui mare număr de variante. Rezultate bune au fost obținute la Universitatea Tehnică Timișoara [11]; modelul a fost folosit și pentru testarea (pe calculator) comportării rețelelor de distribuție în laboratorul de Alimentări cu apă din Facultatea de Hidrotehnică, București.

Astăzi, pentru realizarea unei funcționări corecte a rețelei (asigurarea debitului cerut de beneficiari, cu minimum de efort), este necesar să existe date prelucrate automat. Prin urmărirea datelor reale și comparareа celor prevăzute pot fi depistate avariile din rețea și pot fi date soluțiile cele mai bune pentru reducerea sau limitarea efectului avariilor. Realizarea unui asemenea program de calcul nu se poate face decît după o testare prealabilă. Racordarea unui calculator specializat la un model hidraulic permite o asemenea testare.

8.2.3. ASPECTE ALE DIMENSIONĂRII TEHNICO-ECONOMICE A REȚELELOR DE DISTRIBUȚIE

În cele mai multe cazuri practice, dimensionarea rețelelor de distribuție este o problemă complicată și laborioasă. Existența unui număr de ecuații mai mic decît numărul de necunoscute, în cazul rețelelor inelare, și condițiile reale de teren (rețeaua poate avea o formă complicată) fac ca abilitatea proiectantului să fie deosebit de importantă.

Preocupări deosebite pentru dimensionarea rațională și rapidă a rețelelor de distribuție au existat în lume începînd din 1930 (prin dezvoltarea metodelor de dimensionare prin aproximații succesive *Cross* și *Lobacev*) și mai ales după dezvoltarea mijloacelor de calcul automat. Există numeroase publicații în care sînt abordate aspecte ale dimensionării sau verificării rețelelor de distribuție; au fost date și formulări matematice care, dublate de dezvoltarea computerelor, au condus la existența astăzi a unor programe de calcul complexe care pot rezolva practic orice tip de rețea, în orice condiții date; programe complexe de calcul, în diferite limbaje de programare, există în unele institute de proiectare (PROED, COCC etc.), dar mai ales în cadrul institutelor de învățămînt superior (Institutul de Construcții București, Catedra de Hidraulică și Protecția Mediului; Universitatea Tehnică Timișoara, Facultatea de Hidrotehnică; Institutul Politehnic Iași, Facultatea de Hidrotehnică). Schemele logice după care pot fi scrise programe de calcul sînt indicate în diferite publicații [40], [21], [19], [48], [50], [52], [1].

În mod practic, problema dimensionării rețelelor de distribuție (care are aspecte similare și în cadrul transportului altor fluide — gaze, apă caldă, lichide industriale etc.) are două aspecte distincte și totuși legate strîns între ele:

— alcătuirea rațională a rețelei;

— dimensionarea tehnico-economică a rețelei.

Dacă asupra aspectului de dimensionare au fost făcute progrese remarcabile, existînd cîteva metode distincte de rezolvare a problemei denumite metoda H. Cross, metoda Lobecev, metoda Newton-Raphson, teoria liniară, metoda debitelor fictive (Moșnin) și o mulțime de metode dezvoltate pentru rețele cu un anume specific, asupra alcătuirii raționale a rețelei, a obținerii unei structuri raționale a rețelei, progresele sînt relativ mici. Această situație este datorată faptului că viteza de calcul a mijloacelor utilizate fiind mare dacă se lucrează după o anumită condiție de optimizare, se consideră că din calcul se obține și soluția cea mai bună. Este însă posibil ca nu totdeauna lucrurile să se prezinte astfel din cauza unor factori care influențează funcționarea rețelei și de care de regulă nu se ține seamă, efectul lor negativ fiind suportat prin disconfortul realizat la beneficiar, în cazul neasigurării cantității și uneori și a calității apei.

Ca în orice problemă inginerească, pentru obținerea unei soluții practice se apelează la criteriul de departajare cel mai pregnant, la etapa realizării lucrării, care este factorul economic — soluția să fie cea mai economică. În cele mai multe cazuri, soluția este economică (de multe ori, cea mai economică), dar doar la etapa respectivă (rețeaua se dezvoltă odată cu localitatea și îmbătrînește odată cu localitatea).

În general, economicitatea soluției rezultă din minimalizarea costului de investiție și a cheltuielilor de exploatare.

Costul de investiție se poate obține, prin prelucrarea periodică a costurilor de execuție a lucrărilor similare; după formulări analitice simplificate [1], [40], [19], pentru rețele fără pompare, are forma:

$$I_c = \Sigma(a + bD_{ij}^{\alpha})L_{ij}. \tag{8.26}$$

Dacă, în rețea, apa este pompată, total sau parțial, atunci trebuie adăugată și valoarea costului lucrărilor aferente, după formulări de tipul:

$$I_{SP} = \varphi\left(H_0 + \Sigma \frac{KQ_{ij}^2 L_{ij}}{D_{ij}^m}\right)Q, \tag{8.27}$$

în care: a, b, α sînt coeficienți ce rezultă din prelucrarea datelor reale de cost, inclusiv dobînda la fondul necesar pentru execuție;

D_{ij} — diametrele conductelor componente ale rețelei;

L_{ij} — lungimea corespunzătoare a diametrelor conductelor;

φ — coeficient care înglobează costul specific, randamentul pompelor, coeficienții de transformare;

K — coeficientul de rezistență hidraulică modificat de coeficienții de transformare și coeficienții de lucru;

m — coeficient rezultat din formularea pierderii de sarcină (de regulă 5,33);

Q_{ij} — debitul barelor din rețea;

Q — debitul total pompat în rețea;

H_0 — înălțimea geodezică de pompare sau asimilată acesteia.

Cheltuielile anuale de exploatare provenite din cheltuieli legate de: amortizarea lucrărilor executate; costul energiei de pompare și a altor materiale de întreținere, costul lucrărilor de reparații, materiale, forță de muncă) se exprimă prin:

$$C_e = f(I, P, e), \tag{8.28}$$

în care: P este puterea în funcțiune a stațiilor de pompare; e — costul energiei electrice.

Dacă se anulează derivata costului total

$$C_t = I_c + I_{SP} + C_e T_f \tag{8.29}$$

$$\frac{\partial C_t}{\partial D_{ij}} = 0, \tag{8.30}$$

T_f fiind timpul normat de funcționare (amortizarea investiției), se poate obține valoarea diametrului economic al conductei. În literatura de specialitate [19], [40], [1], sînt date, pentru diametre, relații de forma:

$$D_{ij} = E^x Q^y Q_j^z, \tag{8.31}$$

în care x, y, z, E (factor economic) sînt coeficienții rezultați din rezolvarea ecuației (8.30) [40], [31], [1].

Pentru cazul rețelelor alimentate gravitațional (v. fig. 8.1) într-un sistem de alimentare gravitațional, pentru a avea asigurată presiunea în sistem, este necesar ca:

$$I_c < I_{lim}, \tag{8.32}$$

astfel încît:

$$\sum \frac{KQ_{ij}^2}{D_{ij}^m} L_{ij} < \Delta H \qquad (8.33)$$

Uneori, deşi calculul este foarte bine făcut, poate să nu conducă la cea mai bună reţea de distribuţie, datorită următoarelor cauze:

• Alegerea incorectă a materialului din care vor fi executate conductele, deoarece de cele mai multe ori, fondurile sînt mici, deci există tendinţa de a adopta materialele cele mai ieftine; acestea nu sînt şi cele mai bune, conducînd de multe ori la o execuţie grea, la avarii numeroase în reţea (deci la pierderi mari de apă, la un cost ridicat al exploatării greu de evidenţiat în calculul iniţial), la deteriorarea calităţii apei cu efecte delicate asupra sănătăţii utilizatorilor (după date conţinute în literatura tehnică americană, fibra de azbociment — din care se produc la noi cele mai ieftine tuburi pentru conducte — poate fi unul din factorii ce declanşează boala canceroasă).

• Protecţia interioară a conductelor este de cele mai multe ori insuficientă sau nesatisfăcătoare. Soluţia curent folosită este citomarea. Executată nesatisfăcător, permite atacarea metalului către agenţii oxidanţi şi realizarea de suprafeţe corodate, prin care, sub efectul presiunii, ţeava se sparge, producînd pierderi de apă şi posibilitatea infectării apei din conductă prin intrarea apei din pămînt (apă murdară şi posibil cu un conţinut ridicat de microorganisme care pot fi şi patogene). Stratul protector poate să fie însă exfoliat (în tuburile din fontă din reţeaua municipiului Bucureşti se formează *noduli* de material feroginos, care au dimensiuni de ordinul centimetrilor), modificînd substanţial rugozitatea conductelor, rugozitate care în calcule se consideră cu valori extrem de reduse (0,1÷0,5 mm). Chiar dacă această valoare se acceptă mare de la început, pe parcurs apar modificări care nu sînt cunoscute şi care conduc la modificări importante în comportarea reţelei. Cel mai cunoscut efect este cel al reducerii presiunii în reţea, prin creşterea rezistenţelor hidraulice (uneori la valori de pînă la 10 ori), şi, în consecinţă — lipsa apei la etajele superioare ale locuinţelor.

Combaterea efectului se face, de regulă, prin ridicarea presiunii la staţia de pompare (dificil dacă nu s-a prevăzut de la început).

Aprecierea creşterii rugozităţii în timp şi dimensionarea în cunoştinţă de cauză cu măsuri de funcţionare — etapizare, *curăţire periodică a reţelei*, este de cea mai mare importanţă.

Este de menţionat şi un fenomen care poate apare la exteriorul conductelor în cazul ţevilor metalice. O protecţie anticorozivă adecvată (şi care ar trebui refăcută periodic) duce şi la posibilitatea asigurării deformării longitudinale a conductei în cazul în care se modifică mult temperatura apei distribuite (la apa de suprafaţă temperatura apei poate fi de 2—3°C iarna şi de 20—25°C vara). În lipsa izolaţiei, materialul corodat din conductă poate face corp comun cu pămîntul în care este înglobată ţeava, deformarea este împiedicată şi, în locurile slabe, conducta poate fi avariată pînă la forfecare totală.

• În dimensionarea reţelei, unul din factorii importanţi care grevează costul este energia. Costul energiei este în funcţie de randamentul pompelor (care scade în timp şi nici nu este cunoscut la început, întrucît pompele nu sînt în funcţiune), dar şi de costul specific al energiei; acest cost specific este variabil în timp, crescînd continuu (este vorba de randamentul

pompelor în sistemul hidraulic concret şi nu de randamentul fiecărei pompe, randament care poate fi apreciat).

Întrucît transformarea modului de funcţionare a reţelei în timp este o operaţiune extrem de complicată şi care duce la mari complicaţii în exploatarea acesteia, aspectele asupra cărora trebuie reflectat în mod corespunzător sînt următoarele: valoarea corectă a costului energiei, astfel încît soluţia adoptată să fie optimă şi în timp, nu numai în momentul dimensionării; valoarea energiei specifice în orele de vîrf şi în afara acestora, în timp, pentru a decide dacă este raţională pomparea continuă în reţea sau pomparea discontinuă cu compensarea parţială în castele de apă sau hidrofoare de mare capacitate.

• Stabilirea debitelor de apă pe barele reţelei este în funcţie de debitul specific de apă prevăzut pentru locuinţe corespunzător gradului de dotare cu instalaţii interioare), dar şi funcţie de ritmul în care se consumă apa (prin coeficienţii de variaţie orară şi zilnică). După cum este cunoscut (v. cap. 1), neuniformitatea consumului este în funcţie de numărul de locuitori, uniformitatea preocupărilor acestora, gradul de conştientizare în legătură cu importanţa rolului apei. În mod normal, coeficientul de variaţie orară este variabil pe reţea. Modul în care poate fi inclus în calcul la dimensionarea reţelei nu este suficient de bine pus la punct şi el va complica mult calculul reţelei. Actualmente, luarea în calcul a unui coeficient de variaţie orară constant şi la valoarea cea mai mică este compensată de o oarecare supradimensionare a reţelei, întrucît aceasta se face pentru o etapă mai de perspectivă (10 ani cel puţin), iar tronsoanele finale ale reţelei, unde coeficientul este maxim, sînt de regulă supradimensionate din cauza necesităţii de asigurare a debitului de incendiu (de obicei, debitul de incendiu este mare faţă de debitele uzual transportate pe tronsoanele finale).

• În calcul, nu se evidenţiază în mod clar gradul de siguranţă a funcţionării reţelei de distribuţie. Nu se calculează, sau nu se verifică, reţeaua pentru ipoteze de avarie. Aici intervine numai abilitatea proiectantului de a asigura o schemă de funcţionare mai robustă.

8.3. MATERIALE PENTRU EXECUTAREA REŢELEI DE DISTRIBUŢIE

Reţeaua de distribuţie a apei este alcătuită din conducte, armături şi construcţii auxiliare (accesorii), care adăpostesc o serie de aparate de măsură şi control, precum şi armături etc. (chiar şi staţiile de pompare cu hidrofor sau staţiile de pompare pentru cvartal pot fi considerate drept construcţii auxiliare în reţea).

• *Conductele* reţelei de distribuţie pot fi executate din următoarele materiale:

— *Arterele* sînt executate din tuburi din beton precomprimat (PREMO), azbociment, fontă, ţeavă de oţel; din punct de vedere al costului, ordinea este cea indicată mai sus. La reţelele existente în ţară, în cea mai mare parte conductele sînt executate din tuburi de fontă de presiune. În multe cazuri, ţeava de oţel prevăzută în reţea, din cauza lipsei tuburilor de fontă, a produs mari neajunsuri.

— *Conductele de serviciu* sînt executate din tuburi de azbociment, ţeavă de oţel *tuburi din fontă de presiune*, ţeavă din material plastic.

Legat de posibilităţile de utilizare a acestor materiale în execuţie, sînt însă de făcut unele remarci:

— tuburile din beton precomprimat pot fi utilizate numai pentru diametre mari; în cazuri deosebite (paralele cu cabluri electrice, şine de tramvai), sînt necesare măsuri de protecţie anticorozivă (curenţi vagabonzi); nu sînt recomandate în zona cu vibraţii puternice sau cînd numărul de ramificaţii este mare, întrucît aceste ramificaţii se execută prin intercalarea de piese speciale din oţel care sînt greu de protejat anticoroziv şi sînt scumpe;

— tuburile din azbociment nu se comportă bine la vibraţiile produse din trafic şi în timp prezintă avarii din cauza îmbătrînirii;

— tuburile din fontă de presiune (foarte deficitare acum în ţară) vor trebui reintroduse într-o fabricaţie îmbunătăţită, întrucît sînt robuste şi rezistente la coroziune (sînt în reţea tuburi care au peste 50 ani vechime);

— ţevile din oţel sînt greu de protejat anticoroziv, din care cauză realizează pierderi mari de apă prin avariile numeroase.

Observaţie: Materialul din care se execută conducta trebuie să fie rezistent în timp, deoarece înlocuirea lui este o operaţiune laborioasă, costisitoare şi stînjenitoare. Astfel: se sapă un şanţ; se montează pe trotuar o conductă de serviciu provizorie (nu pentru iarnă), care se racordează la reţeaua existentă de apă (complicat de realizat); se racordează toate branşamentele la conducta provizorie, prin tăiere de la conducta veche; se scoate conducta dezafectată; se execută conducta nouă; se rebranşează toate legăturile la beneficiari; se reface îmbrăcămintea rutieră care, de regulă, nu mai seamănă cu cea veche.

— *Conductele de branşament* se execută din ţeavă de oţel zincat, ţeavă din masă plastică, ţeavă de plumb, tuburi din fontă de presiune (la debite mari).

Modul de îmbinare al acestor tuburi şi ţevi este cel indicat în capitolul 4, cu observaţia că, pentru executarea hidranţilor şi pentru efectuarea a numeroase ramificaţii, se folosesc piese speciale din fontă sau oţel (unele dintre aceste piese sînt date în tab. 8.5 şi 8.6).

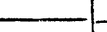
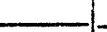
● *Armăturile* importante din reţeaua de distribuţie sînt: vanele, hidranţii de incendiu, cişmelele şi branşamentele; în mod particular mai pot apare şi clapeţii de reţinere, reductoarele de presiune, ventile de aerisire, compensatoare de montaj etc.

— *Vanele* (de tip *robinet cu sertar pană şi corp oval*, cînd presiunea depăşeşte 4 bari şi *robinet cu sertar şi corp plat*, cînd presiunea nu depăşeşte 4 bari, fig. 8.8, *a*) servesc pentru reglarea debitului pe conducte. În unele cazuri, se pot folosi şi vane tip fluture (fig. 8.8, *b*); în cazul vanelor mari, trebuie analizată necesitatea prevederii compensatorului de montaj (fig. 8.8, *c*).

— *Hidranţii de incendiu* sînt dispozitive care permit prelevarea din reţeaua de distribuţie a debitului de incendiu astfel încît: să se facă rapid; iarna, apa care rămîne în hidrant după folosire să nu îngheţe; să nu permită murdărirea (impurificarea) apei din reţea; hidranţii sînt de două tipuri: supraterani (folosiţi în industrie în special) şi subterani (fig. 8.8, *d*).

Tabelul 8.5

Tuburi şi piese de legătură din fontă

Clasa	Denumirea piesei	Semn convenţional	Simbol
1	2	3	4
Tuburi	Tub cu mufă		TM
	Tub cu flanşă		TF
	Piesă cu flanşă		F
	Piesă cu mufă şi flanşă		MF
Ramificaţii	Ramificaţie simplă cu mufă şi flanşă		RSMF
	Ramificaţie simplă cu mufe, la 45°		RSM 45°
	Ramificaţie dublă cu mufe, la 90°		RDM 90°
	Ramificaţie dublă cu flanşe, la 90°		RDMF 90°
Curbe	Curbă de 90°, cu flanşe (idem 15--45°)		CF 90°
	Curbă cu picior pentru hidrant		CFM
	Curbă cu mufă şi capăt drept		CM
	Curbă cu mufă r = 10 Dn (10—45°)		CM 10 Dn
	Curbă cu mufă r = 5 Dn		CM 5 Dn
Teu	Teu cu flanşe		T
Cruce	Cruce cu flanşe		Cr F
Mufe	Mufe de trecut pe tub		MT
	Mufa dublă din două bucăţi		2/2 MT
Reducţie	Reducţie cu mufă		Re M
	Reducţie cu flanşe		Re FF

Tabelul 8.5 (continuare)

1	2	3	4
Piese de închidere	Flanşă oarbă, plană	---)	FC
	Căciulă	--ᑐ	CI
	Dop simplu	--◁	DS

Tabelul 8.6

Tuburi şi piese de legătură din fontă pentru azbociment

Denumirea piesei	Semn convenţional	Simbol
Tub de legătură		T Da
Tub de legătură cu mufă		T Ma
Tub de legătură cu flanşă		T Fa
Mufă de legătură cu flanşe (Gibault)		Mfa

Notă: Pentru racordarea tuburilor sau altor piese la tuburile din beton precomprimat, se realizează piese speciale din oţel, cu dimensiuni egale cu dimensiunile capetelor tuburilor (mufă sau capăt drept).

Pentru a asigura evacuarea apei din corpul hidrantului, pistonul-robinet care închide accesul apei are prevăzut un orificiu special de golire. Hidranţii se amplasează la maximum 2 m de partea carosabilă a drumului, în locuri accesibile, la minimum 5 m de pereţii clădirilor care ar putea arde şi la circa 100 m distanţă unul de altul, astfel încît să se poată asigura debitul pentru clădirea respectivă (hidranţii sînt acoperiţi cu un capac special, metalic, de formă ovală, cu inscripţia *gură de apă*). Pentru reperare uşoară, în timp de iarnă, hidranţii sînt marcaţi la loc vizibil prin săgeată, distanţa la care e amplasat hidrantul şi cuvîntul HIDRANT.

În unităţi indus triale cu pericol mare de foc, se prevăd hidranţi supraterani. În unele cazuri speciale, hidranţii de o construcţie specială, se numesc tunuri de apă.

— *Cişmelele* sînt dispozitive speciale, executate din fontă, care permit prelevarea de către beneficiar a apei din reţea. Cişmeaua are o parte supraterană formată dintr-un suport, o conductă de apă şi o manetă-pîrghie de acţionare şi o parte subterană formată din conducta pentru apă, o supapă pentru închiderea accesului apei, acţionată de manetă şi un vas colector ce cumulează apa din corpu cişmelei la oprirea funcţionării şi

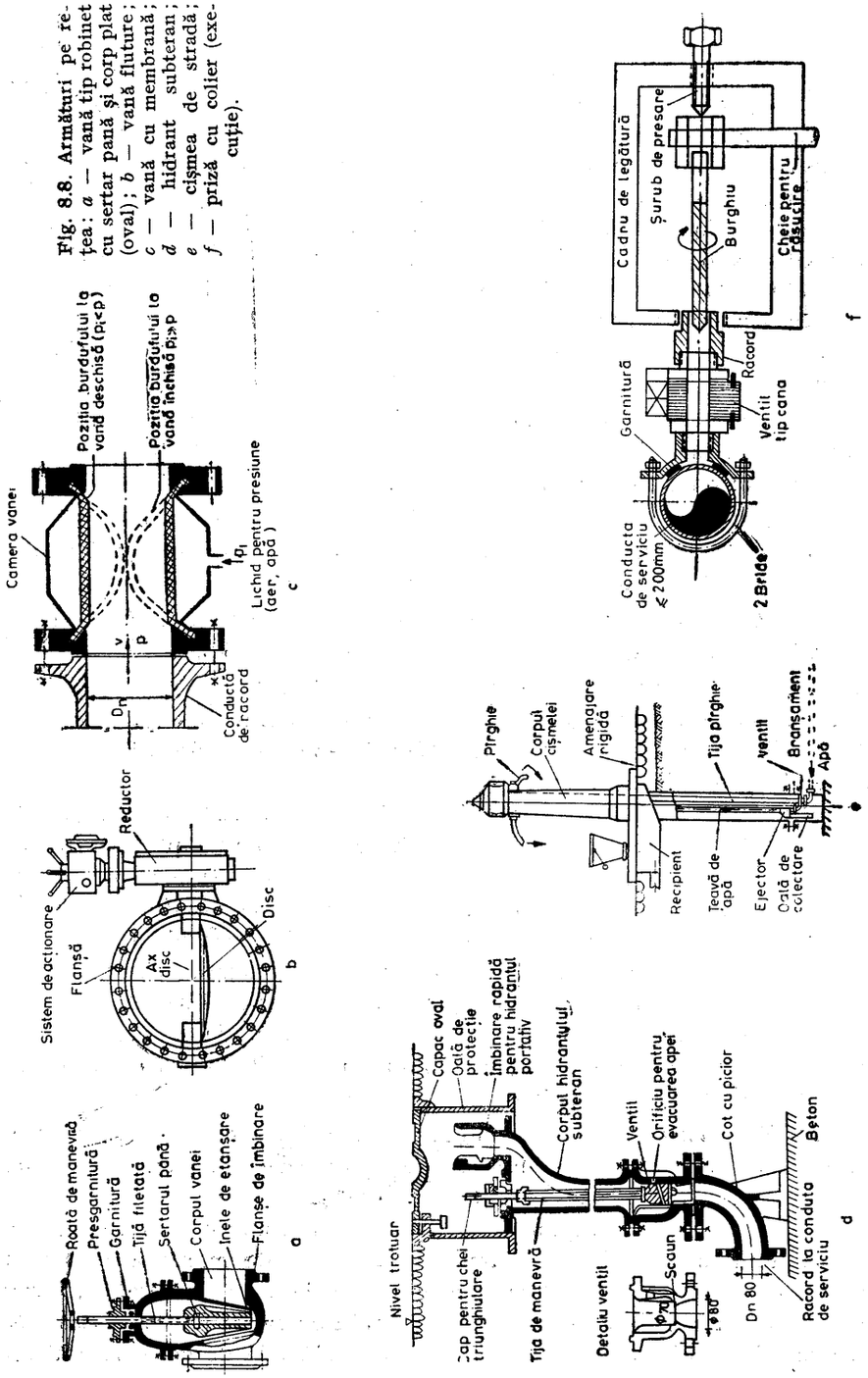


Fig. 8.8. Armături pe reţea: *a* — vană tip robinet cu sertar pană şi corp plat (oval); *b* — vană fluture; *c* — vană cu membrană; *d* — hidrant subteran; *e* — cişmea de stradă; *f* — priză cu colier (execuţie).

care poate fi golit la funcționarea cișmelei prin efectul de ejecție. După folosire, vasul se umple din nou cu apă din corpul suprateran, evitînd astfel înghețarea acesteia în corpul cișmelei și avarierea sau blocarea în timpul iernii. Deși costul este destul de ridicat, trebuie impusă folosirea acestui tip de cișmea, deoarece tipul improvizat care o înlocuiește — o conductă închisă cu robinet, la suprafață, nu poate fi protejată iarna, iar pentru siguranță (ca să nu înghețe) beneficiarul o lasă parțial deschisă(pierderea de apă este foarte importantă: la 0,2 l/s debitul unui robinet, se pierde aproximativ o cantitate de 17 m³/zi, echivalentul necesar de apă pentru cca. 150 ÷ 200 locuitori). Totodată, prin lăsarea deschisă a robinetului *se reduce masiv presiunea în conductă*, făcînd imposibilă utilizarea apei de către alți beneficiari. Maneta-pîrghie a cișmelei nu permite funcționarea acesteia decît în timpul apăsării (fig. 8.8, *e*).

Cișmelele se prevăd, la 200 ÷ 300 m una de alta, în localitățile rurale sau zonele de margine ale orașelor mai mici sau în curțile caselor, cînd clădirile nu au rețea interioară de apă rece.

Cînd strada nu are canalizare, cișmeaua se amplasează astfel încît apa scursă pe lîngă vasele în care se preia să nu bălțească lîngă aceasta (creînd o stare insalubră—vara și gheață—iarna).

— *Priza cu colier* este elementul specific pentru racordarea curentă a conductei de branșament la rețeaua de distribuție (8.8, *f*).

Priza cu colier este formată dintr-o piesă metalică specială care se poate prinde etanș cu o garnitură pe suprafața laterală a conductei rețelei de distribuție, conducta de serviciu (*Dn* 80—200 mm). Strîngerea se face cu bride și șuruburi.

Prin piesă străbate un orificiu, cu diametrul de 20—50 mm (1—2″), care este filetat la interior și poate fi închis cu un robinet tip cana (robinet pentru gaze). Aceste 2 elemente permit racordarea în rețea fără întreruperea apei în conductă, astfel: se blochează elementul metalic (priza propriu-zisă); i se atașează un burghiu în dreptul orificiului, legat de un dispozitiv manșină, care permite împingerea burghiului și totodată rotirea acestuia. După executarea găuririi în peretele conductei, burghiul se retrage și orificiul se blochează cu robinetul existent (se rotește tija acestuia la 90°). Se poate face montarea conductei branșamentului, după care robinetul se deschide și rămîne deschis.

— *Branșamentul* este ansamblul, format din conductă și armături, care permite legarea rețelei interioare a construcției la rețeaua exterioară.

În figura 8.9 este sistematizat un branșament *clasic*.

Pe conducta de branșament se instalează un robinet de concesie, robinet cu mufă, montat direct în pămînt și care se poate manevra cu o cheie de la suprafața terenului. Tija este protejată de o teacă metalică, terminată la suprafață cu o cutie metalică pătrată cu capac (cu inscripția *Apă*, pentru a fi deosebită de aceea folosită la conductele de gaze naturale, pe

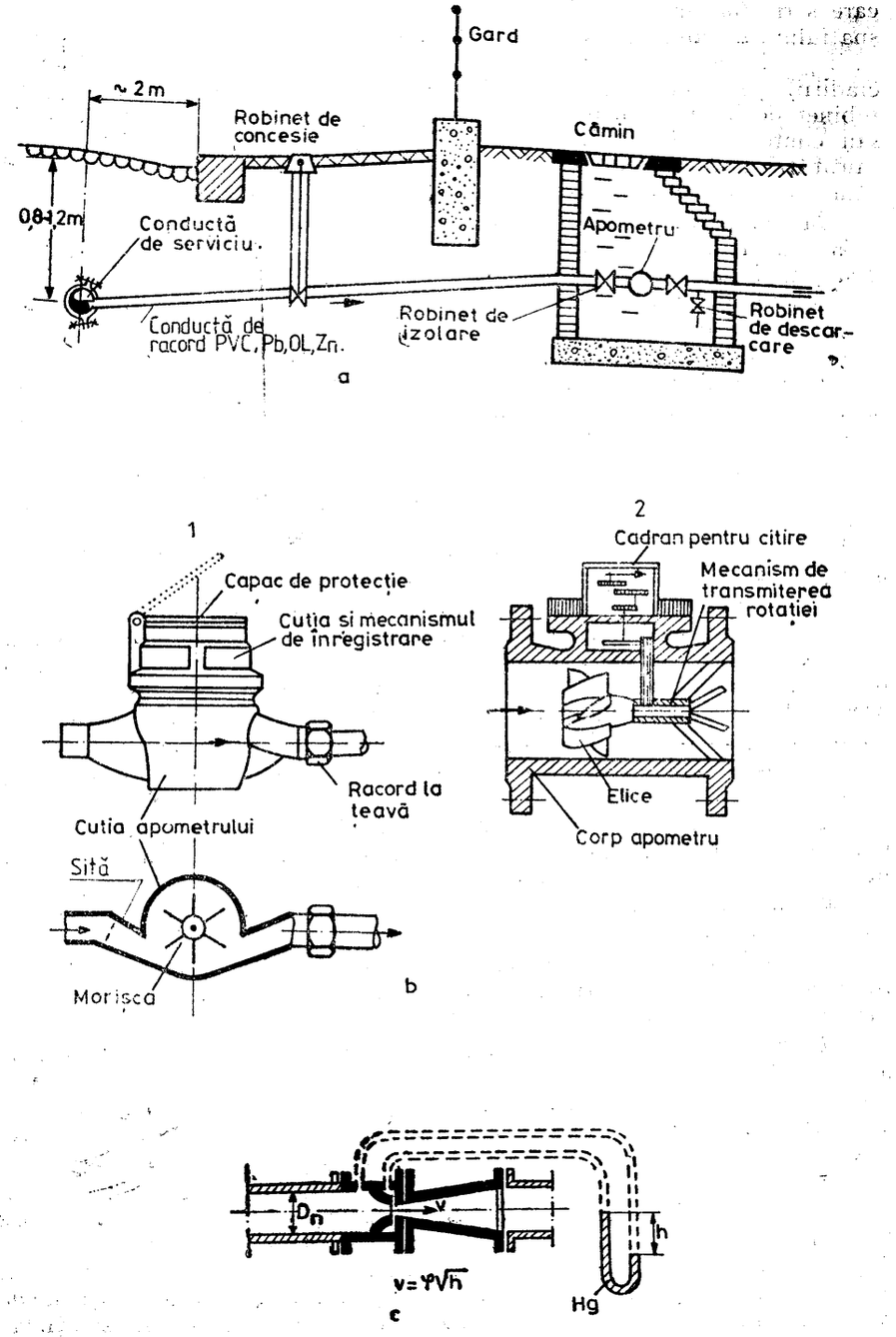


Fig. 8.9. Branșament clasic: *a* — schema generală; *b* — apometru cu: *1* — palete; *2* — elice; *c* — debitmetru Venturi.

care scrie *Gaz* sau *Gaz Natural*). Cutia se amplasează de regulă în afara spațiului carosabil, dar pe o zonă aparținînd domeniului public, nu proprietății particulare. Înainte de a intra în clădire (pe sub sau prin fundația clădirii), pe conductă, se prevede un cămin de branșament ce conține : robinet de izolare (închiderea apei pentru repararea instalației interioare sau contorului de apă); contor de apă (apometru) pentru înregistrarea cantității de apă preluată ; robinet de golire a rețelei interioare (apa din cămin se evacuează în exterior cu o găleată sau pompă de mînă).

În cazul construcțiilor cu subsol tehnic (blocuri), pot fi montate în subsol elementele conținute în cămin, în acest caz branșamentul avînd dimensiuni mai mari de 50—150 mm.

Stațiile de pompare cu hidrofor au legătura la rețea făcută după aceleași reguli. Vana care ține loc de robinet de concesie va trebui închisă parțial, pentru a limita debitul de apă luat din conductă.

Este deci de reținut că branșamentul și cișmeaua, în mod permanent, și hidrantul de incendiu, periodic, sînt singurele amenajări prin care apa poate fi luată din rețeaua de distribuție.

Alte armături utilizate pentru rețeaua de distribuție (ventil de aerisire, clapet de reținere, supape de evitare a suprapresiunii etc.) sînt de tipul celor menționate la aducțiuni sau stații de pompare (v. cap. 4 și 5). În general, este bine să fie evitate ventilele de aerisire, înlocuindu-le cu branșamente, aerisirea făcîndu-se prin instalația interioară.

• *Aparatele de măsură și control* prezente în rețea sînt : manometre pentru măsurarea presiunii (sînt manometre de tip metalic pentru presiuni pînă la 10 bari) ; *apometre* pentru măsurarea volumului de apă ce trece prin conductă între diferite intervale de timp (de obicei citirea este lunară) ; *debitmetre* cu sau fără aparatură de înregistrare pentru măsurarea debitului. În figura 8.9, *b* este schițat un apometru (*1* — palete ; *2* — elice), tipul cel mai răspîndit la noi în țară și, în figura 8.9, *c*, un debitmetru tip Venturi fără aparat de înregistrare.

Astăzi, în tehnica de specialitate există aparatura ce face posibilă transmiterea la distanță (dispeceratul central) a valorilor măsurate. Transmiterea se poate face prin cablu sau mijloace radio. Acest lucru permite supravegherea funcționării rețelei și chiar a întregului sistem de alimentare cu apă prin extindere.

Prevederea aparaturii de măsură și control este extrem de utilă în rețeaua de distribuție, întrucît permite urmărirea funcționării și depistarea rapidă a eventualelor avarii.

Montarea contoarelor la beneficiari, pentru măsurarea cantității de apă livrată, nu este o soluție, deoarece contoarele au fiabilitate redusă, un cost ridicat iar urmărirea lor este complicată, fără a avea siguranța că se poate realiza o exploatare rațională. Prin creșterea costului apei, diferențiat, este posibil să se obțină și o utilizare mai bună a apei.

Trebuie însă arătat că lipsa contoarelor de apă conduce la plata *în paușal* — fiecărui locuitor i se repartizează o cotă de apă pe ansamblu (volum livrat de apă raportat la numărul de utilizatori) și plata se face după această cotă, astfel încît nu este stimulat cel care folosește rațional apa, ci dimpotrivă plătește o cotă parte și din apa folosită nerațional de alți consumatori. Rezultă deci că este esențială adoptarea unor soluții de creștere a responsabilității față de folosirea apei (nu numai montarea contoarelor).

Aparatele utilizate trebuie să fie bine întreținute și verificate asfel încît indicațiile lor să fie corecte (sînt amplasate în cămine subterane, aproape în permanență în stare umedă).

• *Construcțiile accesorii* cele mai obișnuite de pe rețeaua de distribuție sînt *căminele*. Sînt prevăzute cămine pentru vane și alte armături, cămine de branșament, cămine pentru aparate de măsurat și control.

În cazuri speciale, mai pot apărea subtraversări CF, castele de apă, stații de pompare etc.

Căminele de vane sînt construcții din zidărie, beton, beton armat (turnat pe loc sau prefabricat), care adăpostesc armăturile necesare în rețea, dintre care cele mai dese sînt vanele. Pe artere se prevăd vane de linie la circa 600 m, iar pe conductele de serviciu la toate intersecțiile. Cînd se prevăd pe partea carosaboilă a drumului, căminele vor avea capace metalice etanșe, rezistente la trafic.

8.4. EXECUTAREA REȚELEI DE DISTRIBUȚIE

Executarea conductelor de distribuție se face după aceeași tehnologie ca a conductelor pentru transportul apei (tehnologia fiind dată în detaliu în capitolul 4). În fazele de execuție, apar însă unele particularități asupra cărora sînt necesare precizări.

Executarea săpăturilor se face de obicei manual, deoarece spațiul redus al străzii nu permite o săpătură în taluz, cu sprijiniri corespunzătoare care să țină seama nu numai de împingerea normală a pămîntului, ci și de supraîncărcarea malurilor ca urmare a traficului rutier (cînd acesta nu se poate întrerupe total). În cazul unor conducte de dimensiuni mari (ca diametru și lungime), se poate organiza și o execuție mecanică, de regulă cu descărcare direct în mijlocul de transport. Săpătura se finisează manual pentru a asigura panta șanțului (după cum s-a menționat și la aducțiuni, conducta se execută întotdeauna cu panta spre partea joasă unde se asigură golirea). Înainte de a începe săpătura, se scoate îmbrăcămintea străzii, de pe o porțiune cu cel puțin 50 cm mai mare decît lățimea săpăturii. Materialul se depozitează pentru a fi refolosit la sfîrșitul operațiunilor. Pămîntul rezultat din săpătură trebuie depozitat pe spații cît mai mici, în care caz se folosesc incinte sprijinite cu dulapi de lemn sau metalici (fig. 8.10). Depozitarea se va face astfel încît cel puțin o rigolă a străzii să rămînă liberă, iar apa de pe stradă să nu ajungă în șanțul deschis.

Pămîntul în exces va fi transportat și depozitat pe locuri alese convenabil (cît mai apropiat, deoarece transportul costă, dar fără a crea prejudicii unor alți beneficiari). Vor fi luate măsuri pentru avertizare și protejare, în vederea evitării accidentelor. Se va face o semnalizare corespunzătoare, în special în perioada de noapte. Se vor asigura de asemenea pasarele de trecere la locuințele la care drumul de acces a fost secționat de șanț. Balustradele și podeaua de susținere vor fi trainice și rigide.

Șanțul va fi lăsat deschis o perioadă cît mai scurtă. Se va deschide numai lungimea de șanț pentru care sînt asigurate toate materialele de execuție, utilajele și forța de muncă, astfel încît durata existenței șanțului să fie minimă.

În timpul săpăturii, se va da atenție maximă la întîlnirea cu cabluri, conducte, canale a căror destinație sau poziție nu este cunoscută. Se va interzice încercarea rezistenței materialului folosind uneltele de săpat (se

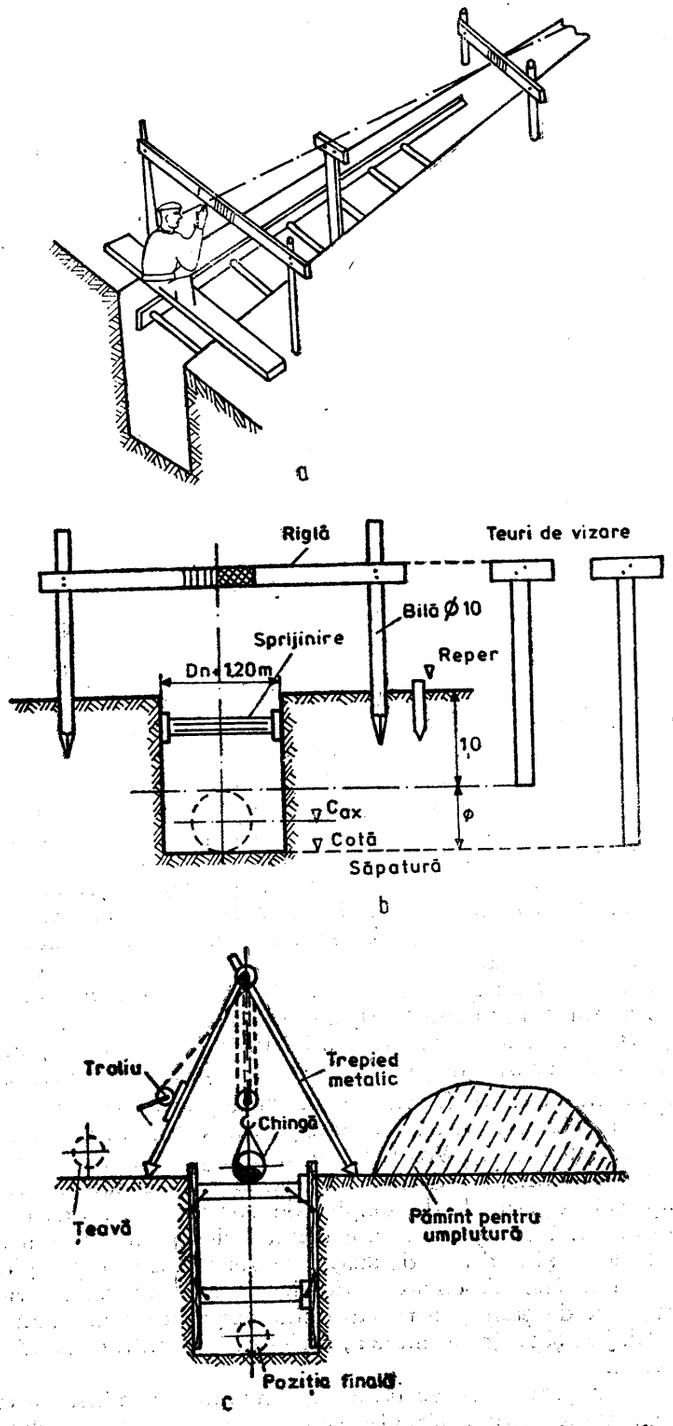


Fig. 8.10. Executarea săpăturii și lansarea țevilor din oțel, PVC: *a* — verificarea cotei cu ajutorul teului; *b* — organizarea secțiunii transversale; *c* — lansare conductă (tronson asamblat pe mal).

pot produce accidente dintre cele mai grave atît pentru cei care sapă, cît și pentru trecători sau rețeaua respectivă; în subsolul străzii pot fi conducte pentru transportul gazelor naturale, cabluri electrice de forță 120 V—15 kV, cabluri de telecomunicații etc.).

În mod normal, proiectul trebuie să conțină elementele de reperare pentru toate celelalte construcții subterane, dar există unele a căror poziție și stare exactă nu se cunoaște de multe ori.

Montarea conductelor rețelei se face după tehnologia specifică fiecărui material, ținînd însă seama că pe această conductă trebuie să fie prevăzute o serie de piese speciale (armături) mult mai numeroase decît la aducțiuni. Pentru aceasta, proiectul va conține o planșă specială cu *schema de montaj a rețelei* (fig. 8.11). În aceste planșe, la o scară deformată (sau fără scară), vor fi redate prin semne convenționale toate piesele speciale ce trebuie să fie montate, cu distanțele dintre ele sau coordonate pentru amplasare. Planșa conține un extras de piese, pe baza cărora executantul comandă aceste piese. În figura 8.11 este dat un exemplu pentru o schemă de montaj, iar în tabelul 8.7 este dată forma extrasului de materiale.

Căminele numerotate într-o ordine oarecare sînt date separat ca schemă de montaj, cu indicarea schematică a pieselor care îl compun și a dimensiunilor acestora. Pe baza dimensiunilor, se stabilește gabaritul căminului.

Toate piesele care intră în componența rețelei, care se aseamănă ca formă și dimensiuni, capătă o marcă, marcă ce se înregistrează în extrasul

Tabelul 8.7

Extras de materiale

Poziția	Denumirea piesei	Material	Dimensiune	UM	Cantitate	Greutate	Normă de fabricație
1	Conductă din tuburi de azbociment, clasa 10	azbo	*Dn* 300 $l = 5$ m	buc.	150	...	STAS
2	Idem	azbo	*Dn* 200 $l = 5$ m	buc.			
3	Idem	azbo	*Dn* 150 $l = 5$ m	buc.			
4	Hidrant de incendiu subteran, complet	fontă	*Dn* 150 $l = 5$ m	buc.			STAS
5	Conductă din tuburi de azbociment, clasa 10	azbo	*Dn* 150	buc.			
6	Robinet cu sertar pană și corp oval, cu flanșe	fontă	*Dn* 300	buc.			STAS
7	Piesă mufă flanșă	fontă	*Dn* 300	buc.			STAS
8	Teu din fontă cu flanșe	fontă	300/150	buc.	1		STAS
9	Reducție cu flanșe	fontă	300/200	buc.	1		STAS

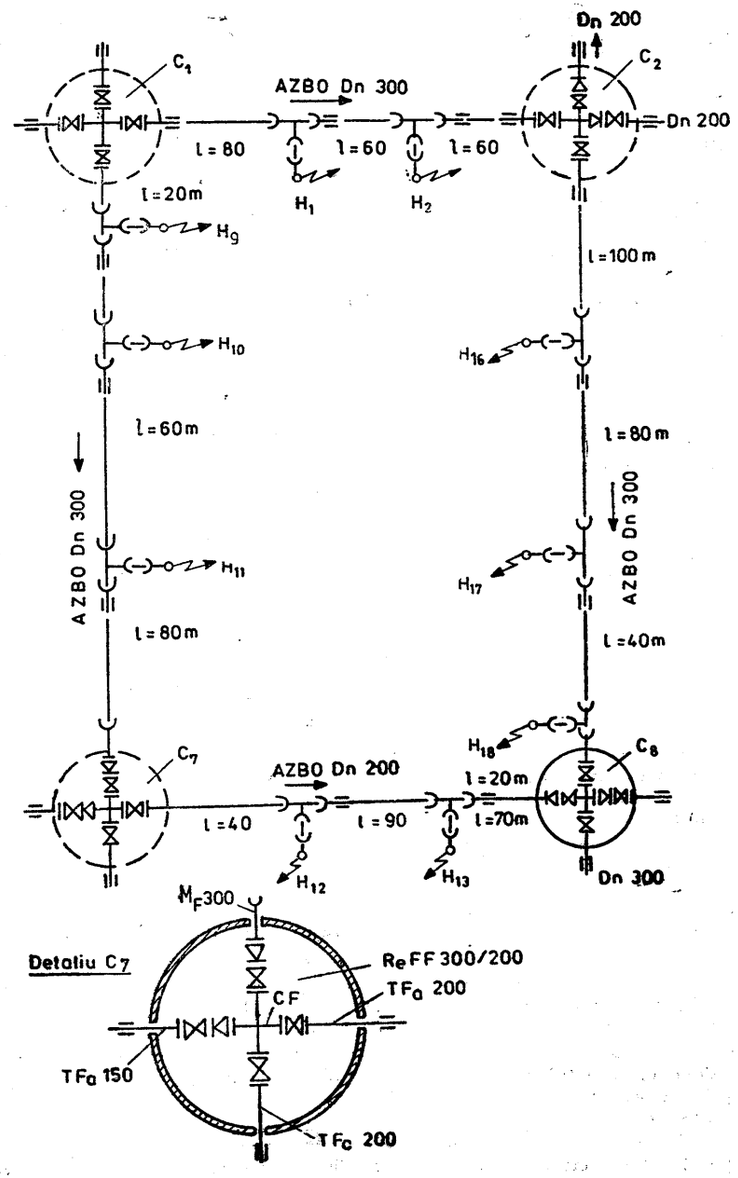


Fig. 8.11. Schemă de montaj pentru un inel din rețeaua de distribuție.

de materiale. Pe lîngă indicațiile din tabelul 8.7, mai există 2 coloane care conțin simbolul și semnul convențional al piesei respective, semn care coincide cu cel din desen (v. tab. 8.5 și 8.6).

În planșă nu sînt prevăzute branșamentele, excepție făcînd cele cu diametre peste 50 mm, realizate prin cămin cu vană, ca o ramificație normală la rețea).

Pentru ușurința orientării schemei pe planul de situație, străzile vor fi notate cu numele real pe care îl au. Dacă planșa nu este operativă din cauza dimensiunilor, se poate *rupe* rețeaua pe zone, executabile într-o etapă.

Se atrage atenția că, în momentul execuției, constructorul este obligat să noteze pe această schemă toate modificările făcute față de prevederile proiectului (material, traseu, cotă etc.) și să predea aceste modificări beneficiarului, pentru ca acesta să poată fi în cunoștință de cauză la exploatare, iar în momentul executării altor rețele în zonă sau a reparațiilor și modernizărilor, să se dispună de elemente exacte.

În final, după terminarea operațiunilor de montare, probă etc., se reface stratul de pămînt de deasupra. Trebuie dată o atenție deosebită executării umpluturii, deoarece tasarea acesteia în timp duce la stînjenirea circulației și la suprasolicitarea conductei, ca urmare a trecerii vehiculelor peste groapa formată de șanț. De aceea, este bine ca umplutura să se facă în două etape: se umple șanțul, după regulile cunoscute, cu pămînt bine bătut, eventual umezit (nu înecat cu apă, cum se procedează uneori pentru o tasare rapidă pînă la cota finală a căii de circulație); se lasă să se circule pe deasupra (eventual se prevede o îmbrăcăminte provizorie) circa 1—2 săptămîni, după care se reface îmbrăcămintea sub formă definitivă. Pe zona respectivă, în perioada de îmbrăcăminte provizorie, stratul de deasupra trebuie să fie de 20—30 cm nisip (nu pămînt, care în timpul umed să fie împrăștiat de vehicule), așezat cu bombament de circa 5—10 cm peste cota normală a drumului.

8.5. PROBLEME DE EXPLOATARE A REȚELEI DE DISTRIBUȚIE

Problemele exploatării rețelei sînt complexe. De aceea, vor fi menționate numai cîteva aspecte generale.

După terminarea execuției tronsoanelor rețelei și spălarea acesteia, se trece la recepționare. Pentru punerea mai rapidă în exploatare, se începe de la rezervor. Cu această ocazie, se verifică dacă rețeaua rezistă la presiunea statică maximă și dacă poate transporta debitul solicitat (pentru care ar trebui să existe contorii de apă deja montați). Dacă proba hidraulică este satisfăcătoare, se trece la dezinfectarea rețelei (prin umplere cu apă de clor 1—2%, timp de 2—3 zile), spălarea acesteia și darea în funcțiune după obținerea avizului favorabil al Organelor sanitare autorizate. Pentru spălare, se folosesc hidranții de incendiu. La conductele mari, trebuie verificat dacă se poate realiza o viteză de minimum 0,8 m/s, iar dacă nu se poate asigura o viteză bună de spălare, este bine să fie prevăzute vane de golire amenajate special.

În condițiile în care rețeaua recepționată corespunde prevederilor proiectului, aceasta este preluată de întreprinderea de exploatare. În exploatare, se urmărește în special respectarea următoarelor două cerințe: asigurarea unei calități corespunzătoare a apei și reducerea la minimum a pierderilor de apă (în rețea și la beneficiari prin rețeaua interioară).

Pentru realizarea acestor deziderate, întreprinderea de exploatare trebuie să dispună de personal calificat, de instrumente și aparate de control și să aibă o evidență clară a tuturor problemelor care pot apare în cadrul rețelei. Orientativ, dotarea întreprinderii, pentru o bună rezolvare a problemelor de reparații, curățiri, pentru 100 km de rețea, este următoarea [37]:

— autocamioane de 3—5 t (1—2 buc.);

— autoutilitare (3—4 buc.);
— pompe mecanice pentru apă şi nămol (1—2 buc.);
— compresor mobil de 4,5 m³/min (2—3 buc.);
— aparate de sudură electrică (2—3 buc.);
— pompe manuale pentru apă (1—2 buc.)
— grupuri electrogene de 20 CP (1—2 buc.)
— material mărunt, piese de schimb, instrumente folosite de instalatori etc., pentru 1—2 defecţiuni/zi;
— aparate pentru detectarea pierderilor (2 buc.);
— aparate de radio, portabile (1—2 buc.).

Calitatea apei distribuite şi pierderile din reţea sînt influenţate direct de avariile care se produc prin ruperea, fisurarea tuburilor, cedarea îmbinărilor, corodarea conductelor, producerea de depuneri pe conductele pe care apa circulă cu viteză redusă etc. Din această cauză, depistarea (cu promptitudine) şi repararea oricăror stricăciuni este una din căile care rezolvă ambele probleme. Depistarea poate fi făcută în fază incipientă numai cu aparatură de control — tip ureche electronică — sau printr-un control strict al debitelor şi presiunilor în reţea.

Periodic, delegaţii întreprinderii care exploatează reţeaua trebuie să inspecteze instalaţiile interioare ale construcţiilor, pentru a verifica starea acestora. În cazul în care se constată instalaţii defecte, acestea trebuie să fie reparate, iar dacă beneficiarul nu a anunţat în prealabil avaria, să fie sancţionat pentru risipa de apă, chiar dacă a plătit apa efectiv consumată şi contorizată.

Toate avariile, reparaţiile, intervenţiile este necesar să fie notate în fişe, carnete, documente speciale ţinute la zi. Prelucrarea periodică a acestor date este obligatorie; astăzi, cînd se dispune de calculatoare cu memorie şi viteză mare de calcul, este posibilă înregistrare sistematică şi redarea la comandă a tuturor acestor date; dacă această informatizare a reţelei este însoţită de sisteme de colectare şi înregistrare automată a datelor, se poate dispune de un mijloc de exploatare foarte rapid şi economicos în ultimă instanţă.

Ca la orice construcţie, este prezent fenomenul de îmbătrînire; manifestarea cea mai evidentă este dată de creşterea pierderilor de apă din reţea şi reducerea presiunii la beneficiari (lipsa de apă la etajele superioare). În această situaţie, trebuie intervenit prin curăţirea reţelei, repararea sau înlocuirea totală a celor mai afectate tronsoane.

În momentul în care numărul de avarii creşte, depăşind o anumită limită, se va stabili care dintre următoarele două soluţii va fi cea mai economică: (1) plata apei pierdute şi cheltuieli pentru executarea unor noi lucrări; (2) sporirea eforturilor pentru reparaţii.

9.

FIABILITATEA SISTEMELOR DE ALIMENTARE CU APĂ

9.1. INTRODUCERE

Ca orice sistem constructiv, sistemul de alimentare cu apă trebuie să răspundă cerinţelor pentru care a fost construit — asigurarea cu apă a beneficiarilor dintr-o anumită incintă construită. Prin natura sa însă, sistemul de alimentare cu apă trebuie să fie în continuă funcţionare, deoarece:

— asigură cu apă un beneficiar care nu poate exista fără apă decît un interval limitat de timp;

— dacă sistemul nu are rezerve interioare, el trebuie supradimensionat;

— pagubele care se pot produce în lipsa apei — în orice moment — pot fi considerabile (vezi combaterea incendiului — pentru reducerea lor, sînt necesare alte sisteme care pot fi mult mai costisitoare).

Capacitatea sistemului de alimentare cu apă, de asigurare a necesarului de apă (cantitate, calitate, presiune) în tot timpul anului poate fi numită *siguranţa — trăinicia — fiabilitatea* acestuia. Cum în condiţii tehnice normale este foarte greu de realizat un sistem care să aibă siguranţă totală în funcţionare, acest lucru fiind foarte costisitor, este normal ca siguranţa sistemului să fie gîndită în termeni economici: se investeşte foarte mult într-un ansamblu, luînd toate măsurile pentru o funcţionare sigură şi atunci exploatarea este relativ simplă, sau se investeşte ponderat în construcţii, dar sînt necesare măsuri şi cheltuieli însemnate pentru menţinerea în funcţiune a unui asemenea sistem (eventual dublarea periodică prin alte procedee).

Un sistem cu siguranţă de funcţionare totală este practic imposibil de realizat în domeniul alimentării cu apă, întrucît construcţiile necesare pot fi solicitate la sarcini extraordinare — la unele nu sînt cunoscute parţial efectele (ci estimate), iar altele nu pot fi combătute sau nu este raţional să fie combătute integral. Astfel, de exemplu, executarea unui sistem de alimentare cu apă care să reziste la solicitări seismice în orice situaţie este imposibilă, dar şi neraţională, întrucît la gradul 9, 10 de cutremur pe scara Richter practic construcţiile incintei pentru care a fost realizat sistemul de alimentare cu apă sînt scoase din funcţiune, deci nici acesta nu mai este util. Apa care se obţine pentru sistem este luată dintr-o sursă al cărui debit este variabil în timp, după reguli greu de estimat

(în cazul unei secete cu frecvenţa de 1/1000 sau mai mult ,cînd sursa rămîne fără apă, sau în cazul unei viituri extraordinare, cu frecvenţe 1/1000—1/10000, care să afecteze total sau parţial construcţia de captare ; în cazul unor cataclisme, sistemul poate fi total sau parţial scos din funcţiune).

Din aceste cauze, prima măsură care trebuie asigurată este stabilirea unor limite practice, în cadrul cărora se judecă trăinicia funcţionării sistemului ; problema nu este simplă, întrucît aceste limite sînt stabilite de regulă pe baza experienţei, deci a prelucrării statistice a cazurilor de siguranţă sau nesiguranţă în funcţiune (deci a cazurilor de avarie şi costul remedierii lor — judecat ca efort pentru remediere, dar şi ca disconfort realizat la beneficiar ; pentru un calcul corect trebuie introduse în balanţă toate aspectele, altfel rezultatul va fi eronat), dar şi posibilităţile tehnico-economice de realizare a lor. Din păcate, asemenea date sînt destul de puţin contorizate în mod complet ; de regulă, sînt notate cazurile mai importante de avarie, dar fără a fi însoţite de costul pentru remediere (efort bănesc material, timp, forţă de muncă) şi extrem de rar de efectul negativ produs la beneficiar. Pot face excepţie cazurile alimentării pentru industrie, unde contorizarea pagubelor este mai uşor de făcut. Această lipsă este datorată nivelului încă redus de exigenţă ca şi a nivelului redus se asigurare cu bunuri materiale (întreruperea curentului electric poate întrerupe şi alimentarea cu apă — la SP în reţea sau SP cu hidrofor a blocului ; beneficiarul direct îşi asigură rezerve interne, gospodăreşti şi acceptă „involuntar" scăderea gradului de confort, costul suplimentar al tratamentului cauzat de îmbolnăviri).

De aceea, este necesar să se dea o atenţie sporită problemei fiabilităţii sistemului de alimentare cu apă, ca unul din sistemele de bază în existenţa normală a unei localităţi, industrii etc.

9.2. PROBLEME DE FIABILITATE GENERALĂ A SISTEMULUI DE ALIMENTARE CU APĂ

Prin forma sa, sistemul de alimentare cu apă se prezintă ca un sistem în lanţ (fig. 9.1, *a*), siguranţa trăiniciei sale fiind în funcţie de siguranţa fiecărui element component. În figura 9.1 este schematizat un asemenea lanţ, format din zale (fig. 9.1, *b*, *c*), a căror trăinicie este dată de elementele componente, care se leagă la rîndul lor tot în lanţ sau sub formă de discuri. Această prezentare simplificată este importantă în înţelegerea rolului fiecărui tip de activitate, în alcătuirea, realizarea şi exploatarea sistemului de alimentare cu apă. Este important de reţinut faptul că fiabilitatea generală (exprimată ca posibilitate de realizare a parametrilor ceruţi, pe intervalul de timp normat) a sistemului F este dată de fiabilitatea fiecăruia dintre elemente f_i, după regula generală :

$$F = \prod_1^n f_1 f_2 \cdots f_n. \qquad (9.1)$$

Deci, sistemul va fi cu atît mai puţin sigur cu cît lanţul este mai lung ($f_i < 1{,}0$) şi fiabilitatea fiecărei verigi este mai mică. Lanţul se va rupe mai repede acolo unde elementul are fiabilitatea cea mai mică, întrucît fiabilitatea generală este mai mică decît fiabilitatea celei mai slabe verigi. Mai este important de reţinut că fiecare verigă (a lanţului

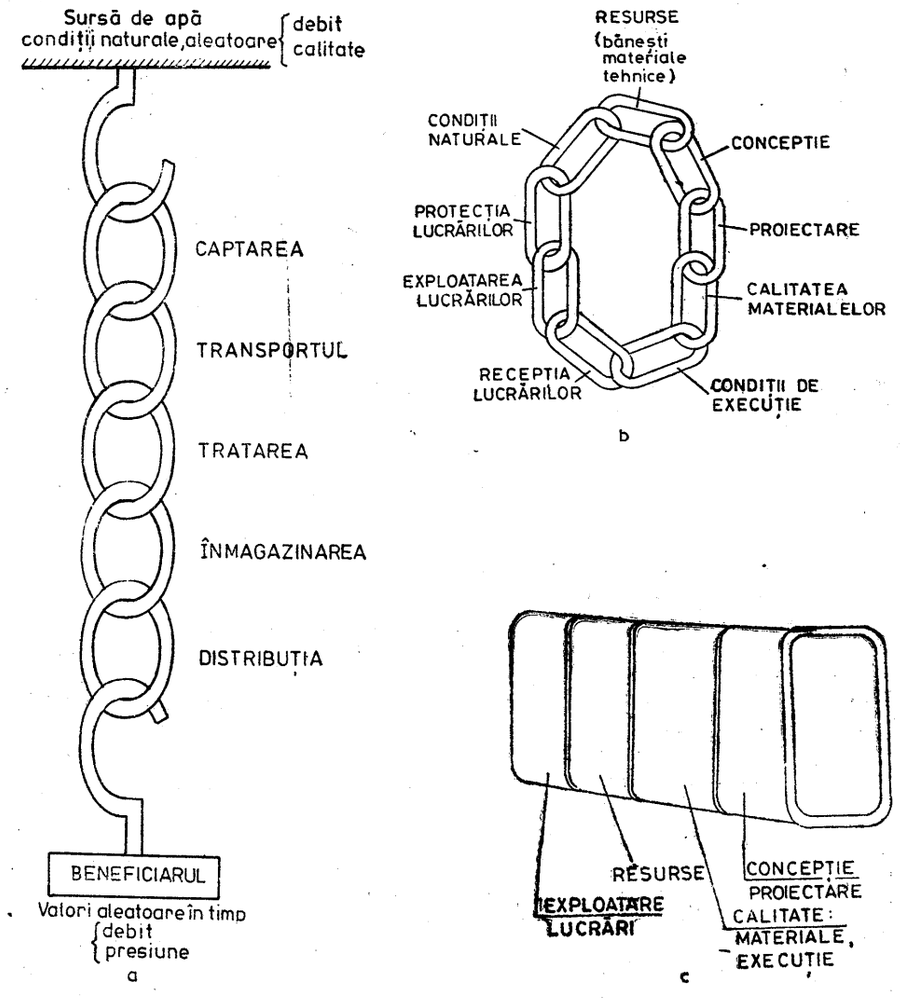


Fig. 9.1. Schemă pentru stabilirea fiabilităţii sistemului de alimentare cu apă: *a* — schemă generală ; *b* — alcătuirea unei zale tip *lanţ* ; *c* — alcătuirea unei zale tip *şaibă-disc*.

principal, fig. 9.1, *b*) poate influenţa, parţial în bine sau în rău, siguranţa celorlalte verigi : o concepţie proastă nu poate fi compensată decît parţial de o execuţie şi o exploatare îngrijită ; o execuţie îngrijită asigură o exploatare lesnicioasă ; un material prost conduce la o exploatare complicată ; recepţia (care de fapt constă în verificarea unor indicatori de fiabilitate) exigentă permite o exploatare lesnicioasă ; resursele materiale bune permit prevederea de materiale bune, deci o exploatare bună etc.

Totodată, şi în cadrul fiecărui inel pot apărea factori care influenţează fiabilitatea : proiectarea depinde de abilitatea, pregătirea teoretică, experienţa şi documentaţia (legislaţia) existentă ; execuţia depinde de înzestrarea tehnică, de termenele de execuţie, de experienţă în lucrări similare etc.

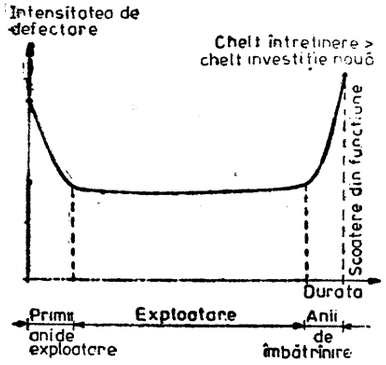


Fig. 9.2. Variația numărului de defecțiuni pe durata de existență a sistemului de alimentare cu apă.

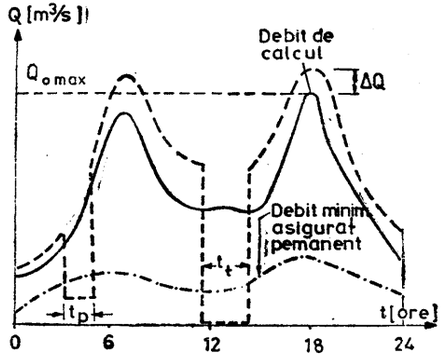


Fig. 9.3. Asigurarea debitului orar la un sistem de alimentare cu apă.

Fiabilitatea se poate exprima prin indicatori de fiabilitate, ca de exemplu:

— probabilitatea de funcționare fără defecțiuni;
— durata medie între defecțiuni;
— disponibilitatea medie pînă la scoaterea din funcțiune;
— durata de serviciu pînă la executarea de reparații capitale;
— costul lucrărilor de menținere în funcțiune (mentenanță) etc.

În viața unei construcții însă, intensitatea de defectare are, după cum se recunoaște în tehnica de specialitate, trei perioade distincte; (fig. 9.2): perioada primilor ani, cînd sistemul intră în funcțiune; perioada de exploatare curentă, cînd menținerea în funcțiune se face cu eforturi reduse; perioada finală de *îmbătrînire rapidă*, cînd cheltuielile de întreținere pot deveni mai mari decît cheltuielile pentru o construcție nouă.

Pentru sistemul de alimentare cu apă, problema siguranței în exploatare poate avea două aspecte principale: asigurarea permanentă a cantității de apă, dar cu valori reduse față de debitul de calcul, sau asigurarea debitului de calcul, dar cu întreruperi. În ceea ce privește acest ultim aspect, întreruperea poate fi totală t_t (fig. 9.3), sau parțială (sistemul funcționează la capacitate redusă) t_p. Această funcționare produce dificultăți beneficiarului (prin gradul de disconfort sau pagube materiale imediate), dar și greutăți în exploatarea sistemului, întrucît, din cauza tendinței de stocare a apei în perioada de nefuncționare, sistemul trebuie dimensionat la un debit mai mare cu ΔQ.

După normativele din URSS [14] sistemele de alimentare cu apă se împart în trei categorii:

— *categoria I:* întreprinderi metalurgice, petrochimice, chimice, centrale electrice și *localități cu peste 50 000 locuitori*; la acestea, debitul minim asigurat nu poate fi mai mic de 30% din debitul normat pe o durată de maximum 3 zile;

— *categoria a II-a:* industria carboniferă, minieră, petrol, construcția de mașini și localități cu o *populație sub 50 000 locuitori*; debitul minim nu poate fi mai mic de 30% din debitul normat, pe o durată de maximum o lună (t_p); se acceptă întreruperea alimentării cu apă pe o durată de maximum 5 ore (t_t).

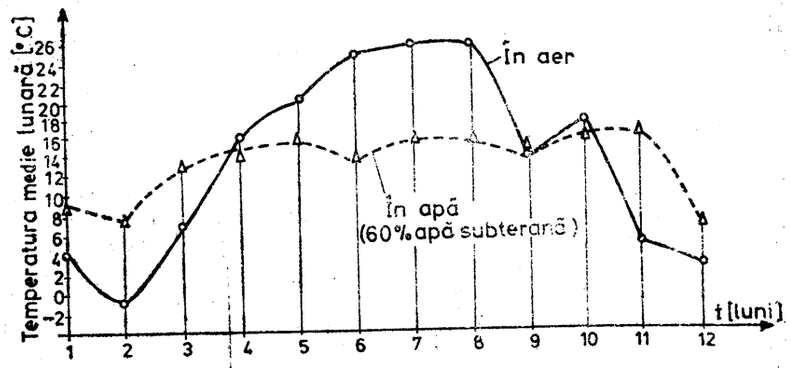


Fig. 9.4. Variația temperaturii apei în rețeaua municipiului București (în perioada în care apa subterană reprezenta 60% din apa distribuită) și variația temperaturii aerului.

— *categoria a III-a:* industria mică, gospodării agricole și localități cu *maximum 500 locuitori*; la acestea, debitul poate fi redus la maximum 30% din debitul normat, pe o perioadă de maximum o lună, iar întreruperea totală a apei nu poate depăși o zi (t_t).

Desigur că normativul poate cere, iar realizarea practică permite o corectare prin uniformizare a calității apei și uneori și a cantității. În figura 9.4 este dată variația temperaturii apei, parametru cu implicații importante asupra utilizării apei de către beneficiar, precum și asupra comportării instalațiilor proprii sistemului.

9.3. CREȘTEREA SIGURANȚEI FUNCȚIONĂRII SISTEMELOR DE ALIMENTARE CU APĂ

9.3.1. CAPTAREA

Captarea apei subterane s-a făcut în general cu puțuri. Existența unui număr mare de puțuri face ca la scoaterea din funcțiune a unora dintre ele, să se asigure totuși un debit suficient de mare. La fel și în cazul drenului — existența a cel puțin două ramuri, face ca debitul să nu scadă decît uneori la valori sub 0,5 Q_{calcul}. Este esențial ca studiile de teren să conducă la valori certe. Rezerva captării este asigurată de sporul de 20% la numărul de puțuri, deci la debitul captat, apă care permite acoperirea unora din deficiențele de execuție sau de apreciere defavorabilă a caracteristicilor hidrogeologice ale stratului acvifer.

Sistemul de sifonare nu este suficient de sigur, realizarea de sisteme cu pompe submersibile sau pompe cu ax vertical mărește fiabilitatea sistemului, cu condiția ca alimentarea cu energie să fie sigură.

Captarea apei de suprafață se poate face: *cu crib* — se alege totdeauna o captare cu cel puțin două criburi, debitul de dimensionare fiind pentru fiecare 0,75 Q; *cu cheson de mal* — se asigură cel puțin o linie de rezervă (linie care în mod normal poate fi în funcțiune); pentru cazuri complicate — posibilitatea scoaterii din funcțiune *a sursei* din cauza unor poluări accidentale — se poate prevedea o priză de rezervă, o acumulare

de rezervă cu captare secundară. Este esențială aprecierea corectă a stabilității albiei în zona de captare, precum și protecția contra apelor mari. Exploatarea în perioada de iarnă poate impune soluții mai costisitoare.

9.3.2. STAȚIA DE POMPARE

Creșterea siguranței în exploatare se poate face prin: (1) creșterea fiabilității utilajului propriu-zis (ca robustețe și ca randament); (2) prin numărul de angregate — care parțial poate suplini și lipsa de fiabilitate a utilajului — unitate; (3) prin amenajarea unei instalații hidraulice adecvate; (4) asigurarea unei surse sigure de energie (sursă dublă eventual).

Schema de creștere a fiabilității prin numărul de agregate (pompe utilizabile) este dată în figura 9.5: (*a*) existența unei singure pompe, caz foarte rar — cînd alimentarea cu apă poate fi discontinuă, se poate asigura o pompă *în magazie* ca *rezervă rece*, pompă care poate înlocui rapid pompa în funcțiune — este în special cazul motopompelor; (*b*) pompare continuă — pompă de rezervă în stare de funcționare — în cazul debitului pompei relativ constant în timp și a unei pompe fiabile ca utilaj în sine; este esențială siguranța funcționării sursei de energie; (*c, d*) — mai multe pompe sau mai multe rezerve în funcție de variația debitului, fiabilitatea utilajului și greutatea în a repara sau procura un utilaj nou.

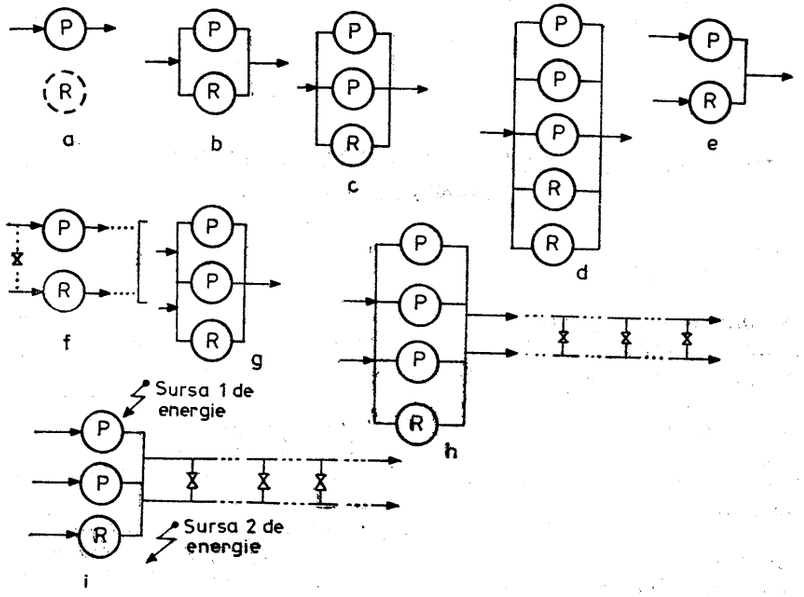


Fig. 9.5. Sporirea siguranței în funcționare la stația de pompare: *a* — o singură pompă în funcțiune (*P*) și o pompă în magazie (de rezervă *R*); *b* — două pompe în instalație (rezerva montată); *c* — cu trei pompe, din care una de rezervă; *d* — cu cinci pompe, din care două de rezervă; *e* — cu pompele legate separat la bazinul de aspirație; *f* — cu două pompe legate separat la bazinul de aspirație și la bazinul de refulare; *g* — cu trei pompe, aspirație dublă-refulare simplă; *h* — cu patru pompe cu aspirație dublă și refulare în conductă dublă, cu bretele; *i* — trei pompe cu legare dublă la aspirație și sursă dublă de alimentare cu energie.

Sporirea fiabilității se poate face și din instalația hidraulică și sistemul de legare a bazinului de aspirație și refulare. Astfel, legarea cu o singură conductă de aspirație și refulare este mai puțin sigură decît legarea prin două sau trei conducte la bazinul de aspirație (fig. 9.5, *e—i*) sau legarea cu două conducte simple sau legate prin bretele la bazinul de refulare (fig. 9.5, *h, i*).

Dacă la acestea se adaugă și surse sigure de energie, se obține o stație de pompare foarte fiabilă pe care numai o cauză neobișnuită o poate scoate din funcțiune (cutremur, ciclon, război). Sursa a doua de energie se poate obține prin legarea efectivă (deci oricînd operativă) la a doua sursă de energie electrică (sînt în zonă două rețele de energie), prin prevederea de grupuri electrogene (care pot fi puse în funcțiune în timp scurt și asigura necesarul de energie electrică) sau prin prevederea de motopompe de rezervă (de fapt a doua stație de pompare echipată cu pompe acționate cu motoare termice). În cazul prevederii motopompelor trebuie stabilit dacă se asigură tot debitul stației sau numai debitul pentru cazuri de avarie — sau debitul pentru instalațiile a căror funcționare este vitală.

În cazul stațiilor de pompare, un rol important îl are fiabilitatea utilajului și armăturilor din instalația hidraulică.

În literatura de specialitate nu există date prelucrate pentru stațiile de pompare din sistemele de alimentare cu apă, există însă unele date extrase din observațiile făcute pentru industrie:

— un robinet cu sertar pană se defectează în medie la 200 000 ore de funcționare;

— suflantele se defectează în medie la 500 000 ore de funcționare;

— pompele se defectează în medie la 120 000 ore de funcționare;

— compensatoarele cu burduf se defectează în medie la 30 500 ore de funcționare;

— conductele din oțel se defectează în medie la 1 000 000 ore de funcționare.

Față de această medie, abaterile pot fi de 10 ÷ 50 ori mai mari sau mai mici. Valorile trebuie luate ca ordin de mărime și pentru comparație, întrucît în industrie solicitările pot fi mult mai mari, dar și materialul și grija pentru execuție sînt mai bune.

9.3.3. ADUCȚIUNEA

Creșterea siguranței aducțiunii se poate realiza prin alegerea unui material mai bun, prin alegerea unui traseu ușor accesibil și stabil, prin alcătuirea unei scheme de funcționare mai sigure și printr-o exploatare activă.

Materialul conductei se poate comporta diferit în timp. În cazul unei conducte de oțel, întrucît materialul este mai rezistent (are rezerve mai mari decît tuburile din beton precomprimat sau azbociment), inițial comportarea este bună, dar în timp pot apărea probleme mari legate de coroziunea materialului, sau de solicitările repetate datorate variațiilor de temperatură, în cazul transportului apei de suprafață. Întreruperile dese pentru remediere pot fi mult mai costisitoare decît cele ale conductei din tuburi PREMO, de exemplu (care intrată în regim, poate funcționa un număr mare de ani fără mari probleme).

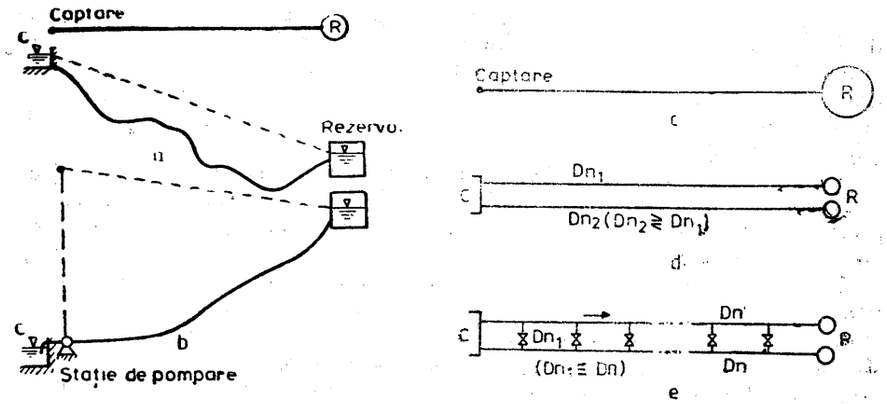


Fig. 9.6. Sporirea siguranței în funcțiune a aducțiunii: *a* — aducțiune gravitațională cu un fir și rezervor mic (plan și secțiune); *b* — aducțiune funcționînd prin pompare, cu un fir și rezervor mic; *c* — aducțiune cu un fir, dar cu rezervor final mare; *d* — aducțiune cu 2 fire, fără bretele și rezervor final mic; *e* — aducțiune cu 2 fire, bretele, și rezervor final mic.

Alcătuirea unei scheme de funcționare mai simple sau mai complicate, pe trasee mai simple sau cu mai multe probleme (traversări de căi de comunicație, cursuri de apă, profile cu multe vîrfuri etc.) este esențială în funcționarea corectă și îndelungată, mai ales la aducțiunile lungi (peste 20—30 km).

Astfel, se poate prevedea o aducțiune cu un singur fir, cu funcționare gravitațională sau prin pompare (fig. 9.6. *a*, *b*); funcționarea gravitațională este mai sigură, întrucît nu apare stația de pompare a cărei exploatare poate fi un factor perturbator (în cazul mișcării nepermanente). Siguranța funcționării depinde de alcătuire și de viteza de executare a reparațiilor. Creșterea siguranței se poate face, în unele cazuri, prin creșterea volumului rezervorului de la capătul aval (fig. 9.6, *c*) cu volumul de apă necesar pentru perioada egală cu durata maximă de executare a unei reparații pe aducțiune. Pentru aducțiuni importante, dar de lungime relativ mică (cîțiva km) se poate prevedea o schemă cu două sau mai multe fire paralele (fig. 9.6, *d*). Soluția poate fi justificată de execuția în etape, urmare a creșterii în timp a necesarului de apă. La început, se poate prevedea un singur fir, combinat cu un volum de rezervor mai mare, volum care să fie suficient și mai tîrziu cînd debitul tranzitat va crește.

Observație: Nu este suficient să existe spațiu în rezervor, trebuie asigurat și volumul de apă care să umple acest spațiu, iar odată asigurat, trebuie protejat pentru a nu putea să fie utilizat în alte scopuri (cea mai curentă situație este aceea a unei folosiri neraționale a apei în incinta deservită).

Pentru aducțiuni mari este rațională prevederea a două fire legate cu bretele (fig. 9.6, *e*). Dacă supravegherea aducțiunii este adecvată și vanele prevăzute sînt menținute în stare de funcționare, atunci siguranța în exploatare poate fi ridicată. Pentru aprecierea generală a creșterii fiabilității se poate urmări aplicația următoare.

Aplicația 12

Să se determine debitul minim asigurat de aducțiunea cu fir dublu dacă debitul transportat este 1 m³/s, lungimea aducțiunii $L = 20$ km, curgerea este gravitațională, la o diferență de cotă de 30 m (fig. 9.7, *a*).

Cazul 1 — Se preconizează aducțiunea dintr-o conductă cu un fir (fig. 9.7, *b*): pentru debitul Q și panta hidraulică maximă $J = 30/20\,000 = 2\%$. Rezultă din diagramă diametrul de 1000 m — tuburi PREMO. Un singur fir de conductă, deci în caz de avarie (și o avarie la o asemenea conductă poate dura 8—12 ore pînă la remediere) debitul este zero; pentru compensare ar trebui o rezervă de apă în rezervor de circa 3600 m³/h · 12 h = 43 000 m³.

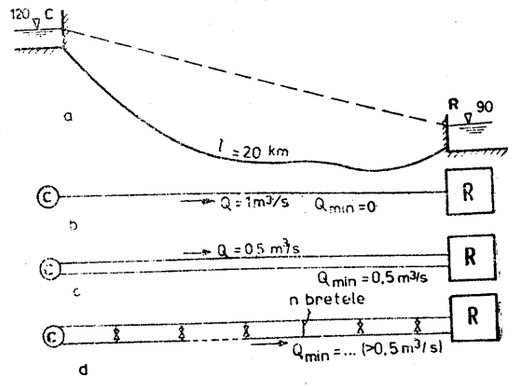


Fig. 9.7. Schema de calcul pentru stabilirea debitului asigurat (aplicația 12): *a* — profil longitudinal prin aducțiune; *b* — varianta conductă cu un fir; *c* — varianta conductă cu 2 fire fără bretele; *d* — varianta aducțiune dublă cu bretele.

Cazul 2 — Conductă cu două fire (fig. 9.7, *c*) dimensionate pentru debitul de 0,5 m³/s fiecare; rezultă un diametru de 800 mm; debitul minim realizat pentru un fir în funcțiune (al doilea avariat):

$$Q_{min} = 0{,}550 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pentru a nu avea dificultăți, ar trebui ca pe perioada de reparație (12 h), în rezervor să existe volumul de apă:

$$(1{,}0 - 0{,}55) \cdot 3600 \cdot 12 = 19\,500 \text{ m}^3$$

Cazul 3 — Aducțiune din 2 fire, legate cu bretele (fig. 9.7, *d*); în caz de avarie, se izolează tronsonul avariat; debitul minim asigurat se poate calcula expeditiv cu relația:

$$Q_{min} = \sqrt{\frac{\Delta H}{\frac{s_0}{4} l(n+4)}}, \qquad (9.2)$$

în funcție de numărul de bretele (la n bretele sînt $n + 1$ tronsoane) pe fiecare fir, în care:

ΔH este diferența totală de cotă (energia disponibilă a sistemului);

n — numărul de bretele;

$l = L/(n + 1)$ — lungimea unui tronson de conductă între două bretele;

s_0 — modul specific de rezistență ($s_0 = 0{,}0049$ m²/s⁶ pentru *Dn* 800).

Valorile debitului pentru diferite valori ale lui n sînt date în tabel. Calculul este dat pînă la o lungime a bretelei de circa 2 km, valoare curent acceptată în practică.

Tabelul 9.1

Valorile debitului minim în funcție de n

Q_{min} \ n	0	1	2	3	4	5	6	7
l [m]	20 000	10 000	6670	5000	4000	3330	2860	2500
Q_{min} [m³/s]	0,55	0,70	0,78	0,84	0,87	0,90	0,925	0,94

Se constată că trecînd de la o conductă Dn 1000, unde la limită debitul poate fi zero, la două conducte Dn 800 legate rațional cu bretele, debitul asigurat poate fi de ordinul a 0,94 m³/s.

Făcînd un calcul economic comparativ între costul pentru realizarea rezervorului suplimentar și realizarea a două conducte cu bretele putem opta pentru varianta optimă la același grad de siguranță în funcțiune (respectiv la același debit minim asigurat).

9.3.4. REZERVOARELE

Rezervorul reprezintă prin prezența și amplasarea sa favorabilă un element important de siguranță pentru funcționarea sistemului de alimentare cu apă:

— prin prezență, asigură posibilitatea dimensionării raționale a sistemului (la $Q_{zi\ max}$ pentru toate obiectele pînă la rezervor, la $Q_{o\ max}$ pentru toate obiectele după rezervor) și prin aceasta o funcționare relativ constantă a celei mai mari părți a sistemului (o dimensionare a întregului sistem la debite variabile orare între $Q_{o\ min}$ și $Q_{o\ max}$, valori care pot fi de ordinul a $1 \div 25$ ori din valoarea debitului mediu ar fi practic imposibilă, pe lîngă faptul că este irațională);

— amplasarea lîngă localitate, deci la o distanță cît mai mică, permite stocarea unui volum de apă ca rezervă pentru cazuri speciale (incendiu, avarie etc.);

— amplasarea la cotă permite și utilizarea stocului de apă în cazul unei eventuale întreruperi a funcționării stațiilor de pompare.

Etapele de creștere a siguranței sistemului de alimentare în condițiile în care există rezervor, apa din interior fiind protejată pentru a fi folosită pentru scopurile pentru care a fost destinată și utilizarea apei fiind rațională (distribuția este sensibil apropiată de ipoteza luată în calcul), sînt redate succint în figura 9.8.

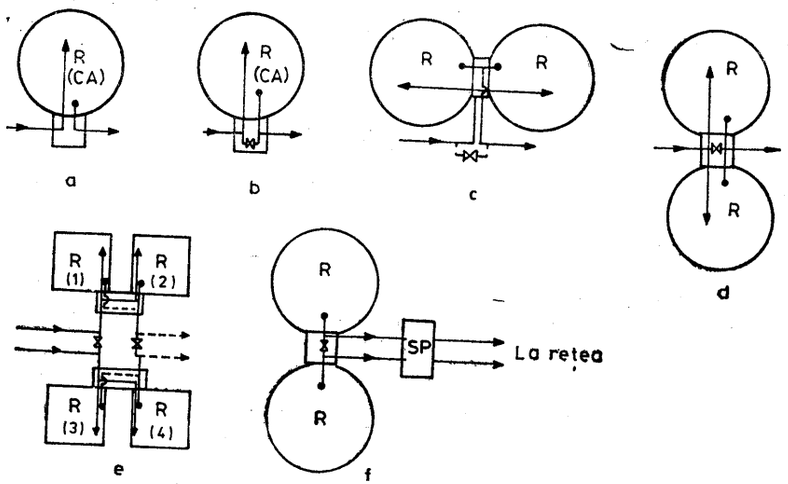


Fig. 9.8. Rezervoare cu diferite valori a siguranței în funcționare: *a* — rezervor cu o cuvă, fără by-pass; *b* — idem, cu by-pass; *c* — rezervor cu 2 cuve, cu by-pass; *d* — idem, cu conductă de by-pass în casa vanelor; *e* — rezervor cu 4 cuve, alimentare dublă, racordare dublă la rețea; *f* — rezervor cu 2 cuve, cu două conducte de alimentare a stației de pompare a apei în rețea.

În cazul unui rezervor cu o singură cuvă sau a unui castel de apă (cazul localităților mici) se realizează cea mai mică siguranță. La scoaterea din funcțiune a rezervorului, forțat (în caz de avarie) sau voit (pentru spălare, revizie etc.), alimentarea cu apă este întreruptă (fig. 9.8, *a*). Acest lucru se poate remedia parțial prin prevederea unei conducte de ocolire (by-pass), închisă de regulă (fig. 9.8, *b*). Deschiderea acestei conducte permite alimentarea rețelei la un debit de maximum $Q_{zi\ max}$, deci cu restricții la beneficiar și cu complicații în cazul combaterii incendiului. În caz de scoatere voită din funcțiune, aceasta se poate face în perioadele în care necesarul zilnic de apă este mai mic (cînd diferența de debit $Q_{o\ max\ (i)} - Q_{zi(i)}$ este mai mică).

Creșterea siguranței se face prin prevederea a două cuve de rezervor, fără conductă de ocolire, sau cu conductă de ocolire (fig. 9.8, *c*, *d*); conducta de ocolire este amplasată în casa vanelor, dar pe schemă a fost amplasată în exterior pentru o mărcare mai bună a prezenței acesteia.

Pentru o siguranță maximă pot fi prevăzute mai multe cuve de rezervor (fig. 9.8, *e*), cu conductă de ocolire pentru fiecare din cuve și cu legături duble atît pe aducțiune (cu sau fără bretele), cît și pe legătura la rețea; aceste rezervoare pot fi pe același amplasament, sau, în cazuri deosebite, pot fi grupate pe amplasamente diferite (rezultă încă o dată dezavantajul castelului de apă care, de regulă, are o cuvă unică, deci o siguranță mai redusă în exploatare).

În cazul pompării totale a apei din rezervor (fig. 9.8,*f*), siguranța sistemului este dată de legarea stației de pompare la rezervor (care poate fi amplasată pe conducta de plecare, pe oricare din variantele din figura 9.8 și pe alte scheme care există în realitate), precum și de legarea stației de pompare la rețea; *în mod normal rezervorul și rețeaua de distribuție funcționează împreună, deci trebuie să fie gîndite împreună.*

Apare ca foarte importantă păstrarea calității apei în rezervor, fiind necesare măsuri pentru curățirea ușoară a acestuia, dar și pentru protejarea mediului înconjurător (prin sistemul de ventilație, aerul din exterior este aspirat în rezervor la fiecare golire a acestuia și eventualele substanțe impurificatoare, minerale sau microorganisme, pot deteriora calitatea apei înmagazinate).

9.3.5. REȚEAUA DE DISTRIBUȚIE

Creșterea gradului de siguranță, în etape, este redată simplificat în figura 9.9($a \cdots f$), pentru cazul în care schema de funcționare permite funcționarea cu o singură zonă de presiune. Pentru cazul rețelei cu mai multe zone de presiune, schemele pot fi valabile pentru fiecare zonă în parte. Se observă că o rețea cu siguranță mare în funcționare este cea alcătuită după schema *c*, rețea inelară cu legătură dublă la rezervorul care asigură și presiunea necesară, sau schema *a* — o așa numită rețea spațială — întrucît legarea la rezervor se face în moduri diferite.

În cazul rețelei alimentate prin pompare, pe lîngă cazuri similare cu $a \cdots f$, pot fi gîndite sirețele complexe cu rezervoare și stații de pompare distribuite (fig. 9.9, *f*).

În ceea ce privește modul de alcătuire a rețelei inelare, *rețeaua se comportă ca o rețea inelară numai dacă diametrele conductelor inelului sînt sensibil apropiate.* Acest lucru este evidențiat prin următoarea aplicație.

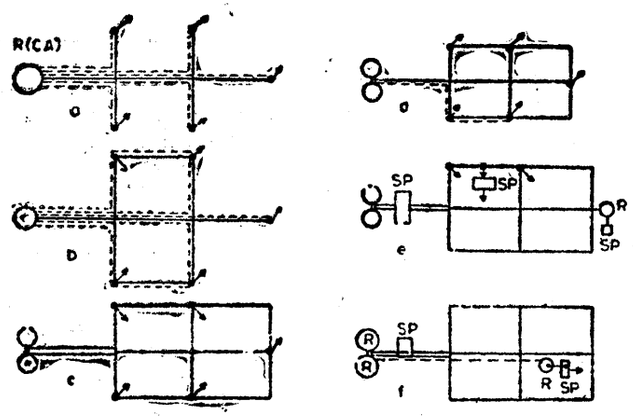


Fig. 9.9. Schema de evaluare a siguranței în funcțiune a rețelelor de distribuție: *a* — rețea simplă, ramificată; *b* — rețea mixtă cu legare simplă la rezervor; *c* — rețea inelară cu legare dublă la rezervor; *d* — rețea inelară cu două noduri de alimentare; *e* — rețea alimentată prin pompare, cu repompare interioară; *f* — rețea alimentată prin pompare, cu două conducte de legătură și rezerve interioare (rezervoare și stații de pompare).

Aplicația 13

Să se dimensioneze rețeaua de distribuție din figura 9.10 și să se determine debitul minim asigurat în caz de avarie.

Rețeaua de distribuție este o rețea inelară. Se asigură o distribuție a debitului, se predimensionează și se corectează debitul pînă cînd pe ambele circuite (*1, 2*) pierderea de sarcină este aceeași (aproximativ egală cu energia disponibilă $\Delta H = 10$ m). Fiind o rețea inelară, sînt posibile mai multe variante. Vor fi calculate elementele pentru două dintre ele:

● ***Varianta 1*: tronson *A—1—B*, *Dn* 100 mm, pentru panta $i = 10/300 = 0{,}033$, $Q = 11$ l/s (conductă metalică); tronson *A—2—B*, $Q = 89$ l/s, $i = 10/500 = 0{,}02$, [*Dn* 250 mm**

***În caz de avarie* a tronsonului cel mai important (*A—2—B*), debitul asigurat este de 11 l/s (deci 11% din valoarea necesară).**

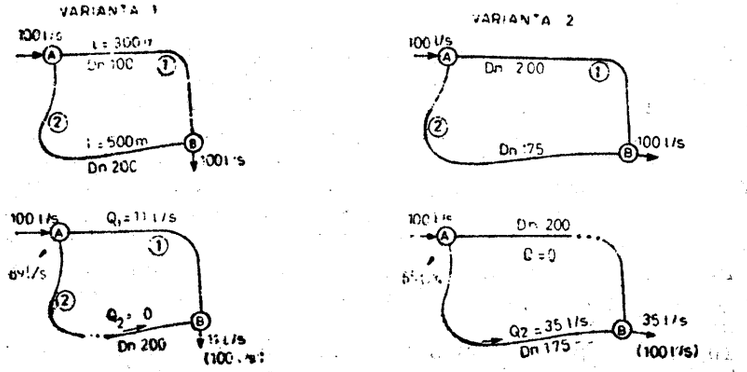


Fig. 9.10. Schemă de calcul pentru stabilirea debitului minim asigurat de o rețea simplă (aplicația 13).

● *Varianta a 2-a*: tronson *A—1—B*, *Dn* 200 mm, pentru panta $i = 0{,}033$, $Q = 65$ l/s; tronson *A—2—B*, $Q = 35$ l/s, pentru $i = 0{,}02$, rezultă *Dn* 175 mm.

În caz de avarie a tronsonului *1*, cel mai puternic, tronsonul *2* poate asigura 35 l/s din debitul cerut; se observă că prin echilibrarea diametrelor crește siguranța în asigurarea debitului de circa 3 ori.

Desigur că într-o rețea cu *n* inele, calculul este mult mai complicat; calculul este bine să fie făcut pentru a putea stabili forma optimă a rețelei. Calculul se poate face și în ceea ce privește asigurarea unei cote piezometrice minime, deci a unei valori a presiunii disponibile în noduri.

9.3.6. STAȚIA DE TRATARE

Spre deosebire de obiectele analizate pînă acum, care erau unitare din punct de vedere al parcurgerii de către apă (multiplicarea de regulă este prin adăugarea în paralel), stația de tratare este ea însăși formată dintr-un ansamblu de obiecte legate tehnologic în lanț și multiplicate în paralel. Deci siguranța în funcționare a acesteia va fi legată de siguranța funcționării lanțului. În afară de aceasta, dacă la celelalte obiecte componente ale sistemului există o funcționalitate principală (o aducțiune — transport, stație de pompare-adăugare de enrgie, rezervor — înmagazinare de apă), la stația de tratare există două funcționalități care sînt la fel de importante: asigurarea unei *cantități de apă*, asigurarea unei *calități a apei*. Pentru fiabilitatea stației, trebuie analizată soluția din punct de vedere al ambelor cerințe. Greutatea constă în faptul că cele două cerințe sînt relativ diferit satisfăcute: dacă pentru asigurarea cantității este esențială proiectarea și realizarea constructivă, pentru asigurarea calității este esențială *disciplina tehnologică* a personalului de exploatare și în mare măsură și gradul de dotare cu aparatură de avertizare, măsură și control.

Pentru o stație de tratare bine gîndită, realizată corect, etalonată corect, dotată cu sisteme de avertizare asupra calității apei la sursă (care să permită acționarea în timp real) și în nodurile importante ale circuitului, este esențială asigurarea funcționării obiectelor (doze de reactivi necesare, curățirea normală a obiectelor etc), pentru a obține calitatea apei cerute (și realizabile). În această funcționare corectă, personalul trebuie *să deducă* performanțele stației, în condițiile de exploatare pe care în mod aleator le realizează calitatea variabilă a apei la sursă. Cum această calitate continuă încă să se înrăutățească, este de așteptat o modificare — prin complicare — a tehnologiei de tratare. Acest lucru nu se poate face rațional decît pe baza unei *exploatări* corecte — *active* a dotării existente.

În cadrul fiecărui obiect al stației, fiabilitatea generală a acestuia depinde de fiabilitatea elementelor componente: fiabilitatea armăturilor din dotare, a pompelor sau mecanismelor de agitare, a dispozitivelor de acționare etc.

Desigur că funcționarea unei stații de tratare poate fi mai sigură sau nu (poate fi mai ușor condusă pentru a realiza parametrii cantitativi și calitativi), în funcție de tipul apei tratate, de caracteristicile corectate și exigența asupra calității finale a apei. Astfel, o apă subterană, cu conținut de Fe, Mn, CO_2, SH_2, Ca, Mg peste limită și care este supusă tratării pentru corectarea valorilor acestor elemente, are caracteristici relativ constante perioade lungi de timp. În această situație, o stație corect

pusă în funcţiune poate asigura o calitate de apă fără complicaţii mari, dacă tehnologia folosită este robustă (de exenplu aerarea apei cu Fe se face cu dispozitive care se defectează greu). Acelaşi lucru se poate spune şi despre limpezirea unei ape captate într-un lac de mari dimensiuni. În schimb, ţinerea sub control a calităţii apei tratate pentru o apă din rîu poate fi o problemă foarte complicată atunci cînd calitatea apei la sursă se poate modifica de la oră la oră, în limite ale parametrilor foarte variabile şi fără o avertizare în timp real (presupunînd că în staţie există posibilitatea acţionării pentru a răspunde la aceste solicitări — obiectele staţiei au parametrii tehnologici adecvaţi, iar reactivii necesari sînt la dispoziţie).

În conducerea staţiei, trebuie ţinut seama de încă un factor important — funcţionarea se face cu o oarecare inerţie: modificarea dozei de reactiv nu se face resimţită instantaneu; un decantor clasic are rezerve de atenuare a unor concentraţii mai mari de suspensii — deci nu este la fel de sensibil ca un decantor rapid — la variaţia dozei de reactivi, mai ales cînd aceasta nu este cea corectă; repunerea în funcţiune a unui decantor suspensional este mult mai dificilă ca aceea a unui decantor orizontal etc.

Realizarea unei staţii de tratare care să permită o exploatare lesnicioasă se poate face astfel încît fiabilitatea să aibă diferite valori. În figura 9.11, *a* este dată schema unei staţii cu fiabilitate scăzută:

— pompare la captare (întreruperea pompării conduce la dereglarea totală a procesului de limpezire);

— existenţa unei singure linii tehnologice: bazin de amestec, şi reacţie etc;

— staţie de pompare intermediară;

— un număr mic de decantoare şi filtre, deci supraîncărcarea celor în funcţiune cînd o cuvă se spală etc..

În figura 9.11, *b* este dată schema unei staţii de tratare cu fiabilitate crescută, datorită:

— lipsei pompării la captare şi a pompării intermediare; în caz de absolută nevoie este raţională o singură treaptă de pompare, la captare, sau imediat înaintea staţiei de tratare;

— organizarea pe linii tehnologice independente, cu legături de siguranţă (interconectare);

— asigurarea unui număr mare de decantoare şi cuve de filtre rapide face ca supraîncărcarea celor în funcţionare să fie relativ redusă în cazul scoaterii unuia din funcţiune pentru spălare, reparaţii etc.;

— cuvă dublă de rezervoare sub filtre, deci capacitate mare de înmagazinare şi deci posibilitatea spălării energice a filtrelor în cazuri speciale.

Măsurile constructiv-tehnologice necesare pentru mărirea gradului de siguranţă, pentru staţia de tratare ce realizează limpezirea apei, sînt următoarele:

— realizarea unui număr mai mare de decantoare (în mod normal ar trebui cel puţin 4 cuve), astfel încît, la scoaterea din funcţiune a unei cuve, încărcarea hidraulică să nu depăşească valoarea maximă permisă de tipul de decantor, în condiţiile utilizării raţionale a reactivilor disponibili, iar la funcţionare normală, să se realizeze parametrii raţionali de exploatare, cu toate decantoarele în funcţiune; este bine ca tipul de decantor să aibă cît mai puţine dispozitive mecanice care să-i condiţioneze funcţionarea;

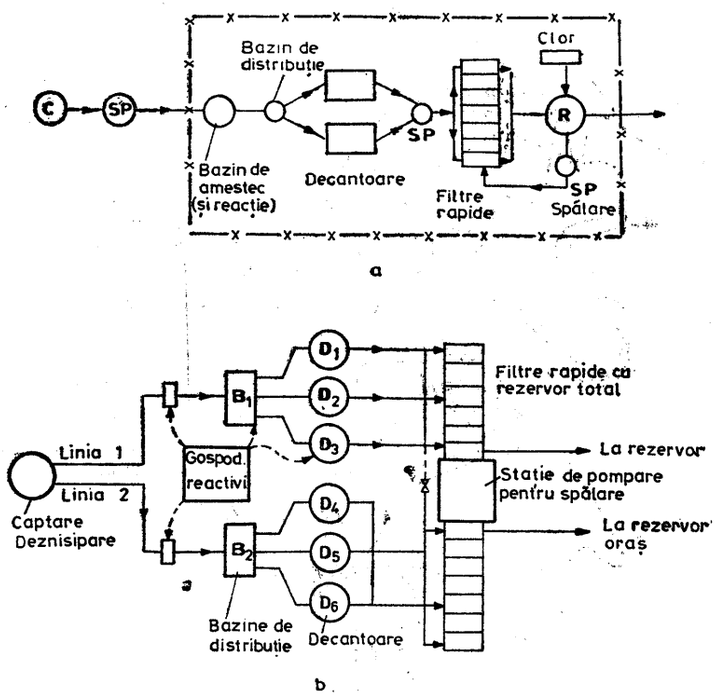


Fig. 9.11. Evidenţierea fiabilităţii în exploatare a staţiei de tratare: *a* — staţie de tratare cu o singură linie, dar cu obiecte duble; *b* — staţie de tratare cu două linii şi obiecte multiple.

— realizarea unui număr mare de cuve de filtru (în mod normal ar trebui cel puţin 1—2 cuve de rezervă); scoaterea acestora din funcţiune, zilnic, pentru spălare, produce supraîncărcarea celorlalte şi determină o reducere a duratei de filtrare prin stricarea echilibrului materialului reţinut în stratul de nisip; cu cît supraîncărcarea este făcută în trepte, la intervale mai mici, cu atît complicaţiile pot fi mai mari; în mod normal, ar trebui ca viteza să nu depăşească 10 ÷ 20% din viteza de funcţionare în regim;

— realizarea mai multor staţii de tratare şi eventual legarea acestora între ele pentru siguranţă; în figura 9.12 este dat pentru exemplificare cazul staţiilor de tratare pentru oraşul Paris.

Un caz ceva mai deosebit îl prezintă instalaţia de stocare, preparare şi dozare a reactivilor pentru dezinfectare (în cazul staţiilor noastre de tratare — *clorul lichid*). Pe lîngă măsurile necesare în ceea ce priveşte siguranţa în realizarea dozei de reactiv în apă, sînt necesare măsuri de siguranţă importante şi pentru protecţia contra accidentelor, în cazul avariei recipienţilor de clor. Clorul este un agent foarte toxic şi a cărui stare normală este starea gazoasă (dacă utilizarea apei cu 2 mg/l clor dizolvat nu pune probleme organismului, inspirarea însă a aerului cu 2 mg Cl/l aer este mortală; cercetările au arătat că muncitorii pot lucra pînă la 8 ore în aer cu conţinut de clor de maximum 20 ppm, adică 0,02 mg/l; o doză de 0,1 mg/l aer, deci de 10 ori mai mică decît doza

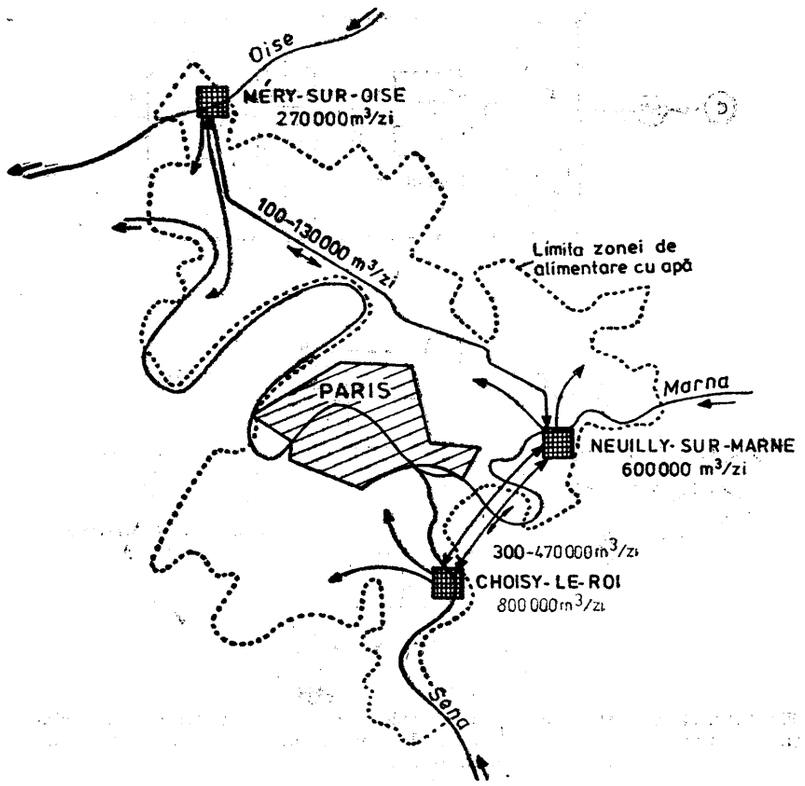


Fig. 9.12. Sporirea fiabilității în exploatare a stației de tratare prin realizarea mai multor stații (pe surse diferite) și interconectarea lor (exemplu pentru orașul Paris).

folosită în apă, poate fi periculoasă, iar la 2 mg/l clor/l, aer doza este mortală).

Ca atare, controlul recipienților, verificarea periodică și mijloacele de combatere a scăpărilor de clor și amplasarea gospodăriei în afara localității într-o zonă drenată de curenții de aer sînt măsuri obligatorii.

9.4. CONCLUZII

• Pentru sistemul de alimentare cu apă, fiabilitatea în asigurarea debitului și calității apei în timp este o problemă esențială. Pentru a asigura o funcționare robustă a sitemului, sînt posibile soluții pentru ansamblul sistemului, dar și pentru fiecare obiect în parte.

• Cuantificarea siguranței obiectelor componente (prin evaluarea probabilității de comportare bună) are importanță din două puncte de vedere principale: se poate evalua robustețea de ansamblu a sistemului și se poate interveni în sporirea siguranței în funcționarea celui mai slab obiect care dictează valoarea generală a fiabilității sistemului, pe de o parte și, pe de altă parte, se poate stabili strategia de efectuare a reparațiilor capitale sau de extindere a construcțiilor.

• Cuantificarea siguranței sistemelor de alimentare cu apă este o problemă complicată, întrucît se bazează pe prelucrarea cu metode statistice a defecțiunilor înregistrate în exploatarea acestora.

Aceste înregistări sînt puține, neunitar făcute și incomplete.

Este necesară o metodologie unitară de înregistrare și cuantificare, pentru a putea prelucra ulterior aceste date.

BIBLIOGRAFIE

1. Abramov, N. N., *Vodosnobjenia* (ediția a 2-a). Stroiizdat. Moskva, 1974.
2. Abramov, N. N., *Nadejnosti sistem vodosnabjenia*. Stroiizdat. Moskva, 1979.
3. Cineti, A., *Resursele de apă subterană ale României*. Editura tehnică, București, 1990.
4. Cioc, D., *Hidraulica*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
5. Castany, G., *Prospecțiunea și exploatarea apelor subterane*. Editura Tehnică, București, 1972.
6. Costache, Gh., *Exploatarea apelor subterane prin sonde*. Editura Tehnică, București, 1989.
7. Carlier, M., *Hydraulique générale et appliquée*. Eyrolles, Paris, 1972.
8. Constantinescu, P. Gh., *Captarea apelor subterane din România*. Editura Tehnică, București, 1980.
9. * * * *Charts for the Hydraulic Design of Channels and Pipes* (ediția a 5-a). Hydraulics Research Wallsingford, Oxfordshire, 1983.
10. * * * *Instrucțiuni tehnice pentru calculul loviturii de berbec și stabilirea măsurilor pentru prevenirea efectelor negative ale acesteia la instalații hidraulice sub presiune*. Institutul de Construcții, București, 1974.
11. Colectiv (coordonator O. Ianculescu), *Alimentări cu apă — material documentar*, vol. 1, 2, 3, 4 (litografiat). Institutul de Construcții, București, 1987.
12. * * * *Catalog de pompe*. Fabrica Aversa, 1986.
13. * * * *Catalog de fișe tehnice* (uz intern). ISLGC, 1980.
14. Davies, C. V., *Handbook of Applied Hydraulic* (ediția a 8-a). McGraw Hill, New York, 1969.
15. Dégremont, *Memento Technique de l'eau*. Paris, 1989.
16. Ion, I. Ionel, *Instalații de pompare reglabile*. Editura Tehnică, București, 1974.
17. Iamandi, C. și colectiv, *Hidraulica instalațiilor*. Editura Tehnică, București, 1985.
18. Ivan, C., *Calculul sistemelor de drenaj*. Editura Tehnică, București, 1985.
19. Jura, C., *Alimentări cu apă*. Imprimeria I. P. Timișoara, 1984.
20. Idelcik, *Îndrumător pentru calcule hidraulice*. Editura Tehnică, București, 1988.
21. Kittner, A., *Wasserversorgung* (ediția a 4-a). Veslag, Berlin, 1977.
22. Kiselev, P. G., *Îndreptar pentru calcule hidraulice*. Editura Tehnică, 1988.
23. Mateescu, G., *Hidraulica*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1963.
24. * * * *Manualul inginerului hidrotehnician*, vol. 1, 2. Editura Tehnică, București, 1969.

25. Mănescu, Al., *Contribuție la studiul coloanelor de filtru pentru puțuri de apă*. Teză de doctorat. Institutul de Construcții, București, 1972.
26. Mănescu, Al.; Nimereală, I., Blitz, E., *Exploatarea captărilor de apă subterană*. Editura Tehnică, București, 1973.
27. Mănescu, Al., *Alimentări cu apă — Aplicații*, vol. 3 (litografiat). Institutul de Construcții, București, 1968.
28. Mănescu, Al., *Alimentări cu apă — Aplicații*, vol. 3 (litografiat). Institutul de Construcții, București, 1974.
29. Mănescu, Al., *Alimentări cu apă. Exemple de calcul* (litografiat). Institutul de Construcții, București, 1989.
30. * * * *Manual of British Water Engineering Practice*, vol. 1, 2, 3, 4 (ediția a 4-a). Cambridge, 1969.
31. Pîslăraşu, I., Teodorescu, M., Rotaru, C., *Alimentări cu apă*. Editura Tehnică, București. 1981.
32. Prişcu, R., *Construcții hidrotehnice*, vol. 1, 2. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974.
33. Rusu, G., Rojaschi, V., *Filtrarea în tehnica tratării și epurării apelor*. Editura Tehnică, București, 1980.
34. Rojanschi, V., *Cartea operatorului din stațiile de tratare și epurare a apelor*. Editura Tehnică, București, 1989.
35. Rațiu, N., Constantinescu, C., *Comportarea construcțiilor și amenajărilor hidrotehnice*. Editura Tehnică, București, 1989.
36. Sandu, M., *Cercetări privind drenajele de mare rezistență pentru filtre rapide*. Hidrotehnica 4/1981.
37. Sandu, M., *Metodologie de calcul și proiectare pentru decantoare cu pulsație și lamele*. Buletin ICB, 3—4/1981.
38. Trofin, P., *Alimentări cu apă*, vol. 2. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1961.
39. Trofin, P., *Alimentări cu apă*. vol. 3. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1966.
40. Trofin, P., *Alimentări cu apă*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
41. Trofin, P., Sandu, M., *Optimizarea construcțiilor pentru tratarea apei* (litografiat). Institutul de Construcții, București, 1979.
42. Todd, K. D., *Ground Water Hydrology*. John Willey & Sons, 1959.
43. Vernescu, M., *Apele minerale*. Editura Tehnică, București, 1988.
44. Vladimirescu, I., *Mașini hidraulice și stații de pompare*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974.
45. * * * *18-ème Congrés International et Exposition des Distribution d'Eau*. AIDE, Copenhague, mai 1991.
46. * * * *Colecția de standarde*.
47. * * * *Prevenirea incendiilor* — Colecție de standarde. Editura Tehnică, București, 1990.
48. * * * *TSM/TSM—L'EAU/TSM*. Colecția 1970—1990.
49. * * * *Journal American Water Works Association (JAWWA)*. Colecția 1970—1979.
50. * * * *AQUA*. Colecția 1980—1990.
51. * * * *Hidrotehnica*. Colecția 1960—1992.
52. * * * *Mediul Înconjurător*. Colecția 1990—1991.
53. Ianculescu, O., *Contribuții la optimizarea camerelor de reacție din stațiile de tratare a apei de alimentare a orașelor*. Teză de doctorat. Institutul de Construcții, București, 1983.

54. Morariu, Gh., *Contribuţii la soluţionarea tehnică şi economică a proceselor de tratare a apelor industriale.* Teză de doctorat. Institutul de Construcţii, Bucureşti, 1992.
55. Mirel, I., *Contribuţii la studiul procesului de filtrare rapidă în perioada iniţială de reţinere.* Institutul Politehnic „T. Vuia", Timişoara, 1974.
56. Stoianovici, S., Dobrescu, D., *Procedee şi echipamente mecanice pentru tratarea şi epurarea apei.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1982.
57. Sandu, M., *Contribuţii la calculul decantoarelor de concepţie românească.* Teză de doctorat. Institutul de Construcţii, Bucureşti, 1975.
58. Teodorescu, M., *Optimizarea proceselor tehnologice de deferizare şi demanganizare a apei şi a staţiilor de tratare aferente.* Teză de doctorat. Institutul de Construcţii, Bucureşti 1976.

Format: 70×100/16
Coli de tipar: 30,50
Bun de tipar: 25. II. '94
Nr. plan: 9762

Tiparul executat la:
Imprimeria „ARDEALUL" CLUJ,
B-dul 22 Decembrie nr. 146
România
Comanda nr. 337