

Acest dosar este prezentat exclusiv pentru informare.

Stimate cititor!

Daca DVS doriți sa copiați acest dosar, el urmează a fi inlaturat fara intirziere, imediat dupa ce ati făcut cunoștința cu conținutul lui. Copiind si pastrind dosarul in cauza, DVS va asumați toata responsabilitatea in conformitate cu legislația in vigoare. Toate drepturile de autor asupra dosarului dat se păstrează dupa deținătorul de drept. Orice utilizare in scopuri comerciale sau alte scopuri, cu excepția utilizării 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 spiritualității cititorilor si servește drept reclama a edițiilor de hirtie a acestor documente.

*Diana ROBESCU
Szabolcs LANYI
Sergiu ILIESCU
Ilie CATANĂ
Marin IONESCU
Dumitru BELU*

*Valentin SILIVESTRU
Grigore VLAD
Ioana FĂGĂRAȘAN
Valentin PANDURU
Raluca MOCANU*

Wastewater treatment processes are different from industrial processes regarding both process characteristics and operational objectives. Although the general principles of industrial process control are available, wastewater treatment plants characteristics impose specific considerations in design of control system.

Because of the complexity of physical, chemical and biological processes with a lot of parameters that interacts and a limited number of parameters that can be manipulated, wastewater treatment technology is difficult to control as a sum of unit processes which reciprocally interact. Seasonal, diurnal and hourly continuous variations of wastewater flowrate and loadings, dimension of reactors and interaction wastewater - unit process equipment are elements that emphasize difficulty of wastewater treatment and automatic control of processes.

This book, elaborated by a group of university professors and researchers with a wide experience, presents technologies, installations and equipment for wastewater treatment. Installations and equipment are presented in correlation with technology, shape and dimension of reactors. Both classical and modern technologies are presented and also, new installations and equipment developed in the last years.

Methods for monitoring process parameters in wastewater treatment plants, specific sensors, industrial processes control and wastewater processes automatic control are presented.

Opportunity of publication of this book is imposed by the investments, demands for environment conformation, new commercial societies involved wastewater treatment activities and specialists that are trained in this field.

The book is dedicated to researchers, PhD students and M.Sc. students, which will find many future development directions, to design, execution and operating engineers, which will identify all methods imposed by modern technologies, conditions for their practical application and methods for optimum operation, to students, which will find a real guide for education in this multidisciplinary field that has extraordinary developed in the last years.

CONTROLUL AUTOMAT AL PROCESELOR DE EPURARE A APELOR UZATE



București, 2008

*Diana ROBESCU
Szabolcs LANYI
Sergiu ILIESCU
Ilie CATANĂ
Marin IONESCU
Dumitru BELU*

*Dan ROBESCU
Valentin SILIVESTRU
Grigore VLAD
Ioana FAGĂRAȘAN
Valentin PANDURU
Raluca MOCANU*

Colecția *EcoTerra*

**CONTROLUL AUTOMAT
AL PROCESELOR DE EPURARE
A APELOR UZATE**

Copyright © 2008, Diana Robescu, Sergiu Iliescu, Dan Robescu,
Szabolcs Lanyi, Ilie Catană, Valentin Silivestru, Marin Ionescu, Grigore Vlad,
Dumitru Belu, Ioana Făgărășan, Valentin Panduru, Raluca Mocanu
Toate drepturile rezervate autorilor.

Adresă: Editura TEHNICĂ
Str. Olari, nr. 23, sector 2
București, România
cod 024056

www.tehnica.ro

coordonator editorial
marinagraur

procesare pc
marinagraur

coperta
andreeatănase

layout & pre-press
iulianapanciu

Lucrarea este publicată cu sprijinul Autorității Naționale pentru Cercetare Științifică,
în cadrul programului CEEX, proiectul nr. 174/2006.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

Controlul automat al proceselor de epurare a apelor

uzate/Diana Robescu, Sergiu Iliescu, Dan Robescu, –
București: Editura Tehnică, 2008

Bibliogr.

ISBN 978-973-31-2335-4

I. Robescu, Diana

II. Iliescu, Sergiu

III. Robescu, Dan

628.35

Tipar: Tipografia SHIK & STEFAN

Str. Nicolae Drăgan nr. 10, sector 5, București

Diana Robescu – conferențiar universitar la Catedra de Hidraulică, Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului a Universității „Politehnica” din București, doctor inginer din anul 2000, în specialitatea Energetică, cu distincția *cum laudae*. Absolventă a Facultății de Inginerie Mecanică a Universității „Politehnica” din București în anul 1991, din anul 1993 lucrează în învățământul superior. A publicat peste 40 lucrări științifice, 12 cărți și îndrumare de laborator și a fost responsabil și a colaborat la 50 contracte de cercetare obținute prin competiții naționale sau cu societăți comerciale. Este titularul cursurilor „Modelarea și Simularea Proceselor de Epurare”, „Instalații de Transport Hidraulic și Pneumatic”, „Instalații și Echipamente pentru Depoluarea Apei”, „Dinamica Fluidelor Polifazate și Nenumerate”. Are specializări postuniversitare în ingineria de sistem, proiectare asistată de calculator cu AutoCAD și audit intern. Are experiență în utilizarea programelor de modelare și simulare a proceselor – Matlab Simulink, GPS-X, SIMBA, BioWin, Fluent MixSim, FlexPDE. Este membră fondatoare a Asociației Naționale a Specialiștilor din Domeniul Apei, membră a International Water Association, a Asociației Române a Apei și a Societății Independente pentru Protecția Mediului Înconjurător din România. Este expert în programe naționale de cercetare din domeniul mediului, proceselor și echipamentelor de epurare.



Sergiu Iliescu – profesor universitar la Catedra de Automatică și Informatică Industrială, Universitatea „Politehnica” București, absolvent al Secției de Automatică din cadrul Facultății de Energetică, Universitatea „Politehnica” București (UPB). După o intensă activitate în montaj și punere în funcțiune la întreprinderea de Montaj Instalații de Automatizare (IMIA) București și apoi în proiectare la Institutul de Studii și Proiectări Energetice (ISPE) București, a optat din 1968 pentru cariera universitară, parcurgând toate treptele didactice de la asistent la cea de profesor. În 1979 și-a luat titlul de doctor inginer în specialitatea „Calculatoare electronice”. Este titularul cursurilor „Managementul Proiectelor Informatice”, „Teoria Reglării Automate”, „Conducerea și Automatizarea Instalațiilor Energetice”, „Informatizarea Proceselor Energetice”. Este autor a peste 15 cărți, numeroase articole și comunicări științifice, brevete de invenții și inovații.



Dan Robescu – profesor universitar la, Universitatea „Politehnica” București, doctor inginer din 1976, laureat al Premiului Academiei Române „Aurel Vlaicu”. Din anul 1969 lucrează în învățământul superior. A publicat peste 150 lucrări științifice, 4 brevete, 30 cărți, manuale și îndrumare de laborator. A fost titularul a peste 140 contracte de cercetare științifică. Este șeful Colectivului didactic și de cercetare „Transport fluide polifazate și depoluare” al Catedrei de Hidraulică, Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului. Este titularul cursurilor „Dinamica fluidelor polifazate”, „Tehnologii, instalații și echipamente de epurare a apelor uzate”, „Dinamica fluidelor polifazate poluante”, „Metodologii de cercetare și proiectare a instalațiilor de epurare”. Este conducător de doctorat în specialitatea Energetică. Este expert evaluator în diverse programe de cercetare din țară și străinătate, cu o bogată experiență de cercetare, proiectare și



consultanță. Este membru în colegiul de redacție al revistei „Hidrotehnica”, membru fondator al Asociației Naționale a Specialiștilor din Domeniul Apei, membru fondator al Societății Independente pentru Protecția Mediului Înconjurător din România, membru al Asociației Române a Apei și membru al International Water Association.



Szabolcs Lanyi – Profesor universitar la Universitatea Sapientia din Miercurea-Ciuc, doctor inginer în specialitatea Tehnologia Compușilor Anorganici. Este conducător de doctorat în specialitatea Chimia și Ingineria Protecției Mediului. Din anul 1968 lucrează în învățământul superior în domeniul tehnologiei chimice și protecției mediului. A publicat peste 120 lucrări, 5 brevete și 6 manuale în domeniul tehnologiei chimice și protecției mediului. Este laureat al Academiei Române cu diploma Meritul Academic și

deține numeroase medalii de aur și argint obținute la Saloanele de invenții de la Bruxelles, Geneva, Londra. Între 1996 – 2000 a deținut funcții guvernamentale: consilier în Ministerul Apelor, Pădurilor și Protecției Mediului, secretar de stat în Ministerul Industriei și Comerțului, președintele Agenției Naționale pentru Știință, Tehnologie și Inovare. Este expert UNESCO și membru fondator al Societății Independente pentru Protecția Mediului Înconjurător din România.



Ilie Catană – profesor universitar la Universitatea „Politehnica” București, absolvent al Facultății de Automatică din Universitatea „Politehnica” București, promoția 1970. A fost repartizat ca asistent universitar în învățământul superior, la Catedra de Automatică, parcurgând toate gradele didactice. Este doctor inginer din anul 1978 în specialitatea Automatizarea Sistemelor Electrice. Este titularul cursurilor de „Automatizarea Mașinilor Hidraulice”, „Electronică Industrială și Automatizări”, „Bazele Reglării Automate în Mecanică Fină”, „Acționări Reglabile cu Microprocesoare și Echipamente Electrice Industriale”. Este autor și coautor la peste 100 lucrări științifice publicate, 5 brevete de invenție, 30 cărți, manuale și îndrumare de laborator. Este membru al Societății Române de Automatică și Informatică Tehnică din România.



Valentin Silivestru – Director Președinte General al Institutului Național de Cercetare Dezvoltare Turbomotoare COMOTI București, profesor asociat la Universitatea „Politehnica” București, Facultatea de Inginerie Aerospațială. Absolvent al Universității „Politehnica” București, Facultatea de Inginerie Aerospațială, a obținut titlul de doctor inginer la aceeași universitate, cu distincția *cum laudae* în anul 1995. A coordonat numeroase proiecte naționale și internaționale. Este autor și coautor la peste 30 lucrări științifice publicate, 2 brevete de invenție, membru în colective de cercetare naționale și internaționale. Deține medalii de aur și bronz obținute la Saloanele de invenții de la Bruxelles, Londra, Geneva și Budapesta. Este membru ASME, AIAA și AGIR.

Marin Ionescu – cercetător științific grad I la Institutul Național de Cercetare Dezvoltare Turbomotoare COMOTI București. Este un inginer cu o vastă experiență în domeniul proiectării, construcției și exploatarei sistemelor de aerare. A elaborat proiecte de execuție pentru două tipuri de turbosuflyante care funcționează corect în stații de epurare. A elaborat proiecte pentru turbocompressoare care au fost realizate practic și funcționează în stații de comprimare a gazelor naturale. A condus și participat la elaborarea mai multor proiecte de instalații de aerare din cadrul stațiilor de epurare. Este membru în colectivele de cercetare și realizare de contracte MENER, CEEX, PNCDII.



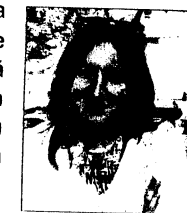
Grigore VLAD – Director General al S.C. ICPE BISTRITA S.A, doctorand în specialitatea Energetică la Universitatea „Politehnica” București. Absolvent al Facultății de Electrotehnică, Secția Automatizări și Calculatoare din Cluj-Napoca în anul 1983, din anul 1985 lucrând în cercetare. A fost titularul a peste 20 contracte de cercetare științifică, autor a peste 30 lucrări în domeniile automatizărilor și protecției mediului, coautor la 3 brevete de invenție. A participat la mai multe teme de cercetare în domeniul conducerii automate a proceselor de epurare a apelor uzate. Conduce un colectiv cu peste 40 specialiști, care derulează atât activități de cercetare-dezvoltare, cât și contracte de execuție în domeniile: tehnologii și echipamente de ozonizare, tehnologii și echipamente pentru epurarea apelor uzate, evaluări de mediu.



Dumitru Belu – cercetător la INCDT COMOTI București. Este un inginer cu o mare experiență în domeniul automatizării pentru turbomotoare și compresoare. Specialist în programele DCDESK 2000–Soft privind utilizarea reguletoarelor electronice digitale de turație pe motoarele Diesel – navale și feroviare; APS – Soft pentru programarea PLC-urilor Allen Bradley; EASY–Soft PRO și X200–SOFT, softuri pentru programarea PLC-urilor Moeller. Deține 2 brevete de invenție și este membru în numeroase colective de cercetare.



Ioana Făgărășan – conferențiar universitar la Universitatea „Politehnica” din București, Facultatea de Automatică și Calculatoare, Catedra de Automatică și Informatică Industrială. Lucrează în învățământul superior din anul 1996. În perioada 2002-2004 a obținut prin concurs un post de cadru didactic asociat în cadrul Institutului Național Politehnic din Grenoble (Franța), Școala Națională de Ingineri Electricieni din Grenoble. Acest lucru a fost posibil datorită colaborărilor existente încă din timpul elaborării tezei de doctorat (2000, 2001) cu colectivul de cercetare al Laboratorului de Automatică din Grenoble, precum și datorită experienței acumulate și în alte colective de cercetare, cum ar fi cel al Institutului de Tehnica Reglării, Universitatea Tehnică din Darmstadt (Germania). Are preocupări în domeniul Informatizării Proceselor Energetice și este titular al cursului „Analiza de Sistem în Informatizarea Proceselor Energetice” și este autor al a 5 cărți, numeroase articole și comunicări științifice la conferințe naționale și internaționale.





Valentin Panduru – conferențiar universitar la Facultatea de Inginerie Managerială, din cadrul Universității Ecologice București, absolvent al Facultății de Mecanică, secția Mașini Hidraulice și Pneumatice, Universitatea „Politehnica” București. A obținut titlul de doctor inginer în anul 2005, în specialitatea Sisteme Automate, la Universitatea „Politehnica” București. În perioada 1992-1996 a fost asistent universitar la Catedra de Automatică și Informatică Industrială a Facultății de Automatică din cadrul Universității „Politehnica” București. Activitatea sa de cercetare se desfășoară în domeniul modelării și simulării sistemelor mecatronice, conducerii inteligente a proceselor. Este coautor al mai multor cărți, articole și comunicări științifice la conferințe naționale și internaționale, precum și membru în diverse colective de cercetare ale unor programe CNCIS și CEEC.



Raluca Mocanu – cercetător Științific gr. III la Institutul Național de Cercetare Dezvoltare Turbomotoare COMOTI, doctorand în specialitatea Energetică la Universitatea „Politehnica” București. Absolventă a Universității „Politehnica” din București, Facultatea de Energetică, secția de Ingineria Mediului în Industrie, în anul 2003, a acumulat experiență în cercetare încă din anul absolvirii, beneficiind de o bursă de doctorat la Universitatea „Politehnica” București. A publicat 20 lucrări științifice, a fost director de proiect în cadrul unui grant TD CNCIS și membru în colectivele de cercetare și realizare a 2 contracte CEEC și 6 contracte PNCDI II.

CUVÂNT ÎNAINTE

Apa uzată este un rezultat al activităților sociale și industriale ale comunităților omenești. Deversarea acesteia în mediul natural nu este posibilă fără a afecta puternic mediul înconjurător cu consecințe deosebit de grave pentru viitor.

Epurarea avansată a apelor uzate înainte de a fi deversate în emisar, constituie singura posibilitate pentru omenire de a-și menține sursele de existență și progres în viitor. Apa este un bun al tuturor și deci toți au dreptul să o folosească cu condiția menținerii calității – condiție care, exprimată altfel, conduce la necesitatea purificării avansate a apelor uzate până la calitatea ei când a fost captată. Epurarea apelor uzate apelează la o serie de procese sofisticate de natură fizică, chimică, biologică, care apar în mod natural și în cursurile de apă – autoepurarea. Epurarea artificială a apelor uzate caută să intensifice și să eficientizeze procesele unitare astfel încât să se obțină performanțe maxime de purificare cu costuri cât mai mici.

Preocupările pentru puritatea apei, existente din cele mai vechi timpuri, au condus la formarea unei adevărate industrii a apei. Aceasta are ca domeniu de activitate captarea, transportul, tratarea, colectarea apelor uzate și dirijarea lor către stațiile de epurare cu toate instalațiile și echipamentele necesare acestor operații. Această industrie este chemată să rezolve probleme urgente, de mare utilitate pentru societate, lucru pe care nu-l poate realiza fără ajutorul indispensabil al cercetării fundamentale și al unui contingent corespunzător de specialiști.

Din nefericire problemele care apar în această industrie a apei sunt deosebit de complexe și necesită cunoștințe variate din diverse domenii ale științei: mecanică, mecanica fluidelor, chimie, biochimie, biologie etc. Deci, aceste probleme au un caracter pluridisciplinar și ele impun în principal cunoașterea principiilor generale ale dinamicii fluidelor polifazate și reologiei. Îmbinarea corectă a tuturor cunoștințelor diverselor ramuri impune deosebită finețe și atenție.

Procesele de epurare se deosebesc față de alte procese industriale atât în ceea ce privește caracteristicile, cât și obiectivele operaționale. Deși principiile generale ale controlului proceselor industriale se pot aplica și în stațiile de epurare a apelor uzate, caracteristicile stațiilor de epurare impun considerații specifice în proiectarea sistemelor de control.

Datorită complexității proceselor fizico-chimico-biologice, în care interacționează o multitudine de parametri cu natură diferită, și numărului limitat de

3.4.3. Amestecarea mecanică	108
4. Tratarea nămolurilor	112
4.1. Caracteristicile nămolurilor	113
4.2. Tratări preliminare	116
4.2.1. Îngroșarea nămolului	116
4.2.2. Elutrierea	117
4.2.3. Coagularea – condiționarea chimică	118
4.2.4. Flotația	118
4.3. Stabilizarea nămolurilor	119
4.3.1. Stabilizarea anaerobă a nămolurilor	119
4.3.2. Stabilizarea aerobă a nămolurilor	128
4.3.3. Stabilizarea cu var	128
4.4. Deshidratarea nămolurilor	129
4.4.1. Deshidratarea naturală	129
4.4.2. Deshidratarea mecanică a nămolurilor	130
5. Epurarea avansată a apelor uzate	143
5.1. Procese și instalații pentru îndepărtarea compușilor pe bază de azot	145
5.1.1. Nitrificarea	146
5.1.2. Nitrificare și denitrificare biologică	147
5.1.3. Procedee de nitrificare-denitrificare cu peliculă biologică	151
5.1.4. Denitrificare în strat fluidizat	152
5.1.5. Procedee fizico-chimice de îndepărtare a azotului	153
5.2. Procedee pentru eliminarea fosforului	153
5.2.1. Procedee biologice de îndepărtare a fosforului	153
5.2.2. Eliminarea fosforului prin reacții chimice cu săruri metalice sau polimeri	155
5.3. Procedee speciale de epurare	156
5.3.1. Filtrarea	156
5.3.2. Osmoza inversă – hiperfiltrarea	158
6. Dezinfecția apelor uzate	161
6.1. Metode fizice pentru dezinfecție	162
6.2. Metode chimice pentru dezinfecție	163
6.2.1. Dezinfecția cu clor și produșii lui	164
6.2.2. Dezinfecția cu ozon	167
6.2.3. Dezinfecții diverse	170
7. Instalații monobloc pentru epurarea apelor uzate	171
8. Controlul automat al proceselor industriale	177
8.1. Comandă și reglare automată	177

8.2. Scheme folosite în automată	183
8.3. Elemente de teoria sistemelor	185
8.4. Sisteme dinamice. Clasificări	188
8.5. Principii generale de proiectare și analiză a sistemelor de conducere informatizate	189
8.5.1. Considerații generale	189
8.5.2. Modelarea sistemelor informatice sau a produselor program	195
8.5.3. Generalități privind aplicarea metodelor de realizare și obținere a unui produs informatic	197
8.5.4. Strategii de concepere și realizare a unui sistem informatic sau produs-program	199
8.5.5. Metode de realizare a produsului informatic	207
8.5.6. Tehnici de realizare a produsului informatic	209
8.6. Teoria reglării automate	210
8.6.1. Moduri de reprezentare a unui sistem dinamic	210
8.6.2. Algebra schemelor bloc	215
8.6.3. Sisteme de reglare automată (SRA)	218
8.6.4. Identificarea proceselor	253
8.6.5. Sinteza sistemelor de reglare automată	257
8.7. Structuri de sisteme de conducere	264
8.7.1. Calculatorul ca ansamblu al sistemului informațional	264
8.7.2. Structura cu sistem centralizat și descentralizat	264
8.7.3. Structura unui sistem cu calculator de proces considerată din punctul de vedere al fiabilității	266
8.7.4. Ierarhii de calculatoare	270
8.7.5. Structura unui sistem cu calculator de proces considerată din punctul de vedere al interconexiunii cu procesul	271
9. Monitorizarea parametrilor de proces în stațiile de epurare a apelor uzate	273
9.1. Realizarea sistemului de monitorizare	274
9.2. Senzori și traductoare pentru măsurarea parametrilor în epurarea apelor uzate	279
9.3. Amplasarea senzorilor pentru monitorizarea parametrilor specifici proceselor de epurare a apei	297
10. Conducerea automată a proceselor din stațiile de epurare a apelor uzate	307
10.1. Considerații generale	307
10.2. Strategii de reglare și conducere a stațiilor de epurare	317
10.3. Simularea numerică a proceselor dinamice din SEAU	327

10.4. Controlul avansat al proceselor de epurare	338
10.4.1. Reglarea și controlul avansat prin utilizarea logicii fuzzy	339
10.4.2. Reglarea și conducerea avansată prin utilizarea rețelelor neuronale artificiale	348
10.5. Sistemul SCADA	367
10.5.1. Descriere generală	367
10.5.2. Structura unui sistem SCADA	368
10.5.3. Funcții realizate de sistemul SCADA	373
10.6. Sisteme de comunicații utilizate pentru automatizarea unei stații de epurare a apelor uzate	376
10.6.1. Considerații generale privind rețelele de comunicații	376
10.6.2. Soluții actuale de comunicații utilizate în procesul de automatizare a unei SEAU	379

Bibliografie

383

INTRODUCERE

Preocupările oamenilor pentru asigurarea cantităților de apă atât de necesare comunităților organizate datează din timpuri preistorice. Cele mai vechi mențiuni despre tratarea apei sunt în învățătura medicală sanscrită (anul 2000 î.e.n.) și pe inscripțiile zidurilor egiptene (secolele XV și XIII î.e.n.). În aceste scrieri se menționează modurile de purificare ale apei murdare prin fierberea acesteia în cazane de aramă și răcirea în vase de pământ, expunerea la lumina solară sau filtrarea ei prin mangal – cărbune din lemn. Cele mai vechi aparate cunoscute pentru tratarea apei, reprezentând utilizarea sifonului în operații de limpezire, apar pictate pe zidurile egiptene (secolele XV–XIII î.e.n.). Primul raport tehnic referitor la aprovizionarea cu apă și evacuarea apelor, de la clădirile importante din oraș, apare în anul 98 e.n. fiind datorat lui Sextus Iulius Frontinus – membru în comisia de apă a Romei.

În evul mediu singurele metode de purificare cunoscute erau utilizarea filtrelor de nisip (Luc Antonio Portio – 1685) și menținerea apei în vase de argint. Henry Darcy a patentat primul filtru necesar purificării apei la alimentarea orașelor în 1856; el a formulat și legile hidraulicii necesare calculului acestora. Începutul secolului al XX-lea aduce modificări importante în concepția stațiilor de tratare, echipate cu filtre rapide cu nisip, a rețelelor de distribuție a apei potabile, a canalizărilor centralizate și a construirii primelor stații de epurare a apelor uzate. Prima stație de epurare a apelor uzate care a utilizat procedeul cu nămol activ a fost construită la Manchester în 1916.

Pe teritoriul țării noastre cercetările arheologice au dat la iveală lucrările de alimentare cu apă a cetăților dacice de la Costești și Blidaru din munții Orăștie, care erau alcătuite din 1–2 cisterne cu apă construite din piatră și căptușite cu lemn sau tencuite cu mortar special impermeabil. În timpul lui Decebal, cetatea Sarmisegetuza era alimentată cu apă de la o captare exterioară situată în afara zidurilor. De fapt această alimentare exterioară a fost și cauza căderii cetății în mâna romanilor. Grecii și romanii, în așezările lor din Dobrogea – Istria, Tomis, Callatis – au construit apeducte cu lungimi de 8...10 km, din tuburi din pământ ars, îngropate la o adâncime de circa 2 m.

În secolul al XVII-lea se execută lucrările hidrotehnice pentru alimentarea cu apă a orașelor Iași și Focșani. Spre sfârșitul secolului al XVIII-lea în București o parte din străzi erau deja dotate cu cișmele alimentate de la izvoarele din Valea Crevediei.

Începând cu a doua jumătate a secolului al XX-lea, pe plan mondial și în țara noastră, resursele de apă se dovedesc limitate, în timp ce dezvoltarea urbană, industrială și agricolă solicită cantități tot mai mari. De aceea gospodărirea apelor, una dintre principalele bogății naturale ale unei țări, într-o concepție unitară și de perspectivă, constituie în prezent o problemă de prim rang pentru dezvoltarea economică și socială a acesteia.

Termenul de poluare provine de la substantivul latin **pollutio** care reprezintă profanare sau murdărire. Inițial poluarea apelor a fost un proces natural datorat depozitelor de deșeuri și activității vulcanice. Ulterior, activitatea economică, dezvoltarea continuă a industriei producătoare de bunuri materiale, a transporturilor și comerțului a condus la poluarea masivă a cursurilor naturale. În accepțiunea modernă a termenului, **poluarea** reprezintă introducerea în apă a unor substanțe sau forme de energie într-o astfel de compoziție și concentrație încât o fac improprie unei utilizări ulterioare. Astfel, poluarea a devenit un atribut al activității umane. Problema comportă două aspecte. Pe de o parte, omenirea este obligată să continue această cursă de creștere a producției, iar pe de alta, datorită concentrării populației pe teritoriul centrelor industriale și a creșterii gradului de civilizație cresc atât debitele de apă, cât și concentrațiile poluanților. Poluarea apare din momentul în care substanțele introduse în mediu depășesc prin cantitate și intensitate valorile acceptabile. Poluantul se poate defini ca fiind orice substanță solidă, lichidă, gazoasă sau sub formă de vapori, forme de energie (termică, fonică, vibrații sau radiație electromagnetică) care introdusă în mediu modifică echilibrul constituenților acestuia, afectează viața organismelor vii și pot aduce daune bunurilor materiale.

Poluarea apelor depinde de următorii factori: a) diluție – raportul dintre cantitatea poluantului și volumul receptorului, sau dintre debitele poluantului și emisarului; b) structura surselor de poluare – concentrată sau difuză; c) tipul receptorului – apă curgătoare, lac, mare; d) condițiile temporale și spațiale de difuzie și dispersie a poluantului în emisar; e) structura calitativă a bazinului receptor – conținut chimic, organic, factorii fizici, concentrația în suspensii etc.; f) natura poluantului caracterizată prin proprietățile fizice, chimice, biologice și bacteriologice; g) forma poluanților – corpuri mari, materii plutitoare antrenate de către apă, substanțe miscibile sau nemiscibile în apă, lichide etc.; h) gradul de conservativitate al poluantului caracterizat prin persistență, posibilitatea degradării chimice sau biologice, viteza de reacție etc.; i) toxicitatea substanțelor chimice poluante.

Epurarea apelor uzate constituie ansamblul procedeelelor fizice, chimice, biologice și bacteriologice prin care se reduce încărcarea în substanțe poluante organice sau anorganice și în bacterii. Ea are ca rezultat obținerea unor ape curate, în diferite grade de purificare funcție de tehnologiile și echipamentele folosite, și un amestec de corpuri și substanțe care sunt denumite generic nămoluri. Atât apele, cât și nămolurile trebuie să fie deversate fără ca prin aceasta

să se aducă prejudicii mediului înconjurător. Această condiție se poate realiza numai printr-o purificare avansată a apelor uzate. Astăzi se ține cont de faptul că anumite elemente precum azot și fosfor, care produc fenomene de eutrofizare în cursurile naturale, trebuie reținute în proporție cât mai mare.

Este important de semnalat faptul că procesele de epurare se referă la amestecuri polifazice care conțin diferite corpuri dispersate în mediul apos a căror concentrație totală este sub 1%. Această concentrație foarte mică impune adoptarea unor tehnologii deosebite și alegerea instalațiilor și echipamentelor care pot răspunde sarcinilor impuse de proces și condițiilor specifice acestuia.

Legislațiile actuale naționale și europene, precum și prevederile acordurilor internaționale, conțin valorile limită ale tuturor elementelor chimice și substanțelor care introduse în apă pot genera fenomene de degradare sau otrăvire. Se indică limite până și pentru apele din zonele de agrement pentru turiști. Toate prevederile legislative impun măsuri urgente de protecție a mediului printre care în mod evident se înscriu și cele de epurare a apelor uzate. Trebuie remarcat însă că standardele de mediu în ceea ce privește efluentul diferă de la țară la țară. În Uniunea Europeană s-a încercat omogenizarea criteriilor de calitate a efluentului, există însă diferențe majore în modul cum sunt impuse aceste criterii.

Captarea, tratarea și epurarea apelor sunt procese industriale care apelează la un număr mare de tehnologii unitare, instalații și dispozitive – denumite generic echipamente hidromecanice. Având în vedere complexitatea fenomenelor care apar în tehnologie, echipamentul propriu-zis singur nu poate rezolva, în general, decât o treaptă a unui asemenea proces. El este destinat să efectueze una sau mai multe operații care să mărească eficiența procesului prin mecanizare. Astăzi, există multiple cazuri în care un echipament sau o serie de echipamente sunt în măsură să rezolve singure o anumită treaptă a unui proces.

În lucrare se folosesc o serie de noțiuni care se definesc în cele ce urmează în conformitate cu semnificația modernă a acestora.

Deteriorarea mediului reprezintă alterarea caracteristicilor fizico-chimice și structurale ale componentelor naturale ale mediului, reducerea diversității și productivității biologice a ecosistemelor naturale, afectarea echilibrului ecologic și a calității vieții cauzate în principal de poluarea apei, atmosferei și solului.

Echilibrul ecologic reprezintă ansamblul stărilor și interrelațiilor dintre elementele componente ale unui sistem ecologic care asigură menținerea structurii, funcționarea și dinamica armonioasă a acestuia.

Efluentul este reprezentată de orice formă de deversare în mediu, emisie punctuală sau difuzivă, inclusiv prin scurgere, jeturi, injecție, inoculare, depozitare, vidanșare sau vaporizare.

Emisia se referă la poluanții evacuați în mediu, inclusiv zgomote, vibrații, radiații electromagnetice și ionizante care se manifestă și se măsoară la locul de plecare din sursă.

Evaluarea impactului asupra mediului reprezintă cuantificarea cantitativă și calitativă a efectelor activității umane și a proceselor naturale asupra mediului, a sănătății, precum și a riscurilor de orice fel.

Monitorizarea parametrilor proceselor de epurare este reprezentată prin sistemul de măsurare, supraveghere, avertizare și intervenție care are în

vedere evaluarea sistematică a dinamicii caracteristicilor calitative ale poluanților din apa uzată, în scopul cunoașterii stării de calitate și a semnificației ecologice a acestora, evoluției și implicațiile sociale ale schimbărilor produse, urmate de măsurile care se impun.

Conducerea unui proces constă dintr-un ansamblu de acțiuni efectuate manual sau automat, care determină o evoluție a procesului după o traiectorie de stare dorită.

1 EPURAREA FIZICĂ A APELOR UZATE

1.1. Echipamente pentru reținerea corpurilor prin blocare

Reținerea corpurilor mari și a celor de dimensiuni medii transportate de către apă, la suprafață sau imersate, se realizează pe grătare și site. În ultimii ani au apărut echipamente complexe care sunt destinate să rețină, să compacteze și să deshidrateze corpurile separate din apă.

Soluțiile moderne au în vedere: a) reținerea corpurilor cât mai fine prin realizarea unor sisteme cu lumină redusă, 0,25...12 mm; b) extragerea reținerilor cu sisteme mecanice care permit stoarcerea, presarea și compactarea materialelor; c) consum redus de energie prin micșorarea turațiilor; d) majorarea rezistenței la abraziune și la coroziune chimică și biochimică.

1.1.1. Grătare

Grătarele sunt echipamente destinate reținerii prin blocare a corpurilor mari, a flotaților și a semiflotaților din apă. Ele rețin circa 3...5% din cantitatea de corpuri transportate, ceea ce reprezintă 6...20 dm³/locuitor și an. Grătarele sunt formate din panouri cu bare paralele, echidistante, amplasate în calea apei uzate.

După distanța dintre bare, care poartă denumirea de lumina grătarului, notată cu e , aceste echipamente se clasifică în grătare rare cu $e = 80...150$ mm și dese cu $e = 3...20$ mm. Grătarele rare se curăță manual, de pe pasarelă cu grebla, ele fiind destinate protecției grătarelor dese care întotdeauna se curăță mecanizat. Curățirea mecanizată oferă următoarele avantaje: a) se realizează în permanență condiții corespunzătoare pentru curgerea apei; b) se evită formarea depozitelor de gunoaie în fața grătarului, care pot produce mirosuri neplăcute; c) se realizează economii la fondul de manoperă. Funcționarea mecanismului de curățare este

discontinuuă pe ciclu cu o cadență de un minut la o oră sau un minut la un sfert de oră. Sistemul trebuie să fie reglabil cu o comandă variabilă funcție de diferența de nivel Δh creată între amonte și aval, măsurată cu un dispozitiv diferențial. Mecanismul de curățare trebuie să fie dotat cu un limitator de efort pentru a evita distrugerea greblei în caz de blocaj.

După forma panoului de bare grătarele pot fi plane, dacă barele sunt toate amplasate într-un plan sau curbe atunci când barele formează o suprafață cilindrică.

Grătarele plane se amplasează de regulă la poziție înclinată față de orizontală cu un unghi de $30^\circ \dots 70^\circ$, deși se cunosc și variante constructive cu panoul montat strict vertical acolo unde se dispune de un spațiu foarte mic. Unghiurile mici ușurează curățarea și reduc pierderile de sarcină la trecerea apei printre barele grătarului, dar aduc dezavantajul ocupării unei suprafețe mari în plan.

Aspecte hidrodinamice. Grătarul amplasat în curentul fluid conduce la apariția unei pierderi de sarcină locale care se poate determina cu expresia

$$\Delta h = K_1 K_2 K_3 (v^2/2) \sin \alpha, \quad (1.1)$$

unde K_1 este un coeficient de îmbâcsire a grătarului, K_2 – factor de formă al barelor, K_3 – coeficient care ia în considerare factorul de lumină al grătarului, v – viteza de curgere a apei în canal în amonte de grătar, iar α – unghiul de înclinare al panoului de bare față de orizontală.

Coeficientul K_1 se determină cu expresia $K_1 = (100/m)^2$, unde m este gradul de îmbâcsire al grătarului cu valori acceptabile $m = 60 \dots 90\%$ funcție de cantitatea de rețineri și de modul de curățire.

Coeficientul K_2 are valori funcție de forma barelor – el reprezintă de fapt un coeficient de rezistență la înaintarea unui corp într-un fluid. De regulă se folosesc barele de formă dreptunghiulară sau rotundă care sunt mai ușor de procurat, dar dau coeficienți de rezistență mari.

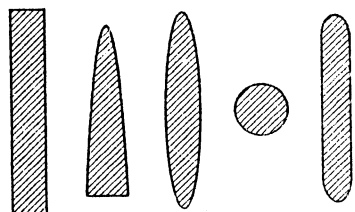


Fig. 1.1. Forma barelor de grătar.

Coeficientul K_3 are valori funcție de distanța dintre bare și lumina grătarului. El ia în considerare secțiunea efectivă de curgere. Pierderea de sarcină la curgerea apei printre barele grătarului trebuie limitată la $0,10 \dots 0,40 \text{ mH}_2\text{O}$ pentru ape uzate și $0,05 \dots 0,15 \text{ m}$ în cazul apei de consum.

Viteza de curgere a apei pe canal în zona de apropiere de grătar este cea care asigură transportul în suspensie a corpurilor dispersate în masa de apă; ea se va adopta, funcție de compoziție și concentrație, în gama $0,5 \dots 0,8 \text{ m/s}$. La trecerea apei printre barele grătarului aceasta se va majora la $0,8 \dots 1,2 \text{ m/s}$, iar la debitul maxim $1,2 \dots 1,4 \text{ m/s}$. Mișcarea apei prin grătar se intensifică special în scopul de a genera forțe hidrodinamice suficiente pe corpurile reținute astfel încât acestea să rămână lipite de bare în poziția în care au fost blocate. O mișcare hidrodinamică lentă va permite alunecarea lor în fața grătarului poziție din care nu mai pot fi extrase.

Grătare plane rare cu curățire manuală. Acest tip de grătar este numai de tip rar având rol de protecție a grătarului des. El este de tip plan fiind înclinat cu

$60^\circ \dots 75^\circ$ față de orizontală pentru a putea fi curățat ușor manual cu ajutorul unei greble. Curățirea manuală se face de pe o pasarelă care, de cele mai multe ori, se află la nivelul terenului. Întrucât deasupra nivelului apei din colectoarele de canalizare, în care se adună reținerile de pe grătare, se formează pungi cu gaze mai grele decât aerul și lipsite de oxigen, este absolut necesar ca operatorul aplecat peste pasarelă în poziția de curățire să aibă capul deasupra nivelului solului. Adâncimea maxim admisă între pasarelă și partea inferioară a grătarului este de 3 m .

Grătar curb cu curățire mecanică. Acest tip de grătar, cu barele dispuse după un arc de cerc pe 90° în plan vertical, este destinat canalelor cu adâncime mică și lățimi de ordinul $0,3 \dots 1,6 \text{ m}$ (fig. 1.2). Curățirea se realizează cu două greble (2) montate la extremitatea unor brațe solide care cu un arbore orizontal dispus perpendicular pe direcția de curgere a apei. Dimensiunile acestei greble curățitoare sunt cele care impun adâncimea mică a canalului. În ultimii ani această soluție a început să fie evitată datorită faptului că ea conduce la dimensiuni mari, consum mare de material și deci greutate mare a echipamentului.

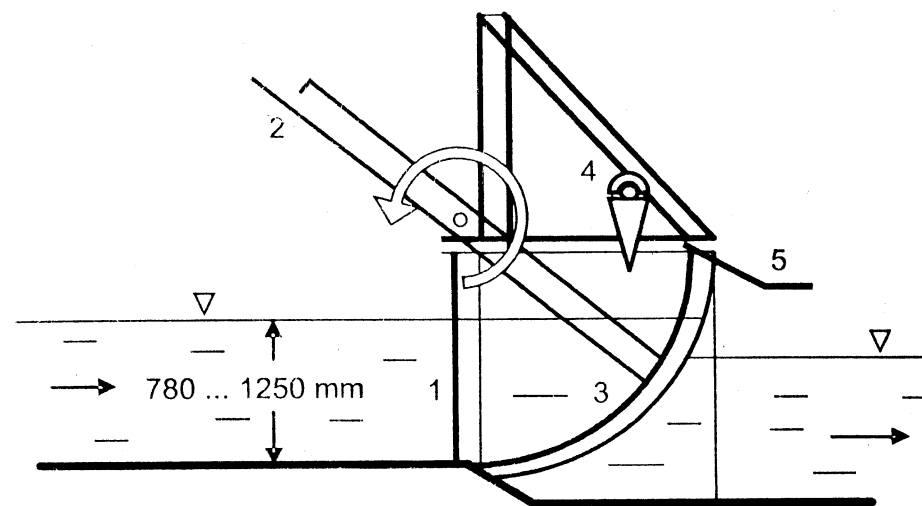


Fig. 1.2. Grătar curb cu curățire mecanică pentru canale puțin adânci:
1 – cadru metallic; 2 – grebla curățitoare; 3 – barele grătarului; 4 – curățitor de greblă;
5 – plan înclinat pentru descărcarea reținerilor.

Descărcarea reținerilor se face, în general, printr-un plan înclinat pe o bandă transportoare dispusă transversal pe canal. Se recomandă ca reținerile să fie spălate și, prin presare într-un șurub fără sfârșit, stoarse, fapt care conduce la reducerea volumului la circa 55% din cel inițial.

Schema cinematică este alcătuită dintr-un motoreductor care, prin intermediul unei transmisii cu lanț duble, antrenează două roți dințate dreapta-stânga și o transmisie cu curele ce pune în mișcare arborele greblei. Transmisia cu curea

constituie elementul elastic al schemei cinematice care, la depășirea sarcinii prin blocarea greblei, patinează evitând distrugerea grupului de antrenare. Pe arbore sunt montate două greble dispuse diametral.

Grătare plane dese. Prin comparație cu grătarul curb, grătarul plan cu curățire mecanică (fig. 1.3.) este destinat canalelor cu adâncime mare. Grătarul este înclinat la $75^\circ \dots 80^\circ$ față de orizontală pentru a ușura curățirea. Deși există mai multe soluții constructive, în principiu curățirea se realizează cu o greblă, antrenată prin intermediul a două lanțuri paralele, ce efectuează curse duble în mișcarea alternativă de du-te-vino. La cursa pasivă de coborâre grebla nu este în contact cu barele grătarului, iar la cea activă de ridicare dinții greblei pătrund printre barele grătarului colectând reținerile pe care le transportă în zona superioară. În poziția superioară a greblei este antrenată o lamă de curățire care descarcă reținerile pe o bandă rulantă sau într-un cărucior. Grătarul este compus din: a) cadru de susținere construit din profil U 12 rigidizat cu alte tipuri de profile; b) grătarul realizat efectiv din bare profilate rigidizate la partea inferioară și superioară prelungită în sus cu o placă pentru ca reținerile să nu cadă;

c) grebla alcătuită din placa greblei, rolele de rulare, rolele de presare, întinzător; grebla execută o mișcare cu dinții printre barele grătarului, ulterior cu dinții lipiți de tabla grătarului, pentru a nu pierde materialul, și o cursă cu dinții îndepărtați de bare; d) curățitorul de greblă executat dintr-un cadru metalic și o placă din cauciuc care îndepărtează materialele transportate de greblă, răzuind-o când aceasta ajunge în dreptul gurii de descărcare; curățitorul se montează la poziție reglabilă cu șuruburi pe ghidaje el trebuind să atingă grebla în momentul în care aceasta se depărtează de ghidaje; e) mecanismul de antrenare compus din motoreductor cu două ieșiri la care se racordează, prin intermediul a două cuplaje rigide, doi arbori intermediari care antrenează două roți cu lanț de tip Gall ce ridică și coboară grebla. Rola presoare rulează pe o șanieră care impune mișcarea de ridicare și respectiv de coborâre a greblei pe grătar. Se recomandă ca în schema cinematică a acestui tip de grătar să se introducă un element elastic, de exemplu de tip curea de transmisie, care la blocarea greblei să patineze evitând distrugerea motoreductorului.

Mecanismul de curățare al grătarului are o funcționare intermitentă comandată de un plutitor care evaluează pierderea de sarcină la trecerea apei prin grătar.

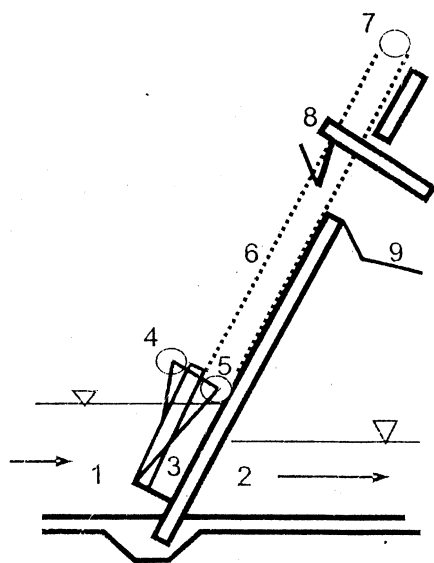


Fig. 1.3. Schema grătarului plan:

1. Canal apă uzată; 2. Zonă de bare pentru grătar; 3. Greblă; 4. Rolă presoare; 5. Rolă de rulare; 6. Lanț; 7. Grup de antrenare;
8. Curățitor de greblă; 9. Plan de descărcare.

Dimensionarea barelor grătarului se face considerând o forță de $F = 1000 \text{ N}$ aplicată la centru. Ea corespunde forței de rezistență la înaintare în curent lichid pentru barele grătarului și corpurile reținute din apă cu o îmbâcsire ce generează o diferență de nivel de $1 \text{ mH}_2\text{O}$. Unele soluții constructive apelează la acționări hidraulice sau pneumatice cu un cilindru de lucru pentru mișcarea greblei și altul pentru ridicarea sau coborârea ei în scopul de a fi sau nu în contact cu grătarul.

Lungimea grătarului trebuie să fie de cel puțin 1,5 ori lățimea canalului de curgere a apei uzate. Numărul panourilor de grătar se stabilește în funcție de importanța stației de epurare, de modul lor de curățire, de cantitatea de rețineri etc., dar nu mai puțin de două bucăți pe o linie. Această condiție este impusă de necesitatea asigurării funcționării în timpul reviziei unui echipament.

Grătar pas cu pas. O soluție deosebită de grătar este cea din figura 1.4. Înclinat cu 45° față de orizontală, grătarul poate avea lumina de 3, 6 sau 12 mm.

El este alcătuit dintr-o serie de bare profilate, secțiune dreptunghiulară, cu forma în plan de scară. O serie de bare sunt fixe (1), iar altele sunt mobile (3), antrenate de un mecanism bielă-manivelă; barele fixe sunt intercalate cu cele mobile. Sistemul de bare mobile execută o mișcare plan paralelă care saltă treaptă cu treaptă reținerile (2) până în partea superioară de descărcare. Această mișcare circulară conduce la autocurățirea grătarului. Pe grătar se formează un covor de materiale reținute (2) care acționează ca un strat filtrant. În acest mod grătarul cu lumina de 6 mm reușește să rețină particule fine similar sitei cu ochiul de 2 mm. Mecanismul de curățire este alcătuit dintr-un motoreductor amplasat central, în partea amonte a grătarului, în poziția cea mai de sus, fiind ferit de apa din canal. Acesta antrenează mecanismul bielă-manivelă care pune în mișcare ansamblul barelor mobile. Curățarea se efectuează din aval către amonte astfel încât este evitată blocarea mecanismului. Întreg grătarul este executat din oțel inoxidabil, fiind protejat cu un capotaj din tablă de inox care lasă liberă fanta de circulație a apei din partea inferioară.

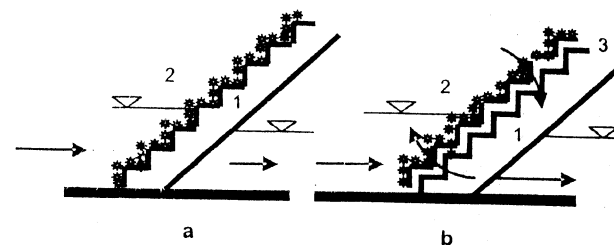


Fig. 1.4. Grătar pas cu pas:

- 1 - placă grătar; 2 - rețineri; 3 - placă mobilă.

În zona de fund a canalului sunt amplasate o serie de lamele flexibile, amovibile, care oferă o rezistență maximă la abraziunea pietrișului și nisipului. Nu există prag în canal în zona de amplasare a grătarului astfel încât întreaga zonă a lamelor permite trecerea liberă a nisipului și pietrișului în lungul canalului. La unele modele, deasupra nivelului apei, se folosesc lamele îmbrăcate în polietilenă cu lățimea fantei mai mică. Acestea împiedică trecerea flotanților.

Instalația de reținere a corpurilor este alcătuită din: a) grătarul care reține în medie 11 m^3 pe săptămână - o cantitate mai mare decât grătarele plane obișnuite; b) pâlnie de colectare a reziduurilor reținute, amplasată în partea superioară a grătarului, în care cade covorul ridicat pas cu pas de către sistemul cu

lamele mobile; se menționează că din covorul de materiale reținute, pe zona de deasupra nivelului static al apei uzate din canal, se elimină o parte din apa extrasă odată cu corpurile fapt care conduce la o ușoară deshidratare; c) sistem de transport cu șurub melc destinat preluării materialelor de la grătare atunci când debitele sunt foarte mari; d) presă cu cilindru hidraulic destinată compactării și stoarcerii materialelor extrase din apă; e) bloc hidraulic pentru comanda și acționarea cilindrului; f) cuvă pentru colectarea apei evacuate; g) container final pentru stocarea materialelor reținute.

Grătare sită rotative. Acestea sunt destinate reținerii corpurilor fine din masa de apă cu dimensiuni sub 1 mm. Există trei variante toate acționând pe principiul rotației organului activ: a) sită fixă și cuțit raclor rotativ solidar cu transportorul elicoidal destinat ridicării materialelor reținute la suprafață; b) sită rotativă solidară cu melcul elicoidal de ridicare a materialelor la suprafață; c) sită de tip Coandă fixă și curățitor cu melc elicoidal dublu. Toate soluțiile tehnice au reperate executate din oțel inoxidabil rezistent la coroziune. Materialele transportate de către apă rămân pe grătarul sită în poziția în care au lovit barele datorită forțelor hidrodinamice. Materialele extrase de pe sită, de racloarele echipamentelor, sunt transportate, deshidratate și compactate de șurubul fără sfârșit cu pas variabil reducând astfel volumul lor la minimum 60% din cel inițial. În general se preferă ca aceste echipamente de reținere să fie montate în spații închise pentru a evita răspândirea mirosurilor în zona de lucru a operatorilor.

Grătar-sită rotativ cu cuțit raclor de tip greblă. Figura 1.5 prezintă primul tip de grătar-sită, cel cu sita fixă și cuțitul raclor rotativ, solidar cu transportorul elicoidal care ridică materialele reținute la suprafața apei.

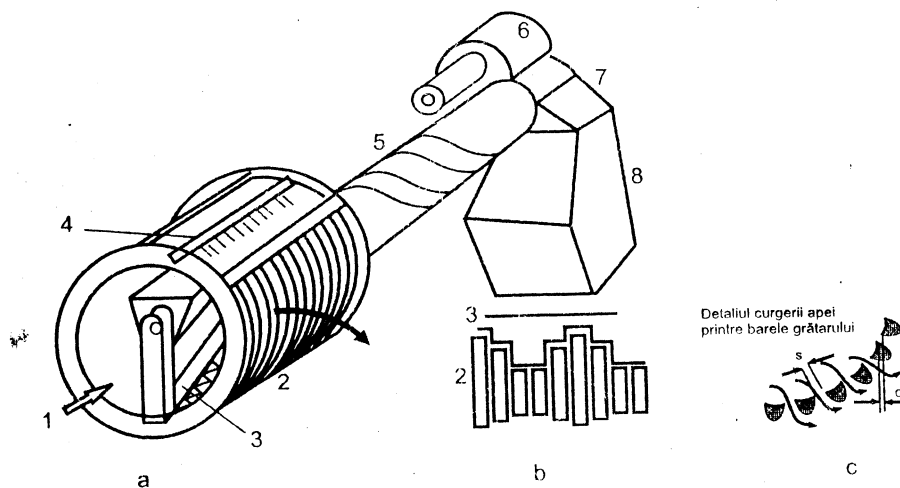


Fig. 1.5. Grătar-sită rotativ cu greblă interioară: a) schema grătarului rotativ; b) schema cuțitului raclor și a sistemului de bare ale grătarului; c) detaliul curgerii apei printre barele cu profil Coandă;

1 – admisie apă uzată; 2 – barele grătarului; 3 – cuțitul raclor; 4 – sistemul de curățire al grătarului cu perie; 5 – transportorul elicoidal cu pas variabil; 6 – grupul de antrenare; 7 – pâlnie de descărcare; 8 – container de stocare.

Grătarul se amplasează la un unghi de 30° față de orizontală. Apa intră în centrul tamburului cu bare și se scurge în exterior prin spațiile libere. Barele sunt confecționate din tablă de forma unei coroane circulare cu diametrul între 600 și 3000 mm. Ele sunt dispuse într-o rețea periodică (vezi figura 1.5, b), cu lumina de 5...10 mm, realizată cu ajutorul unor distanțiere montate pe tije de strângere. Schimbarea direcției de curgere a apei, precum și dispunerea decalată a barelor contribuie la reținerea selectivă a materialelor pe grătar; deșeurile mari sunt reținute de barele avansate, iar cele mici sunt blocate de către barele retrase.

Înclinarea barelor grătarului față de direcția de curgere provoacă apariția unui fenomen de agățare și aglomerare a reziduurilor în zonele din amonte de barele mari. Un alt avantaj al amplasării înclinate a grătarului îl constituie majorarea ariei de curgere cu creșterea nivelului apei, mult mai mult ca la grătarul plan, ceea ce conduce la o repartitie mai bună a reziduurilor și la o pierdere de sarcină mai mică.

Grebla curățitoare este montată solidar cu arborele principal al transportorului elicoidal. Ea curăță suprafața interioară a tamburului colectând materialele reținute. În momentul în care grebla ajunge în partea cea mai de sus a tamburului materialele reținute și preluate de pe grătar cad liber în jgheabul colector fiind transportate în sus de melcul elicoidal. Grebla trece apoi prin sistemul de curățire de tip perie care îndepărtează gunoaiile rămase. Materialele căzute în jgheab sunt transportate în sus de către melcul elicoidal. El are pasul variabil având ultima spiră în sens invers pentru a împiedica acumularea deșeurilor la capăt și a ușura descărcarea în container. Penultima spiră are pasul de 0,55...0,60 din cel inițial, melcul reușind astfel să realizeze stoarcerea și compactarea materialelor transportate. Acționarea melcului și respectiv a greblei se face de la un grup de antrenare, motoreductor planetar, prin intermediul unei transmisii cu curea. Lanțul cinematic este suficient de elastic pentru a prelua eventualele suprasarcini la blocarea dinților greblei în tambur. Forma dinților greblei este convenabil aleasă pentru a ușura preluarea materialelor blocate între bare.

Grătar-sită cu efect Coandă. Acest tip de echipament are tamburul rotativ și cuțitul pieptene fix. Tamburul are bare profilate astfel încât să apară un efect de alipire a jetului lichid – efect Coandă – care ușurează separarea fazelor (vezi detaliul c din figura 1.5), majorând procentele de reținere a corpurilor transportate. Pentru forma barelor acestui tip de grătar trebuie avut în vedere fenomenul de alipire a jetului de lichid la suprafața curbă care este dependent de viteza fluidului, de raza de curbură, de unghiul de amplasare al profilului în curent și evident de proprietățile fizice ale amestecului polifazic.

Cuțitul pieptene fix îndepărtează reținerile de pe tamburul rotativ, permițând acestora să cadă în pâlnia colectoare de unde sunt evacuate în sus de melcul rotativ. În locul cuțitului pieptene se poate monta în partea superioară a tamburului o perie sau o conductă cu apă curată sub presiune care poate realiza spălarea și îndepărtarea reținerilor. Melcul este solidar cu tamburul, fiind destinat să deshidrateze și să compacteze materialele reținute. În zona inferioară a melcului materialele reținute sunt spălate fapt care permite preluarea substanțelor solubile de către apa uzată.

Grătar-sită cu melc de raclare. Acest echipament este prezentat în figura 1.6. Apa brută intră pe canalul 1 în interiorul grătarului – sită și părăsește zona echipamentului pe canalul de evacuare 2. Corpurile transportate de către apă

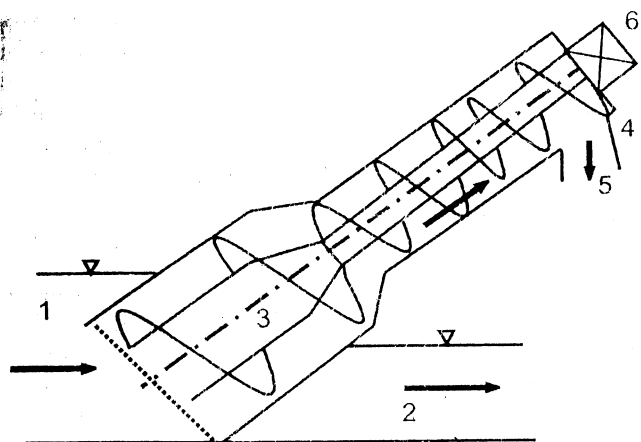


Fig. 1.6. Grătar-sită cu melc de stoarcere și compactare:
1 - canal pentru apă uzată; 2 - canal de evacuare a apei tratate; 3 - arborele melcului; 4 - grup de antrenare;
5 - gură de descărcare a reținerilor.

amplasare a profilelor Coandă acționează ca o barieră pentru trecerea particulelor solide.

1.1.2. Site

În general sitele sunt echipamente care se prevăd în stațiile de tratare fiind destinate reținerii flotanților și semiflotanților. În stațiile de epurare ele nu sunt utilizate deoarece nu fac față debitelor și încărcărilor mari ale apelor uzate. Sitele se pot folosi la stațiile de preepurare din industria alimentară, a celulozei și hârtiei, la fermele agrozootehnice etc.

Aceste echipamente sunt destinate reținerii particulelor mai mici decât acelea care pot fi blocate pe grătare. După dimensiunea ochiului sitele se clasifică în macrosite, cu ochiul mai mare de 0,3 mm, și micrositate, cu porul mai mic decât 0,1 mm. Datorită fenomenului de îmbăcsire dimensiunile particulelor reținute sunt inferioare celor două valori. Macrositele se folosesc în alimentări cu apă pentru reținerea flotanților (frunze, bețe etc.) și a celor semiflotante (insecte, alge, ierburi). Micrositele sunt destinate reținerii corpurilor mai fine, de exemplu planctonul.

Grătar-sită cu efect Coandă. Acest tip de grătar, caracteristic sitelor moderne autocurățătoare, prezintă avantajul că nu are nici un organ în mișcare. Principiul pe care se bazează funcționarea este alipirea jetului lichid la profilul metalic curb - efectul Coandă - efect dependent de viteza și proprietățile fluidului, raza de curbura etc.

Apa uzată este introdusă prin tubul de alimentare în camera de distribuție. Se repartizează uniform la trecerea peste deversorul cilindric și își începe curgerea

sunt reținute în interior, fiind colectate și evacuate de către melcul 3. În zona de stoarcere 4 materialul este compactat și deshidratat și apoi este descărcat prin gura 5. Grupul motoreductor 6 este cel care realizează antrenarea melcului. Lumina grătarului este de 0,25...5,00 mm, fiind realizat din bare, material rezistent la coroziune cu perforații sau material de sitare. Diametrul tamburului este între 300 și 500 mm, asigurând trecerea apei la un debit de 20...120 l/s. Cercul de

peste bare cu viteza de 1,2...1,4 m/s, accelerând curgerea datorită înclinării panourilor. Apa uzată curge peste trei panouri cu bare, profilate astfel încât să apară efectul Coandă (fig. 1.7, B). Efectul Coandă apare la curbura profilului barei, separând astfel apa de particulele solide transportate care, datorită inerției, își continuă mișcarea pe direcția inițială. Barele sunt amplasate orizontal, transversal față de direcția de curgere. Panourile sunt amplasate la unghiuri din ce în ce mai mici, astfel încât să se reducă viteza de curgere permițând separarea fazelor. Distanța dintre barele panoului sunt cuprinse între 0,5 și 1,5 mm funcție de destinația sitei și de caracteristicile apei uzate. Unele soluții moderne folosesc panouri cu bare amplasate după o suprafață curbă care permite apariția efectului Coandă pe două direcții, iar curbura panoului permite canalizarea curgerii accelerând separarea.

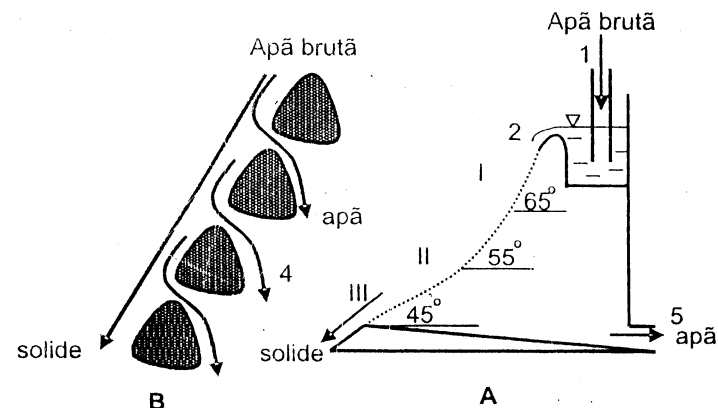


Fig. 1.7. Grătar-sită cu efect Coandă:

A - schema grătarului - sită; B - detaliu sitei cu bare cu modul de apariție al efectului Coandă; 1 - admisie apă brută; 2 - deversor; 3 - panouri cu bare; 4 - evacuare rețineri; 5 - evacuare apă tratată.

Grătarul-sită poate prelucra un debit de apă uzată de 50...150 m³/h pentru un metru lungime. Pentru mărirea productivității se montează mai multe module așezate pe două rânduri, spate în spate, spatele reprezentând locul de colectare al apei clarificate.

Acest echipament poate reduce cantitatea de materiale solide transportate cu 30...55 % și a încărcării organice cu circa 35%.

1.1.3. Criterii pentru alegerea soluției optime de grătar/sită

Multitudinea de soluții tehnice pentru aceste echipamente impune folosirea unor criterii capabile să permită adoptarea soluției optime. Astfel se pot considera:

1. spațiul disponibil amplasării grătarului sau sitei;
2. timpul normal de lucru;
3. studiul de fiabilitate și anduranță al echipamentului;
4. pierderea de sarcină normală și reală;
5. lumina și modul de realizare a reținerii, eventuala posibilitate de obținere a filtrării pe patul de rețineri;
6. modul de realizare a curățirii și al colectării și îndepărtării reținerilor;
7. intervalul dintre curățiri;
8. gradul de automatizare al echipamentului cu eventuala posibilitate a optimizării funcționării prin calculator de proces în cadrul unui sistem de restricții;
9. consumul specific de energie apreciat prin indicatorul kWh/kg de material extras din apa uzată;
10. gradul de umiditate al materialului solid extras din apa uzată;
11. gradul de compactare al materialului extras;
12. indicele energetic specific realizat de echipament [kWh/m³] calculat pe baza volumului de material reținut pe grătar.

1.2. Instalații și echipamente pentru separarea gravitațională a fazelor

Caracteristica fundamentală a fluidelor polifazate, cuprinsă și în definiția acestor amestecuri, este faptul că în repaus fazele se separă gravitațional datorită diferențelor de greutate specifică. Separarea gravitațională poate să apară pe cele două sensuri ale verticalei. Pe verticală în sens descendent se separă din amestecuri fazele mai grele decât apa – proces care poartă denumirea de decantare sau sedimentare. În sens ascendent se ridică la suprafața apei flotantii, fazele mai ușoare decât apa – proces denumit flotație.

1.2.1. Sedimentarea (Decantarea)

Sedimentarea este procesul fizic de separare din apele uzate a particulelor solide organice sau anorganice prin depunere gravimetrică în spații cu regim hidraulic controlat. Operația poate fi denumită și decantare sau, după rolul procesului în tehnologia de tratare/epurare limpezire, clarificare sau îngroșare.

Impuritățile prezente în apă au dimensiunile în funcție de natura corpurilor de bază și de starea de dispersie în masa de lichid. Astfel, există particule granulate discrete (nisip, pietriș), particule coloidale (grupuri de molecule sau substanțe cu mărimea de 0,5...500 nm) și molecule sau macromolecule în cazul substanțelor dizolvate cu dimensiuni sub un nanometru. Timpul de decantare este dependent de dimensiunea particulelor dispersate în masa de apă. Sedimentarea se aplică în următoarele construcții: a) deznisipatoare – suspensii granulate,

particule discrete; b) decantoare primare – pentru suspensii granulate și floco-noase provenite de la coagularea materiilor din apă; c) decantoare secundare – pentru reținerea particulelor care provin din epurarea biologică; d) concentratoare sau îngroșătoare de nămol.

1.2.1.1. Bazele teoretice ale procesului de sedimentare

În funcție de natura și concentrația particulelor solide dispersate, precum și de tendința lor de aglomerare, procesul de decantare se desfășoară în patru moduri diferite: a) sedimentarea de tipul I aplicabilă la particulele solide granulate; b) sedimentarea de tipul II caracteristică pentru particulele cu tendință de aglomerare; c) sedimentarea în masă; d) compactarea sau tasarea (fig. 1.8).

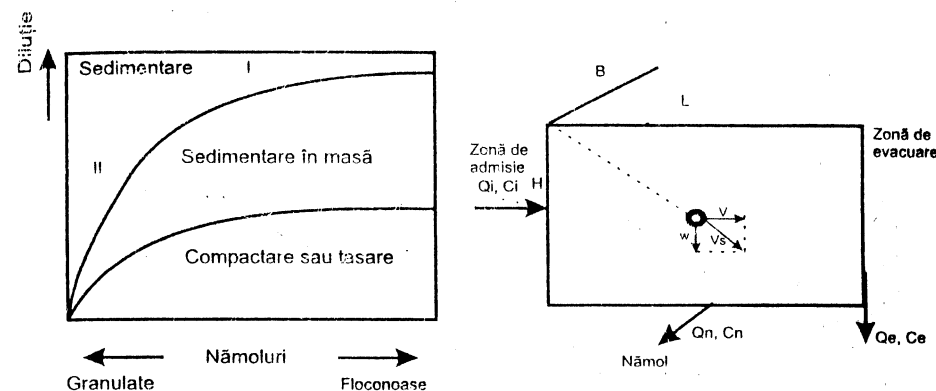


Fig. 1.8. Diagrama nămolurilor din procesul de sedimentare a particulelor (Fitch).

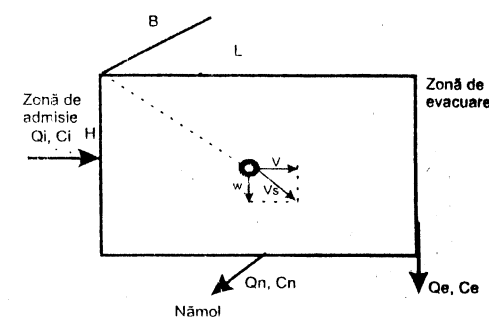


Fig. 1.9. Decantor convențional. Schemă pentru definirea parametrilor.

Se consideră un bazin de sedimentare (fig. 1.9), denumit decantor, în care apar patru zone. Amestecul polifazic intră în zona de admisie în regim turbulent de curgere și se repartizează în mișcare uniformă, de tip piston, dacă decantorul este longitudinal, pe întreaga secțiune transversală a bazinului. Astfel se poate considera că valoarea concentrației particulelor, cu mărime identică, în suspensie este aceeași în toate punctele din secțiunea transversală amplasată la finalul zonei de admisie. În zona de sedimentare particulele se depun la aceeași viteză ca și în fluidul liniștit, static. Din zona de nămol acesta se îndepărtează rapid, fără a tulbura soluția apoasă, în mod continuu. Zona de evacuare trebuie să ofere toate condițiile pentru a nu tulbura curgerea din domeniul sedimentării și a culege tot debitul de pe întreaga secțiune transversală a bazinului.

Sedimentarea de tipul I. Procesul de sedimentare este caracteristic particulelor discrete, granulate, în soluțiile apoase cu concentrații mici. Sedimentarea poate fi considerată nestânjenită fiind dependentă de proprietățile fluidului, temperatură, dimensiunile și caracteristicile granulei. În decantorul convențional, din figura 1.10, caracterizat printr-o repartiție constantă a vitezei lichidului în secțiune, se consideră o particulă solidă granulată. Mișcarea ei este determinată

de două viteze: a) viteza de transport a apei dată de $v = Q/Bh$; b) viteza pe verticală – mărimea hidraulică a particulei calculată cu expresia generală

$$w = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{gd}{C_{RV}} \frac{\gamma_s - \gamma_f}{\gamma_f}}. \text{ Rezultanta celor două viteze conduce la valoarea vitezei de}$$

sedimentare $v_s = \sqrt{v^2 + w^2}$ care are direcția diagonalei dreptunghiului format cu cele două viteze. Dacă traiectoria intersectează fundul decantorului atunci particula va fi reținută, în caz contrar ea va ajunge în efluent. Viteza de sedimentare crește dacă: a) se majorează dimensiunile particulelor solide; b) crește densitatea granulelor; c) particulele se apropie de forma geometrică perfectă. Creșterea concentrației și/sau a vitezei orizontale de curgere a apei conduce la reducerea eficienței de separare a fazelor.

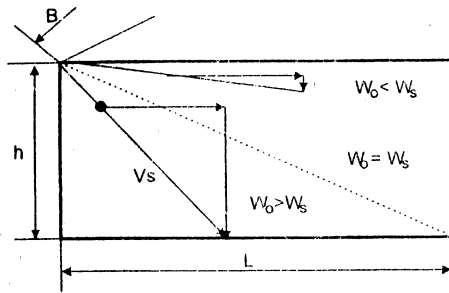


Fig.1.10. Decantor convențional.

reprezintă debitul specific unității de suprafață în plan a bazinului, fiind numeric egală cu viteza limită de sedimentare w_s a particulelor solide îndepărtate din apă. În practica proiectării bazinelor de sedimentare încărcarea hidraulică de suprafață variază între 0,8 și 1,6 m^3/m^2 și oră, dar poate ajunge la încărcări mici de 0,24 m^3/m^2 și oră în cazul particulelor foarte fine.

Pentru decantorul ideal, convențional, se definește fracția de îndepărtare (de reținere) prin raportul $f = w_r / w_s = w_r / (Q/A)$, unde w_r este o viteză de referință – mărimea hidraulică a particulelor care trebuie reținute în decantor. Ea nu depinde de adâncimea bazinului decantor.

Sedimentarea de tipul II. Diferența dintre cele două tipuri de sedimentare I și II constă în tendința de aglomerare a particulelor, floclarea în timpul sedimentării, cu variația mărimii particulelor cu timpul și adâncimea. În acest caz apare o reacție asemănătoare celei în lanț; particulele mari și grele ajung din urmă și se contopesc cu cele mai ușoare apărând granule din generația a doua, care la rândul lor se unesc cu altele formând particule din următoarele generații etc. Este necesar a remarca faptul că aglomerările mari de particule sunt relativ fragile și la o anumită viteză de sedimentare, când cresc gradientii de viteză la suprafața granulei floconoase mari, complexul format prin contopire nu mai rezistă și se dezintegrează. Dimensiunea floconului stabil este dată de o relație de tipul $d = K G^{-n}$, unde K reprezintă un factor de rezistență al floconului, G – gradientul mediu de viteză (măsură indirectă a gradului de dezvoltare a turbulenței din fluidul polifazic), $n = 2 \dots 0,5$ exponent determinat experimental.

În acest caz, datorită majorării continue a dimensiunilor, traiectoria granulelor este o linie curbă (fig. 1.11) ai cărei parametru este procentul de îndepărtare. Toate aceste linii curbe se obțin numai pe calea experimentărilor deoarece în etapa actuală nu există un model matematic adecvat pentru o determinare teoretică. Se fac cercetări experimentale în coloane de sedimentare, în regim static asupra suspensiei din stația de epurare. Se recoltează probe, la intervale fixe de timp, din știțurile amplasate la diferite adâncimi. Se trasează curbele de egală eficiență cu care, printr-un procedeu similar cu cel de la particulele discrete, se calculează eficiența globală de îndepărtare.

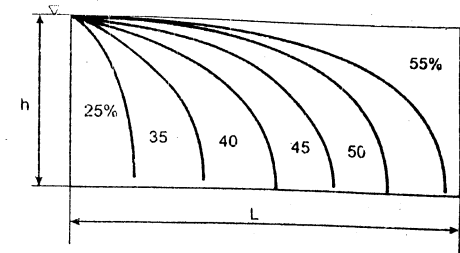


Fig. 1.11. Traiectoria de sedimentare a particulelor floconoase.

Sedimentarea în masă. În cazul suspensiilor concentrate se formează o zonă în care particulele acționează în grup, stânjindu-se reciproc, cu o reducere a vitezei de depunere. De exemplu, pentru nămolul activ urban, când concentrația particulelor în suspensie crește de la 1 la 4 gr/l, viteza de sedimentare se reduce de la 6 la 1,8 m/h. În final se realizează o sedimentare în masă a tuturor particulelor din suspensie. Când concentrația în particule atinge acest punct, apare un plan net de separație între stratul de particule, în stare de sedimentare colectivă, și lichidul clarificat de deasupra nămolului (vezi teoria lui Kynch). Sub acest plan de separație rămâne o suspensie uniformă a cărei viteză de sedimentare este dată de relația $w_s = a C^{-n}$, în care a , n sunt determinate experimental, iar C este concentrația.

Suprafața necesară pentru o îngroșare adecvată este dată de relația $A = Q t_u / h_0$, unde Q este debitul volumic al influentului, t_u – timpul necesar pentru obținerea concentrației C_u a nămolului (se precizează experimental), iar h_0 – înălțimea inițială a planului de separare lichid clarificat – nămol. În acest caz, este aplicabilă la proiectarea teoria lui Kynch valabilă la suspensii concentrate – denumită și teoria fluxului.

Compactarea sau tasarea nămolului. Tasarea nămolului, de la fundul bazinelor de sedimentare sau din paturile de uscare, este extrem de lentă, deoarece lichidul trebuie să se scurgă printr-un spațiu poros cu goluri din ce în ce mai mici. Porozitatea nămolului este cea mai mică la bază, datorită forțelor de compresiune generate de greutatea stratului de particule. În zona de compresiune viteza de coborâre a suprafeței libere depinde de consolidarea suspensiei. Viteza de compactare scade pe măsura creșterii timpului, datorită majorării continue a rezistenței la scurgerea lichidului în conformitate cu legea – $dh/dt = \alpha (h - h_{\infty})$, în care h , h_{∞} reprezintă înălțimea stratului de nămol la timpul oarecare t și, respectiv, finală, iar α este o constantă de viteză caracteristică suspensiei date. Valoarea cotei h_{∞} este în mod obișnuit determinată prin filmul de lichid de la suprafața care aderă la particule. Constanta α este dependentă de valoarea concentrației inițiale a nămolului C_0 și de tipul materiilor în suspensie. În testele de sedimentare, efectuate pe un caz concret al unei suspensii concentrate de particule cu tendință

de coalescență, apare o concentrație critică a stratului de nămol care conduce la valoarea maximă a ariei suprafeței plane a decantorului.

Aspecte teoretice hidrodinamice. Se consideră cazul decantorului convențional din figura 1.10. Acesta este o construcție care asigură condiții hidrodinamice optime desfășurării procesului de sedimentare. Se consideră, din punct de vedere teoretic, că există o curgere uniformă în regim laminar, stabilă, de tip piston, cu o alimentare și evacuare a apei și nămolului perfecte astfel încât să se evite curgerile preferențiale. În practica bazinelor de sedimentare apar curenți secundari de convecție datorată diferențelor de temperatură (insolație) și curgerilor parazitare generate de diferențele de densitate dintre diferitele zone din bazin. Aceste aspecte, în mod evident, vor afecta randamentul de separare al decantorului.

Ecuatia de bilanț hidraulic este $Q_i = Q_e + Q_n$; ea exprimă legea continuității.

Ecuatia de bilanț masic este $Q_i C_i = Q_e C_e + Q_n C_n$; ea exprimă legea conservării masei valabilă la decantor. Pentru un randament de reținere de 100% această ecuație devine $Q_i C_i = Q_n C_n$.

Eficiența unui decantor se apreciază prin $E = (C_i - C_e) / C_i = 1 - C_e / C_i = 35...60\%$ funcție de tipul decantorului și de instalațiile care-l echipează.

1.2.1.2. Aspecte generale despre construcția decantoarelor

Decantorul este obiectul din stația de epurare sau tratare destinat să rețină marea majoritate a suspensiilor din apele uzate respectiv brute prin sedimentare – depunere gravitațională. Decantoarele sunt construcții din beton, cu diferite forme geometrice, în care trebuie să se asigure condiții hidrodinamice favorabile procesului. Ele se clasifică după următoarele criterii:

1. După modul cum se realizează procesul de sedimentare (decantare):

a) decantoare cu sedimentare liberă, naturală; b) decantoare cu sedimentare activată cu reactivi chimici de coagulare-floculare și cu separare gravitațională sau suspensională;

2. După modul de îndepărtare a nămolului depus: a) decantoare cu curățire manuală; b) decantoare cu echipamente mecanice de colectare și evacuare a nămolului; c) decantoare cu echipamente hidromecanice sau pneumatice pentru îndepărtarea nămolului;

3. După direcția de curgere a apei prin decantor: a) *decantor longitudinal* – curgerea apei se realizează în lungul laturii mari a bazinului de formă paralelipipedică; b) *decantor vertical* – curgerea apei se realizează pe verticală în sens ascendent, în contracurent cu particulele care se depun gravitațional, într-un bazin de formă cilindro-conică; c) *decantor radial* – mișcarea apei se realizează pe direcția razei vectoare de la centru către periferia bazinului de formă cilindro-conică sau numai cilindrică;

4. După destinație și poziția lor în schemă decantoarele se clasifică în: a) decantor pentru tratarea apei de consum; b) decantor pentru separarea nisipului din apă, este un decantor specializat – deznisipator; c) decantor pentru ape uzate brute; d) decantor pentru nămol activ – fiind în general al doilea în schemă el se numește decantor secundar; e) decantor terțiar – decantor după treapta chimică sau existent în schemă după treapta de nitrificare; e) decantor specializat pentru îngroșarea nămolului – concentrator de nămol.

5. După poziția construcției în raport cu nivelul terenului decantoarele pot fi: a) îngropate; b) semiîngropate; c) aparente.

Decantorul este dotat cu următoarele instalații și echipamente: a) instalații de alimentare cu apă brută – cu influent; b) instalația pentru colectarea și evacuarea apei purificate – efluent; c) echipamentul sau instalația pentru colectarea și evacuarea nămolului depus pe radierul bazinului; d) echipamentul sau instalația de colectare și evacuare a flotanților – spumă, grăsimi etc. e) instalația de alimentare cu energie electrică; f) decantorul propriu zis – construcția etanșă din beton armat.

Sistemul hidraulic de alimentare cu influent. Apa uzată vine în decantor pe o conductă, de regulă metalică, canal deschis sau închis executat din beton armat. Instalația de transport hidraulic a fluidelor polifazate – apele uzate (amestecuri de mai mulți constituenți solizi sau lichizi dispersați într-un mediu apos preponderent) – va fi dimensionată astfel încât să nu apară depozite de sedimente pe fundul conductei sau canalului în special în zonele de după coturi. Viteza de curgere a apei uzate prin conductele de admisie trebuie adoptată în funcție de compoziție, concentrație și dimensiunile particulelor cu tendință de sedimentare în gama de valori 0,6...1,2 m/s.

Instalația de alimentare trebuie să fie astfel concepută și dimensionată încât să asigure o admisie și o repartiție uniformă a apei în zona de intrare în decantor. Pentru realizarea acestei condiții hidraulice se au în vedere următoarele: a) admisia apei în bazinul de decantare se face prin mai multe puncte simultan cu echilibrarea debitelor pe tronsoanele de deversare; b) în zona de intrare în decantor longitudinal se recomandă montarea unei grinzi transversale semiscufundate peste care apa să deverseze lent astfel încât să se asigure o repartiție uniformă; c) dacă apa se aduce pe canale se va asigura un raport optim între lățimea canalului și cea a decantorului astfel încât să nu apară vârtejuri care antrenează particulele în zona nucleului perturbând sedimentarea; d) în cazul alimentării pe conductă se va studia, din punct de vedere hidrodinamic, dispunerea tronsoanelor de capăt pe adâncime și lățime; e) în zona de alimentare se montează un sistem de șicane care uniformizează mișcarea – se recomandă mai ales în cazul lărgirii bruște de secțiune.

În zona de admisie a apei în decantor se amplasează un perete semiscufundat, până la $h/3$ de radier, cu următoarele scopuri: a) liniștitor al curgerii – el separă domeniul curgerii turbulente din zona de alimentare de cel al mișcării laminare din domeniul de sedimentare; b) provoacă depunerea particulelor mari și grele în zona bașei; acestea datorită inerției nu pot urmări schimbarea bruscă de direcție la mișcarea curbilinie de ocolire pe sub peretele semiscufundat; c) reduce înălțimea de la care pleacă particula în procesul de decantare majorând astfel procentul de reținere în decantor al granulelor (sedimentarea de tipul I) cu menținerea unei adâncimi convenabile pentru desfășurarea procesului de decantare al particulelor cu tendință de aglomerare (sedimentarea de tipul II).

Zona de admisie în decantor trebuie corect studiată și proiectată hidrodinamic astfel ca: a) să nu apară o pierdere mare de sarcină; b) să distribuie debitul de influent în mod egal pe întreaga lățime; c) să prevină formarea scurtcircuitelor; d) să evite formarea stratificării termice și să nu tulbure stratificarea de densitate; e) să disipeze energia hidraulică a curentului polifazic la intrare.

Instalația de colectare și evacuare a apei purificate (efluent). La capătul aval al decantorului longitudinal sau la periferia celui radial există un canal de

colectare a apei decantate. Pentru a evita curgerile preferențiale, care pot perturba procesul de sedimentare din bazin, trecerea apei din decantor în canalul colector se va face prin deversare uniformă. Deversorul de capăt se execută din plăci care se asamblează cu șuruburi pe pereții verticali ai decantorului având muchia la planul apei – nivel strict orizontal. În plăci există practicate orificii dreptunghiulare pe verticală care permit deplasarea acestora și compensarea neregularităților de execuție a peretelui din beton. Aceste plăci din tablă au dinți decupați sub formă de V, cu unghiul de deschidere de 90° , astfel încât să se realizeze o curgere peste deversor sub formă de jeturi mai puțin influențată de perturbațiile atmosferice în raport cu lama continuă (fig. 1.12). Se recomandă ca viteza de curgere a apei peste deversor, printre degajările acestuia să fie de 0,2 m/s.

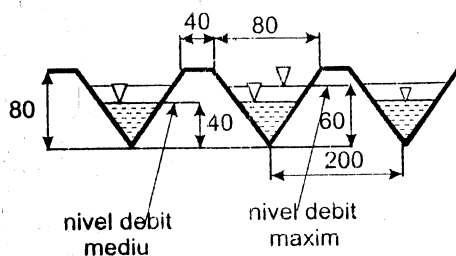


Fig. 1.12. Forma deversorului.

rea suplimentară de sarcină. Curgerea fluidului pe canalul de evacuare va avea în vedere aspectele curgerii amestecurilor polifazate.

Rolul instalației de colectare a efluentului este de: a) colectarea uniformă a debitului pe întreaga structură de evacuare; b) de a reduce posibilitatea liftării particulelor solide în mediul apos și scăparea lor în efluent; c) de a elimina posibilitatea antrenării materiilor flotante în efluent.

Echipamentul de raclare și îndepărtare a nămolului. În cazul decantoarelor curățite manual, cazuri extrem de rare, întâlnite numai în stațiile foarte mici, nu se prevăd echipamente mecanice de raclare și de îndepărtare a nămolului. Decantoarele din stațiile de tratare și epurare se dotează cu echipamente de raclare, colectare și îndepărtare a nămolului de tipul unui pod mobil prevăzut cu lamele submerse ce împing nămolul către un spațiu mai adânc denumit bașă (unde este stocat pentru un timp de retenție care permite o ușoară îngroșare) și cu împingătoare de spumă parțial imersate ce conduc materiile plutitoare către un dispozitiv culegător de flotanti.

Viteza de deplasare a podului raclar este astfel adaptată încât lamelele de raclare și de îndepărtare a nămolului să nu perturbe procesul de decantare și să nu răscolească depozitele de materiale formate prin depunere. Viteza podului raclar la decantoarele longitudinale pentru apa de consum este de $v = 1 \text{ cm/s} = 0,6 \text{ m/min}$ și $v = 2 \text{ cm/s} = 1,2 \text{ m/min}$ (maximum 1,5 m/min) la decantorul primar din treapta fizică a apei uzate. Viteza periferică a podului raclar de la decantorul radial este de 1...3 cm/s în tratarea apei de consum și de 2...4 cm/s în cazul epurării apelor uzate.

Viteza apei decantate în rigola de colectare și prin conducta de evacuare este de 0,4...1,0 m/s – mai mică prin rigolă și mai mare pe conductă. Trebuie avut în vedere faptul că în exploatare pe rigolă se formează colonii de alge care modifică rugozitatea pereților și frânează mișcarea. Din acest motiv trebuie să se dea un spor de pantă de 1‰ peste cel normal, pentru a compensa ulterior pierde-

Instalația de colectare și evacuare a nămolului din bazin. În construcția decantoarelor această instalație poate avea mai multe variante constructive: a) conductă submersă amplasată cu gura de captare în bașa de nămol; curgerea nămolului prin această conductă se realizează datorită presiunii hidrostatice a apei din decantor; b) evacuarea nămolului prin sifonare în exterior; c) evacuare cu hidroelevatoare amplasat în zona bașei de nămol – soluție care se recomandă numai în cazuri speciale deoarece conduce la majorarea diluției fluidului bifazic; d) evacuarea depunerilor cu instalație de tip gaz-lift amplasată direct pe podul raclar – soluție care permite majorarea concentrației în particule solide – fiind utilizată la deznisipatoare; e) evacuare cu instalație mecanică formată din lanț și raclete – soluție utilizată la deznisipatoare și la decantorul stațiilor de tratare.

Viteza de curgere a nămolului prin conducta de evacuare se adoptă de minimum 1 m/s pentru a se evita formarea depozitelor stabile de nămol cu apariția pericolului de colmatare parțială sau totală a conductei. Totuși nu se recomandă creșterea vitezei peste 1,8 m/s pentru a nu genera pierderi de sarcină prea mari. Diametrul minim admis al conductei de evacuare a nămolului este $D_n = 150 \text{ mm}$, pentru a permite efectuarea operațiilor de desfundare ce pot apărea necesare în exploatare. Alegerea diametrului conductei se face în funcție de debitul care urmează a fi transportat, de concentrație, de caracterul floculant al particulelor și de viteza critică de transport a amestecului bi- sau polifazic (problemă de dinamica fluidelor polifazate).

Instalația de alimentare cu energie electrică. Echipamentele mecanice cu care sunt dotate instalațiile de decantare sunt antrenate de motoare electrice asincrone, trifazate, de joasă tensiune și mică putere. Alimentarea acestora se face prin cablu electric susținut, prin intermediul unor cărucioare, pe un cablu din oțel întins în lungul bazinului – cazul decantorului longitudinal. Unele soluții mai vechi utilizează sistemul de alimentare cu energie electrică a căruciorului de tip țambal și perii colectoare – similar celui de la podurile rulante. La decantoarele radiale alimentarea grupului de antrenare se face prin centrul bazinului, unde se amplasează un inel colector concentric cu pivotul și de aici prin cablu întins în lungul podului raclar se transmite energia electrică la grupul de antrenare.

Bazinul decantor (construcția). Pentru proiectarea decantoarelor trebuie avute în vedere prevederile normativelor în vigoare. Bazinele se execută din beton armat protejat contra infiltrațiilor de apă și asigurat la stabilitate la plutire. Decantoarele longitudinale au raportul adâncime h / lungime L în gama $h/L = 1/20...1/35$, cu $h = 2,5...4,0 \text{ m}$, iar cele radiale au $h/R = 1/6...1/8$. Timpul de retenție este de minimum două ore, iar viteza de curgere a apei se limitează în funcție de proces astfel încât să se asigure un regim laminar uniform la: a) pentru deznisipator $v = 0,1...0,3 \text{ m/s}$, caz în care se vor găsi în depozite numai particule cu $d \geq 0,2 \text{ mm}$; b) decantoare obișnuite $v < 10 \text{ mm/s}$; c) decantoare suspensionale $v = 3...5 \text{ m/h}$.

Bazinele rectangulare au o pantă ușoară către bașa de nămol de până la 1...2% pentru a favoriza scurgerea nămolului împins de către lama raclare și va permite scurgerea apei la golirea totală în perioadele de revizie.

1.2.1.3. Decantorul longitudinal

Decantorul longitudinal este în general folosit ca decantor primar pentru separarea particulelor din apele uzate brute, decantoare pentru ape de consum în procese de tratare, separatoare pentru apele uzate din industria petrochimică, și, cu forma ușor modificată, la deznisiparea apelor uzate. Apa uzată intră pe canalul 1 (fig. 1.13) și în zona în care acesta se lărgște, la intrarea în bazin, întâlnește liniștitorul 2. Peretele semiscufundat 4 delimitează zona de admisie a apei, în care există bașa 7, de compartimentul de sedimentare 8 cu mișcare laminară. Grăsimile sunt evacuate pe conducta 3 obturată cu o vană plană, iar apa purificată deversează în canalul de evacuare 11. Spuma și flotanții formați sunt colectați prin deversare în jgheabul cochilă 10 amplasat transversal față de direcția de curgere a apei.

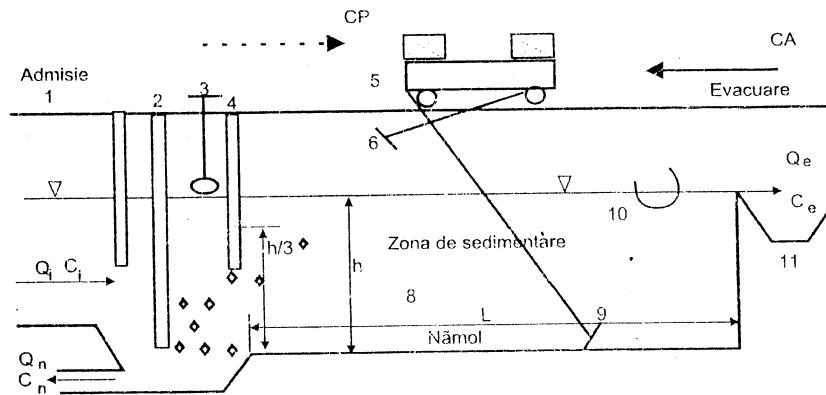


Fig. 1.13. Schema unui decantor longitudinal curățat mecanic:

- 1 – canal de aducțiune a apei brute; 2 – sistem de liniștire; 3 – antecameră; 4 – conductă pentru evacuarea grăsimilor; 5 – podul raclor; 6 – lamă împingătoare pentru spumă; 7 – bașa de nămol; 8 – zonă liniștită pentru sedimentare; 9 – lamă raclor; 10 – cochilă pentru colectarea flotanților; 11 – canal cu deversor pentru colectarea și evacuarea apei tratate.

Podul raclor, care încăleacă bazinul de sedimentare, la cursa activă CA, dinspre aval către amonte, are lama raclor 9 în contact cu radierul și împinge nămolul către zona bașei 7. La cursa pasivă, dinspre amonte către pragul deversor, are lama culegătoare de spumă în poziție semiscufundată și împinge flotanții să deverseze în jgheabul cochilă. Podul raclor, asemănător ufui pod rulant, are două sisteme mecanice dotate cu motoare electrice, unul destinat antrenării, iar celălalt pentru ridicarea și coborârea lamelor raclor și a celor culegătoare de spumă.

Echipamentele pentru colectarea spumei pot fi lamă dreptunghiulară racordată prin brațe la podul raclor sau o lamă de tip elicoidal rotitoare amplasată în fața jgheabului cochilă. Această variantă constructivă este recomandată în cazul bazinelor longitudinale la care apare o cantitate mare de spumă – de exemplu, în cazul decantoarelor flotatoare.

Avantajele decantoarelor longitudinale în raport cu celelalte tipuri (de exemplu radiale) sunt: a) ocupă o suprafață în plan mai mică în special atunci când sunt mai multe bazine; b) se realizează economii la costurile de investiție datorită pereților comuni la bazinele în paralel; c) ușor de acoperit pentru captarea mirosurilor atunci când este cazul; d) oferă o lungime mai mare pentru sedimentare; e) curgerea este de tip piston și apar puține scurt-circuite în zona de sedimentare; f) pierdere de sarcină redusă între zona de admisie și evacuare; g) consum redus de energie pentru colectarea și evacuarea nămolului. Ca dezavantaje se menționează: a) apariția zonelor moarte; b) lățime restrânsă la posibila deschidere a podului; c) costuri ridicate de întreținere a echipamentelor aferente.

1.2.1.4. Decantorul radial

Decantoarele radiale, folosite pe scară largă în epurarea apelor uzate, sunt bazine din beton armat de formă cilindro-conică sau cilindrică. În plan – vedere din avion – ele au o formă circulară sau hexagonală. Diametrul lor este între 2...160 m; decantoarele cu diametrul până la 50 m au poduri raclor radiale, iar cele cu diametrul peste 50 m sunt dotate cu poduri raclor diametrice. Radierul decantorului cu pod raclor radial este înclinat cu un unghi corespunzător unei conicități de 1/15, mai mare decât unghiul de taluz natural al nămolului depus sub apă și deci acesta ar trebui să curgă singur spre bașa centrală. În decantorul radial introducerea de apă uzată se face în centrul acestuia, simetric în plan și uniform pe verticală - mișcare axial-simetrică, iar evacuarea se realizează prin colectarea apei de pe întreaga circumferință exterioară. Direcția de curgere a apei este cea a razei vectoriale de la centru către periferie.

Viteza de sedimentare a particulelor discrete variază continuu pe măsură ce granulă se deplasează către periferie. Deoarece componenta u a vitezei de

transport, $u = \frac{Q}{2\pi rh}$, scade continuu cu

creșterea razei vectoriale, iar mărimea hidraulică w este constantă, rezultă că traiectoria particulei este o curbă – figura 1.14 – (în loc de linie dreaptă ca în cazul decantorului longitudinal). Panta teoretică a curbei de sedimentare, la orice rază de curbă este $\frac{dh}{dr} =$

$$= \frac{w}{u} = \frac{2\pi rh w}{Q}. \text{ Încărcarea hidraulică}$$

de suprafață este $w_s = \frac{Q}{\pi(R_e^2 - R_i^2)}$

$\geq w_r$ – viteză de referință.

Dispozitivul de alimentare din centru trebuie să asigure distribuția

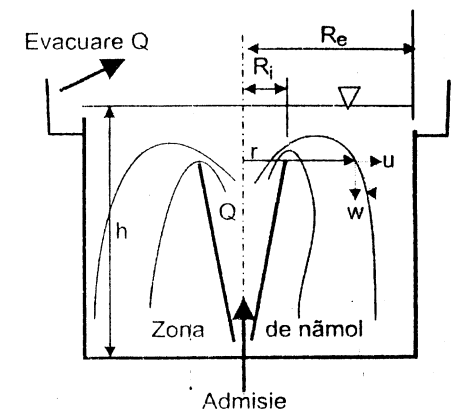


Fig. 1.14. Traiectoria de sedimentare în decantorul ideal radial.

uniformă a debitului pe direcția razei vectoriale. Pentru aceasta zona de alimentare este concepută sub formă tronconică cu reducerea continuă a vitezei ascensionale evitând formarea vârtejurilor.

Date de proiectare. Timpul de retenție al apei este de 45...150 minute. Viteza ascensională medie este de 0,002...0,006 m/s. Viteza verticală de sedimentare este 0,1...0,4 mm/s. Încărcarea hidraulică de suprafață este de 1,5...2,5 m³/m²h. Viteza raclorului la periferie este de 1,5...3,0 m/min cu o turație a podului raclor de 3...4 rot/oră. În cazul îngroșătorului de nămol raclorul are viteza periferică de 1,8...3,0 m/minut. Panta fundului este de 6...8% cu excepția bașei unde panta este de 2/1. Viteza de curgere a nămolului pe conducta de evacuare este de 1,25...1,50 m/s.

Pentru uniformizarea curgerii prin decantor se montează deversoare pe circumferința acestuia. Încărcarea deversoarelor depinde de forma bazinelor, de natura nămolului și a apei uzate. Pentru decantoare primare se recomandă încărcări inferioare valorii de 60 m³/h și metru liniar în perioade uscate și maximum 180 m³/h și m pe timp de ploaie. Pentru decantoare secundare încărcările trebuie să fie inferioare 10 m³/h și m liniar. Dacă la verificarea încărcărilor se constată că aceasta este prea mare se vor construi mai multe rigole paralele de colectare a apei.

Apa uzată vine pe canalul 2 și intră în decantorul cilindro-conic 1 prin pâlnia 6 (fig. 1.15). Pâlnia centrală are rolul de a asigura reducerea vitezei de curgere (difuzor), modificând astfel regimul hidraulic, și de a realiza o alimentare cât mai uniformă a decantorului. În ultimii ani această pâlnie se execută sub forma unui deversor circular cu profil curb care favorizează apariția efectului Coandă ce uniformizează curgerea, reduce viteza de deplasare a apei și turbulența în zona de admisie. Din această zonă de admisie apa execută o mișcare de ocolire pe sub jupa centrală și ajunge în spațiul de sedimentare 3. Jupa centrală are aceleași roluri ca și peretele semiscufundat de la decantorul longitudinal și, în plus, devine și punct de sprijin pentru pivotul podului raclor. Particulele mari și grele, datorită inerției, nu reușesc să execute mișcarea de ocolire pe sub jupă și se depun imediat în zona bașei centrale 9. Apa se repartizează uniform în curgere pe direcția razei vectoriale către canalul colector inelar care

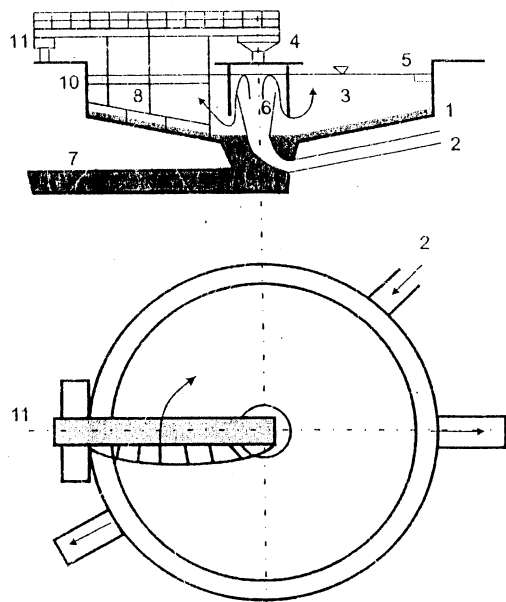


Fig. 1.15. Decantor radial cu pod raclor:

- 1 – decantor; 2 – conductă admisie apă brută;
3 – zonă de sedimentare; 4 – suportul pivotului central și al jupei; 5 – canalul de colectare apă tratată; 6 – conul central; 7 – evacuare nămol;
8 – lame raclor; 9 – bașă; 10 – cale de rulare;
11 – mecanismul de antrenare.

este amplasat fie în bazin, cu două muchii deversante, fie la periferia acestuia 5. Pentru a evita curgerile preferențiale, care ar putea perturba procesul de sedimentare, canalul colector inelar are muchia deversorului metalică, cu dinți în V la 90°, care se amplasează la nivel strict orizontal și se fixează cu șuruburi.

Nămolul depus pe radierul de beton înclinat alunecă către bașa centrală 9, de unde prin presiune hidrostatică este îndepărtat în exterior pe conducta 7. Rolul podului raclor 4 este de a forța curgerea depunerilor aderente către bașa centrală.

Podul raclor este o construcție metalică de tip cheson sau grindă cu zăbrele, de tip radial sau diametral, care este susținut la centru pe un pivot, iar la periferie se sprijină pe sistemul de antrenare 11 cu roțile motoare și cele de rulare. Pentru decantoarele cu volum mic grupul de antrenare se află la centru, pe platforma de sprijin, fiind dotat cu o roată dințată de mari dimensiuni, care asigură demultiplicarea, și limitator de forță pentru întreruperea alimentării cu energie electrică în cazul blocării.

Decantoarele de mari dimensiuni sunt dotate cu poduri raclor diametrale care au grupuri de antrenare la ambele capete. Ele sunt impuse de condiția de asigurare a raclării radierului la un interval de timp mai redus, nerealizabil de către echipamentul radial. În general, aceste decantoare de mari dimensiuni sunt recomandate ca soluții pentru bazine de sedimentare a nămolului activ – decantor secundar în schema tehnologică. Îndepărtarea nămolului după o durată de timp prea mare conduce la sufocarea nămolului activ. În acest mod se impune soluția podului raclor diametral care asigură un interval de timp mai redus între trecerea lamelor raclor printr-o zonă de sedimentare. Podul raclor diametral este susținut pe trei puncte, două la capete și unul central – pivotul. Pentru a elimina pericolul apariției de tensiuni necontrolate în grinda centrală (sistem static nedeterminat) se introduce o articulație cu ax orizontal la grindă care permite mici oscilații generate de neregularități ale suprafeței de rulare.

În figura 1.16 este prezentată schema unui decantor radial cu radierul orizontal la care evacuarea nămolului se realizează hidraulic prin presiune hidrostatică. Sub grinda principală a podului raclor sunt montate o serie de conducte verticale 5. Acestea sunt amplasate în vârful unui unghi format din două planuri înclinate 6; tot acest ansamblu funcționează în mișcare ca un fâraș – lamă raclor cu garnituri din cauciuc. Țeava verticală împreună cu flanșele de legătură și fârașul de raclare formează tronsonul de aspirație, iar țevile orizontale 7 (câte una pentru fiecare tronson vertical) prevăzute cu obturatorul de capăt și cu colectorul de nămol de la celălalt capăt formează tronsonul de evacuare.

Raclorul diametral reprezintă constructiv cuplarea a două raclor radiale care utilizează același colector fix. Spre deosebire de decantoarele radiale cu pod raclor radial, în acest caz conductele verticale solidare cu fârașul nu sunt articulate, ci sunt fixate de grinda podului. O altă deosebire este aceea că forța vântului se preia integral de pivotul central. Pentru a compensa inegalitățile existente în suprafața de rulare, având în vedere faptul că podul diametral este susținut pe trei reazeme, grinda principală este prevăzută cu o articulație orizontală amplasată între pivotul central și unul dintre capete, mai aproape de primul.

Colectorul 4 suspendat, executat sub forma unui paralelipiped și prevăzut cu ștuțuri de asamblare la tronsoanele de refulare orizontale, se numește colector mobil, deoarece el este solidar cu podul raclor și se rotește odată cu acesta.

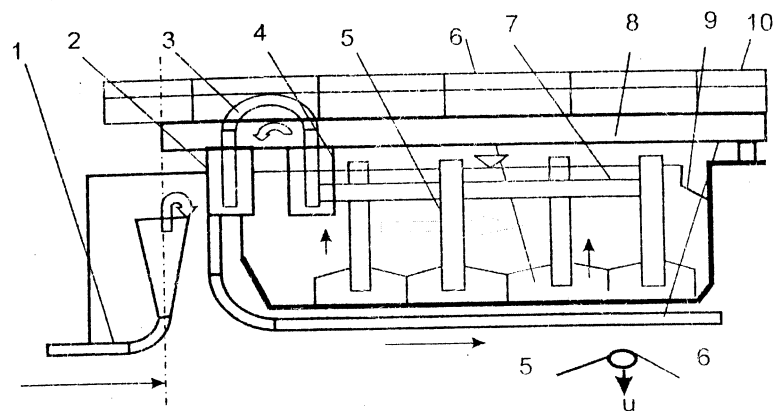


Fig. 1.16. Raclor pentru decantor cu radier orizontal (detaliu fărășului de colectare a nămolului cu țeava verticală):
 1 – conductă de admisie apă uzată; 2 – colector evacuare apă tratată; 3 – sifon;
 4 – colector fix pe pod; 5 – conductă verticală; 6 – fărăș; 7 – conductă orizontală;
 8 – pod; 9 – canal inelar; 10 – radierul orizontal al decantorului.

Pe traseul nămolului, în dreptul devierii de la verticală la orizontală, se află un dispozitiv de ștrangulare – obturator – acționat de pe grindă și destinat reglării debitului de nămol. În etapa următoare nămolul adunat în colectorul mobil este transvazat în colectorul fix 2 cu ajutorul unui sifon. Colectorul fix metallic este dispus circular în jurul corpului central din beton care acoperă pâlnia de alimentare cu apă uzată 1 și susține pe pivot podul raclor diametral. Instalația de sifonare este executată dintr-un tub sub formă de U întors prevăzut cu robinet de separație, o pompă de vid pentru amorsarea sifonului (de regulă pompă de mână Alweiller, pompă cu inel de lichid sau un ejector acționat pneumatic) și o conductă de descărcare; sifonul se fixează cu șuruburi de grinda principală. Nămolul din colectorul fix este evacuat printr-o conductă pozată sub decantor 10 și dotată cu o clapetă de refulare care controlează debitul și sensul de curgere a nămolului spre un cămin adiacent bazinului amplasat sub decantor. Apa purificată este evacuată prin deversare în canalul inelar de capăt 9.

Se recomandă ca părțile submerse să fie executate din: a) oțel inoxidabil; b) oțel carbon protejat anticoroziv cu rășini epoxi – necesită supraveghere și eventual refacerea stratului; c) plastic armat cu fibră din sticlă. Părțile expuse intemperiiilor se vor proteja anticoroziv prin vopsire cu rășini și în zonele de asamblare prin sudură cu metode moderne folosind ceară.

Alimentarea cu apă uzată a decantorului radial trebuie făcută astfel încât să se realizeze o curgere uniformă evitând formarea turbioanelor și a curgerilor preferențiale în spațiul de sedimentare. Sistemul cel mai modern de alimentare este cel care folosește pâlnia de tip Coandă. Apariția efectului Coandă este dependent de următorii factori: a) forma geometrică a suprafeței solide definită prin raza R de curbură și lățimea fantei jetului fluid – la o curbură cu o rază foarte mică creșterea presiunii în lungul profilului este rapidă și în loc să apară efectul Coandă de alipire poate să se producă desprinderea stratului limită; b) dispersia jetului în

lungul peretelui curb în zonele mai depărtate de orificiul de curgere – lățimea jetului crește foarte repede și zona centrală a vanei fluide se depărtează de peretele curb deși partea marginală rămâne alipit acestuia; c) viteza jetului fluid poate genera alipirea sau dezlipirea vanei – așadar pentru fiecare profil curb trebuie precizată gama de viteză în care se menține fluidul lipit de profilul curb (fig. 1.17).

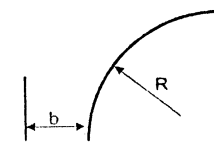


Fig. 1.17. Forma geometrică pentru apariția efectului Coandă.

Laleaua Coandă este folosită în zona de admisie a apei din decantor. Ea este de tipul deversorului circular pâlnie la care se inversează curgerea (fig. 1.18). În zona de legătură a lalelei Coandă cu conducta verticală de aducțiune a apei brute se introduce un deflector care forțează alipirea jetului de lichid la suprafața curbă circulară; astfel eficiența dispozitivului nu mai este influențată de variațiile de debit. Montarea în interior a unei alte piese profilate, precum cea întreruptă din figură, va conduce la apariția unui vârtej care îmbunătățește eficiența de sedimentare prin crearea unui efect de vortex centrat pe axul decantorului din zona de alimentare ce forțează sedimentarea în zona imediată a bașei. Avantajele utilizării lalelelor Coandă la decantoarele radiale sunt: a) se controlează viteza fluidului din zona de admisie; b) se realizează o distribuție uniformă și perfectă în decantor ceea ce va permite folosirea integrală a volumului de sedimentare; c) se reduce mărimea și intensitatea zonelor de turbulență; d) apare o mișcare de circulație a apei în zona de fund de la periferie către centru care ușurează transportul particulelor către bașă; e) în decantor se formează o zonă circulară de apă moartă în partea mediană a bazinului care mărește intensitatea procesului de sedimentare. Dimensiunile pâlniei Coandă sunt dependente de debitul de apă de la intrarea din decantor $Q = 90...1300$ l/s; $D_1 = 400...1400$ mm; $R = 1400...2200$ mm; $D_2 = 3200...5800$ mm; $h = 1000...1500$ mm.

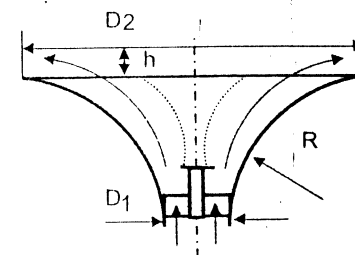


Fig. 1.18. Lalea Coandă pentru alimentarea decantorului radial.

1.2.1.5. Decantoare specializate

Decantorul lamelar. Pentru decantorul convențional s-a demonstrat că adâncimile mici sunt favorabile creșterii procentului de separare. Din acest motiv s-au dezvoltat soluțiile de decantor lamelar cu contracurent, echicurent sau cu curent transversal. Funcționarea decantorului lamelar se bazează pe divizarea debitului în n etaje, suprapuse, de adâncime elementară h/n , unde h este adâncimea decantorului longitudinal convențional. Așadar, principial, decantorul lamelar poate fi considerat ca un rezultat al multiplicării aceleiași construcții cu suprafața de separație apă-nămol identică (fig. 1.19). Poziția fasciculului lamelar – tuburi sau plăci paralele – creează în zona de sedimentare un mare număr de celule elementare de separare a fazelor care funcționează independent.

Pentru a ușura evacuarea nămolului este necesară înclinarea lamelor cu un unghi ϑ față de orizontală. Viteza de sedimentare a particulelor este $w_s = Q/nA \cos \vartheta$, în care A este suprafața elementară de încărcare a unui element, iar n este numărul de lamele.

Încărcarea hidraulică de suprafață este $w_s = Q_{s1}/A = v_s[L(\cos \vartheta)/s + 1]$, unde $A = Bs$ este suprafața orizontală, Q_{s1} – debit de suspensie pe lamelă. Numărul lui Reynolds este dat de $Re = \frac{\rho Q_{s1}}{2\eta_n s(B + s \sin \vartheta)} = \frac{v_s L \rho \cos \vartheta}{2\eta_n s} \frac{B}{B + s \sin \vartheta}$.

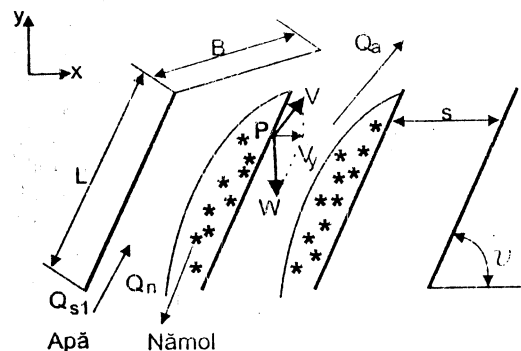


Fig. 1.19. Schema decantorului lamelar.

orizontală ce formează $n + 1$ celule – compartimente individuale. Pentru decantorul cu plăci din figura 1.20, în contracurent, componenta axială a fluxului de lichid vehiculat este $v = q/s B \sin \vartheta$, componenta verticală $v_y = v \sin \vartheta = Q/Bs$, iar cea orizontală este $v_x = v \cos \vartheta = q/s B \operatorname{tg} \vartheta$. Componenta verticală a vitezei de sedimentare este $v_{sy} = v_y - w = q/s B - w$.

Condiția de sedimentare în decantorul lamelar se formulează $\frac{q}{BL} \leq w \left(\cos \vartheta \pm \frac{s}{L} \right)$, cu semnul + pentru fluxul ascendent și minus în cazul celui

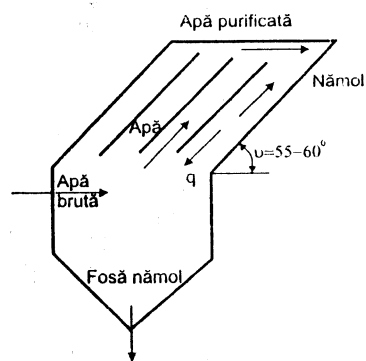


Fig. 1.20. Decantor lamelar.

descendent. Deoarece în cazurile practice s/L este neglijabil în raport cu valorile lui $\cos \vartheta$, inegalitatea de mai sus se simplifică $\frac{q}{BL} \leq w \cos \vartheta$, valabilă pentru calculul decantorului, în condiția în care nu apar curgeri turbulente ce pot perturba procesul. Relația se poate formula și relativ la debitul total de lichid sub forma $\frac{Q}{(n+1)BL} \leq w \cos \vartheta$ sau dacă numărul de plăci este foarte mare atunci se poate lucra cu expresia $\frac{Q}{nBL} \leq w \cos \vartheta$, unde nBL este suprafața totală a plăcilor din decantorul lamelar.

Curgerea este laminară dacă valorile numărului lui Reynolds sunt între 100 și 500.

Date constructive: a) unghiul de înclinare $\vartheta = 40^\circ \dots 60^\circ$ cu un optim de 55° ; b) viteza de sedimentare este $v_s = 1,6$ m/h la o proporție de îndepărtare de 90%; c) decantoarele longitudinale au încărcări hidraulice de suprafață de $2 \dots 3$ m³/m²h, iar cele lamelare $18 \dots 19$ m³/m²h.

Debitul de apă brută intră într-un decantor cu n lamele – plăci înclinate cu unghiul ϑ față de

Decantorul tubular. Eficiența separării în decantoare se poate mări fie prin majorarea secțiunii orizontale a decantorului – reducerea încărcării hidraulice de suprafață, fie prin micșorarea înălțimii de cădere sau compartimentarea pe verticală care va permite reținerea particulelor fine.

În condiții reale turbulente, neuniformitatea curgerii, curenții de densitate perturbă sedimentarea și scot particula de pe traiectoria ideală. Pentru diminuarea acestor efecte se dimensionează secțiunea transversală astfel ca numărul lui Reynolds să aibă valori sub 1000, iar Froude sub 10^{-5} .

Deplasarea particulei solide se realizează sub influența vitezei de transport a apei v_0 și a mărimii hidraulice w . Ecuația traiectoriei particulei solide este dată de

expresia $dx/(v_0 - w \sin \alpha) = dy/(-w \cos \alpha)$ care integrată conduce la $-x w \cos \alpha + C = (v_0 - w \sin \alpha) y$. În condiția la limită din figura 1.21, $x = l, y = 0$ – corespunzătoare traiectoriei orizontale – se obține valoarea constantei $C = l w \cos \alpha$ și, deci, rezultă ecuația traiectoriei sub forma $y(v_0 - w \sin \alpha) + (x - l) w \cos \alpha = 0$. Această ecuație poate fi trecută în adimensional prin împărțirea la $D v_0$, obținând $\frac{y}{D} \left(1 - \frac{w}{v_0} \right) + \left(\frac{x}{D} - \frac{l}{D} \right) \frac{w}{v_0} \cos \alpha = 0$,

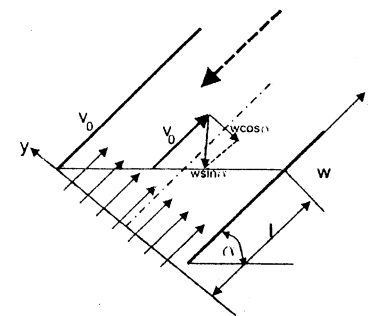


Fig. 1.21. Schema curgerii în decantorul tubular.

din care rezultă raportul vitezelor w/v_0 care intră în expresia eficienței de separare

$\frac{w}{v_0} = \frac{\frac{y}{D} + \frac{x}{D} \cos \alpha}{\frac{y}{D} \sin \alpha + \frac{l}{D} \cos \alpha}$ sau $\frac{w}{v_0} = \frac{1 + \frac{x}{y} \cos \alpha}{\sin \alpha + \frac{l}{y} \cos \alpha}$. Traiectoria limită a particulei în sedimentare trece prin punctul de coordonate $x = 0, y = D$ și, deci,

rezultă raportul vitezelor $\frac{w}{v_0} = \left(\sin \alpha + \frac{l}{D} \cos \alpha \right)^{-1}$.

Eficiența de separare a decantorului tubular este

$$E = \frac{wA}{Q} = \frac{wDI}{\pi D^2 v_0} = \frac{4 l w}{\pi D v_0} = \frac{4 l}{\pi D} \frac{1}{\sin \alpha + \frac{l}{D} \cos \alpha} = K \frac{1}{\sin \alpha + \frac{l}{D} \cos \alpha}$$

Această expresie este utilizată la stabilirea elementelor geometrice optime – lungime, diametru, unghi de înclinare. În cazul folosirii pantei negative eficiența decantorului tubular se reduce, majorându-se viteza critică de sedimentare.

Traiectoria efectivă a particulei solide diferă de cea ideală datorită repartiției inegale de viteză. Corespunzător acesteia, depunerea va fi mai intensă în prima porțiune, în care vor fi reținute particulele mai mari și grele, pentru a se atenua pe măsura reducerii secțiunii de curgere – ca urmare a depozitelor formate – și a micșorării mărimii hidraulice – particule mai fine.

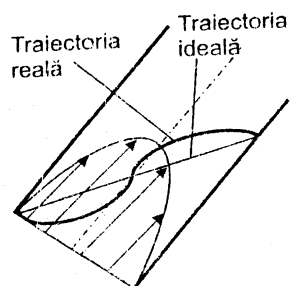


Fig. 1.22. Traiectoria reală a particulei solide în sedimentare.

adâncimii, majorarea suprafeței orizontale de sedimentare, și cu reducerea influenței perturbațiilor și a neuniformității vitezelor.

1.2.1.6. Deznisipatorul

Deznisipatorul este un decantor specializat în reținerea particulelor solide minerale, granulate, cu mărime mai mare de 0,2 mm. Dacă 50% dintre particulele minerale au diametrul sub 0,2 mm eficiența deznisipatorului scade. O instalație completă trebuie să asigure: 1. separarea nisipului grosier din apele uzate; 2. separarea nisipului extras de materialul organic, care poate putrezi sedimentat odată cu particulele minerale.

Deznisipatorul este necesar în schema tehnologică pentru: a) protecția instalațiilor și echipamentelor mecanice din aval contra acțiunii abrazive a nisipului; b) reducerea riscului de colmatare a conductelor de transport a nămolului, precum și a metantancurilor cu efecte de micșorare a secțiunii de curgere, creștere a pierderilor de presiune și respectiv a volumelor de fermentare; c) micșorarea frecvenței de curățare a nămolului în decantoarele primare care urmează treptei de deznisipare.

Nisipul din apă are o compoziție calcaroasă sau cuarțoasă, cu greutatea specifică $\gamma_s = 26,5 \text{ kN/m}^3$. Particulele au o formă plată, lenticulară, chiar aciculară mult diferită de cea sferică – cu sfericitatea $\psi = 2...22$ – ceea ce va conduce la valori mari ale coeficientului de rezistență la înaintare și deci viteze de sedimentare mai mici decât cele teoretice; așadar, vor fi necesare lungimi mai mari de deznisipator decât cele calculate. În general, deznisipatoarele se proiectează pentru granule de nisip cuarțos, de formă sferică, cu greutatea specifică precizată mai sus, mărimea particulelor $d \geq 0,2 \text{ mm}$, densitatea $\rho_s = 1,5 \text{ t/m}^3$ și umiditatea de 60%. În tabelul 1.1. se dau valorile mărimii hidraulice w și ale vitezelor critice de antrenare v_{cr} .

În etapa de proiectare și exploatare a deznisipatorului trebuie să se acorde o mare atenție regimului hidraulic. Acesta trebuie realizat printr-o curgere cât mai uniformă, la o viteză de 0,3 m/s pentru debitul minim și 0,1 m/s la valoarea maximă. Viteza de sedimentare, tangentă la traiectoria rectilinie înclinată este $v_s = \sqrt{w^2 - u^2}$, unde w este mărimea hidraulică (vezi tabelul 1.1), u – viteza medie

verticală produsă de turbulența lichidului, cu $u = 0,05 v$, v – viteza orizontală de curgere a apei cu valoarea indicată mai sus de 0,3...0,1 m/s, valoare minim acceptată 0,05 m/s.

Tabelul 1.1

Mărimea hidraulică și cea critică de antrenare

D [mm]	1,0	0,5	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,1	0,05	0,01
W [mm/s]	140	72	40	35	30	24	20	7	1,7	0,08
V_{cr} [cm/s]	41	30	26	24	22	20	19	13	9	4,1

Suprafața în plan a deznisipatorului este $A = \alpha Q_c / v_s$, unde $\alpha = 1,2...1,8$ este un coeficient de majorare ce ia în considerare curenții care apar în deznisipator cu valoarea dependentă de gradul de epurare 85...98% (crește cu gradul și cu diametrul particulei), iar Q_c este debitul de calcul maxim. Secțiunea transversală a deznisipatorului este $A_t = Q_c / v$. Adâncimea apei din deznisipator este de ordinul 0,5...2,5 m care trebuie să cuprindă și înălțimea stratului de nisip deplus în deznisipator.

Lungimea deznisipatorului L se calculează cu relația $L = \alpha v h / v_s = Q_c t / A$, în care $t = 30...50$ – chiar 90 secunde, h – înălțimea de apă din deznisipator, v – viteza maximă orizontală (0,3 m/s). Lungimea reală a deznisipatorului trebuie să fie mai mare decât cea teoretică deoarece mărimea hidraulică este inferioară celei calculate cu formula valabilă la particulele sferice. În general, această valoare a lungimii poate să fie în instalațiile reale de 12...36 m. Lățimea totală B a deznisipatorului rezultă din expresia $B = A / L \leq 5 \text{ m}$. Se vor construi mai multe compartimente de deznisipare ($n \geq 2$) de lățime $b = B / n$. Se recomandă ca valoarea raportului dintre lungime/lățime să fie de 10...15. Alegerea timpului de retenție se face în funcție de eficiența de separare; astfel, la eficiențe ridicate de 90% timpul poate ajunge la 230 secunde, iar la 80% $t = 160$ secunde.

Deznisipatorul se poate construi sub mai multe forme geometrice.

Deznisipator longitudinal cu secțiune transversală parabolică – cea mai favorabilă formă geometrică – urmat de un canal de tip Venturi în aval destinat menținerii constante a vitezei orizontale de curgere la diferite valori ale debitului de apă uzată. În acest caz, pierderea de sarcină la curgerea apei uzate prin deznisipator este de până la 150 mm col. apă.

Deznisipator longitudinal cu secțiune transversală rectangulară cu devorsor de capăt proporțional, cu caracteristică liniară, care va genera o pierdere de sarcină de maximum 600 mm H_2O .

Deznisipator longitudinal de mică dimensiune, fără dispozitiv de menținere constantă a vitezei de curgere, care poate avea sub 60 mm col. apă pierdere de sarcină. Deznisipatoarele pot opera cu sau fără aerare. Datorită sistemului de barbotare a aerului comprimat, la deznisipatoarele aerate se obține o separare mai eficientă a particulelor minerale de suspensiile organice – nisipul se depune pe radierul bazinului, iar particulele organice sunt transportate mai departe de apele uzate. Un alt avantaj este posibila separare a spumei și grăsimilor motiv pentru care se preferă combinarea deznisipării cu separarea grăsimilor într-o singură

construcție. Deznisipatoarele fără barbotare se dimensionează efectiv numai pe suprafața în plan disponibilă sedimentării. La deznisipatoarele aerate se are în vedere și volumul acestuia necesar pentru barbotarea gazului și asigurarea mișcării sistemului polifazic apos. Așadar, va rezulta un deznisipator aerat cu dimensiuni considerabil mai mari decât în cazul aceluiași obiect la care nu se face barbotare cu aer. Consumul specific de aer comprimat este de $1 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$ bazin și oră.

Deznisipatorul se racordează la zona de amplasare a grătarelor printr-un canal în care viteza trebuie să fie de minimum $0,4 \text{ m/s}$ la debitul minim. Nivelul apei din deznisipator se transmite la grătare prin canalul de racordare. Cantitatea de nisip ce trebuie reținută în această construcție este funcție de sistemul de canalizare la care se racordează stația de epurare, de starea drumurilor din oraș, de condițiile climatice, regimul apelor pluviale etc. Cantitățile specifice de nisip sunt de ordinul $5...12 \text{ dm}^3/\text{om}$ și an – după Imhoff, în timp ce normativul P28 recomandă pentru sistemul unitar $5,48...7,30 \text{ dm}^3/\text{om}$ și an și în cazul sistemului separativ $1,825...7,300 \text{ dm}^3/\text{om}$ și an.

Echipamente pentru raclarea și colectarea nisipului.

Întrucât nisipul se depune în deznisipator de-a lungul acestuia, în funcție de granulație cu particulele mari către amonte, în principiu se utilizează transportul cu raclate dinspre aval către amonte la o bașă, urmând ca din aceasta să fie evacuat în exterior. Deznisipatorul are un pod raclor, sub forma unei platforme, care încalcă toate compartimentele. În dreptul fiecărui compartiment se află câte un raclat la extremitatea unei tije. În cursa activă, dinspre aval către amonte raclatele se află coborâte și curăță deznisipatorul descărând depunerile în bașa din amonte. În cursa pasivă raclatele se ridică deasupra apei astfel încât să nu perturbe procesul de sedimentare a particulelor granulate. Acționarea raclatelor se poate face mecanic (cablu înfășurat pe tobă), hidraulic sau pneumatic (cu cilindri hidraulici – servomotoare) sau prin contragreutate.

Rezistența la împingere a nisipului de către lama racloare trebuie să țină seama de frecarea materialului cu fundul și pereții canalului inferior de colectare. În

timpul deplasării materialului apare o mișcare interioară permanentă a particulelor lui componente – frecarea interioară.

Canalul colector inferior din bazinul de deznisipare poate avea o formă rectangulară sau trapezoidală. Forma trapezoidală este ideală atât pentru curgerea lichidului (rezistență minimă hidraulică), cât și din punctul de vedere al forței necesare pentru împingerea materialului reținut. Dacă înclinările pereților laterali sunt corect adoptate față de rezistența la deplasare a materialului în canalul cu forma rectangulară se va reduce forța cu circa $20...25\%$.

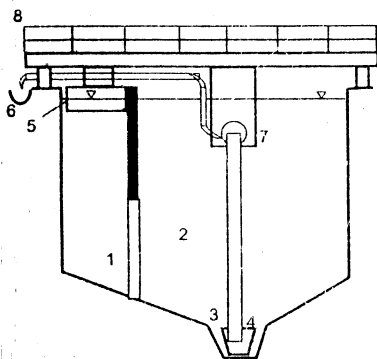


Fig. 1.23. Deznisipator combinat cu separator de grăsimi:

- 1 – separator grăsimi; 2 – deznisipator;
- 3 – zonă de nisip; 4 – lamă racloare;
- 5 – lamă de grăsimi; 6 – canal evacuare nisip; 7 – pompă; 8 – pod.

Soluțiile tehnice moderne au în vedere rezolvarea a două operații într-o singură construcție – deznisiparea și separarea grăsimilor. Această soluție permite formarea unui curent elicoidal de la admisie către evacuare, prin forțarea circulației pe verticală datorită aerului insuflat, fapt care îmbunătățește performanțele de separare. Figura 1.23 prezintă o astfel de soluție tehnică. Deznisipatorul este aerat și are două compartimente: unul este destinat separării grăsimilor (1), iar celălalt (2) este utilizat pentru sedimentarea nisipului. Nisipul depus pe fundul canalului 3 este împins de raclată, aspirat de pompa specială 6 și refulat în canalul 8. Podul raclor încalcă cele două compartimente. De podul raclor se articulează lama semiscufundată 5 care colectează și evacuează grăsimile ce flotează la suprafață în mod natural sau prin barbotare cu aer. Această variantă constructivă se poate folosi la debite de $0,160...1,5 \text{ m}^3/\text{s}$, cu volume de nisip de $33...330 \text{ m}^3$. Pentru evacuarea nisipului depus pe fundul bazinului se folosesc mai multe soluții constructive. Criteriile care stau la baza adoptării unei soluții tehnice sunt: a) cele general valabile la decantare printre care se menționează pe scurt: construcție simplă, ușor de exploatat, instalat, întreținut, cu fiabilitate ridicată și anduranță corespunzătoare, productivitate ridicată etc.; b) cele specifice deznisipatoarelor: 1. energetice – consum specific kWh/m^3 nisip extras – incluzând energia pentru colectare, evacuare, spălare, eventual reîntoarcere apă în flux și 2. gradul de nocivitate al nisipului extras – modul de utilizare directă fără pericolul pentru lucrătorii de la drumuri, din construcții etc.

Pod mobil cu pompă. Deznisipatoarele (minim două bazine paralele) sunt încălcate de un pod mobil. Pe platforma podului mobil se amplasează o singură pompă sau câte una pentru fiecare compartiment. Pompa aspiră nisipul cu apa de pe fundul deznisipatorului și refulă amestecul într-o rigolă paralelă cu bazinul de sedimentare. De regulă se folosește o pompă cu diafragmă care este auto-amorsantă și prezintă o rezistență bună la abraziune deoarece circuitele de acționare și hidraulic sunt complet separate. Prin faptul că funcționarea este discontinuă, pe măsura acumulării nisipului pe fundul bazinului, soluția cere o atenție deosebită iarna în perioada înghețului. Pentru a evita înghețarea mașinii hidraulice soluția modernă folosește pompă submersibilă rezistentă la uzura abrazivă. Această soluție prezintă avantajul că nisipul este extras de pe fundul bazinului direct prin absorbție – elimină cele două faze de colectare și transport a nisipului către o bașă și cea de absorbție și evacuare.

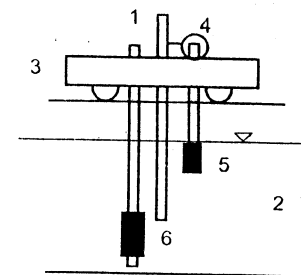


Fig. 1.24. Pod mobil cu hidroelevator:

- 1 – pod; 2 – bazin; 3 – cale rulare; 4 – pompă; 5 – sorbul pompei; 6 – hidroelevator.

Pod mobil cu hidroelevator. Podul mobil dotat cu hidroelevator este o soluție mai veche impusă de uzura rapidă a pompelor de nisip (fig. 1.24). Pe platforma 3 se află amplasată pompa 2 ce preia apa, prin intermediul sorbului cu clapetă 5, direct din zonele de mică adâncime ale bazinului deznisipatorului unde concentrația nisipului este redusă. Apa este refulată în camera de amestec 6 care funcționează pe principiul ejectorului cu duză inelară. Hidroelevatorul descarcă amestecul polifazic într-un bazin situat chiar pe pod. La

capătul de cursă acesta se descarcă pe canalul de evacuare. Soluția este astăzi depășită deoarece creează mari dificultăți în exploatare pe perioada înghețului.

Pod mobil cu instalație de aer-lift. Este o soluție modernă care menține platforma mobilă. Pe aceasta se amplasează una sau mai multe suflante funcție de debitul de aer necesar. Pentru fiecare compartiment există câte un elevator pneumatic care refulează amestecul polifazic într-o rigolă dispusă paralel cu deznisipatorul. În multe cazuri rigola este înlocuită cu un pat drenant astfel încât nisipul evacuat rămâne pe pat, iar apa va fi returnată în deznisipator. Practica de exploatare a arătat că diametrul minim utilizabil pentru elevatorul pneumatic este Dn 80. Având în vedere și celelalte materiale care se pot depune în deznisipator se recomandă majorarea diametrului la Dn 100 care va reduce riscul colmatării. Pentru desfundarea conductei verticale se recomandă prevederea unor robinete și conducte de by-pass prin care să se insuflă aer comprimat.

Instalație auxiliară pentru spălarea și deshidratarea nisipului colectat în deznisipator. Nisipul extras din deznisipator conține și substanțe organice sau anorganice care la vitezele de curgere din zona de sedimentare s-au depus în spațiul de colectare. Aceste materii trebuie separate din nisip pentru ca acestuia să i se poată da o utilizare în construcții sau infrastructură. Totodată se reduc mult cheltuielile de transport și depozitare a nisipului. Instalațiile și echipamentele destinate curățării nisipului depus sunt alcătuite astfel încât să realizeze spălarea și sortarea nisipului cu reîntoarcerea apei și a materiilor organice înapoi la epurare.

Nisipul grosier este de fapt un amestec de pietriș mărunț, nisip, cenușe, sticlă și fragmente metalice. În materialul extras din deznisipator mai pot exista resturi alimentare, de plante sau animale, reziduuri textile și plastice, fibre, hârtie etc. Nisipul grosier colectat poate conține între 20 și 60% substanțe organice; așadar se impune spălarea nisipului și îndepărtarea corpurilor străine, dacă este posibil, până la procente de 3% în nisip. Prin spălare se obține și o reducere a greutatea de până la 80%. Apele de spălare, care antrenează substanțele organice, se reîntorc în fluxul de epurare.

Figura 1.25 prezintă un dispozitiv de spălare a nisipului extras din bazinul deznisipator. Apa cu nisip intră în centrul bazinului cilindro-conic prin intermediul unei camere turbionare. Sistemul Coandă are rolul de a realiza o admisie uniformă menținând însă rotația amestecului polifazic. Datorită turbionului central nisipul se separă de apă și alunecă în lungul suprafeței conice, iar centrul rămâne liber absorbtiei de aer. Apare astfel un fenomen de flotație care favorizează antrenarea materiilor organice din apă în exterior spălând nisipul care este extras cu un elevator mecanic cu șurub. Apa cu suspensii organice se întoarce în instalația de epurare biologică.

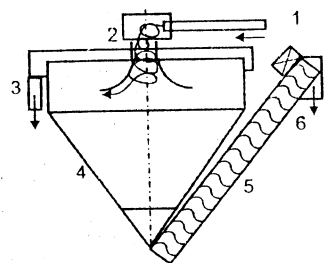


Fig. 1.25. Dispozitiv pentru spălarea nisipului:

- 1 – alimentare apă cu nisip;
- 2 – pâlnie Coandă; 3 – evacuare apă;
- 4 – recipient de spălare;
- 5 – elevator cu șurub;
- 6 – evacuare nisip spălat.

1.2.2. Flotația

Flotația este fenomenul de separare a două faze, dintr-un amestec polifazic, bazat pe diferența de greutate specifică a constituenților. Faza mai ușoară se ridică la suprafața sistemului apos, separându-se din amestec. Prin flotație se pot îndepărta materiile insolubile în apă cum ar fi: grăsimi, uleiuri, vaselină etc. Totodată folosind reactivi chimici de floclulare se pot îndepărta din apă și alte materii care sunt extrase la suprafață formând stratul de spumă. Concentrația floclulanților este de 100...500 mg/l, folosind săruri metalice de fier trivalent sau aluminiu, la care se face o corecție de pH la 4,5...5,5 în cazul compușilor de fier sau 5,5...6,5 pentru cei de aluminiu. Se mai pot folosi polimeri anorganici ca poli-acrilamide sau organici cum ar fi carragraenau, chitosan sau acid lignosulfonic.

Separarea grăsimilor (fază cu densitatea mai mică decât apa) se poate realiza prin: a) flotație naturală – pentru grăsimile neemulsionate; b) flotație prin barbotare – separă particule de grăsimi dispersate sau emulsionate; c) separare prin centrifugare – pentru grăsimile emulsionate; d) extracție – separarea grăsimilor prin extracția lor cu solvenți din nămolul obținut prin coagularea apelor uzate; e) metoda acidă – tratarea apelor cu acid sulfuric pentru separarea unei spume și a unui nămol gras – sedimentul și spuma sunt stoarse în filtre presă pentru a se extrage grăsimea.

Extragerea grăsimilor din apă este o cerință vitală pentru desfășurarea procesului biologic din bazinul de aerare. Prezența acestora în sistemul apos din aerotanc va perturba procesul de transfer al oxigenului din aer în apă prin modificarea condițiilor la interfața celor două faze fluide. Recuperarea materiei grase din apă uzată este în general rentabilă deoarece în aceasta se pot deversa cantități importante de uleiuri.

1.2.2.1. Flotație naturală – Separatoare de grăsimi

Pentru particule ușoare cu densitatea inferioară celei a apei se folosește flotația naturală în separatoare de grăsimi neaerate. Pentru cantități mici de grăsimi emulsionate și neemulsionate se folosește separatorul de grăsimi aerat – flotație artificială cu aer de joasă presiune 0,5...0,7 bari.

În flotația naturală sunt importante, pentru proiectare, următoarele aspecte principale: 1. diferența greutatea specifice a celor două faze; 2. viteza ascensională a picăturilor de ulei; 3. valorile medii ale temperaturii și viscozității dinamice a mediului apos sau mai exact a amestecului polifazic.

Separatoare de produse petroliere. Apele uzate din industria petrolieră conțin multe tipuri de produse petroliere emulsionate și neemulsionate. Rolul separatoarelor este de a permite extragerea produselor petroliere emulsionate din apele uzate cu particule cu $d \geq 0,2$ mm. Soluția clasică este de a folosi principiul flotației naturale în bazine de tipul decantoarelor longitudinale. Condițiile hidrodinamice de curgere din aceste bazine permit și decantarea suspensiilor mai grele decât apa. Așadar, echipamentele de colectare trebuie să fie dotate cu racloare de fund destinat nămolului format prin sedimentare gravitațională și cu lamă semiscufundată care să preia spuma și grăsimile ce flotează natural.

Pentru proiectare se vor avea în vedere următoarele prescripții: a) viteza orizontală a apei trebuie să fie inferioară valorii 0,75 m/min; b) viteza orizontală a apei mai mică de 15 ori față de viteza verticală a picăturii de ulei sau particulei grase calculată după Stokes; c) raportul adâncime/lățime bazin aproximativ 0,3; d) adâncimea bazinului 0,7...2,0 m; e) lățimi de bazin de ordinul 1,5...6,0 m; f) timp de retenție hidraulic 20...25 minute cu viteza orizontală de parcurs a apei de 5...10 mm/s (0,3...0,6 m/min); g) eficiența de separare 95...97% – șlopsul de petrol (amestec de diferite hidrocarburi recuperate din apă cu viscozitate foarte mare) se reîntoarce în instalațiile de prelucrare; h) se recomandă să fie construite cel puțin două bazine paralele.

Sedimentul depus în prima parte a separatorului, 2/3 din lungimea bazinului, nu alunecă și deci este necesară raclarea. Se recomandă folosirea unui echipament cu lanț și raclete sau utilizarea soluției clasice cu pod raclor și lamă de fund. Pentru majorarea performanțelor de separare se poate folosi soluția constructivă cu plăci înclinate la care apa curge în lungul acestora. Ele sunt înclinate cu 45° și permit reținerea picăturilor de ulei cu 45 microni în diametru la un cost de investiție redus.

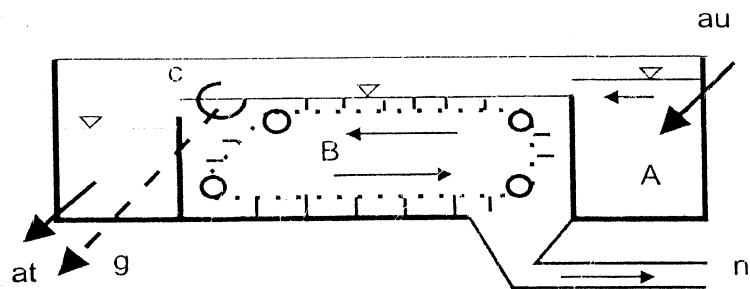


Fig. 1.26. Separator de grăsimi longitudinal:
au – apă uzată; at – apă tratată; g – grăsimi; n – nămol.

Figura 1.26 prezintă un separator de grăsimi combinat cu decantor pentru suspensii solide. Apa uzată *au* intră în compartimentul de admisie A destinat să asigure o repartiție uniformă în zona de sedimentare B. Lanțul cu raclete împinge nămolul de fund pe conducta de evacuare *n*, iar grăsimile care flotează natural în jgheabul cochilă *c*. Grăsimile sunt evacuate lateral, iar apa tratată *at* deversează în compartimentul de evacuare C.

În figura 1.27 se prezintă un separator cu lamele înclinate destinat să favorizeze separarea fazelor fluide – ulei + apă – și sedimentarea constituenților grei. Apa uzată la contactul cu suprafețele ondulate ale lamelelor circulă cu viteză mică în lungul acestora.

Uleiul separat de apă circulă în contracurent cu apa în zona superioară a ondulației. Materialul cu greutate specifică mai mare ca cea a apei se depune pe lamele și cade în lungul generatoarelor inferioare a acestora datorită gravitației. Din compartimentul 1 nămolul se evacuează în exterior prin conducta 2 datorită presiunii hidrostatice. Apa uzată intră în compartimentul de admisie 6 și trece prin

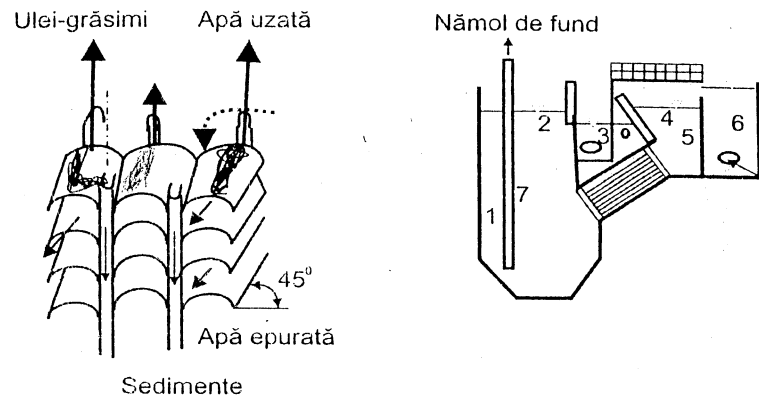


Fig. 1.27. Separator de grăsimi cu lamele înclinate și ondulate:
1 – compartiment de sedimentare; 2 – conductă de evacuare nămol; 3 – apă epurată;
4 – evacuare grăsimi; 5 – compartiment de separare; 6 – compartiment de admisie.

sistemul cu plăci ondulate 7. Acesta este amplasat la un unghi de 45° față de orizontală pentru a ușura separarea fazelor și a permite descărcarea lor în zonele de evacuare – unghiul fiind mult mai mare decât cel de taluz natural. Grăsimile sunt evacuate pe conducta 4, iar apa epurată prin 3. Toată această construcție, cu echipamentele din dotare, se poate folosi ca decantor combinat cu separator de grăsimi sau produse petroliere. Totodată se poate utiliza ca deznisipator combinat cu separator de grăsimi caz în care se recomandă folosirea sistemului de evacuare de tip gaz-lift în locul conductei 1.

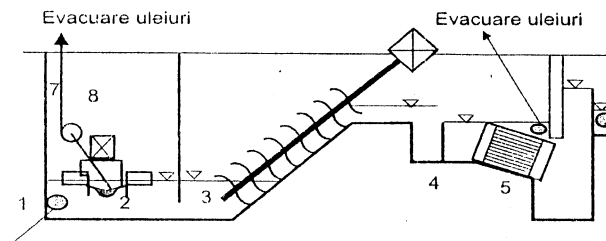
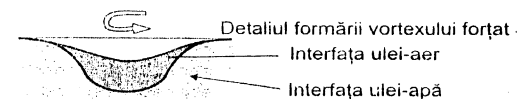


Fig. 1.28. Instalație complexă pentru extragerea grăsimilor din apele uzate:
1 – conductă pentru admisie apei uzate; 2 – compartiment admisie; 3 – elevator hidraulic;
4 – deversare; 5 – sistem cu plăci ondulate; 6 – evacuare apă tratată; 7 – pompă evacuare uleiuri; 8 – sistem cu amestecător pentru formarea vortexului.

Din această zonă uleiul este aspirat de o pompă 7 și refulat în exterior. Din acest compartiment apa uzată este preluată de un elevator hidraulic cu șurub 3 și ridicată în cuva 4. Trece, în curgere gravitațională, printre plăcile ondulate, montate înclinat la un unghi de 45° , unde se continuă procesul de separare a fazelor. Așadar, în prima fază se contează pe extracția cantităților mari de grăsimi din apă, iar în etapa a doua se pot separa din apă picături foarte fine de uleiuri. Apa epurată este dirijată pe conducta 6 în exterior. Procedeu combinat de separare forțată, prin vârtej și flotație naturală, conduce la procente ridicate de recuperare a uleiurilor din apă și la cantități mici de apă în grăsimea extrasă.

În figura 1.28 se prezintă o instalație complexă – procedeu combinat – care îmbină avantajele procesului cu vortex cu cele ale plăcilor înclinate ondulate, dar realizate în construcții diferite. Apa uzată intră pe conducta 1 în compartimentul de admisie 2. Un echipament de amestecare rapid 8, amplasat pe flotori, creează un vârtej forțat care favorizează separarea uleiului de apă.

1.2.2.2. Flotație artificială

Flotația artificială este procesul de antrenare a particulelor în suspensie sau a grăsimilor emulsionate dintr-un lichid, la suprafața apei, cu ajutorul bulelor de gaz aderente. Formarea bulelor de aer în masa de apă conduce la o mare suprafață de contact interfacială, deci trebuie consumată o cantitate de energie corespunzătoare energiei superficiale – formă a energiei potențiale. Flotația artificială – forțată sau asistată – se realizează prin intervenție exterioară, ea urmărind majorarea randamentelor de separare. Se folosește capacitatea unor corpuri dispersate, solide sau lichide, de a adera la bulele de gaz formând astfel complecși ce se ridică la suprafața apei prin forța ascensională a bulei.

Un indice important în procesul de flotație îl constituie stabilitatea stratului de spumă. Rezistența redusă în timp nu dă posibilitatea îndepărtării spumei de la suprafața apei, iar stabilitatea prea mare implică prelucrarea ei suplimentară.

Flotația artificială se poate realiza tehnic prin: a) flotația mecanică; b) flotația prin barbotare cu aer comprimat; c) flotație prin vacuum; d) flotație prin presurizare; e) electroflotația.

Instalația de flotație are trei părți importante: 1. bazinul de flotație; 2. echipamentul mecanic de colectare și evacuare a spumei și a nămolului format prin decantare; 3. instalația destinată formării bulelor în masa de apă. Pentru debite mici de $5...75 \text{ m}^3/\text{h}$ se recomandă instalații monobloc.

Flotația artificială se recomandă și în cazul concentrării nămolurilor. În acest caz se obțin nămoluri mai îngroșate, cu $6...9\%$ s.s.u., decât în situația folosirii metodei gravitaționale caracterizate prin $4...6\%$ s.s.u. Rezultă reduceri ale volumelor de nămol de circa 80% cu micșorarea corespunzătoare a costurilor și gabaritelor instalațiilor din aval.

Flotația prin barbotare. Se realizează prin difuzia aerului comprimat în masa de apă prin difuzori poroși, conducte perforate etc. Grăsimile emulsionate sau încorporate în aglomerări ale altor particule sunt puse în libertate și, aderând la suprafețele bulelor de aer, ies la suprafața apei formând stratul de spumă. Procedeu este recomandat la preepurarea apelor uzate – de exemplu la apele uzate din industria alimentară. Debitul de aer specific este de $15...50 \text{ Nm}^3 \text{ aer}/\text{m}^3 \text{ de apă}$.

Flotația prin presurizare. Procedeu de flotație prin presurizare este eficient în cazul unui număr mare de efluenți. El conduce la performanțe ridicate de epurare dacă se contează pe o distribuție continuă și uniformă a bulelor de gaz. Metoda de realizare a bulelor de aer constă din saturarea apei cu aer la o presiune oarecare și apoi destinderea ei la o presiune normală – atmosferică. Procedeu are la bază schimbarea condițiilor de echilibru la dizolvarea unui gaz în lichid. În acest mod din masa de apă se formează bule de aer foarte fine cu diametrul $20...100$ microni, cu media de $50 \mu\text{m}$.

Avantajele folosirii microbulelor sunt: a) viteze mici de ridicare – timp mare de contact interfazic; b) debit de aer relativ redus – consum mic de energie la comprimarea gazului; c) microbulele difuzează uniform în toată masa lichidului – o adevărată emulsie apă/aer; d) suprafață foarte mare de contact interfazic. Flotabilitatea impune o interfață lichid – aer foarte mare în regim stabil la care să adere particulele. Așadar, rezultă că este necesară o mare energie potențială superficială care să mențină bulele de aer (produsul dintre suprafața de contact interfazică și tensiunea superficială) – realizată în acest caz prin diametrul foarte mic al bulelor.

Instalația se dimensionează pentru o presiune în capsula de presurizare, în care apa vine în contact cu aerul comprimat, de $3...6$ bari și un timp de retenție de $1...4$ minute. Robinetul de destindere Rd, care urmează după această capsulă are un rol deosebit de important în asigurarea formării bulelor de aer în masa de apă.

Figura 1.29 prezintă variantele constructive ale instalațiilor de flotație prin presurizare. Ele sunt alcătuite din bazinul decantor-flotator DF, capsula de presurizare C cu pompa de presiune P, robinetul de destindere Rd și o cameră de amestec CA.

Cele trei variante diferă prin valoarea debitului de pe circuitul de presiune și anume: a) saturarea întregului debit de apă uzată cu aer înainte de a intra în bazinul de decantare-flotație – metoda prezintă dezavantajul emulsionării suspensiilor grase în pompele centrifuge și a consumului mare de energie necesar pentru pomparea apei uzate; b) prin saturarea unei părți din debitul de apă uzată – schema este mai economică decât varianta anterioară, dar mai puțin utilizată în practică deoarece pot apărea depuneri de particule pe conducte; c) prin saturarea unei părți din debitul de apă epurată, recirculată prin capsula de presurizare – sistem de presurizare cu recirculare – varianta cea mai utilizată în practica epurării apelor uzate deoarece elimină dezavantajele prezentate mai sus.

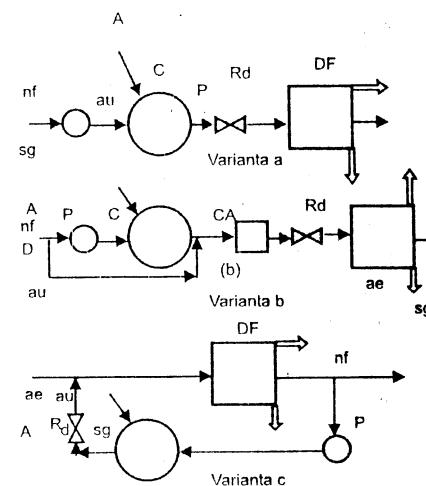


Fig. 1.29. Scheme pentru flotație prin presurizare.

Electroflotația. Procedeu de flotație se bazează pe acțiunea curentului electric continuu de a produce în masa de apă, prin electroliză, bule de hidrogen și oxigen. Pentru un randament electric de 98% electroliza unei mase de apă de 0,3293 gr. produce 0,0366 gr. (0,41 litri) hidrogen și 0,2927 gr. (0,205 litri) oxigen la anod. Cercetările experimentale au demonstrat că dimensiunea bulelor depinde de diametrul electrodului și de densitatea câmpului electric; pentru valorile optime de 200...260 A/m² se obțin bule cu diametrul între 60...140 microni la o concentrație totală de 0,1% în masa de apă. Anodul este corodat puternic datorită oxigenului atomic, deosebit de activ, în timp ce la catod se depun carbonații. Din acest motiv se recomandă execuția anodului din titan (însă metoda nu permite inversarea polarității în scopul unei uzuri).

Date tehnice: a) intensitatea optimă a câmpului electric 160...240 A/m²; b) adâncimea celulelor 1,0...1,2 m; c) eficiența de reținere pentru suspensii 94,5...97,5 %; d) consum de energie pentru epurarea apelor uzate din petrochimie 0,15...0,50 kWh/m³, iar a celor din industria celulozei și hârtiei de 3...4 kWh/m³.

Echipamente mecanice pentru colectarea grăsimilor în peliculă la suprafața apei. Echipamentele destinate colectării și evacuării spumei formate în procesul de flotație pot fi simple, sub forma unei clapete deversante, sau complexe de tipul unor mecanisme antrenate din exterior. Reținerea uleiurilor, grăsimilor sau spumei se face în dreptul unei perete vertical, semiscufundat, pe sub care apa curge în exterior într-o mișcare de ocolire de tip sifon. Pentru cantități mici de substanțe extrase prin flotație spuma este îndepărtată din bazin prin deversare simplă în dreptul unei clapete reglabile ca poziție.

La decantoarele longitudinale s-a arătat că în bazin, la suprafața apei dispus transversal, este un jgheab de tip cochilă. Aceasta se execută sub forma unui cilindru, cu diametrul de 200...400 mm, decupat pe un arc de 90° în lungul generatoarei. Acest jgheab cochilă se poate roti în jurul axei lui longitudinale până când vine cu muchia la nivelul apei în scopul deversării și colectării materiilor plutitoare.

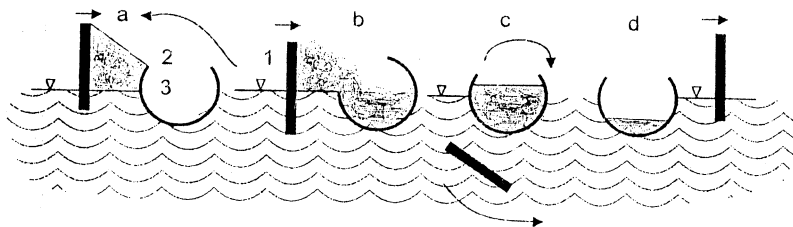


Fig. 1.30. Echipament pentru colectarea spumei la pod raclor radial:
1 – lamă împingătoare; 2 – spumă; 3 – jgheab cochilă.

Pentru decantoarele flotatoare radiale se folosește soluția unei lame semiscufundate care colectează și împinge stratul de spumă către jgheabul cochilă. Lama împingătoare execută o mișcare de ocolire pe sub jgheab datorită unei came montate la unul dintre capetele acesteia. Figura 1.30 prezintă etapele trecerii lamei împingătoare de spumă pe sub jgheab. Acesta este fix în bazinul de

flotație și execută o mișcare parțială de rotație în jurul axei longitudinale, la apropierea lamei, care este articulată pe podul raclor prin intermediul unor brațe. Brațele fixate la capete forțează lama să execute mișcarea de ocolire pe sub jgheab.

Pentru cantități mari de suspensii grase extrase prin flotație se poate folosi un echipament cu lanț și raclete care rezolvă problema colectării și evacuării continue. Apa este evacuată în exterior prin sifonare, iar grăsimile sunt antrenate de racletele semiscufundate, la suprafața apei din bazin, apoi pe un plan înclinat pentru a fi evacuate în containere.

Colectarea și evacuarea grăsimilor în peliculă la suprafața apei, de tipul uleiurilor, păcurei, șlopsului de petrol etc. se poate face cu echipamente mecanice bazate pe adeziune diferențiată. Ele reușesc extragerea acestora la procente mici de apă în grăsimi fapt care permite reintroducerea acestora direct în instalația industrială de prelucrare.

Echipament cu disc pentru recuperarea grăsimilor în peliculă. Acesta este alcătuit dintr-un grup de antrenare – motor 1 + variatorul de turație 2 – pe axul căruia se amplasează direct pachetul de discuri 3 (maximum 12 bucăți) cu diametrul între 600 și 1200 mm (fig. 1.31).

Este de preferat soluția de antrenare cu variator de turație pentru reglarea vitezei periferice a discurilor între 0,1 și 0,5 m/s, în mod excepțional până la 1,5 m/s; în acest mod este posibil ca să se regleze viteza periferică la valoarea optimă în conformitate cu viscozitatea stratului gras. Discurile sunt imersate în lichid la cota s . Materia grasă aderă la fețele laterale ale discurilor formând o coroană circulară cu lățimea s , iar apa curge înapoi în bazinul de flotație. Raclarea grăsimilor se efectuează cu ajutorul a două cuțite 4, amplasate întotdeauna pe partea coborâtoare. Materia grasă este colectată în bazinul 5. Apa din materia grasă curge înapoi, alunecând pe stratul de grăsime, ceea ce face ca procentul de apă din uleiuri să fie de 3...5%. Pentru o instalație cu mai multe discuri pe același ax este necesar să se asigure mobilitatea cuțitelor racloare, în sensul fixării lor cu arcuri duble, astfel încât acestea să fie mereu în contact cu suprafețele laterale ale discului chiar dacă el fulează ușor.

Echipamentul poate fi montat pe pasarelă sau pe flotoare în stația de epurare la separatoare sau în lagune. Procesul de separare se controlează prin automatizare folosind relee de timp, de nivel sau bazate pe măsurarea greutateii substanței recuperate. Un astfel de echipament este deosebit de util în separatoarele de produse petroliere din stațiile de epurare, pe ambarcațiuni pentru recuperarea produselor deversate accidental.

Echipamente de separare cu bandă. Aceste echipamente sunt destinate colectării și evacuării grăsimilor din bazine adânci și înguste similare puțurilor. Ele se pot monta la poziție fixă în bazin sau pe platforma mobilă a unui pod raclor, cu funcționare la nivel fix sau variabil în bazin. Echipamentul, figura 1.32, se compune

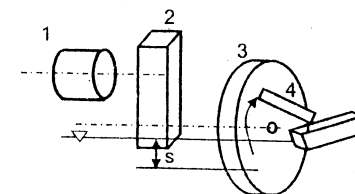


Fig. 1.31. Echipament de colectare și evacuare a grăsimilor în peliculă:
1 – grup de antrenare; 2 – variator de turație; 3 – setul de discuri; 4 – raclor; 5 – bazin pentru colectare.

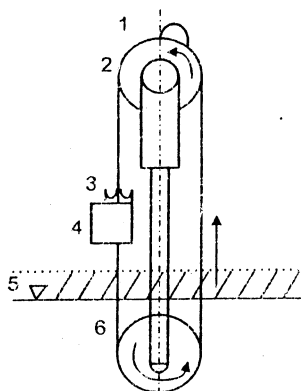


Fig. 1.32. Echipament cu bandă pentru colectarea și evacuarea spumei de la suprafață:

- 1 – grup de antrenare; 2 – bandă;
3 – dispozitiv de raclare;
4 – rezervor de stocare; 5 – strat ulei; 6 – rolă inferioară.

din grupul de antrenare 1 – variator de turație – care pune în mișcare de rotație tamburul superior 2. Între acesta și cel inferior 7 se întinde banda transportoare 3, metalică sau din material plastic, cu lățimea de 300...500 mm. Tamburul superior 2 este de antrenare, iar cel inferior 6 este de întindere. La porțiunea ridicătoare a benzii transportoare aderă materialul gras care este colectat pe partea coborâtore de cuțitele raclor 4 și depozitat în bazinul 5. Picăturile de apă, extrase odată cu materialul gras, curg înapoi în bazin pe porțiunea de ridicare a benzii. Tensiunea de întindere din bandă se realizează cu dispozitivul 6. În cazul utilizării în bazine adânci se poate renunța la tamburul inferior 7 banda rămânând să fie antrenată datorită greutatei proprii. În funcție de viscozitatea materialului gras viteza liniară a benzii se va stabili prin încercări la valoarea maximă a debitului extras între 0,1 și 0,5 m/s asigurată de un motor electric de 1,25 kW.

1.2.2.3. Aspecte tehnico-economice ale proceselor de sedimentare și flotație

Alegerea decantării sau flotației, ca procedeu pentru îndepărtarea impurităților din apele uzate, se face pe baza calculului tehnico-economic. În cazul flotației, datorită vitezelor ascensionale mari a bulelor de aer care antrenează particulele, investiția este mai mică decât la decantare. Cheltuielile de exploatare sunt însă mai mari la flotație din cauza consumului de energie necesar producerii bulelor de aer. Totodată, în instalațiile de flotație sunt aproape excluse mirosurile neplăcute de putrefacție datorită oxigenului dizolvat. Prin flotație se obțin nămoluri cu volumul de 1/4...1/3 din cel rezultat prin decantare fapt care permite deshidratarea și îngroșarea mai rapidă și mai simplă reducând și costurile din aceste instalații.

Flotația prin presurizare a dat rezultate bune pentru îngroșarea nămolurilor active unde a dus la scăderi de umiditate a nămolului excedentă la 94...96%. Ea este recomandată ca procedeu la epurarea apelor uzate din industria alimentară, petrolieră – extracția reziduurilor petroliere, a celulozei și hârtiei – la recuperarea fibrelor etc. La epurarea apelor uzate urbane – menajere fără adaos de coagulanți nu se obțin îmbunătățiri sensibile prin flotație; idem, la nămolurile proaspete sau fermentate. În general flotația este neeconomică dacă necesită consumuri mari de reactivi chimici pentru coagulare și floculare.

În gospodăria de nămol prin simpla decantare se obțin nămoluri cu umiditate de 98...99%, deci 2...1% s.s.u. În concentratoarele de nămol gravitaționale se obține o concentrație a substanței solide uscate de 2,5...3,0% ceea ce conduce la o reducere a volumului de 60%. Prin flotație rezultă 4...9% s.s.u. și frecvent 6...7% corespunzător unei reduceri a volumului brut de nămol de 80%.

2 EPURAREA BIOLOGICĂ A APELOR UZATE

2.1. Aspecte generale ale activității biologice

Obiectivul principal al treptei biologice de epurare este îndepărtarea substanțelor solide organice nesedimentabile (dizolvate sau coloidale), precum și stabilizarea materiilor organice din nămoluri. Totodată se propune reducerea nutrienților pe bază de azot și fosfor. Este un proces flexibil care se poate adapta ușor la o multitudine de ape uzate, concentrații și compoziții. Procesele biologice sunt precedate de o treaptă fizică de epurare care are rolul de a reține substanțele sedimentabile și sunt urmate de o decantare secundară – procese fizice – destinată reținerii produșilor rezultați din epurarea biologică.

Factorii care influențează procesul biologic sunt: timpul de contact sau timpul de traversare a obiectivului tehnologic în care se desfășoară procesul biologic, temperatura, pH-ul, oxigenul, încărcarea obiectivului tehnologic cu ape uzate (diluție), cu nămol, nutrienți, prezența inhibitorilor de proces, condițiile hidrodinamice ale procesului – omogenizare și amestecare.

Procesul de epurare biologică este deosebit de complex și la rezolvarea lui intervin o serie de fenomene: 1. **fizice** – transferul de masă al oxigenului și substratului la nivelul celulelor, al oxigenului din aer în apă, adsorbția particulelor coloidale și a suspensiilor fine la suprafața biomasei, desorbția produșilor metabolici, sedimentare gravitațională etc.; 2. **chimice** – reacții de hidroliză, de hidratare, de oxido-reducere, de precipitare și coagulare, modificarea pH-ului; 3. **biochimice** – reacții de oxidare biochimică a substratului, respirație endogenă, creșterea biomasei, inhibarea reacțiilor enzimatice; 4. **hidraulice** – regimul de curgere, distribuția mediului polifazic în bazinul de aerare, curenți de convecție și de densitate, timpul hidraulic de retenție, viteze de sedimentare, încărcări hidraulice etc.

Metodele biologice sunt cele mai eficiente și economice pentru eliminarea substanțelor organice poluante din apele uzate. Procedeele biologice de epurare utilizează activitatea metabolică a unor grupe de microorganisme capabile să

degradeze substanțele organice până la dioxid de carbon și apă. Ele se bazează pe reacțiile biochimice din cadrul metabolismului unei populații mixte de bacterii, ciuperci și alte microorganisme inferioare – în special protozoare. În practica epurării apelor uzate aceste biocenoză (masa microorganismelor active, a celulelor viabile) sunt denumite biomasă.

Biomasa reprezintă populația mixtă de bacterii, ciuperci și alte microorganisme – în special protozoare și metazoare inferioare – care își desfășoară activitatea metabolică în instalația de epurare. Rezultatul final al procesului biologic de epurare se concretizează în degradarea substanței organice, până la diferite stadii corespunzătoare tehnologiei și echipamentelor, și creșterea biomasei (apreciată la 40...60%) sub forma materialului celular insolubil, sedimentabil, precum și unii produși ai metabolismului, mai ușor de îndepărtat.

Procedeele de epurare biologică, utilizate în practică, folosesc una din două grupe de microorganisme: aerobe sau anaerobe. Microorganismele anaerobe se folosesc în procesele de fermentare a nămolurilor și la stabilizarea unor ape uzate industriale concentrate. Microorganismele aerobe sunt utilizate în mod curent în epurarea majorității apelor uzate cu caracter predominant organic – compuși pe bază de carbon, azot sau fosfor – și pentru stabilizarea anumitor categorii de nămoluri. Pentru epurarea biologică în regim aerob a apelor cele mai utilizate procedee sunt: cu nămol activ, cu peliculă biologică sau cu flocoane de nămol ce conțin atât bacterii aerobe, cât și anaerobe. Deși aceste trei procese diferă între ele în ceea ce privește timpul de contact dintre microorganisme și apa uzată, modul de realizare al amestecului fazelor, necesarul de oxigen, modul de utilizare al nămolului biologic etc. totuși fenomenele biochimice esențiale sunt similare sau identice.

Optimizarea tehnologiei de epurare prin procese biologice are în vedere sistemul costurilor efective. Ea se realizează în două etape. În prima etapă este necesară selecționarea sistemului optim din mai multe variante analizate de proiectant. În etapa a doua se pune problema alegerii și dimensionării optime a unităților din sistemul adoptat. Se menționează că această analiză tehnico-economică trebuie să considere și costurile de investiție și exploatare ale sistemului de tratare a nămolului reținut în decantorul secundar caracterizat prin concentrația în solide și debitul recirculat.

Desfășurarea procesului biologic este dependentă de menținerea unor parametri constanți la intrarea apei uzate în instalația de epurare. Apariția unor șocuri temporare va conduce la reducerea parametrilor de sedimentare a nămolului, dezintegrarea nămolului activ, majorarea concentrației suspensiilor solide în efluent și în final la completa blocare a procesului.

Procedeele biologice de epurare se desfășoară în condiții naturale (lagune, iazuri biologice, fermentare aerobă), condiții naturale forțate (lagune aerate) sau în regim artificial. În condiții artificiale se pot desfășura procedee în peliculă biologică – filtre biologice, echipamente cu peliculă aderentă sau procedeul cu nămol activ.

Elemente de fiziologie bacteriană

Epurarea biologică a apelor uzate presupune: a) contactul celulei cu substanța organică în sistemul apos; b) transferul moleculelor de substanță prin membrana celulară de la mediul polifazic în celulă, dacă mărimea lor permite

aceasta – în caz contrar apare mai înainte scindarea moleculei; c) metabolismul specific bacteriei care conduce la degradarea substanței organice.

Metabolismul bacterian reprezintă totalitatea proceselor implicate în activitatea biologică a unei celule prin intermediul cărora energia și elementele nutritive sunt preluate din mediul înconjurător și utilizate pentru biosinteză și creștere ca și pentru alte activități fiziologice secundare – mobilitate, luminiscentă etc.

Procesele biochimice din celula vie, numite **metabolism**, pot fi separate, după modul de utilizare a energiei în: a) **proces de dezasimilație sau catabolism** – consumatoare de materii organice și producătoare de energie în urma degradării substanțelor (exoterme); b) **proces de asimilare sau anabolism** – ce cuprind reacțiile care conduc la sintetizarea unui material celular nou pe baza energiei eliberate în faza de catabolism (endoterme). În ambele faze reacțiile biochimice, deosebit de complexe, sunt conduse în trepte succesive, fiecare treaptă fiind catalizată de enzime specifice.

În procesul de catabolism apar trei faze distincte: a) macromoleculele sunt descompuse în unitățile lor de construcție – proteinele la aminoacizi, grăsimile la glicerină și acizi grași, glucidele la hexoze, pentoze etc.; în această fază se degajă circa 1% din energie care se disipează prin energie termică; b) moleculele din faza anterioară sunt transformate în alți produși – metaboliți – cu formarea de dioxid de carbon și apă; rezultă circa o treime din energia conținută în substanțele nutritive; c) faza a treia se poate desfășura în două moduri: c1 – substanțele nutritive sunt degradate până la dioxid de carbon și apă proces din care rezultă o mare cantitate de energie; c2 – substanțele nutritive sunt descompuse numai parțial formându-se produși intermediari de fermentație cu obținerea unei cantități mai mici de energie.

În procesele de asimilație materialele nutritive, rezultate din etapa de dezasimilație, sunt încorporate în substanța proprie a unui organism. Procesele de sinteză sunt posibile datorită enzimelor specifice și prezenței în celula vie a materialelor genetice care joacă rol de model în biosinteză. Asimilația se realizează prin asamblarea în macromolecule a aminoacizilor și a bazelor nucleice în macromolecule cu caracter specific – proteine, acizi nucleici. Reacțiile sunt catalizate de sisteme enzimatiche.

Enzimele sunt catalizatori biochimici, proteine simple sau asociate – proteide, produși de celula vie. O serie de enzime se găsesc în mod permanent în celulă – enzimele constitutive. Pentru degradarea diferitelor substanțe organice – denumite în practică **substrat** o deosebită importanță o au enzimele adaptative sau induse.

Noțiunea de **substrat** – substratul dezvoltării microorganismelor din nămolul activ – este mult mai largă. Ea cuprinde ansamblul substanțelor și elementelor din apă necesare creșterii biomasei. Substratul conține: a) elemente principale: carbon și compușii săi, hidrogen, oxigen, azot – înglobate în substanțe organice; b) elemente secundare: fosfor, potasiu, sulf, magneziu; c) vitamine și hormoni; d) oligoelemente: fier, nichel, cobalt etc.

Activitatea enzimatică a microorganismelor, ca și inhibiția acesteia, constituie activitatea cheie în procesul degradării biochimice a impurităților organice din apele uzate. Cele mai multe enzime sunt localizate în interiorul celulei vii – enzimele intracelulare; unele sunt eliberate în mediul înconjurător – enzimele extracelulare. În general, acestea din urmă catalizează reacții biochimice de hidroliză care scindează moleculele prea mari – lanțurile macromoleculare – pentru

a trece prin membrana celulară, în unități mai mici capabile să pătrundă în interiorul celulei vii și să intre în circuitul reacțiilor metabolice (de exemplu amilaza scindează amidonul în maltoză). În interiorul celulei unitățile materiale care au pătruns prin membrană sunt folosite, pe de o parte, la obținerea energiei în cadrul reacțiilor de dezasimilație, iar pe de altă, la crearea unui material celular nou în faza de asimilație.

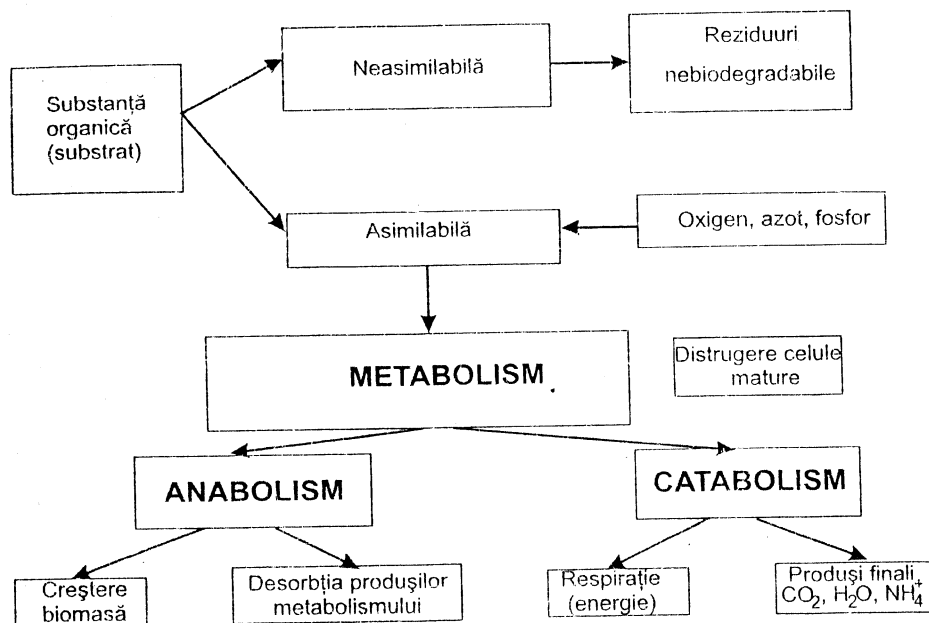


Fig. 2.1. Schema procesului de metabolism în regimul aerob.

Principalul fenomen producător de energie, în timpul reacțiilor metabolice de dezasimilație, este formarea apei prin oxidarea biochimică a substanțelor organice. Energia produsă în această fază este utilizată pentru: 1. sinteza unui material celular nou; 2. mișcarea celulelor – mobilitate; 3. respirație. Reacțiile de dezasimilație sunt catalizate de enzime ale proceselor de oxido-reducere, așa numitele enzime ale lanțului respirator. În cazul în care reacțiile de oxido-reducere din interiorul celulei, reacțiile de respirație celulară, se fac în prezența oxigenului molecular, reacțiile sunt de aerobioză în care se eliberează ca metaboliți în principal: dioxid de carbon, apă, și produși de oxidare ai azotului și sulfului (prin termenul de metaboliți se înțeleg substanțele care rezultă în urma procesului de metabolism – produși ai metabolismului).

Reacțiile biochimice din mediul aerob produc mai multă energie decât cele din anaerobioză. De exemplu, prin oxidarea glucozei în mediul aerob rezultă $C_6H_{12}O_6 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + 1,624 \text{ kJ}$, iar în cel anaerob $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CO_2 + 2C_2H_5OH + 0,053 \text{ kJ}$. Reacțiile prezentate sunt efectuate în trepte complicate (de exemplu, în mediul anaerob sunt 12 reacții succesive) fiecare treaptă fiind

catalizată de enzime specifice. Apare, astfel, un sistem molecular multiplu format dintr-un șir de reacții catalizate de enzime specifice.

Eliberarea unei cantități mai mici de energie, în reacțiile din mediul anaerob, conduce la sinteza unui volum mai redus de material celular, deci la creșterea mai slabă a suspensiei bacteriene. De exemplu, pentru obținerea drojdiei din 100 kg zahăr se formează: a) în mediul aerob 27 kg substanță celulară uscată + $CO_2 + H_2O$; b) în anaerobie 5 kg substanță celulară uscată + 48 kg alcool + CO_2 . Dioxidul de carbon, metabolit comun celor două moduri de metabolism, provine din decarboxilarea acizilor organici formați în urma fixării moleculelor de apă în timpul reacțiilor de dezasimilație. Așadar, oxigenul din dioxidul de carbon provine din apă; numai oxigenul din moleculele de apă, produsul final al respirației aeriene, provine din aer. În acest caz celulele vii consumă oxigen pentru satisfacerea necesităților metabolice în degradarea substanțelor organice (respirație de substrat), dar și în absența aportului de materii organice pentru menținerea activităților vitale (respirație endogenă).

Organismele care produc oxidarea substanțelor organice din apele uzate fac parte din următoarele grupe: a) *obligat aerobe* – reacțiile de oxido-reducere (respirație) fiind efectuate numai în prezența oxigenului; b) *facultativ aerobe* – reacțiile se petrec fie în prezența oxigenului, fie în absența lui; c) *obligat anaerobe* – reacțiile se desfășoară numai în absența oxigenului (fermentație), mai mult oxigenul este toxic pentru organismele respective.

Procesul biologic aerob, proces biochimic cu oxigen în exces, are două faze: a) *faza de carbon* care începe imediat și durează un interval de timp determinat de compoziția, concentrația și temperatura – pentru 20° durează aproximativ 20 zile; b) *faza azotului* care începe mai târziu, după 4...5 zile și durează de 3...4 ori mai mult – pentru 20° începe după 10 zile și se desfășoară pe 70...100 zile.

Viteza de consum a substanței organice dL/dt se adoptă egală cu produsul dintre concentrația de substrat și concentrația microorganismelor S care, la rândul ei, este proporțională cu concentrația în materie organică L . Așadar, este valabilă legea $dL/dt = KL^n S^m$. Datorită faptului că valorile lui K , n , m sunt greu de apreciat se consideră, de regulă, expresia $dL/dt = KLS$.

Din punctul de vedere al modului cum se realizează nutriția organismelor vii acestea se clasifică în: 1. **Autotrofe** – cele care își fabrică singure hrana cu următoarele subdiviziuni: 1.1. *holotrofic* sau *fototrofic* – cazul plantelor verzi capabile de a realiza fotosinteza; 1.2. *chemotrofic* – bacterii care obțin energia din metabolizarea hidrogenului sulfurat la sulf și apoi la sulfat; 2. **Heterotrofe** – organisme vii care preiau hrana fabricată de altele, cu: 2.1. *holozoic* – viețuitoare care digeră intern hrana; 2.2. *sepoitic* – viețuitoare care adsorb hrana direct din mediul (nu au sistem digestiv); 2.3. *parazitic*; 3. **Mixotrofe** – caracter mixt – de exemplu plantele insectivore.

O importanță deosebită pentru reacțiile biochimice catalizate de enzime o prezintă posibilitatea influențării vitezelor de reacție. Modificatorii – substanțele chimice care produc variații ale vitezei de reacție – pot acționa în ambele sensuri. Unii ioni, de exemplu Cl^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} etc., acționează în sensul creșterii vitezei – activatorii – prin legarea substratului de enzimă sau prin stabilirea unor complexe implicate în succesiunea reacțiilor.

Inhibiția este acțiunea pe care o au unele substanțe, compuși chimici, elemente chimice sau fenomene mecanice, electrice, hidrodinamice asupra fiziologiei bacteriene cu efect de încetinire a metabolismului sau chiar letale. Factorii fizici care pot produce inhibiție sunt: agitație mecanică violentă, ultrasunete, radiații violete, temperatura ridicată sau foarte joasă, șocurile de presiune-depresiune care pot distruge membrana celulară, turbulența accentuată etc. Temperatura optimă este de 15...20°C. Fiecare enzimă are o temperatură optimă de activitate; sub această temperatură reacția catalizată se desfășoară prea încet, iar peste poate apărea inactivitatea termică datorată denaturării proteinei.

Inhibiția enzimatică poate avea efecte hotărâtoare în epurarea biologică a apelor uzate, deoarece pot apărea randamente slabe de purificare. Acțiunea factorilor de inhibiție poate fi apreciată cantitativ fie prin măsurarea vitezei de utilizare a substratului, fie prin precizarea parametrilor cinetici la obținerea produșilor. Reacția inhibitorilor poate să fie de natură chimică sau alterează nivelurile de energie reciproce și este deosebit de complexă deoarece atacă atât substratul, coenzimele, cât și denaturează substanțele organice – de exemplu proteinele. Totodată unele substanțe chimice pot produce precipitarea enzimelor sau blocarea unor elemente componente ale acestora. Între acești factori se nominalizează cei de mediu ai biomasei: a) **reacția apei** – fiecare enzimă are o activitate maximă la un pH optim care, funcție de tipul acesteia, poate varia între 1,5 și 11; astfel sulfobacteriile conțin enzime capabile să acționeze la pH-uri mai mici ca 1, iar algele au enzime care pot deveni active la pH = 10...11; în general, pH-ul optim se situează în zona neutră sau ușor acidă; b) **substanțele toxice** pot scădea randamentul sintezei enzimelor, ele acționând ca inhibitori; acțiunea substanțelor toxice este dependentă de natură, concentrație, timp de contact, caracteristicile mediului format de apa uzată, condiția fiziologică a microorganismelor etc.

În cazul concentrațiilor foarte mari de substrat apare o scădere progresivă a vitezei de reacție până la anularea acesteia; fenomenul poartă denumirea de **inhibiție de substrat**. În acest caz se formează mai multe mecanisme printre care se menționează fixarea mai multor molecule de substrat pe cea a enzimei și deci se produce atenuarea reacțiilor.

Inhibiția de produs apare atunci când produșii de reacție au concentrații foarte mari și pot reduce semnificativ viteza reacțiilor enzimatică. Datorită reversibilității reacțiilor enzimatică produșii devin substratul reacției inverse – produsul se fixează de enzimă blocând accesul substratului.

Parametrii care limitează sau blochează creșterea și dezvoltarea culturii bacteriene sunt denumiți **factori limitativi**. Factorii limitativi ai microorganismelor utilizate în procesul de epurare biologică sunt: temperatura, pH-ul soluției apoase, oxigenul dizolvat, presiunea osmotică, cantitatea de hrană – concentrația substanțelor organice, nutrienți.

Dinamica populației microbiene

Monod a efectuat cercetări asupra unei specii bacteriene dezvoltată pe un substrat unic. În acest mod el a conceput modelele teoretice de creștere bacteriană care, cu mici modificări, stau la baza relațiilor folosite la epurarea apelor uzate în procesul cu nămol activ. Creșterea bacteriană se exprimă prin concentrație celulară – numărul de celule individuale pe unitatea de volum a culturii de microorganisme. Concentrația se mai poate exprima în densitate bacteriană,

respectiv greutatea masei bacteriene uscate pe unitatea de volum a culturii. Ea poate fi determinată prin metoda optică, turbidimetrică, metoda de dozare a azotului proteic sau prin evaluarea consumului de oxigen în activitatea metabolică.

Dinamica multiplicării populației microbiene arată că aceasta se dublează la intervale regulate de timp; așadar, legea este o progresie geometrică cu rația 2, conform expresiei $N_n = 2^n N_0 = 2^{n/t} N_0$, în care n este numărul de generații, N_0 , N_n – numărul de indivizi bacterieni la momentul inițial și după intervalul t de timp, r – rata creșterii – viteza de înmulțire a indivizilor bacterieni.

Timpul de generație t_g reprezintă timpul necesar dublării populației. El depinde de temperatură, nutrienți, pH-ul apei, oxigenul dizolvat etc., dar în condiții favorabile de mediu el este o constantă $t_g = \Delta t/n$, unde Δt este intervalul de timp.

Rata creșterii r – reprezintă numărul de generații formate în unitatea de timp $r = n/\Delta t = 1/t_g$. Ea rezultă din ecuația dinamicii în timp, $\log_2 N/N_0 = rt$, sau

$$r = \frac{1,443}{t} \ln \frac{N}{N_0}$$

În funcție de temperatură, microorganismele se divid în patru grupe fiziologice: 1. criofile; 2. mezofile; 3. termofile. Bacteriile criofile sunt cele care acoperă domeniul temperaturilor joase sub 20°C. Bacteriile mezofile trăiesc în zona temperaturilor medii 20...45°C; pentru fermentarea anaerobă zona optimă este de ordinul 30...38°C. Bacteriile termofile trăiesc în domeniul de temperaturi mai mari de 45°C, cu un optimum între 49 și 51°C.

Degradarea impurităților organice depinde de creșterea nestingherită a bacteriilor; sinteza este apreciată la 40...60% din substanța organică asimilabilă existentă în apa uzată. Creșterea masei celulare se datorește sintezei materialelor de rezervă în principal hidrați de carbon și în al doilea rând proteinelor. În cazul în care aportul de substanță organică asimilabilă este insuficient masa bacteriană se autooxidează prin respirație endogenă.

În condiții statice faza exponențială nu durează mult deoarece, pe de o parte, cantitatea de substanțe nutritive limitează cinetica procesului, iar pe de alta crește concentrația produșilor de metabolism evacuați în mediu până la valori care împiedică menținerea vitezei maxime de creștere și înmulțire a bacteriilor. În acest echilibru, care apare între substratul disponibil prelucrării și creșterea masei bacteriene, se poate stabili o corelație conform expresiei lui Monod pentru viteza de creștere specifică

$$\mu = \mu_m \frac{L}{L_s + L}, \quad (2.1)$$

în care μ este o constantă specifică – cantitatea de celule produse în timp raportată la cantitatea de celule existentă, μ_m este viteza specifică maximă în condiții ideale în care cantitatea de substrat există din abundență, L_s constanta de saturație numeric egală cu valoarea concentrației substratului la care viteza specifică este jumătate din valoarea maximă, L valoarea concentrației mediate (constante) a substratului. Parametrii cinetici μ_m și L_s se presupun a fi constanți pentru un anumit sistem de celule unice.

Prin înlocuirea expresiei (2.1) în ecuația diferențială a concentrației se obține viteza de creștere a biomasei

$$\frac{dS}{dt} = S \mu = S \mu_m \frac{L}{L_s + L} \quad (2.2)$$

Ecuția este folosită la calculul reactoarelor biochimice de epurare cu funcționare continuă – instalațiile de epurare cu nămol activ. Cercetările au arătat că la valori mai mici decât o anumită concentrație a substratului viteza de creștere a microorganismelor în faza exponențială va depinde de cantitatea de materie organică. La concentrații mici ale substratului creșterea biomasei este reprezentată printr-o ecuație cinetică de ordinul I, în timp ce la cantități mari de substanță organică corelația se poate exprima sub forma unei relații de ordinul zero $dS/dt = \text{constant}$.

Corelația dintre creșterea culturii bacteriene și cea a scăderii substratului a fost exprimată de Monod sub forma

$$\frac{dS}{dt} = -a \frac{dL}{dt} - bS, \quad (2.3)$$

unde a reprezintă factorul de conversie a substratului în material celular (randament celular – coeficient cinetic definit prin raportul dintre masa de celule formate și cea a substratului consumat măsurate pe o perioadă finită din faza exponențială), iar b – constanta de distrugere a celulelor mature. Pentru celule tinere, viguroase ecuația conține numai primul termen din membrul drept, în timp ce în cazul microorganismelor mature apare și termenul de distrugere. Factorul de conversie sau coeficientul de producție celulară reprezintă raportul dintre masa bacteriană produsă și cantitatea de substrat utilizată. Valorile factorului de conversie depind în principal de natura materiei organice supuse procesului de

degradare biochimică; de exemplu: $a = 0,45 \dots 0,85 \left[\frac{\text{kgO}_2}{\text{kgCBO}_5} \right]$ în cazul glucidelor, $a = 0,39 \dots 0,66$ – alcoholi, $a = 0,32 \dots 0,68$ pentru aminoacizi, $a = 0,15 \dots 0,98$ – acizi organici. Pentru constanta b se dau valorile: $b = 0,4 \dots 0,7 \left[\frac{\text{kgO}_2}{\text{kgssuzi}} \right]$ în cazul culturilor pure și, respectiv, $b = 0,1 \dots 0,05$ pentru nămolul activ – culturi mixte.

Respirația endogenă este procesul prin care organismele vii oxidează o parte din masa celulară proprie în locul materiei organice noi adsorbită din mediu – autooxidarea masei celulare.

Nămolul mai tânăr, în faza exponențială de dezvoltare, îndepărtează mai activ substanțele organice, dar nămolul bătrân conduce la eficiențe ridicate de epurare datorită sedimentabilității mai bune și a posibilităților de adaptare mai rapidă și ușoară la șocurile încărcării.

Factorii care afectează activitatea bacteriană sunt: a) temperatura; b) lumina; c) umiditatea; d) agenții bacterieni; e) agenții bacteriostatici; f) anti-metaboliții.

Temperatura. Fiecare specie de bacterie are o temperatură optimă de creștere. Valorile mici nu distrug bacteriile, dar reduc viteza de creștere.

Lumina. Anumite lungimi de undă ale luminii, în special cele apropiate de spectrul ultraviolet, pot distruge celulele vii.

Umiditatea. Bacteriile se pot reproduce și pot avea un ciclu de viață normal numai în condițiile existenței unei soluții apoase.

Osmoza. Este un fenomen fizic ce apare ca urmare a diferențelor de concentrație a substanțelor solubile existente de ambele părți ale membranei celulare. Dacă concentrația sărurilor dizolvate este mai mare în exteriorul celulei decât în interior apa din celulă tinde să echilibreze diferența ceea ce poate conduce la distrugerea celulei vii. În sens invers, concentrații mai mari la interior, pot conduce, de asemenea, la efecte de distrugere.

Germicidele și agenții bacteriostatici. Germicidele sunt substanțe care distrug bacteriile prin contact, iar agenții bacteriostatici sunt compuși chimici ce împiedică reproducerea celulelor. Prezența lor în mediul apos poate conduce chiar la stingerea procesului metabolic.

Antimetaboliți. Sunt substanțe chimice care distrug sau alterează agenții metabolici sau de creștere – factori esențiali pentru viața normală a celulelor bacteriene.

Parametrii care influențează procesul biologic

Biodegradabilitatea este un parametru de calitate al substratului. Biodegradabilitatea se definește prin calitatea unei substanțe organice de a fi degradată prin mijloace biologice într-un anumit interval de timp. Apele uzate ușor biodegradabile sunt caracterizate prin rapoarte mici $\text{CBO}_5/\text{CCO}_5$. Biodegradarea reprezintă procesul prin care o substanță organică este total eliminată datorită activității metabolice a unei culturi de microorganisme sau își pierde, în măsura convențional stabilită, proprietățile nocive. Anumiți compuși organici sunt greu biodegradabili sau chiar refractari la activitatea biochimică, în timp ce alte substanțe pot fi toxice pentru bacterii.

Termenii care se folosesc în tehnica epurării biologice sunt: a) degradabilitate biologică; b) persistență; c) recalcitrantă; d) mineralizare.

Degradabilitatea biologică este reprezentată prin posibilitatea ca un material organic să fie schimbat datorită acțiunii biochimice a unei populații microbiene în alt compus; aceasta nu înseamnă neapărat că noul produs este mai puțin toxic decât cel inițial.

Persistența este o proprietate condițională a substanței organice în sensul că aceasta poate fi degradată biologic numai dacă sunt îndeplinite anumite condiții de circumstanță care favorizează dezvoltarea procesului biochimic.

Recalcitranta – termenul se referă la o substanță organică care nu poate fi degradată biologic în orice condiții sau ea însăși are o rezistență foarte puternică la acțiunea biochimică a biomasei.

Mineralizarea reprezintă conversia completă a compușilor organici până la ultimii produși ai degradării biologice dioxid de carbon și apă.

Biodegradabilitatea este o noțiune deosebit de complexă deoarece caută să lege substanța organică de activitatea biomasei și de valorile parametrilor de mediu în care se dezvoltă microorganismele. Substanța influențează biodegradabilitatea prin caracteristicile structurale tridimensionale ale moleculei, proprietățile fizico-chimice, precum și modul cum reacționează cu enzimele. Acest ultim aspect – relația cantitativă dintre structura chimică și activitatea biochimică a materialului celular – deosebit de importantă în aprecierea biodegradabilității, nu

este încă complet detinită. Din acest motiv, exprimarea cantitativă a biodegradabilității se face indirect. Condițiile de mediu în care se desfășoară procesul au o mare importanță în aprecierea biodegradabilității, deoarece o substanță ușor biodegradabilă nu va fi degradată efectiv decât dacă valorile parametrilor fizico-chimici permit desfășurarea activității.

Principali parametri de biodegradabilitate sunt: a) pH = 6...8; b) raport optim între încărcarea organică CBO_5 și principalele elemente nutritive azot și fosfor; c) raport CBO_5/CCO_{Cr} inferior valorii 2,6; o valoare mai mică indică o viteză mare de biodegradare; d) CBO_{20}/CBO_5 inferior lui 1,5; o valoare mai mare indică o viteză foarte lentă de biodegradare; e) indice de inhibare negativ -- eventuala prezență a inhibitorilor; f) indice de biodegradare relativă apreciat prin raportul vitezei de degradare a materiei organice studiate și cea a vitezei unei ape uzate urban standard.

Pentru a identifica legătura existentă între substrat și eficiența de epurare s-au introdus noțiunile: viteză specifică de biodegradare, grad sau prag de biodegradare, probabilitate de biodegradare.

Viteza specifică de biodegradare este un parametru cinetic important în caracterizarea biodegradabilității unei substanțe. Ea se definește prin cantitatea de substrat îndepărtată de unitatea de biomasă în unitatea de timp. În cazul în care o substanță organică este greu biodegradabilă, ea se degradează cu viteză scăzută și nu va putea fi eliminată din apă ajungând în emisar unde se va continua procesul în timp cu un consum al rezervelor de oxigen din masa de apă. Această mărime depinde de: a) natura, structura și mărimea moleculelor organice; b) mărimea și natura catenelor; c) grupurile funcționale prezente în molecule și modul de legare la atomii de carbon; d) capacitatea de adaptare a microorganismelor la degradarea substanțelor prin sinteza uneia sau mai multor enzime specifice degradării substratului respectiv.

Așadar, se poate considera că instalația de epurare este corect dimensionată și exploatată dacă în timpul de retenție estimat se reușește eliminarea substanțelor organice. Aceasta impune un studiu atent al biodegradabilității substanțelor organice astfel încât să se coreleze viteza de degradare biologică cu regimul hidrodinamic de curgere și amestecare a mediului polifazic având ca rezultat pierderea caracterului nociv al materiei organice în măsura convențional stabilită. În acest mod se va reuși ca substanța organică să fie degradată în măsura acceptată într-un interval util de timp apreciat corect și nu pe o durată oarecare.

Tratabilitatea biologică a apei uzate. În apele uzate apar multe tipuri de substanțe organice cu diferite caracteristici de biodegradabilitate care, evident, în mediul polifazic pot influența proprietățile amestecului. În unele cazuri substanțele ușor biodegradabile pot favoriza și accelera degradarea celor mai greu biodegradabile, iar în altele celulele descompun pe cele ușoare, cele grele trec nealterate sau chiar se generează o inhibiție de substrat.

Tratabilitatea biologică a apei uzate se poate defini prin capacitatea materiei organice de a fi degradată în corelație cu capacitatea biomasei de a reuși descompunerea acesteia în timpul afectat procesului. Acest termen presupune stabilirea condițiilor fizico-chimice, biodegradabilitatea substanțelor organice, capacitatea genetică a microorganismelor de a degrada materia organică, timpul de operare, creșterea biomasei ca urmare a proceselor de asimilare.

Tratabilitatea substanțelor organice se poate exprima prin: a) degradarea substanțelor organice totale din apă – determinată pe baza testelor CCO sau COT; b) îndepărtarea substanțelor organice asimilabile – precizată prin CBO_5 . În proces, variația concentrației suspensiilor volatile și a materiilor în suspensie indică modul de creștere și dezvoltare a biomasei. Apele uzate se pot considera tratabile biologic dacă se realizează o degradare a substanței organice în limita a 60...90%, iar a materiei organice asimilabile 80...98%.

Symons definește tratabilitatea apei uzate prin valorile raportului CBO_5/CCO_{Cr} . Astfel, dacă $CBO_5/CCO_{Cr} = 0,5...1,0$, apa uzată are o bună tratabilitate, iar pentru $CBO_5/CCO_{Cr} = 0,1...0,2$, apa uzată este dificil de epurat biologic sau conține substanțe toxice. Între aceste valori, $CBO_5/CCO_{Cr} = 0,2...0,5$ se impune adaptarea populației bacteriene la compoziția și concentrația apei uzate – apă uzată cu tratabilitate biologică medie. În decursul procesului de epurare biologică se constată reducerea încărcării organice, exprimată în CBO_5 ; așadar, pe parcursul desfășurării procesului, după 24 ore, va rezulta o majorare semnificativă a raportului CCO/CBO_5 de la 2,5 inițial la circa 60. Această evaluare indirectă a tratabilității deseori nu este suficientă, deoarece în amestecul polifazic există substanțe rezistente la atacul microorganismelor și se acumulează metaboliți deosebit de stabili chimic și biochimic. Din acest motiv la aprecierea tratabilității apelor se recomandă efectuarea testelor de laborator corelat cu celelalte caracteristici ale apei culoare, spumare, toxicitate etc.

Determinarea biodegradabilității în laborator se face prin însămânțarea probei de apă uzată cu nămol activ și punerea amestecului în condiții normale de agitație, respectiv aerare. Dacă după 28 de zile, prin măsurarea concentrației poluanților, se constată reducerea cu peste 80% se poate aprecia că apa uzată este tratabilă biologic.

Evaluarea biodegradabilității se face pe baza datelor experimentale care arată că pentru un gram CCO, prin degradarea aerobă a substratului organic, rezultă 0,4 grame de material celular, iar un gram de biomasă pe zi consumă circa 0,1 grame de oxigen în respirație endogenă. Așadar, se poate scrie ecuația de bilanț $CBO_5 = \text{oxigen pentru dezvoltarea biomasei pe } 1...2 \text{ zile} + \text{oxigen necesar respirației endogene a biomasei formate în } 3...4 \text{ zile}$, sau $CBO_5 = 0,65 C\dot{C}O$.

Dacă se ia în considerare factorul de îndepărtare a substratului prin metabolism celular, F , atunci se poate scrie $CBO_5 = 0,65 F C\dot{C}O$, unde valorile lui F diferă funcție de compoziția și concentrația apei uzate (de exemplu, pentru ape uzate urbane $F = 0,9$, ape deversate de industria alimentară $F = 0,75$, tăbăcării $F = 0,15$, industria textilă $F = 0,72$, celuloză și hârtie $F = 0,55$).

2.2. Procedee de epurare biologică în regim natural

În regim natural epurarea biologică se desfășoară de obicei fără recirculare, pe câmpuri de irigare și filtrare, filtre de nisip, câmpuri de infiltrare subterană, iazuri de stabilizare sau iazuri biologice. Toate aceste metode asigură

grade înalte de epurare 95...99%, dar prezintă dezavantajul unei suprafețe mari de teren ocupate sustrase circuitului agricol. Ele de fapt constituie prima metodă de epurare utilizată de romani la purificarea apelor de la palatele racordate la o rețea primitivă de canalizare. Apele uzate erau dirijate spre zone mlăștinoase cu plantații de stuf.

În stațiile de epurare a apelor uzate se folosesc procedee biologice artificiale care se desfășoară în bazine – reactoare – din bazin.

2.3. Procedeele de epurare aerob cu nămol activ, în regim continuu, cu recirculare

Dacă apa uzată menajer sau o altă apă cu încărcare organică este aerată, după un interval de timp, se formează flocoane brune care sedimentează în momentul întreruperii oxigenării și agitării. Perioada de apariție a flocoanelor sedimentabile, de culoare galben-brun până la brun-negru, variază de la 3...6 zile la câteva săptămâni. Apa uzată (fig. 2.2), după o decantare prealabilă, intră într-un bazin – bazin de aerare – unde este supusă contactului cu flocoanele de nămol activ.

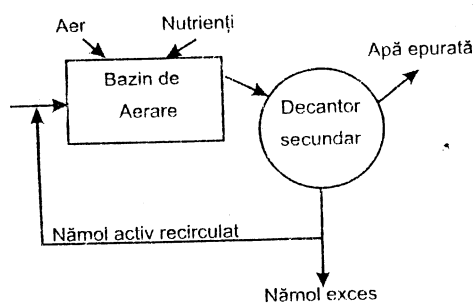


Fig. 2.2. Schema procesului convențional cu nămol activ.

tează, ca nămol în exces, din decantor la gospodăria de nămol.

Procesul de epurare biologică cu nămol activ, descoperit de Arden în 1914 și aplicat pentru prima dată în 1916 la Worcester, presupune următoarele: 1. realizarea contactului dintre nămolul activ și apa uzată decantată în prezența nutrienților – azot și fosfor; 2. omogenizarea și amestecarea continuă a amestecului polifazic pentru reducerea gradientilor de concentrație și realizarea contactului pe o perioadă de timp necesară procesului de mineralizare a materiei organice; 3. separarea nămolului activ de soluția apoasă și reîntoarcerea unei părți din nămol în bazinul de aerare; 4. extragerea nămolului excedentar și îndepărtarea lui din sistem astfel ca în aerotanc să se realizeze concentrația prescrisă de nămol. Agenții de inhibare ai procesului cu nămol activ sunt: petrolul, cromul, arsenul, cianurile, detergenții. Creșterea cantității de biomasă în procesul cu nămol activ permite realizarea eficienței de epurare la îndepărtarea substanțelor organice.

De fapt fluidul polifazic din bazinul de aerare conține cinci componente dispersate în masa de apă. Acestea sunt: 1. Suspensii solide anorganice și inerte care nu au fost reținute în decantorul primar; 2. Suspensii solide inerte produse prin moartea microorganismelor vii; 3. Substanțe organice poluante; 4. Materii organice nedegradate ce provin din moartea microorganismelor vii; 5. Biomasă activă.

Un parametru cantitativ al procesului se referă la materiile în suspensie din bazinul de aerare. Acestea sunt reprezentate de materii anorganice și organice ca substanță vie sau fără viață. **Substanța solidă uscată** (s.s.u.) sau simplu (s.u.) reprezintă totalul materiilor în suspensie prezente în masa de apă – reziduul fix la 105°C. Substanțele organice se determină prin calcinare la 600°C – reziduul uscat. La această temperatură dispăre o cantitate din materia organică care se denumește substanță volatilă sau materii volatile în suspensie – parametru care reflectă cantitativ (global), alături de CCO și CBO₅, procesele ce apar în epurarea biologică cu nămol activ.

Termenul de nămol activ, introdus de Arden și Lockett, consideră cauză și efectul de autoepurare a unei ape poluate, suficient aerată și agitată, în prezența microorganismelor. La o concentrație a biomasei din bazinul de aerare de 1000...8000 mg/l, într-un proces corect condus, va rezulta o concentrație în biomasă în nămolul de la ieșirea din decantor de 6...15 gr/l. Decantorul secundar din schemă reține nămolul activ cu o eficiență de 25...80%; el nu poate să rețină microorganismele izolate. Procentul de nămol recirculat este de 25...200% din debitul tratat, valori la care se dimensionează pompele.

În instalațiile de epurare cu nămol activ trebuie asigurat un echilibru între mineralizarea rapidă a substanțelor organice – care impune o dezvoltare rapidă a microorganismelor – și formarea flocoanelor prin concentrarea celulelor vii din sistemul apos – ce apare la viteze mici de creștere a celulelor. Acest echilibru se realizează prin recircularea nămolului reținut în decantorul secundar.

Calculul tehnic, relativ la instalațiile biologice de epurare cu nămol activ, au în vedere: 1. calculul timpului de retenție și al volumului reactorului biologic funcție de biodegradabilitatea materiilor organice; 2. calculul necesarului de oxigen în proces funcție de necesitatea de oxidare și arnestecare; 3. calculul randamentului de epurare al procesului biologic; 4. calculul încărcării hidraulice în decantorul secundar pentru separarea nămolului și deci precizarea suprafeței în plan de sedimentare; 5. calculul cantității de nămol recirculat și în exces care trebuie îndepărtat.

Instalația de epurare continuă cu nămol activ se bazează pe următoarele condiții: a) timp redus de contact între microorganismele din biomasă și substrat; b) concentrații mari de microorganisme; c) contact perfect între biomasă și substrat prin amestecare în regim permanent turbulent la temperaturi variabile; d) concentrații mici ale oxigenului dizolvat în mediul polifazic, sub 2 mg/l; e) capacitatea flocoanelor de nămol activ de a se depune în decantorul secundar.

Capacitatea de separare a nămolului activ în decantorul secundar are o mare importanță în funcționarea corectă a instalației. Proprietățile slabe de sedimentare conduc la pierderea de biomasă, la un efluent nestabilizat și la reducerea concentrației de nămol activ în bazinul de aerare. În practică, capacitatea de separare se apreciază prin testul indicelui de volum a nămolului I.V.N. sau IM –

noțiune introdusă de Mohlman – devenit test standard datorită simplității. Dacă $IVN = IM = 50 \dots 100$, există un nămol activ normal care prezintă o bună capacitate de sedimentare. Pentru $IVN = 80 \dots 120$ rezultă un nămol satisfăcător în procesul biologic. În cazul în care IVN este superior valorii de 200 va exista un nămol umflat, cu o capacitate redusă de compactare, și efluentul va conține particule organice. Umflarea trebuie asociată cu încărcarea organică mare a nămolului (kgCBO_5/kg suspensii uscate și zi), cu prezența unor impurități specifice de uleiuri minerale, amestecare slabă, concentrații prea mari sau prea reduse de nămol activ în suspensie, timpi de retenție excesiv de mari în decantorul secundar, rapoarte incorecte de încărcare organică și nutrienți etc. Nămolul va sedimenta greu în decantor pentru o aerare excesivă în aerotanc, în situația în care apar bule de fermentație sau dacă este stocat pe o perioadă mare de timp în spații neaerate.

Variantele procesului de epurare cu nămol activ

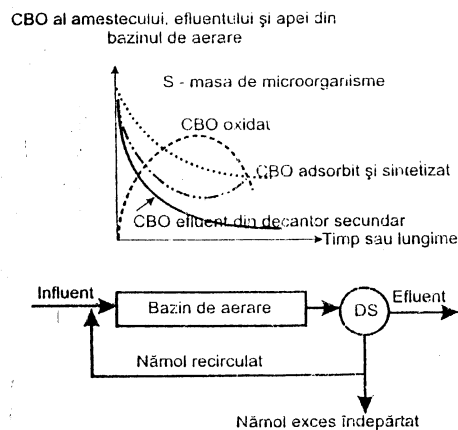


Fig. 2.3. Schema epurării clasice convenționale.

Regimul de curgere din bazinul de aerare este de tip piston, cu amestecare continuă în scopul omogenizării amestecului polifazic și al menținerii flocoanelor de nămol activ în suspensie. Încărcarea nămolului activ este redusă, sub $0,5 \text{ kg CBO}_5/\text{kg}$ suspensii și zi. Necesarul de aer este de $5 \dots 15 \text{ l aer/l apă}$. Timpul de retenție este de $4 \dots 8$ ore. Procentul de nămol recirculat este de 25%.

Nămolul excedentar este de $0,6 \dots 1,2 \text{ kg/m}^3$ apă uzată. Concentrația suspensiilor – nămolului activ – în bazinul de aerare este de $2 \dots 2,5 \text{ kg/m}^3$. Creșterea concentrației de biomasă în bazinul de aerare permite majorarea performanțelor de epurare îndeosebi a eficienței de îndepărtare a substanțelor organice. O variantă a schemei clasice este cea de mare încărcare în care se obține o eficiență de epurare de $60 \dots 80\%$. Ea utilizează timpi scurți de oxidare (mai puțin de 2 ore) pentru ape cu concentrații mari de materii în suspensie $\text{CBO}_5 > 5 \text{ mg/l}$, sau reduse $\text{CBO}_5 < 0,6 \text{ mg/l}$.

Procesul de epurare biologică se poate desfășura în mai multe moduri, după diverse scheme, care diferă prin modul cum vine în contact apa uzată cu nămolul activ, modelul de curgere, cantitatea de nămol care rezultă, încărcarea specifică a nămolului activ, modelul de creștere biologică a microorganismelor etc. De aici rezultă că, teoretic, pot exista o mare varietate de scheme pentru procesul cu nămol activ.

1. *Schema procedurii de epurare clasică, convențională, cu alimentare continuă, de mică încărcare.* În această schemă de epurare (fig. 2.3) apa uzată decantată vine în contact direct cu nămolul recirculat chiar din zona de admisie din reactorul biologic.

2. *Schema distribuției încărcării organice din apă în mai multe puncte amplasate în lungul reactorului biologic.* Schema (fig. 2.4) se caracterizează prin distribuția apei uzate, deci a încărcării organice, în mai multe puncte de-a lungul reactorului biologic. Prin aceasta se anulează șocul de la admisia materiei organice realizându-se o alimentare mai uniformă a biomasei; se va uniformiza și necesarul de oxigen în procesul de degradare. Flocoanele de nămol sunt mai uniform hrănite, scade necesarul de oxigen și procesul se apropie de condițiile de echilibru. Pe această cale se realizează o reducere a volumului reactorului biologic cu $25 \dots 30\%$. Încărcarea nămolului se face în trepte, iar deplasarea hidraulică este crescătoare.

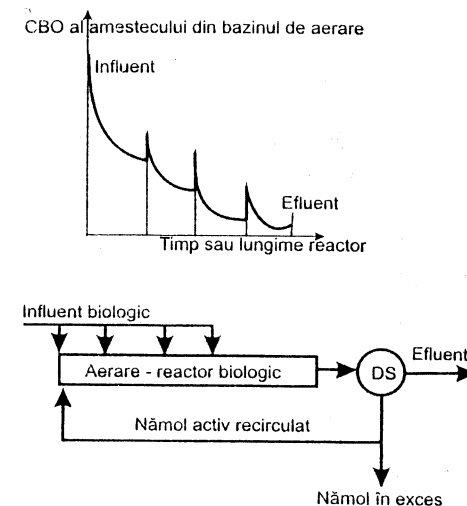


Fig. 2.4. Schema epurării biologice cu distribuția apei uzate – a încărcării organice în mai multe puncte distribuite în lungul reactorului biologic.

3. *Schema distribuției în trepte a substratului din apa uzată și a nămolului recirculat.* Schema din figura 2.5 permite o amestecare foarte bună a apei uzate și a nămolului recirculat pentru însăși mântărea instalației. Se realizează un contact direct și o încărcare uniformă a bazinului cu materii organice. Schema realizează o amestecare completă a mediului polifazic și o încărcare uniformă a nămolului. Se obține și o omogeneitate în regimul hidraulic de curgere. Schema introduce egalitatea operațională în bazinul de aerare prin distribuirea egală a încărcării organice și a nămolului recirculat. Prin distribuția apei și nămolului la suprafața apei din bazin se asigură o aerare suplimentară și o distrugere a spumei. Alimentarea cu hrană – substrat – a biomasei este mai uniformă și deci se elimină șocul de la intrare care apare la procesul convențional. Acest șoc creează mari probleme adaptabilității nămolului activ.

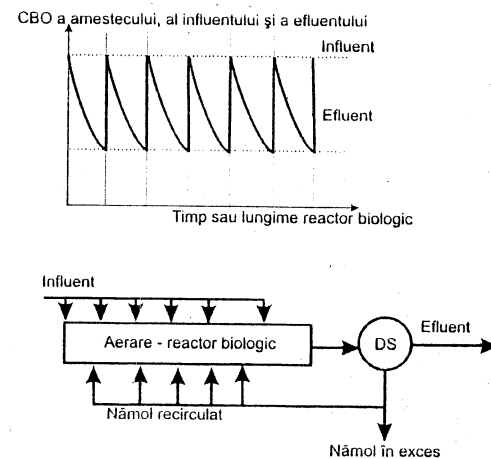


Fig. 2.5. Schema distribuției în trepte a materiei organice și a nămolului recirculat.

4. *Schema epurării apei uzate în două trepte.* Această schemă (fig. 2.6) constă din cuplarea în serie a două trepte de epurare biologică convențională. Așadar, există două bazine de aerare și două decantoare secundare. Nămolul decantat poate fi recirculat în cadrul fiecărei trepte sau pe întreaga instalație. În acest mod capacitatea nămolului de a degrada substanța organică este mai bine folosită. Totodată se realizează o calitate mai bună a nămolului activ și se menține vigoarea acestuia. Schema oferă posibilitatea de realizare a unei eficiențe mai mari de epurare. Schema este recomandată pentru ape uzate cu încărcări mari în materie organică sau atunci când instalația trebuie să funcționeze cu încărcări specifice ale nămolului reduse. Cercetările efectuate de Lindner au demonstrat că într-un sistem de epurare cu nămol activ în mai multe trepte se pot obține performanțe superioare de purificare în raport cu o treaptă unică.

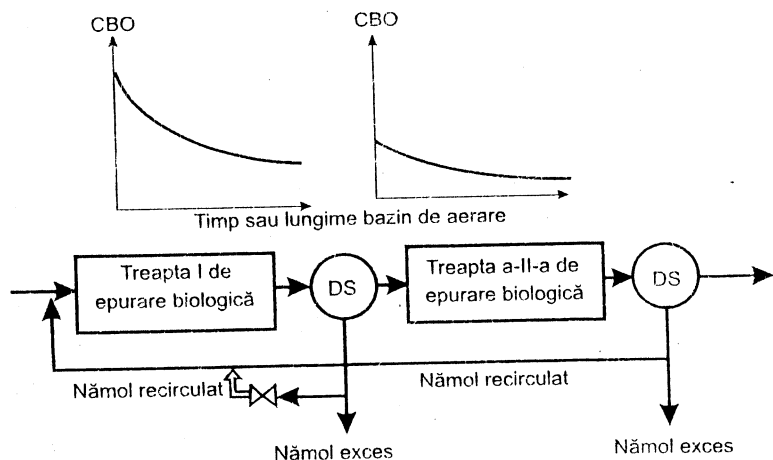


Fig. 2.6. Schema epurării în două trepte.

5. *Schema de epurare biologică cu regenerarea nămolului sau procedeul de stabilizare prin contact.* Această variantă tehnologică (fig. 2.7) este alcătuită dintr-o treaptă clasică, convențională de epurare biologică, urmată de un alt bazin de oxidare a nămolului. Inițial soluția a pornit de la necesitatea de reaerare în scopul îmbunătățirii calității nămolului. Pentru aceasta nămolul extras din decantorul secundar este introdus într-un bazin de oxidare unde se pune în contact nămolul cu oxigenul din aer și cu supernatantul extras din bazinele de fermentare.

Supernatantul – apa din nămol – este folosită drept hrană pentru biomasă. Nămolul este reținut în bazin o perioadă mai lungă de timp necesară pentru reducerea volumului și deci se poate obține o economie de energie la pomparea acestuia. Cercetările moderne au dovedit că în bazinul de aerare eficiența maximă de epurare se realizează în primele 30...45 minute în care materia organică este adsorbită de biomasă și transferată acesteia. După acest interval de timp aerarea nu mai este eficient utilizată. Din acest motiv se consideră utilă separarea nămolului în decantorul secundar și continuarea procesului de mineralizare a substanței

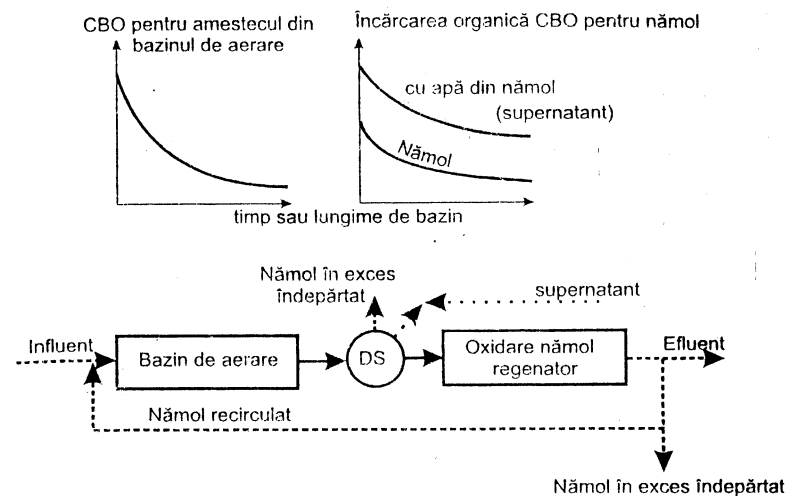


Fig. 2.7. Procedeul de stabilizare prin contact.

organice adsorbite într-un alt bazin. După separarea acestuia, nămolul continuă asimilarea substanței organice până la faza de declin a activității de creștere bacteriană. Acest proces se desfășoară în bazinul de reaerare – regenerare – dimensionat la un volum mai mic corespunzător nămolului separat din apă. Pe această cale se reduce volumul construcțiilor deoarece suma volumelor bazinului de contact și de regenerare este inferioară celui corespunzător bazinului de aerare din soluția clasică. Nămolul din bazinul de reaerare se reîntoarce în instalație, pe circuitul de recirculare, unde va avea o capacitate crescută de adsorbție.

6. *Schema de epurare biologică cu aerare extinsă.* Acest procedeu (fig. 2.8) este similar celui convențional, clasic, cu deosebirea că bazinul are un volum mult mai mare decât cel necesar degradării biologice. În prima porțiune a bazinului se realizează degradarea substanței organice pentru ca apoi, datorită limitării hranei, să se desfășoare procese de stabilizare aerobă a nămolului activ. Practic în acest proces de aerare prelungită se realizează o oxidare totală a materiei organice și o reducere substanțială a cantității de nămol; nu rezultă nămol în exces. Indicele CBO_5 a nămolului este foarte mic corespunzător fazei endogene de descompunere. Modelul de curgere prin bazinul de aerare este de tip piston – deplasare hidraulică uniformă și redusă.

Încărcarea nămolului este redusă. Încărcări mai mari $I_n > 1,2$ sunt aplicate în perioada de amorsare a procesului biologic.

Nămolul activ. Nămolul activ constituie unitatea structurală de bază a procesului. El conține toate speciile care, în activitatea lor comună, pot metaboliza substanța organică până la dioxid de carbon și apă. Privit la microscop un flocon prezintă o structură complicată caracterizată printr-o masă gelatinoasă secretată de microorganisme în care sunt cuprinse numeroase bacterii și substanțe inerte; printre flocoane trăiesc protozoare și unele metazoare. Compoziția populației de

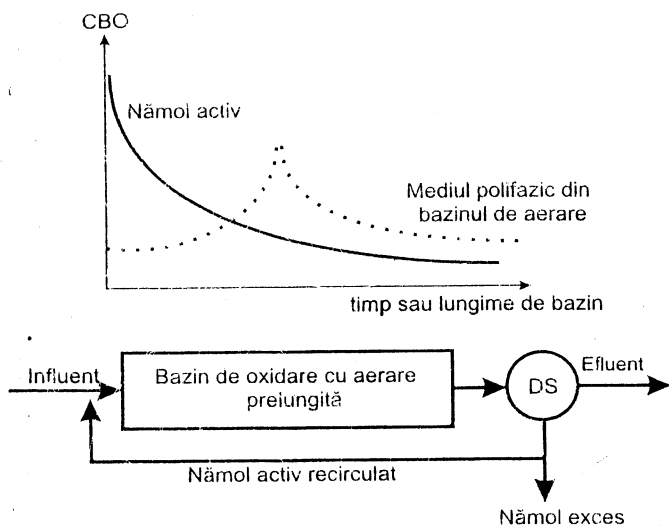


Fig. 2.8. Schema de epurare cu aerare prelungită.

microorganisme variază cu natura substanței organice, concentrația substratului, pH-ul sistemului apos, temperatură, prezența substanțelor toxice, intensitatea mișcărilor hidrodinamice etc.

Mediul de cultură al biomasei este reprezentat prin soluția apoasă (partea lichidă), celulele și compușii insolubili în mediu (partea solidă), precum și gaze ce în totalitate lor creează un amestec polifazic în care se dezvoltă nămolul activ. Rolul principal al mediului de cultură este cel nutritiv. Ansamblul biomasă + mediu de cultură + instalație de proces poartă numele de biosistem.

Nămolul activ poate fi definit prin flocoanele produse în apa uzată datorate creșterii microorganismelor, în prezența oxigenului dizolvat și acumulate în concentrație suficientă pentru substratul existent prin recircularea flocoanelor formate anterior. În componența floconului de nămol activ intră și coloizi din apă, produși metabolici, enzime, fragmente celulare de la bacteriile moarte. Apare un fenomen de floculare biologică, ce aglomerează celulele și care poate duce la creșterea masei floconului, ce este datorat în special polimerilor extracelulari lansați de celula vie.

Microorganismele din interiorul floconului activ efectuează toate reacțiile biochimice numai dacă oxigenul și substratul pot pătrunde până în centrul floconului, unde concentrația de oxigen nu trebuie să scadă sub o valoare critică (fig. 2.9).

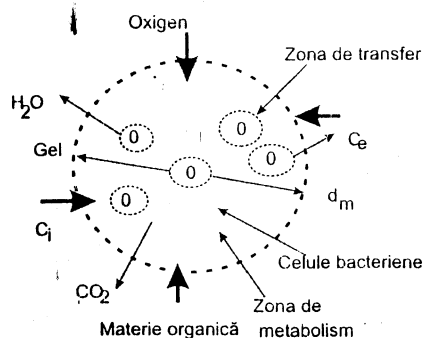


Fig. 2.9. Floconul de nămol activ.

Floconul de nămol activ are o mărime medie de 60...70 micrometri și maximă de 140...290 micrometri și o viteză de sedimentare de 0,30...0,36 mm/s (1,1...1,3 m/oră). Mărimea hidraulică variază în funcție de valoarea indicelui de nămol. Astfel, pentru $IVN = 200...250$ se va dimensiona decantorul secundar la o viteză de sedimentare de $w = 0,5...1,0$ m/h, iar în cazul în care $IVN = 100$ mărimea hidraulică este $w = 2,0...2,5$ m/h.

Bioflocularea nămolului activ, fenomen ce influențează direct caracteristicile de sedimentare, depinde de mai mulți parametri fizici și biochimici: 1. gradul de dezvoltare al turbulenței generate și induse; 2. compoziția mediului de cultură; 3. vârsta nămolului; 4. sarcina organică specifică.

Compoziția mediului de cultură. Prezența substanțelor tensioactive modifică structura floconului și mărimea lui hidraulică prin reducerea elasticității acestuia. Efectul acestor substanțe tensioactive, dintre care unele provin din însăși procesul biochimic, este sesizat la suprafața apei din bazinul de aerare și decantor unde se poate forma spumă.

Vârsta nămolului – starea lui psihologică. Vârsta nămolului τ_n se apreciază prin raportul masei de microorganisme în aerare și debitul masic de microorganisme libere. Inversul $1/\tau_n$ reprezintă rata de creștere globală a biomasei din bazinul de reacție. O valoare scăzută a lui τ_n corespunde unei viteze mari de creștere, deci un indice de stare psihologică pentru faza exponențială, iar pentru un τ_n mare este o viteză scăzută de creștere – faza de declin. Se consideră că un nămol activ cu vârsta de $\tau_n = 4...9$ [zile] are o bună decantabilitate cu indicele IVN favorabil procesului; după acest interval apare o defloculare care conduce la reducerea mărimii floconului.

Sarcina organică specifică I_n [kg CBO₅/kg s.s.u. zi] este un indice de încărcare masică exprimată prin cantitatea de substrat existentă la dispoziția microorganismelor în unitatea de timp care influențează structura și sedimentabilitatea flocoanelor. Se constată un minimum pentru indicele IVN la încărcări organice specifice $I_n = 0,22...0,33$.

Parametrii caracteristici instalației de epurare cu nămol activ sunt:

A. Parametrii de intrare în bazinul de aerare

A.1. Încărcarea organică a apei la intrare (a influentului) – $L_i = CBO_5$ [mg/l] – este un parametru care variază sezonier, diurn, orar în funcție de compoziția și concentrația apelor uzate care intră în stația de epurare prin rețeaua de canalizare. În măsura posibilului se recomandă ca acest parametru să fie cât mai constant, fapt care se poate realiza prin construirea unui bazin de egalizare și uniformizare, BEU. Aceasta va permite o exploatare normală, compactă, rațională și economică a stației de epurare. Cantitatea de substanță organică care trebuie

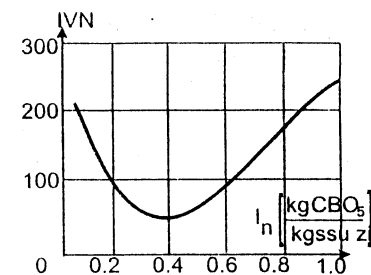


Fig. 2.10. Variația indicelui Mohlman în funcție de încărcarea organică specifică (după W.W. Eckenfelder).

îndepărtată zilnic din bazinul de aerare este dată de expresia $L_i Q_i 24$ [kg CBO₅/zi] – parametru de dimensionare a instalației de epurare.

A.2. Încărcarea în nămolul activ recirculat – S_d [mg/l] – suspensii solide uscate – concentrație specifică a nămolului recirculat. Este un parametru care depinde de procentul de nămol recirculat din decantorul secundar β . Acest parametru, $\beta = 20...100$ %, crește pe măsura reducerii timpului de aerare. Încărcarea în nămol activ recirculat trebuie să se coreleze cu încărcarea organică L_i și cu timpul de aerare din bazinul de oxidare.

Legat de cei doi parametri importanți mai apar: încărcarea organică din nămolul recirculat L și încărcarea în nămol activ (bacterii) din apa uzată – influent – S_i . Valorile lor sunt însă mult mai mici în raport cu cele ale parametrilor L_i și S_d .

A.3. Debit de oxigen transferat – Q_{ox} [Nm³O₂/h] sau capacitate de oxigenare CO [kg O₂/h]. Legat de acest parametru apar alți doi dependenți: a) debit de aer introdus Q_{aer} [Nm³/h] corelat cu primul prin relația $Q_{aer} = \frac{Q_{ox}}{0,21 \eta_{ox}}$ sau

$$CO = \frac{Q_{ox} \rho_{ox}}{0,21 \eta_{ox}}, \text{ unde } \eta_{ox} \text{ este randamentul de transfer al oxigenului din aer în}$$

apă, 0,21 reprezintă ponderea oxigenului în aerul atmosferic, iar ρ_{ox} – densitatea oxigenului; b) energia consumată pentru introducerea oxigenului în masa de apă E [kWh].

A.4. Necesari de nutrienți – N_{ni} (N_{n1} – azot; N_{n2} – fosfor) – elemente nutritive care există sau nu în apa uzată și deci trebuie dozate conform necesităților impuse de proces. În procesul de epurare biologică cu nămol activ se recomandă să existe rapoartele CBO₅:N:P = 150:5:1...90:5:1 funcție de tipul apei uzate (de exemplu, în cazul apelor uzate rezultate din industria maselor plastice se recomandă rapoartele 100:3,9:0,8; pentru ape cu colofoniu 100:2,3:0,3; ape din industria alimentară ce conțin margarină 100:7:1,5 etc.). Pe lângă aceste elemente mai este necesară prezența altora care trebuie să fie sub formă de urme – oligoelemente: mangan, magneziu, potasiu etc.

A.5. Debit de apă uzată – Q_T [m³/h] – este debitul total de apă Q_i [m³/h] la care se adaugă debitul recirculat; este recomandabil a fi cât mai constant posibil.

A.6. Debit de nămol recirculat – Q_R – reprezintă volumul de nămol în soluție apoasă (concentrație în s.s.u. 1–2 % – așa cum rezultă din decantorul secundar) care se introduce în unitatea de timp în bazinul de aerare. El vine în contact cu apa uzată direct la intrarea în aerotanc – schema clasică-convențională de mică încărcare sau cu distribuție în etape a nămolului și apei – schema cu aerotanc complet amestecat.

Scopul recirculării este de a realiza și menține concentrații mai mari de nămol activ în bazinul de aerare. În acest mod se va menține la un nivel constant încărcarea organică a nămolului activ din bazinul de aerare. Raportul de recirculare

$$R [\%] \text{ se determină cu relația } R [\%] = \frac{100 S IVN 10^{-3}}{1 - S IVN 10^{-3}}, \text{ în care } S \text{ este}$$

concentrația în biomasă existentă în bazinul de aerare. Acest raport de recirculare, $Q_R = RQ$, crește cu majorarea indicelui volumului de nămol IVN.

B. Parametrii de ieșire din bazinul de aerare

B.1. Debitul de apă încărcată cu suspensii – flocoane de nămol activ –

Q_T – care din punct de vedere hidraulic este $Q_T = Q_i + Q_R$. Acest mediu polifazic se caracterizează prin încărcarea organică L [CBO₅] care a mai rămas în apa tratată și concentrația S a substanței volatile – flocoane de nămol activ. El se caracterizează prin concentrația în biomasă $S > S_0$ și în substrat $L < L_0$; cele două inegalități sunt valabile dacă procesul biologic este amorțat și corect condus. Totodată, în acest debit de ieșire trebuie să existe o concentrație a oxigenului dizolvat, oxigen rezidual, care să asigure viața microorganismelor din flocoane pe o perioadă de timp impusă în procesul de sedimentare din decantorul secundar.

C. Parametrii de evacuare din decantorul secundar

C.1. Debitul de apă tratată – Q_e – este volumul de apă deversat în unitatea de timp în emisar. În condiții de regim permanent hidraulic acest debit Q_e este egal cu ceea ce intră Q_i . El rezultă din debitul total care intră în decantorul secundar din bazinul de aerare Q_T din care se scade debitul de nămol extras pe la partea inferioară αQ_T .

C.2. Debitul de nămol evacuat – Q_n . Decantorul secundar este destinat reținerii flocoanelor de nămol activ. Pentru un timp de retenție de 1,5...2,5 ore, el trebuie să rețină, teoretic, integral flocoanele de nămol activ; în apa evacuată în emisar ar putea să rămână eventual numai microorganisme izolate. Așadar, în cazul funcționării corecte a decantorului secundar la ieșirea apei tratate concentrația în suspensii de nămol activ este $S = 0$. Acest debit de nămol Q_n este o fracțiune din cel total Q_T care intră în decantorul secundar, $Q_n = \alpha Q_T$ ($\alpha < 1$). El se repartizează în două părți:

C.2.1. Debitul de nămol recirculat – Q_R – reprezintă partea din debitul de nămol extras din decantorul secundar care se introduce în bazinul de aerare, odată cu apa uzată, pentru însămânțarea instalației biologice de epurare cu bacterii tinere și viguroase. El reprezintă un procent β din debitul de nămol Q_n extras, $Q_R = \beta Q_n = \alpha \beta Q_T$.

Pentru a obține o epurare biologică cât mai eficientă debitul de nămol recirculat se va regla funcție de necesități. Procentul va avea valori, funcție de proces și varianta de încărcare, între $\beta = 10...100\%$ (în procesul convențional $\beta = 20...25\%$).

C.2.2. Debitul de nămol în exces – Q_{ex} – reprezintă cantitatea în soluția apoasă îndepărtată spre gospodăria de nămol, în unitatea de timp. Prin continuitate rezultă $Q_{ex} + Q_R = Q_n$, $Q_{nex} = (1 - \beta) Q_n = (1 - \beta) \alpha Q_T$.

D. Parametrii funcționali și criteriile de optimizare a procesului biologic de epurare

Multitudinea de parametri, de natură diferită: chimică, hidraulică, biologică, energetică etc., care guvernează fenomenul de epurare biologică impune folosirea unor criterii complexe de analiză a funcționării instalației. Aceste criterii caută să prindă, în valori numerice, influența simultană a mai multor parametri.

D.1. Gradul de epurare – se exprimă în procente și reprezintă raportul dintre încărcarea organică distrusă prin procese biochimice $\Delta L = L_0 - L$ și încărcarea organică care este adusă de influent în bazinul de aerare $E = \frac{\Delta L}{L_0} 100 = \frac{L_0 - L}{L_0} 100 = 1 - L/L_0 = 60...95\%$. Se mai folosesc noțiunile de eficiență de epurare sau randament de epurare

D.2. Încărcarea hidraulică a bazinului de aerare – l_h [m^3 apă uzată / m^3 bazin·zi] = $Q_i / V = 1 / t_r$. Acesta este un indicator global de verificare a dimensionării bazinelor de nămol activ. În conformitate cu recomandările date de Imhoff acest indicator poate avea valori între 10 și 20 pentru grade mari de epurare $E = 85...90\%$ și de 20...50 m^3 apă uzată pentru $1 m^3$ din bazinul de aerare și zi în cazul în care eficiența de epurare este mai redusă 60...80%.

D.3. Încărcarea organică a bazinului – l_b [$kg CBO_5/m^3$ bazin·zi] = $Q_i L_i / V$ reprezintă raportul dintre încărcarea organică a influentului care intră în bazinul de aerare într-o zi și volumul bazinului de aerare. Se recomandă corelarea încărcării organice a bazinului de aerare cu gradul de epurare al instalației biologice. În conformitate cu recomandările date de Imhoff $l_b = 5\sqrt{1-E}$ [$kg CBO_5/m^3$ bazin·zi], unde E este gradul de epurare. Pentru eficiență ridicată de epurare $E = 85...90\%$ se recomandă $l_b = 1,8 kg CBO_5/m^3$ bazin·zi, iar dacă $E = 60...80\%$ rezultă $l_b = 3,6 kg CBO_5/m^3$ bazin·zi – bazine cu nămol activ de mare încărcare. Acest parametru se folosește la dimensionarea bazinului de aerare $V = L_T / l_b$, unde L_T este cantitatea totală de substanță organică impurificată care intră în bazin în timp de o zi determinată cu expresia $L_T = L_0 Q_T 24$.

D.4. Încărcarea organică a nămolului activ – l_n [$kg CBO_5/kg$ s.s.u·zi] reprezintă raportul dintre debitul masic de încărcare organică în timp de o zi și încărcarea în materii solide uscate în suspensie existentă în bazinul de aerare – este de fapt un raport hrană/biomasă $l_n = L_0 / S = L_i Q_i / V S$. Acest raport substrat/microorganisme nu influențează decisiv ecologia bacteriilor, dar poate afecta economic procesul. Pentru ca procesul să se desfășoare din punct de vedere energetic rentabil este necesar ca valoarea de exploatare să fie menținută cât mai apropiată de cea estimată la proiectare. Aceasta se realizează prin: a) folosirea bazinelor de egalizare-uniformizare; b) raportul optim de recirculare a nămolului; c) controlul eliminării debitului de nămol în exces.

Pentru calcul se recomandă formula $l_n = 5(1 - E)$, unde E este eficiența de epurare. Imhoff recomandă:

$$l_n = \begin{cases} -0,5 \dots 1,0 \text{ kg } CBO_5 / \text{kg s.s.u.} \cdot \text{zi pentru } E = 85...90\% \\ -0,75 \dots 2,5 \text{ kg } CBO_5 / \text{kg s.s.u.} \cdot \text{zi pentru } E = 60 \dots 80\% \end{cases} \quad (2.4)$$

În exprimarea concentrației în suspensii din bazinul de aerare este de preferat ca aceasta să se refere la fracția volatilă a nămolului activ, cea care are un rol efectiv în procesul metabolic de epurare. Nămolul activ eficient are un procent de substanțe minerale sub 20% din s.s.u. (nămolul activ are o parte volatilă organică constituită dintr-o cantitate de masă vie, o parte inactivă – nevie, precum și o cantitate de material inert de natură minerală). Încărcarea organică a nămolului

activ variază invers proporțional cu gradul de epurare și direct cu necesarul de oxigen. Acest parametru este corelat cu cel anterior prin expresia $l_b = l_n S$.

D.5 Concentrația în substanțe solide uscate în suspensie în bazinul de aerare – S [mg/l sau kg/m^3] – reprezintă masa substanței solide uscate prezentă în lichidul din bazin. Ea poate lua valori în gama $S = 600...4000 gr/l$, sau exprimată în procente $S = 0,6...4\%$. Dacă se consideră expresiile încărcărilor de nămol definite mai sus rezultă

$$S = \frac{l_b}{l_n} = \frac{5\sqrt{1-E}}{5(1-E)} = \frac{1}{\sqrt{1-E}} \quad (2.5)$$

D.6. Raportul de recirculare a nămolului – β [%] – reprezintă procentual partea din nămolul extras din decantorul secundar care se recirculă în bazinul de aerare $\beta = Q_R / Q_i$. Această rată de recirculare este de ordinul 10...50 %, de regulă 20...25 % din debitul de apă uzată care intră în aerotanc Q_{iuz} – debitul influentului. În ultimii ani se practică și rata de recirculare a nămolului de 100 % fapt care permite reducerea timpului de aerare.

Stabilirea raportului de recirculare optim depinde de valoarea indicelui volumului de nămol – IVN – sau indicele Mohlman – IM – [ml/gr]. Acest indice, care apreciază decantabilitatea nămolului activ, are valoarea optimă de $IVN = 50...100$; dacă acesta urcă la 200 rezultă că a apărut un proces de umflare al nămolului și deci acesta va avea proprietăți slabe de sedimentare.

Există următoarea relație empirică $100\beta = 100(S \cdot IVN) - 1$, unde S este concentrația suspensiilor din bazinul de aerare (%), iar IVN – indicele de volum al nămolului. Relația de mai sus conduce la stabilirea procentului de recirculare al nămolului. Astfel, pentru o concentrație de suspensii din aerotanc de $S = 0,25\%$, care respectă încărcarea nămolului, la un $IVN = 80$ se asigură un procent de recirculare $\beta = 25\%$, iar în cazul în care $IVN = 200$ se va realiza un $\beta = 100\%$.

Indicele volumului de nămol se corelează și cu gradele de epurare E . Astfel, cu cât crește concentrația în suspensie S , pentru același indice al nămolului, se va majora și rata recirculării. Se recomandă formula

$$\beta[\%] = \frac{100 \times S[\%] \cdot IVN[ml/gr]}{100 - S[\%] \cdot IVN[ml/gr]} \quad (2.6)$$

D.7. Indicele volumului de nămol IVN. Acest indice se obține prin decantarea particulelor de nămol pe o perioadă de 30 minute. El dă o indicație asupra caracteristicilor de sedimentare a nămolului activ – proprietate denumită sedimentabilitate.

D.8. Nămolul în exces – $Q_{nex} = (1 - \beta)\alpha Q_T$ – reprezintă debitul de nămol care se extrage din decantorul secundar. El reprezintă, în general, 1,5 ... 3,0% din debitul influentului, având o umiditate de circa 99,3% (deci procentul de substanță solidă uscată din soluție apoasă este de 0,7%).

Valoarea debitului specific de nămol excedentar este dată de relația empirică $Q_{nxs} = \sqrt[4]{5(1-E)}$ [kg s.s.u. în nămolul exces/ $kg CBO_5$ al influentului].

D.9. Temperatura. Dinamica proceselor biochimice, ca și a celor fizice asociate (difuzie, dispersie) este puternic influențată de temperatură. Majorarea

temperaturii conduce la intensificarea cineticii biochimice în metabolism și poate îmbunătăți sedimentabilitatea. La temperaturi scăzute, sub 10°C, procesul biologic cu nămol activ nu se poate amorsa și nu se poate desfășura faza de nitrificare în timpul degradării substratului organic.

D.10. Reacția apei – pH-ul apei. Microorganismele se dezvoltă optim în gama 6,5...7,5. În apele uzate ușor acide se dezvoltă ciupercile și nămolul se va sedimenta ineficient. Dacă există acizi organici biodegradabili procesele biologice se desfășoară convenabil și se reduce în timp și aciditatea. În cazul apelor uzate ușor alcaline nămolul activ flocolează bine, dar este posibil să fie afectată creșterea acestuia.

D.11. Potențialul redox. În mediul de cultură sunt prezente simultan un mare număr de sisteme redox. De aceea, interpretarea rezultatelor obținute prin măsurători de potențial redox este relativ dificilă fără a se putea aprecia cu exactitate cauza care determină la un moment dat eventualele modificări de potențial. În condiții aerobe potențialul redox este corelat cu nivelul concentrației oxigenului dizolvat. Măsurarea potențialului redox se recomandă în procesele aerobe sau microaerobe cu observația că aceste determinări trebuie făcute și corelate cu activitatea microbiană.

D.12. Spumarea. Spumarea reprezintă un fenomen caracteristic mediilor de bioproces cauzat de: a) compoziția și concentrația materiilor organice; b) schimbul intens de gaze ce caracterizează respirația microorganismelor în perioadele în care viteza specifică de creștere atinge nivele ridicate; c) degajarea gazelor pentru anumite tipuri de biosinteze-biodecompuneri celulare ale anumitor produse sau ca urmare a unor metabolisme celulare deviate; d) enzimele specifice proceselor biochimice.

Spumarea este un fenomen care afectează buna desfășurare a proceselor biochimice prin modificarea condițiilor optime de operare; pot apărea infecții, boli ale microorganismelor, se modifică condițiile fizico-chimice de transfer și difuzie a oxigenului. Acțiunea de prevenire a formării spumei este deosebit de importantă, deoarece neintervenția, încă din primele momente, poate conduce la realizarea unei structuri spațiale stabile greu de distrus ulterior. Combaterea fenomenului se face fie prin modificarea condițiilor de aerare, fie prin adăugarea de agenți anti-spumanti care sunt substanțe tensioactive ce nu interferă cu metabolismul celular. Concentrația acestor anti-spumanti trebuie să fie redusă și atent supravegheată, deoarece la valori mari se poate afecta procesul de transfer de masă a oxigenului.

D.13. Indicele energetic specific. Una dintre condițiile de funcționare corectă a bazinului de aerare este menținerea continuă în stare de suspensie a flocoanelor de nămol activ. Aceasta se poate realiza dacă viteza orizontală în orice punct din zona adiacentă radierului este peste 25 cm/s sau dacă componenta ascensională depășește 30 cm/s. Aprecierea se poate face și global prin nivelul turbulenței generate și induse în masa de apă din bazinul de aerare considerată prin indicele energetic specific δ [W/m³]. Se consideră că dacă indicele energetic specific, δ = raportul dintre puterea aplicată la echipamentele de aerare și volumul bazinului de aerare, depășește 60W/m³ se asigură menținerea în stare de suspensie a flocoanelor de nămol activ. Se menționează, însă, că în bazinul de aerare densitatea de energie specifică nu este constantă. În zonele de acțiune directă, a mișcării generate de echipamentul de oxigenare δ are valori mai mari, iar

în cele ale mișcării induse valoarea scade foarte mult. Repartizarea inegală a energie specifice se va reflecta într-o distribuție diferențiată a concentrației oxigenului dizolvat ca efect al variației coeficientului de transfer de masă.

Mărimea flocoanelor de nămol activ depinde de intensitatea turbulenței. La turbulență mare floconul se fragmentează (dimensiunile mari conduc la eficiență ridicată de epurare), iar în apa liniștită apare fenomenul de aglomerare a flocoanelor. Dimensiunea optimă a floconului este de ordinul 60-70 μ m, iar cea maximă 290 μ m.

D.14. Oxigenul necesar procesului aerob – C.O. [kg O₂/h] – reprezintă debitul masic de oxigen transferat din aer în apă – fluxul de oxigen – solicitat de necesitățile vitale ale procesului de epurare. Acest oxigen este necesar procesului metabolic de degradare al substanței organice (oxidare biochimică) până la dioxid de carbon și apă și cel disponibil vieții microorganismelor.

Există o corelație între necesarul de oxigen și vârsta nămolului funcție de posibilitățile acestuia de floclurare sau dezagregare. Astfel, concentrația oxigenului dizolvat este C_{O_2cr} [mg/l] = 6,705 exp(-0,2034 τ_n), unde C_{O_2cr} reprezintă concentrația critică a oxigenului dizolvat în bazinul de aerare. Dacă concentrația oxigenului este inferioară celei critice, calculate pentru o anumită vârstă, poate să nu apară floclurarea nămolului activ.

Se menționează că, pe lângă acest necesar de oxigen, se impune condiția ca în fiecare punct din bazinul de aerare să existe un exces de oxigen dizolvat în gama 1...3 mg O₂/l.

Pentru calculul necesarului de oxigen se folosește relația

$$Q_{ox}[\text{kg O}_2/\text{zi}] = aEL_0Q_T24 + bSQ_T24 + rQ_T24 + dM, \quad (2.7)$$

unde a [kgO₂/kgCBO₅] = 0,5...0,6 este consumul de oxigen în procesul biochimic de degradare al unei unități de substanță organică impurificatoare; E – gradul de degradare al substanței organice (definit anterior); L_0 – concentrația substanțelor organice impurificatoare care intră în bazinul de aerare [kg CBO₅/m³]; b [kg O₂/kg s.s.u.] = 0,1...0,05 – necesarul de oxigen consumat prin respirația endogenă a nămolului activ; S [kg s.s.u./m³] – concentrația, în substanță solidă uscată, a suspensiilor volatile din bazinul de aerare (definită la punctul 4.5); r [kg O₂/m³] – concentrația oxigenului dizolvat în exces din apa bazinelor de aerare; d [kg O₂/kg CCO îndepărtat] și M concentrația substanțelor anorganice care se oxidează în bazinul de aerare. Concentrația în suspensii pentru biomasa variază în funcție de proces astfel: a) în cazul procesului de mare încărcare $S = 1,5...3,0$ gr/l; b) medie încărcare $S = 3,0...5,0$ gr/l; c) mică încărcare $S = 5,0...8,0$ gr/l cu $a = 1,3...2,0$ kg O₂/kg CBO₅ îndepărtat.

Relația de mai sus se poate scrie sub forma

$$Q_{ox}[\text{kg O}_2/\text{zi}] = 24 Q_T[a E L_0 + b S + r] = \frac{24}{t_r} V[a E L_0 + b S + r], \quad (2.8)$$

unde t_r este timpul hidraulic de retenție al apei din bazinul de aerare cu volumul V .

În conformitate cu experiențele efectuate de Eckenfelder expresia devine

$$Q_{ox}[\text{kg O}_2/\text{zi}] = 24 Q_T[0,5 E L_0 + 0,1 S + r] = 24 Q_T L_0 [0,5 E + 0,1 \frac{S}{L_0} + \frac{r}{L_0}] =$$

$$= 24 Q_T L_0 [0,5 E + \frac{0,02}{1-E} + \frac{r}{L_0}]. \quad (2.9)$$

Necesarul maxim de oxigen Q_{oxM} este condiționat de toate materiile organice și anorganice care se oxidează complet $Q_{oxM}[\text{kg O}_2] = a C + b N$, unde C [kg carbon] este concentrația carbonului organic, N [kg azot] – suma azotului amoniacal, $a = 2,67 \text{ kg O}_2/\text{kg C}$, $b = 4,57 \text{ kg O}_2/\text{kg azot}$ – reprezintă coeficienții de consum.

D.15. Capacitatea de oxigenare. Necesarul de oxigen de mai sus trebuie acoperit de echipamentele de oxigenare cu care se dotează bazinul de aerare. Se adoptă un spor de 10% pentru acoperirea eventualelor variații ale încărcării organice. Valoarea calculată la punctul anterior reprezintă de fapt producția zilnică de oxigen a unui echipament de oxigenare $P_{ox}[\text{kgO}_2/\text{zi}]$ care trebuie să răspundă și necesităților hidrodinamice de menținere a flocoanelor de nămol activ în suspensie.

Așadar, $P_{ox} = \frac{Q_{ox}}{\alpha} \cdot 1,1 [\text{kgO}_2/\text{zi}]$, unde $\alpha < 1$ este raportul dintre coeficientul de transfer al oxigenului în apa uzată și cel corespunzător condițiilor standard pe apa curată.

Capacitatea de oxigenare reprezintă debitul masic de oxigen transferat din aer în apă de instalația de oxigenare care echipează bazinul de aerare CO [kgO₂/h]. Este dată de relația $CO [\text{kgO}_2/\text{h}] = \frac{1,1 \cdot Q_{ox}}{\alpha \cdot 24}$, fiind parametrul principal de dimensionare al echipamentului de oxigenare.

Se menționează faptul că un echipament de oxigenare introduce aer și numai în cazuri deosebite, cu totul speciale, oxigen pur sau ozon. Cea mai mare parte din aerul sau oxigenul introdus se degajă în atmosferă fără a contribui efectiv la procesul de oxigenare, dar realizând circulație prin efectul de gaz-lift.

Cantitatea de aer pe care trebuie să o introducă echipamentul de oxigenare, pentru necesitățile procesului aerob, este $Q_{aer} = \frac{CO}{\rho_{ox10^\circ} \cdot \eta_{ox}}$ [m³/h], unde ρ_{ox10° este densitatea oxigenului din aer la temperatura standard de 10°, iar $\eta_{ox} = 6...25\%$ reprezintă randamentul de transfer al oxigenului din aer în apă în procesul de transfer de masă cu valori dependente de echipament.

Comparația între echipamentele de oxigenare se realizează pe baza indicatorilor de mai sus, prezentați în condiții standard și din cel al eficienței de oxigenare $\epsilon = CO/P$ [kgO₂/kWh], unde P [kW] este puterea unitară pe agregat.

D.16. Timp de aerare. Timpul de aerare t_a reprezintă timpul minim de oxigenare pentru ca procesul să decurgă normal. Din experiențele efectuate se recomandă $t_a = 2...4$ ore (W.Triebel), iar după Imhoff peste 3 ore până la 6 ore. Timpul de aerare corespunde timpului de retenție hidraulic al apei uzate (fără nămolul recirculat) $t_a[\text{h}] = \frac{\text{Volum util de aerare} [\text{m}^3]}{\text{Debit influent} [\text{m}^3/\text{h}]}$. Acest timp este controlat

prin modificarea debitului de alimentare Q_i cu menținerea constantă a încărcării organice din influentul bazinului de aerare. Corelația dintre tratabilitatea biologică a apei uzate, exprimată prin raportul CCO/CBO₅ și timpul de aerare este dată de expresia liniară $CCO/CBO_5 = 2,5 t_a [\text{h}] + 3$.

Durata de aerare are o mare importanță asupra procesului biologic de degradare a substanțelor organice. Astfel, la durate de aerare reduse și încărcări mici ale nămolului activ eficiența este scăzută. Creșterea timpului t_a conduce simțitor la majorarea eficienței de epurare la valori de peste 90%.

D.17. Timp de retenție hidraulic. Timpul t_r este precizat prin raportul dintre debitul de apă uzată și volumul bazinului de aerare.

D.18. Încărcare hidraulică în suspensii. Prin similitudine cu decantorul se poate defini încărcarea hidraulică de suprafață a bazinului de aerare, mărime care trebuie să fie utilizată la precizarea vitezei ascensionale în proces necesare menținerii în stare de suspensie a flocoanelor de nămol activ și a celorlalte particule care nu s-au depus în treapta fizică. Această mărime este deosebit de utilă la echiparea bazinelor de aerare cu echipamente pneumatice care dezvoltă în apă preponderent viteze ascensionale.

D.19. Vârsta nămolului. Vârsta nămolului activ τ_n [zile] – sau timpul de retenție al solidelor TRS – este o măsură a capacității acestuia de a acționa corect în procesul de degradare a substanței organice. Ea reprezintă (în concepția lui Gould) timpul mediu în care un flocon de nămol activ rămâne în suspensie în zona de oxigenare. Se poate calcula cu relația $\tau_n = \frac{S t_r [\text{ore}]}{24 S_0} = 2...8$ [zile]

unde S_0 [kg s.s.u./m³] – concentrația în s.s.u. la admisia în bazinul cu nămol activ, iar S [kg s.s.u./m³] – concentrația în s.s.u. a amestecului din bazin.

Vârsta nămolului se poate calcula cu $\tau_n [\text{zile}] = \frac{V S}{Q_{nex} S_d + (Q_i - Q_{nex}) S_e}$,

unde S, S_d, S_e [gr/m³] reprezintă concentrația în solide în bazinul de aerare, în exces și respectiv în efluent, Q_{nex}, Q_i [m³/zi] – debitul de nămol excedentar evacuat, respectiv de influent la alimentarea instalației de epurare, V [m³] – volumul bazinului de aerare. Vârsta nămolului poate fi modificată (mărită) prin majorarea concentrației de suspensii din bazinul de aerare, respectiv reducerea debitului de nămol excedentar evacuat din sistem. În tehnologia de epurare biologică utilizarea unui nămol activ tânăr (2 zile față de 4), care se multiplică exponențial, conduce la îndepărtarea unei cantități mai mari de substanță organică (în exemplu, 1 grCBO₅/zi față de 0,5 grCBO₅/zi pentru un gram de nămol activ). Nămolul cu vârsta mai mare (4...6 zile) necesită o cantitate mai mare de oxigen (cu 20%) față de cel tânăr (2 zile).

Cu cât vârsta nămolului este mai mare, cu atât crește proporția de organisme moarte din flocon. Ea depinde de raportul dintre flocoanele de nămol existente și cele noi formate într-un interval de timp, determină energia flocoanelor și cantitatea de nămol în exces îndepărtat.

D.20. Indici energetici ai instalației de epurare biologice. Acești indici se referă la energia consumată în instalația de epurare pentru realizarea procesului. Energia este destinată asigurării transferului de oxigen din aer în apă, pentru realizarea circulației și a turbulenței necesare menținerii în stare de suspensie a flocoanelor de nămol activ.

Indicele energetic specific volumului. Se consideră, după cum s-a mai arătat, că dacă indicele energetic specific δ [W/m³] depășește valoarea de 60 W/m³,

se asigură menținerea în stare de suspensie a flocoanelor de nămol activ. Se face precizarea că în raportul $\delta = \text{Putere} / \text{Volum bazin de aerare}$, trebuie să intre numai puterea efectivă, nu și pierderile de sarcină de pe traseul instalațiilor de aerare pneumatice.

Indicele energetic de transfer al oxigenului. Un alt indice energetic este cel care se referă la transferul de oxigen – eficiența economică de aerare

$$\epsilon [\text{kgO}_2/\text{kWh}] = \frac{C.O. [\text{kgO}_2/\text{h}]}{P [\text{kW}]} = 0,9 \dots 4,5. \text{ El va lua în considerare, global,}$$

turbulența, mărimea bulelor de gaz dispersate, transferul – transportul – dispersia oxigenului dizolvat etc. O instalație de oxigenare va fi cu atât mai eficientă cu cât va asigura valori mai mari pentru acest indice.

Indicele energetic de consum efectiv pentru mineralizarea substanțelor organice. Acest indice energetic se va referi la consumul de energie pentru realizarea efectivă a procesului de epurare. El va lua în considerare transferul de energie electrică către microorganisme (transformarea în energie biochimică) pentru degradarea substanțelor organice și formarea unui material celular nou. El

se definește prin raportul $\tau \left[\frac{\text{kgCBO}_5/\text{h}}{\text{kW}} \right] = \frac{\Delta L}{P} \left[\frac{\text{kgCBO}_5}{\text{kWh}} \right]$, unde ΔL este

scăderea încărcării organice $\Delta L = L_0 - L$, iar P este puterea aplicată din exterior. O instalație de epurare biologică este cu atât mai eficientă, cu cât acest indice este mai ridicat.

Indicele energetic de consum pentru pomparea nămolului. Un alt indice energetic se referă la consumul specific de energie pentru pomparea nămolului activ recirculat. Este cunoscut faptul că debitul de nămol recirculat, în funcție de tehnologia adoptată, poate să varieze între 25 și 100% din debitul inițial. Așadar, acest indice K ia în considerare energia specifică repomperii nămolului recirculat

$$K \left[\frac{\text{kg s.u.}}{\text{kWh}} \right] = \frac{S_d Q_R}{P} = \frac{\beta \alpha Q_T S_D}{P}, \text{ unde } P \text{ este puterea agregatului de pompare a}$$

nămolului recirculat din decantorul secundar. Se menționează că acest indice are valori mai mari dacă decantorul secundar este corect dimensionat și rațional exploatat.

2.4. Procedul discontinuu de epurare cu nămol activ

Denumit și procedul cu încărcare secvențială sau procedul cu lagună hibridă, el apelează la metoda nămolului activ în regim discontinuu. Se utilizează un singur bazin în care se introduce apa uzată decantată și unde vine în contact cu nămolul activ.

În raport cu procedul de epurare biologică cu nămol activ cu alimentare continuă, acesta are următoarele avantaje: a) o mai mare flexibilitate în strategia

de operare; b) se elimină necesitatea clarificării ulterioare a efluentului și evident dispare necesitatea stației de repompare a nămolului recirculat; c) populația eterogenă – mixtă – din reactorul biologic poate să fie expusă la variații mari ale încărcării organice. Instalația este simplă, ușor de exploatat și nu conduce la obținerea de nămol activ în exces. Metoda conduce la un consum redus de energie (consum specific $18 \dots 5 \text{ W/m}^3$ pentru aerare) și are un randament foarte bun de degradare a compușilor pe bază de carbon, dar și pentru denitrificare (circa 99%) și de eliminare a fosforului (circa 70%).

Sistemul lagunei hibride funcționează discontinuu pe cicluri (4 cicluri pe zi), cu următoarele faze pe ciclu: a) admisia apei uzate în bazin – 0,5 ore – care conduce la ocuparea a 25% apă și 75% nămol în bazin; b) aerarea și agitarea amestecului polifazic pe o perioadă de 3 ore; c) sedimentare – 2 ore; d) evacuarea apei epurate, a efluentului – 0,5 ore, cu descărcarea a 25% din volumul bazinului. Prin această metodă se pune în contact materia organică din apa uzată cu nămolul activ existent în bazin pe o perioadă de timp care permite adsorbția și atacarea compușilor degradabili biologic. Trei faze sunt specifice procesului cu nămol activ clasic, dar apar și etape ale epurării secundare și terțiare.

Bazinul este de formă cilindro-conică cu centrul mult mai adâncit, astfel încât să rețină nămolul și să poată să-l recicleze pe verticală. Bazinul este mult mai adânc decât în cazul lagunei aerate; adâncimea poate ajunge până la 10 m, funcție de performanțele echipamentului de oxigenare amplasat direct în zona cea mai de jos. Forma bazinului, înclinarea pereților laterali și caracteristicile de bază ale nămolului activ permit recircularea flocoanelor. Forma în plan orizontal poate fi circulară, elipsoidală sau poligonală.

Pentru o anumită compoziție și concentrație a apei uzate sunt două variabile de proiectare importante: numărul de reactoare necesare asigurării continuității procesului și timpul pe ciclu la fiecare bazin. Este necesar ca în schemă să fie mai multe bazine cu ciclul defazat în timp. Dacă instalația are N reactoare biologice atunci este necesar ca timpul de umplere din ciclul fiecărui bazin să fie egal cu timpul total al ciclului împărțit la N . Astfel, dacă timpul pe ciclu, impus de tehnologia de epurare biologică, este foarte mare se impune majorarea numărului de reactoare biologice (Irvine și Ketchum 1989).

Deoarece timpul de umplere este determinat hidraulic, cel de sedimentare nu poate fi influențat, iar cel de golire este dependent de capacitatea de evacuare a efluentului, rezultă că intervalul necesar degradării biologice trebuie să fie corect apreciat. Acest timp de reacție va depinde de constantele fizice și biochimice folosite în etapa de concepție și proiectare inginerască a instalației.

Timpul necesar pentru reacție depinde de masa totală de substrat acumulată în perioada de umplere și cantitatea de biomasă existentă în reactor. Cei doi factori menționați mai sus definesc viteza specifică de încărcare prin masa de substrat pe unitatea de biomasă și timp; acest parametru poate avea valori diferite pentru diversele bazine din schema tehnologică. Prin alegerea valorii de

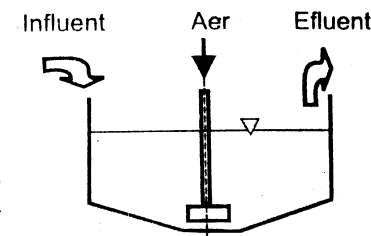


Fig. 2.11. Epurarea discontinuu cu nămol activ.

proiectare va rezulta încărcarea organică specifică unității de volum (masa de substrat aplicată unității de volum în unitatea de timp).

Existența în stația de epurare a mai multor bazine de aerare permite o exploatare rațională și eficientă energetic a treptei biologice. Prin scoaterea din alimentare a unui bazin, atunci când debitul este mai mic sau încărcarea organică scade, se pot menține condițiile biologice optime de exploatare (raport optim hrană/microorganisme). Activitatea nămolului nu este afectată esențial în timpul în care el stă în anaerobioză.

Optimizarea proceselor de epurare biologică cu nămol activ. Principala dificultate în aplicarea practică a conceptelor teoretice de optimizare a proceselor cu nămol activ o constituie variația orară, diurnă, săptămânală, sezonieră a debitelor și a concentrațiilor. Această variație, care se traduce în neuniformități ale încărcării organice, reprezintă modificări ale raportului hrană: microorganisme. Variațiile nu afectează ecologia microbiană, dar influențează economicitatea procesului. De exemplu, dacă încărcarea organică cade sub valoarea medie energia introdusă în proces va fi folosită neeconomic. Așadar, prin menținerea cât mai constantă a debitului și încărcării organice este posibilă optimizarea energetică a procesului. Căile pentru menținerea constantă a raportului hrană/microorganisme la valoarea estimată în proiectare sunt:

1. utilizarea în schema tehnologică a bazinului de egalizare-uniformizare cu volum determinat funcție de cerințe și variația influentului;
2. metoda stocării solidelor sedimentabile în decantorul secundar într-un bazin auxiliar și utilizate atunci când sunt necesare bazinului de aerare;
3. metoda controlului raportului de recirculare – se modifică continuu raportul de recirculare funcție de debitul și încărcarea organică;
4. metoda controlului alimentării în cazul introducerii influentului în diferite puncte din bazinul de aerare; când poluantul este puternic încărcat el se va introduce numai prin punctul de capăt al reactorului biologic;
5. procedeul repartiției egale a influentului pentru mai multe bazine de aerare amplasate în linii paralele – principiul disponibilității.

2.5. Procesele de epurare biologică aerobă cu peliculă biologică

Epurarea biologică în film se utilizează în mai multe echipamente statice – filtre biologice sau dinamice – biodisc, biotambur, bioșurub. Filmul biologic, care conține biomasa, este fixat pe un suport solid care poate fi în repaus sau antrenat în mișcare. Instalațiile de acest tip mai poartă denumirea de instalații de epurare biologică cu culturi fixate. Filmul biologic este pus alternativ în contact cu oxigenul din aerul atmosferic și cu apa uzată supusă procesului de epurare.

Între procesul de epurare cu nămol activ și cel din filmul biologic sunt deosebiri structurale. În procesul cu nămol activ floconul este unitatea structurală

de bază care conține toate speciile comunității din lanțul trofic necesare mineralizării substanțelor organice; în procesul cu film biologic speciile sunt organizate în lungul tehnologiei de epurare, în sensul reacțiilor succesive de degradare a materiei organice, astfel că apa uzată, pe măsura descompunerii substanțelor organice, în fiecare etapă a desfășurării fenomenului biochimic întâlnește bacteriile următoare din lanțul trofic.

Pelicula biologică utilizează o succesiune de comunități biologice stabilite la diferite niveluri ale filmului și asociate cu diferite grade de epurare. Microorganismele din filmul biologic sunt mai ușor adaptabile la șocurile încărcării organice datorită acestei succesiuni ale asociațiilor populațiilor biologice existente în peliculă. În tehnologiile de epurare cu nămol activ amestecul polifazic ce conține flocoane trebuie să fie mereu agitat pentru a le menține în stare de suspensie, ceea ce conduce la un consum ridicat de energie. În procesele cu film biologic pelicula este fixată pe o suprafață solidă, dură, dar se consumă o cantitate de energie pentru pompajul și împrăștierea apei uzate pe suprafața filmului biologic.

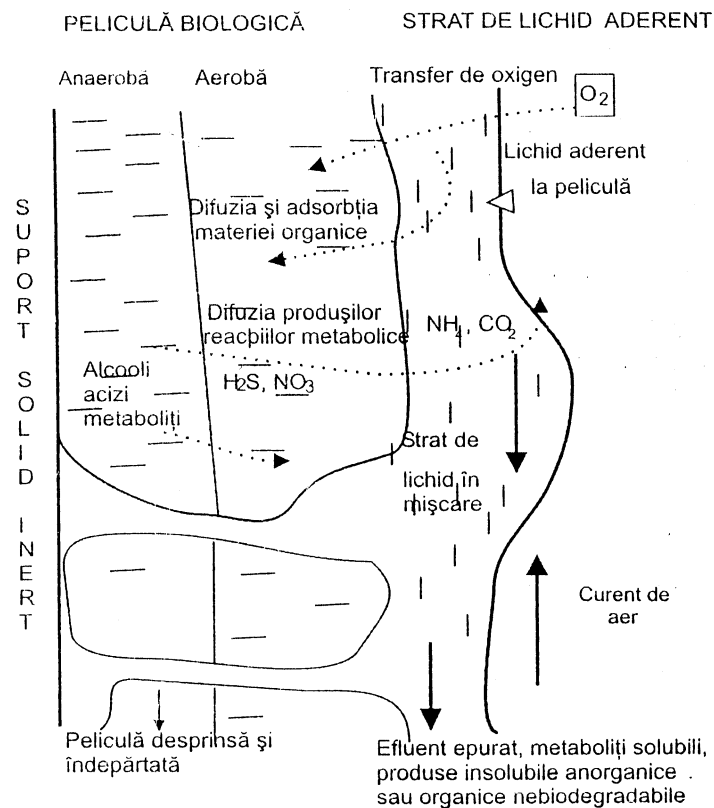


Fig. 2.12. Procesele fizice, chimice și biologice din pelicula aderentă.

În raport cu procedeul cu nămol activ cel cu peliculă biologică are următoarele avantaje: a) activitate biologică superioară; b) randamentul de epurare crește prin recircularea nămolului; c) economie de energie; d) repopularea rapidă a peliculei după desprinderea filmului; e) exploatare simplă.

În esență principiul procesului de epurare biologică în peliculă este reprezentat în figura 2.12. La suprafața solidă fixă se formează în timp o peliculă biologică aderentă peste care se scurge un film de lichid, iar la exteriorul acestuia apare un curent de gaz, în echi- sau contracurent, ce permite reîmprospătarea oxigenului din apa uzată. În condiții favorabile de temperatură și oxigen dizolvat pelicula adsorbă materia organică din apa uzată și prin reacții biochimice o descompune. Între pelicula biologică și filmul de lichid apar continuu schimburi de substanță în ambele sensuri care stabilesc un echilibru dinamic în transferul de masă. Aceleași procese de transfer de masă apar și între filmul de lichid și curentul de gaz din exteriorul acestuia. Toate aceste procese de transfer permit adsorbția materiei organice, a oxigenului și eliminarea produșilor secundari din reacțiile biochimice ce apar în filmul biologic. Așadar, apar două mecanisme deosebit de importante în proces: a) bioadsorbția substanței organice în zona aerobă a peliculei biologice (două fenomene: fizic de adsorbție și biologic de asimilație); b) metabolism cu degradarea substanței organice adsorbite în zona mediană și anaerobă a peliculei.

Oxigenul din aerul atmosferic penetrează filmul de lichid și trece în pelicula biologică în prima ei parte. Ca urmare stratul dinspre suportul solid intră în regim anaerob și va avea microorganismele caracteristice acestui mediu lipsit de oxigen. Metaboliții produși de biomasă – alcoolii, acizi, dioxid de carbon, metan, hidrogen sulfurat etc. – traversează în sens invers interfața peliculă biologică – lichid și difuzează în curentul de gaz. În acest schimb continuu curentul de aer sărăcește în oxigen și se îmbogățește în alte gaze, în principal dioxid de carbon.

Consecințele acestor procese sunt dependente de metabolismul celulelor vii. Partea superficială aerobă a peliculei biologice tinde să rămână constantă. Stratul intern anaerob tinde să crească în grosime ca efect al procesului de sinteză. El are o rezistență mecanică mai redusă decât partea aerobă din cauza procesului de fermentație și, în consecință, la o anumită grosime pelicula se va desprinde de suportul inert solid. În regim dinamic se stabilește un echilibru între creșterea biomasei și grosimea peliculei mature.

Când microorganismele din filmul biologic mor pelicula se fragmentează, se desprinde de pe suportul solid și este antrenată de curentul lichid. Materialul celular distrus este reținut în decantorul secundar sub forma de nămol; așadar, schema hidraulică trebuie să conțină un decantor necesar reținerii materialului desprins.

Pentru realizarea procesului de degradare biochimică în peliculă biologică apare necesitatea respectării următoarelor cerințe de bază: a) crearea unei suprafețe mari de contact, pentru materialul solid inert pe care să se fixeze pelicula biologică – suportul solid, trebuie să fie caracterizată printr-o suprafață specifică ridicată (raport suprafață/volum mare); b) aprovizionarea cu oxigen trebuie să se facă cu un debit corespunzător asigurării condițiilor aerobe necesare procesului biochimic; c) tratabilitatea biologică a apei uzate trebuie să corespundă populației microbiene.

Parametrii procesului biologic cu peliculă biologică

Încărcarea organică specifică de suprafață I_{os} [kgCBO₅/m²·zi] reprezintă raportul dintre încărcarea organică a influentului, exprimată în kgCBO₅/zi, și suprafața exterioară a corpurilor de umplutură care, în mod evident, este proporțională cu cea a peliculei biologice.

Încărcarea organică specifică de volum I_{ov} [kgCBO₅/m³·zi] reprezintă raportul dintre cantitatea zilnică de materie organică care intră în instalația de epurare cu peliculă biologică și volumul corpurilor de umplutură care se montează în filtru și susțin filmul. Acest parametru caracterizează starea psihologică a biomasei, deoarece el rezultă din raportul dintre debitul masic de substrat și biomasa potențial prezentă în stratul granular. O încărcare mare conduce la celule tinere – faza exponențială – deci la o producție ridicată de biomasă și evident un randament scăzut de epurare. O încărcare redusă corespunde unei stări psihologice din zona de declin, conduce la o producție scăzută de biomasă și la un randament îmbunătățit.

Încărcarea hidraulică specifică I_h [m³/m²·oră] rezultă din raportul dintre debitul de apă uzată și suprafața orizontală a filtrului biologic prin care se scurge această apă uzată. Ea are o valoare optimă pentru reducerea încărcării organice la fiecare filtru biologic. La valori mai mici nu se realizează umectarea peliculei biologice, iar pentru încărcări mari se riscă antrenarea biomasei de curentul lichid. Ea corespunde vitezei medii aparente de curgere a apei prin stratul de umplutură $I_h = (Q + Q_R)/S$, unde S este aria secțiunii orizontale a filtrului. În cazul filtrelor aerobe valoarea acestui indicator este uzual de 1...10 m³/m²·oră, iar în zonele anoxice de până la 14 m³/m²·oră; pentru filtre de mare încărcare se poate merge între 10...33 m³/m²·oră. Majorarea vitezei de curgere s-a realizat prin optimizarea construcției biofiltrului și ea permite creșterea semnificativă a încărcărilor.

Cota de retenție a apei în biofiltru se definește prin raportul dintre volumul de lichid prezent în spațiul granular în regim permanent și volumul total al filtrului. Acest nivel de retenție total consideră cota de reținere statică – apa blocată prin capilaritate și cota de reținere dinamică – ia în calcul volumul de apă în tranzit prin efectul de alimentare. Apa de alimentare care intră schimbă și reînnoiește filmul de lichid din contact cu pelicula biologică ceea ce conduce la o cotă de retenție importantă.

Încărcarea organică specifică peliculei organice I_{sp} [kgCBO₅/kg s.s.u. peliculă și zi] reprezintă raportul dintre cantitatea de materie organică care intră zilnic în instalația de epurare cu peliculă biologică și masa de substanță solidă uscată a filmului biologic.

Viteza de degradare a materiei organice K [mgCBO₅/oră sau mgCT/oră] este o mărime dependentă de natura substratului și de condițiile de operare în sistemul peliculă biologică – lichid – aer.

Funcție de valorile parametrilor definiți mai sus pot apărea următoarele regimuri. **Regimul de mare încărcare** definit prin valorile $0,4 < I_{ov} < 4,8$ kgCBO₅/m³·zi și $4 < I_h < 40$ m³/m²·zi. În funcționare la acest regim apare o producție importantă de biomasă, putrescibilă, formată în mod constant din celule tinere. În acest caz este necesară o încărcare hidraulică ridicată pentru a reuși îndepărtarea nămolului care se va desprinde relativ repede de pe corpurile de umplutură. Randamentul de epurare este scăzut. Un astfel de regim este recomandat în cazul filtrelor folosite la

preepurare, filtre degrositoare utilizate ca etaj înainte de filtrul de finisare sau procedeul cu nămol activ. *Regimul de mică încărcare* pentru care $l_{ov} < 0,4 \text{ kgCBO}_5/\text{m}^2\text{zi}$ și $1 < l_h < 4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{zi}$. În acest caz apare o cantitate mică de nămol, slab fermentabil. Pelicula biologică este formată din celule aerobe și anaerobe în faza endogenă, la care apare și un procent ridicat de nitrificare. Nămolul are o bună decantabilitate ce conduce la o separare ușoară.

Materialele solide care se introduc în instalațiile de epurare cu peliculă biologică, denumite și corpuri de umplură, trebuie să răspundă unor cerințe de bază impuse de tehnologie și consumul de energie. Astfel, corpurile de umplură se caracterizează prin: suprafață specifică, permeabilitate, uniformitate, rezistență mecanică, rezistență chimică.

Suprafață specifică s [m^2/m^3] reprezintă suprafața unității de volum – raportul dintre suprafața exterioară a corpurilor de umplură și volumul lor. Ea caracterizează suprafața activă a peliculei biologice. Pentru o epurare eficientă a apelor uzate este necesar ca acest parametru să aibă o valoare cât mai mare posibilă. Această cerință este în contradicție cu permeabilitatea. Suprafața specifică s este proporțională cu raportul $6/d_p$, unde d_p este diametrul sferei echivalente a unei granule din strat cu expresia $d_p = \sqrt[3]{\frac{6(1-\varepsilon)}{\pi N}}$, în care N este numărul

de elemente din stratul granular pe unitatea de volum de filtru. Cantitatea de peliculă biologică care se formează este proporțională cu această suprafață de contact interfacială și deci cu suprafața specifică. În general, suprafața specifică are valori de $80...120 \text{ m}^2/\text{m}^3$, dar anumite corpuri moderne, cu forme geometrice deosebite (cavități, goluri etc.) pot atinge $140 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Pentru încărcări organice de peste $300 \text{ mgCBO}_5/\text{l}$ este oportună o valoare de $120 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Permeabilitatea este un parametru care apreciază posibilitatea scurgerii fluidelor prin spațiile dintre corpurile de umplură. Având în vedere grosimea peliculei biologice, spațiul necesar de curgere a apei uzate și aerului, interstițiile trebuie să fie de minimum 10 mm . Corpurile de umplură trebuie să evite riscul de atașare și fixare. Aceasta impune o construcție cu spații suficient de mari, o uniformitate cât mai bună a corpurilor de umplură. Permeabilitatea se poate aprecia prin porozitate sau fracția de volum ε [%].

Porozitatea trebuie să fie suficient de mare pentru a permite schimbul substanțelor în exces din biomasă și o circulație corectă a aerului în interiorul biofiltrului. Este de precizat că porozitatea ε scade cu reducerea diametrului echivalent a corpurilor de umplură. Porozitatea și rugozitatea materialului de umplură joacă un rol important în fixarea și oxidarea peliculei biologice. Un filtru bun asigură un compromis între suprafața specifică s maximă (diametru echivalent minim) și porozitatea ε [%] suficientă pentru a permite evacuarea biomasei și circulația optimă a fazelor.

Uniformitatea mare a materialului de umplură permite o permeabilitate ridicată și favorizează dispersia aerului și a materiei organice în pelicula biologică. Cu cât materialele sunt mai uniforme cu atât se va obține cel mai mare spațiu gol între granule și se va asigura o circulație corectă a apei uzate și a aerului. Ea se realizează printr-o granulometrie deosebită a materialului.

Rezistența mecanică a materialului de umplură trebuie să corespundă preluării sarcinii de compresiune, în special dacă corpurile stau la baza construcției

ce lucrează prin tehnologia peliculei biologice. Acest parametru depinde direct de greutatea specifică a materialului de umplură care impune înălțimea maximă a biofiltrului.

Rezistența chimică este impusă de necesitatea menținerii formei și grosimii corpurilor de umplură. Corpurile se cer a fi construite din materiale inerte care nu trebuie să intre în reacție chimică cu apa, constituenții din apa uzată sau cu enzimele biochimice generate de pelicula biologică.

Costurile reprezintă un parametru deosebit de important în achiziționarea corpurilor de umplură.

Corpurile de umplură pot fi tradiționale sau moderne. Corpurile tradiționale sunt: piatră, lavă, coacs, antracit, cărbune, granit, bazalt, cu dimensiuni de la $60...80 \text{ mm}$ la $80...100 \text{ mm}$, suprafață specifică $s = 45...55 \text{ m}^2/\text{m}^3$, porozitate $\varepsilon = 50...55\%$, $\rho = 1350 \text{ kg}/\text{m}^3$. Aceste materiale suportă încărcări organice specifice de $0,2...0,6 \text{ kgCBO}_5/\text{m}^3$ și zi. Ele au dezavantajul că la valori de peste $0,6 \text{ kgCBO}_5/\text{m}^3$ și zi nu mai pot fi utilizate, deoarece porozitatea și suprafața specifică limitează posibilitățile folosirii tehnologiei de epurare cu peliculă. Corpurile moderne au suprafețe specifice mari de ordinul $s = 80...120 \text{ m}^2/\text{m}^3$ și pot atinge chiar $s = 140...302 \text{ m}^2/\text{m}^3$, indice de volum (porozitate) $\varepsilon = 92...96\%$, cu densități de ordinul $40...60 \text{ kg}/\text{m}^3$, ele sunt executate din PVC și PP- polipropilenă) cu forme variate.

Procesul de epurare în peliculă se desfășoară în instalații compuse din: 1. Instalația propriu-zisă; 2. Decantorul secundar; 3. Circuitul de recirculare; 4. conducta de evacuare a nămolului (fig. 2.13). Recircularea efluentului se realizează cu un raport $R = (Q_i + Q_R)/Q_i = 1...5$. Avantajele recirculării sunt prezentate în cele ce urmează:

- ✓ *Egalizarea încărcării hidraulice.* Instalația de epurare se poate prevedea cu un sistem de reglare a debitului de recirculare astfel încât să existe relația debitului de încărcare $Q_m = Q_i + Q_R = \text{constant}$. În acest mod se va asigura un efluent stabilizat cu caracteristici constante, nu apare o suprasarcină la decantorul secundar și se va economisi energia pentru distribuția influentului.
- ✓ *Asigurarea unui debit minim de umidificare.* Pentru supraviețuirea peliculei și evitarea desprinderii biomasei este suficient un debit de încărcare minim de $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{oră}$. Recircularea efluentului trebuie să asigure menținerea acestui debit minim.
- ✓ *Egalizarea caracteristicilor influentului.* Recircularea efluentului are ca efect reducerea variațiilor în compoziția și concentrația influentului.
- ✓ *Majorarea contactului dintre substratul adsorbit și îndepărtat și biomasă.* Lichidul brut, decantat, este continuu inoculat cu biomasă transportată de lichidul recirculat. În acest mod se modifică timpul de contact dintre biomasă și substrat.

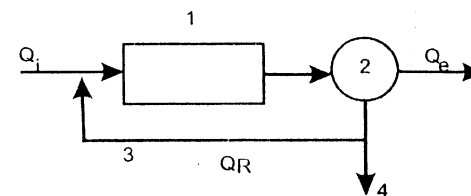


Fig. 2.13. Instalație de epurare cu peliculă:
1 – instalația de epurare; 2 – decantor secundar; 3 – nămolul recirculat; 4 – nămol evacuat.

- ✓ Asigură debitul de autocurățire.
- ✓ Împiedică dezvoltarea insectelor.
- ✓ Se asigură controlul mirosurilor.

Procedeele de epurare biologică din biofiltru sau aerofiltru. Biofiltrul sau filtrul bacterian este un sistem utilizat curent în tehnica epurării biologice aerobe. Biofiltrul se amplasează în schema de epurare după decantorul primar. El se poate introduce în schemă și după instalația de epurare cu nămol activ de mare încărcare în scopul de a finisa procesul de degradare al materiei organice. Există și scheme de epurare completă a apelor uzate care conțin trei trepte echipate cu filtre biologice primul destinat eliminării produșilor de carbon, iar următoarele pentru procese de nitrificare și denitrificare.

Biofiltrul (fig. 2.14) este alcătuit dintr-o construcție din beton, cu înălțimea cuprinsă între 1 și 4 m, în care se introduce un material brut, dur, rugos, impermeabil. Materialul, cu dimensiunea optimă între 40 și 80 mm (3), umple spațiul construcției din beton armat (1). În zona de suprafață se pot pune particule mai mici 30...50 mm, iar la fund mai mari de 60...100 mm, depuse pe un planșeu drenant, realizat din prefabricate, care susține materialul granular. Apa uzată, decantată în prealabil, intră pe conducta (7) și este repartizată uniform pe suprafața biofiltrului datorită distribuitorului (2). Repartiția apei se face intermitent astfel încât, între udări, să se permită circulația aerului atmosferic în scopul oxigenării. Construcția poate să fie de tip cilindric, caz în care distribuitorul este rotitor, sau de forma unui paralelipiped cu distribuitor ce încalcează bazinul și are o mișcare du-te-vino. Apa purificată este colectată prin intermediul conductelor de drenaj (5) și evacuată pe canalul (6).

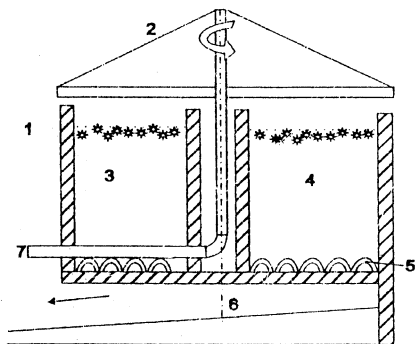


Fig. 2.14. Schema unui filtru biologic:

- 1 – construcție din beton; 2 – distribuitor rotativ; 3 – material de umplutură;
- 4 – material de rezistență; 5 – tuburi drenaj;
- 6 – canal de evacuare; 7 – conductă admisie apă brută.

Randamentul de epurare, gradul de îndepărtare al substanțelor organice, este de circa 80%; așadar, sunt permise încărcări organice de ordinul 30...100 mgCBO₅/l. În cazul corpurilor de umplutură clasice – cocs metalurgic, piatră silicioasă cu granulația de 40...80 mm – la biofiltre de mică încărcare se asigură o sarcină specifică hidraulică de 0,4 m³/m²h și organică specifică de volum de 0,08...0,15 kgCBO₅/m³zi. Biofiltrele de mare încărcare, cu umplutură clasică sau din masă plastică neordonată, au o încărcare hidraulică de 0,7 m³/m²h și organică de 0,7...0,8 kgCBO₅/m³zi. În cazul corpurilor de umplutură din materiale plastice ordonate se poate ajunge la încărcări hidraulice de 1,5...3,0 m³/m²h și organice de 1...5 kgCBO₅/m³zi; în acest ultim caz suprafața specifică de contact poate ajunge până la 300 m²/m³ și o fracție de goluri de 95% ceea ce explică valorile ridicate ale parametrilor de eficiență.

În general, ventilația – aerisirea se asigură în mod natural ca urmare a diferenței de temperatură dintre interiorul și exteriorul biofiltrului. Temperatura din interior este aproximativ egală cu cea a apelor uzate. Așadar, iarna interiorul are o temperatură mai ridicată decât exteriorul ceea ce conduce la apariția unui efect de tiraj – apare un curent ascendent. Vara aerul este mai cald în exterior ceea ce face să apară un curent descendent, în echicurent cu apa uzată care se scurge din distribuitor. Cercetările efectuate de Halverston au arătat că la o diferență de temperatură de 6°C, între interiorul și exteriorul biofiltrului, apare un curent natural cu debitul specific de 0,3 m³aer/m² de suprafață și minut, deci o viteză de circulație a aerului atmosferic de 18 m/h. Această valoare este suficientă pentru asigurarea necesarului de oxigen în procesul aerob al peliculei; oxigenul transferat din aerul atmosferic reprezintă circa 3...5%. La o diferență de temperatură de 2°C curgerea aerului prin mediul granular încetează. Factorii de mediu, de exemplu vântul, influențează ventilația naturală însă caracterul lor aleatoriu nu permite o abordare teoretică. Iarna, în exploatare, biofiltrul se comportă ca un turn de răcire datorită tirajului natural. Vara biofiltrul degajă în mediul înconjurător mirosuri neplăcute și favorizează dezvoltarea muștelor.

Distribuitoare pentru biofiltre

Echipamentele destinate realizării distribuției apei uzate trebuie să asigure o repartizare uniformă a acesteia pe suprafața plană a biofiltrului, însă, cu intermitență, astfel ca, între udări, stratul filtrant să poată primi cantitățile de aer necesare oxigenării peliculei biologice. Împrăștierea apei uzate se realizează cu: a) distribuitoare fixe – care pulverizează apa prin duze amplasate pe o rețea de conducte; b) distribuitoare mobile cu mișcare de rotație la biofiltre circulare sau alternativă du-te-vino pentru cazul biofiltrelor cu suprafața în plan un dreptunghi.

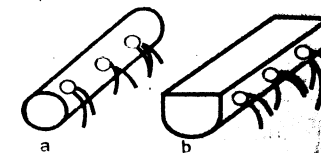


Fig. 2.15. Distribuitoare fixe pe suprafața biofiltrului.

Distribuitoare fixe. Aceste dispozitive statice sunt utilizate relativ rar și numai la biofiltrele de mici dimensiuni. Ele (fig. 2.15) se construiesc sub forma unor conducte (a) sau jgheaburi cu perforații (b) amplasate direct pe suprafața stratului granular, la intervale de 1,2...2,0 m. Diametrul tuburilor perforate este de 200...300 mm, iar a orificiilor de 10...20 mm amplasate la o distanță între axe de 0,5...1,0 m.

Pentru repartiția apei pe suprafață se mai pot utiliza duze stropitoare – sprinklere – amplasate la 100...200 mm față de stratul filtrant utilizat ca suport pentru conductele de alimentare. Duzele stropitoare, construite din bronz sau alamă, sunt alcătuite dintr-un ajutor și o pâlnie defletoare reglabilă pentru împrăștiere.

Distribuitoare rotative. Aceste echipamente, apărute în Anglia în 1906, este destinat filtrelor biologice cu secțiune circulară în plan. El este alcătuit din două coloane verticale, una inferioară fixă și alta superioară mobilă. Pe coloana mobilă rotitoare sunt amplasate 2 sau 4 brațe orizontale și numai la dimensiuni foarte mari 6 sau 8 brațe. Apa uzată intră prin coloana fixă în cea mobilă și se răspândește deasupra filtrului biologic prin orificiile brațelor orizontale situate la 150...250 mm pe stratul granular al filtrului.

Etanșarea dintre cele două brațe este specială (fig. 2.16), hidraulică cu mercur. Coloana mobilă 1 este situată deasupra celei fixe 2, iar paharul 3 închide un spațiu ce cuprinde mercurul 4. Acesta, în rotație, va ocupa un spațiu după forma paraboloidului în rotație – problema echilibrului relativ a vasului în rotație din mecanica fluidelor. Datorită greutății specifice mult mai mari ca a apei ruperea coloanei de mercur este dificilă pentru apa uzată care are o presiune redusă în coloana superioară de distribuție.

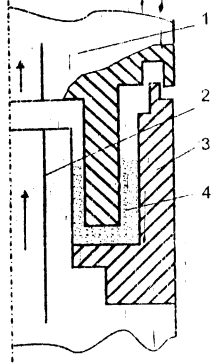


Fig. 2.16. Etanșare cu mercur la distribuitorul rotativ.

Orificiile se amplasează pe conducta orizontală la distanțe variabile – spre centru mai depărtate (circa 300 mm), iar spre periferie mai apropiate (circa 75 mm). În acest mod se va echilibra pierderea de sarcină pe fiecare orificiu și în mod evident debitul pe aceleași orificii.

Coloana rotitoare se execută din fontă și este susținută pe un lagăr dublu format dintr-un rulment axial și altul radial, lubrefiate cu unsoare consistentă. O carcasă intermediară din fontă fixează rulmentul radial. Pentru ghidarea coloanei mobile, în jurul camerei de etanșare, se montează un inel circular cu role, fiecare rolă fiind montată pe un rulment.

În cazul distribuitorilor cu patru brațe, pentru a se menține efectul de propulsie și la debite mici, se amplasează, pe două dintre ele, robineti paralelipedici de repartiție care scot din funcțiune cele două brațe menținând sarcina pe conductele orizontale active.

Echipeamente mecanice pentru epurarea cu peliculă biologică

Echipeamentele mecanice pentru epurarea apelor uzate cu peliculă biologică sunt dotate cu un grup de antrenare care pune în mișcare de rotație un organ activ ce poate fi un set de discuri, un tambur sau un șurub fără sfârșit. Acest organ activ este parțial imersat în apa uzată, decantată în prealabil. Pe suprafețele organului activ se formează pelicula biologică care este succesiv umețată, când porțiunea este imersată și aerată în zona de contact cu mediul înconjurător.

Discurile biologice sau biodiscurile (fig. 2.17), sunt executate sub forma unor plăci circulare 3, din aluminiu, masă plastică poroasă etc. montate pe arborele 4 antrenat în mișcare de rotație de la un motoreductor. Acest pachet de discuri, 20...25 bucăți, este montat într-o carcasă 2 care, la rândul ei, este amplasată în cuva exterioră 1. Pe arbore se pot monta 3...4 pachete cu discuri. Cuvă exterioră

poate să fie acoperită, în scop de protecție contra înghețului, cu un capac 6 prevăzut cu fante de circulație a aerului atmosferic. În acest caz se reduce influența factorilor de mediu care pot mări diluția sau reduce timpul de staționare. Pelicula care se desprinde de pe discuri cade între cuve unde formează un strat de nămol 5. Așadar, în apa supusă procesului de epurare din cuvă sunt și flocoane de nămol care plutesc și microorganisme izolate ce măresc gradul de degradare a materiei organice. Nămolul dintre cuve intră în anaerobie și gazele rezultate se degajă în atmosferă. Periodic se impune evacuarea nămolului din zona de fund.

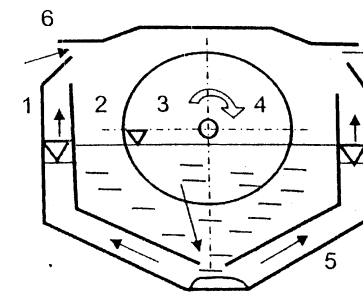


Fig. 2.17. Echipament de epurare biologică cu discuri și peliculă biologică:
1 – construcție metalică; 2 – cuvă interioară; 3 – set discuri;
4 – arbore; 5 – depozit de nămol;
6 – admisie aer.

Discurile au o grosime de 0,7...1,5 mm, cu diametrul de 500...3000 mm, fiind amplasate la o distanță de 15...20 mm. Această distanță dintre discuri va permite, ca în cazul unei pelicule biologice cu grosimea de 4 mm, pe fețele laterale ale două discuri alăturate, să rămână loc pentru circulația apei și a aerului. Discurile sunt parțial imersate în apa uzată supusă procesului de epurare, cu nivelul static al apei sub lagărele arboreului. În perioada de imersare pelicula biologică adsoarbe materia organică din apa uzată și o fixează în scopul degradării. Filmul de lichid, în contact cu pelicula biologică, este continuu reînnoit prin fenomen de capilaritate. În perioada când partea umețată iese din apă, datorită deficitului de oxigen față de saturație, va apare în mod natural fenomenul de oxigenare – transferul oxigenului din aer în apă. Apa uzată parcurge cuvă în lungul arboreului, perpendicular pe discuri. Epurarea biologică poate să aibă loc în una până la patru trepte corespunzătoare seturilor de discuri.

Turația seturilor de discuri este de 2...3 rot/min limitată din considerentul de a evita detașarea prematură a peliculei biologice; așadar, viteza periferică se limitează superior la valoarea de 20 m/min, cu un optim de 18 m/min. În general se recomandă ca la aceste echipamente să se utilizeze variatoare de turație în scopul adaptării vitezei periferice la necesitățile procesului. Turația setului de discuri influențează direct debitul de oxigen transferat din aer în apă.

Imersiunea optimă a discurilor este corespunzătoare unei cote de 100...150 mm între nivelul static al apei și arborele pachetului. Instalațiile moderne au discurile cu suprafață ondulată pentru a mări mult indicele de suprafață specifică.

Consumul de energie este redus, corespunzător lucrului mecanic necesar acoperirii frecării discurilor cu mediul lichid și a celor din lagăre. În raport cu o instalație similară de epurare cu nămol activ consumul de energie este de numai 20%. Acest consum energetic poate fi în gama 0,72...9,60 kWh/zi. Experimentările au confirmat faptul că acest echipament este economic și dă un bun randament fiind indicat la epurarea biologică a apelor uzate care rezultă din localități mici, societăți comerciale de mică capacitate, hoteluri izolate etc.

Șurubul biologic sau biospiralul este un echipament similar cu cel descris mai sus cu deosebirea că organul activ este un șurub fără sfârșit asemănător celui utilizat la elevatorul hidraulic. Acesta este antrenat în mișcare de rotație de către un grup motoreductor. Datorită formei și mișcării de rotație se reușește crearea unui curent general, longitudinal, care favorizează menținerea în suspensie a particulelor de nămol.

2.6. Epurarea anaerobă a apelor uzate

Epurarea anaerobă se folosește pentru tratarea nămolului rezultat din stația de epurare, mai puțin cunoscută fiind aplicarea procedurii în epurarea apei. Epurarea anaerobă a apelor uzate nu înseamnă același lucru cu tratarea anaerobă a nămolurilor, deoarece cea mai mare parte a materiilor organice din apa uzată sunt dizolvate. Pentru a fi îndepărtate din apa uzată trebuie să se asigure un timp suficient de contact între substanțele organice și microorganismele anaerobe, astfel că în epurarea anaerobă a apelor uzate există o mare diferență între timpul hidraulic de retenție și vârsta nămolului.

Epurarea anaerobă este utilizată pe cale largă la îndepărtarea materiilor organice din apele uzate rezultate din anumite industrii (alimentară: producerea băuturilor alcoolice, a berii, a uleiului etc.; industria celulozei și hârtiei, petrochimică). Chiar și apele uzate municipale pot fi tratate prin acest procedeu în țările cu climat tropical. Ea este recomandată pentru încărcări organice peste 2500 mgCBO₅/l, la care epurarea aerobă ar duce la costuri energetice foarte ridicate.

Prin epurare anaerobă se îndepărtează o mare parte din substanțele organice, dar aproape deloc nutrienții. De aceea, ea trebuie considerată o treaptă de preepurare, care trebuie urmată de alte procedee de epurare.

Fermentarea anaerobă conduce la descompunerea substanțelor organice în cadrul metabolismului celular al bacteriilor anaerobe. Această fermentare produce biogaz, care, în medie, are următoarea compoziție: 65% metan, 25% dioxid de carbon, 2,2 % hidrogen, 2 % azot, 0,5 % hidrogen sulfurat și circa 0,2 % diferite particule antrenate de gazele care se degajă. Puterea calorică inferioară a biogazului este cuprinsă între 17...25 MJ/m³, dependent de cantitatea și calitatea materiilor organice din masa de apă. Aproximativ 70% ... 90% din materia organică conținută de apele uzate este transformată în biogaz prin fermentarea anaerobă.

Rezultatul final al procedurii anaerobe de prelucrare a materiilor organice constă în:

- nămol, care poate fi folosit în agricultură ca un bun fertilizator;
- apa epurată;
- gazul de fermentație – biogaz

Epurarea anaerobă, ca orice proces biologic, poate fi:

- cu nămol în suspensie
- cu biofilm.

Apa uzată, înainte de a intra în treapta de epurare biologică anaerobă, trebuie tratată fizic.

O instalație anaerobă este alcătuită din următoarele componente:

- cameră specială, incintă închisă, destinată cultivării, creșterii și dezvoltării culturilor de bacterii anaerobe;
- reactor biologic anaerob unde se prelucrează apele uzate; acesta este dotat cu sisteme de circulație interioară cu scop de omogenizare și favorizare a contactului dintre materia organică și mediul bacterian;
- sistem de recuperare a gazelor și nămolurilor care se formează (pompe, ventilatoare etc.);
- sistem pentru încălzirea apei astfel încât procesul să evolueze în regim mezofil de temperatură (32...35°C) cu viteza maximă de degradare a materiilor organice
- sistem de circulație exterioară;
- rezervoare de stocare a biogazului.

Epurarea anaerobă cu nămol în suspensie funcționează după o schemă asemănătoare epurării aeriene cu nămol activ. Nămolul este menținut în suspensie cu ajutorul amestecătoarelor, prin barbotare datorită bulelor de gaz rezultate din fermentație și prin pomparea apei uzate în reactorul biologic. Reactorul biologic este un bazin de 5–10 m înălțime, iar nămolul este separat prin sedimentare, de obicei în decantoare lamelare, după ce trece fie printr-un sistem de stripare a gazului, fie printr-un schimbător de căldură.

Varianta modernă a acestui proces de epurare anaerobă este procesul de epurare cu pătură de nămol, care constă dintr-un reactor biologic cu curgere ascendentă combinat cu un bazin de sedimentare. Apa uzată intră continuu pe la partea inferioară a bazinului, printr-un sistem de distribuție, iar în partea superioară cu ajutorul unui separator complex se separă gazul, apa și nămolul.

Epurarea anaerobă cu film biologic are loc în filtre biologice (fig. 2.18) sau în instalații cu biodiscuri, asemănătoare procesului aerob, cu deosebirea că în acest caz bioreactorul trebuie să fie complet etanș pentru a permite dezvoltarea microorganismelor anaerobe. De obicei instalațiile de acest tip nu necesită sedimentare finală deoarece există puține suspensii solide în efluent, producția de nămol fiind mică, precum și datorită faptului că epurarea anaerobă se utilizează doar ca treaptă de preepurare.

Componenta principală a instalațiilor de epurare anaerobă o constituie **bioreactorul**. Acesta este un recipient complet etanș, pentru a nu permite pătrunderea oxigenului și a luminii. În interiorul bioreactorului se formează un număr de 55 de specii diferite de bacterii anaerobe. Fiecare tip de bacterii va digera un tip diferit de materie organică, mediul bacterian adaptându-se automat la compoziția apei uzate care intră în reactor. Mediul de cultură bacterian poate fi reținut pe pelicula biologică formată pe corpuri fixe sau pe sisteme mobile (după tipul procedurii Kaldnes de la reactoarele biologice aeriene), care impun o continuă recirculare sau se pot fixa prin autolipire granulară (microorganismele se lipesc unele de altele).

Pentru realizarea transformărilor conform degradării anaerobe, este foarte important ca diferitele procese de degradare să fie suficient de legate, pentru a se asigura transferul acumulărilor între grupurile de microorganisme implicate:

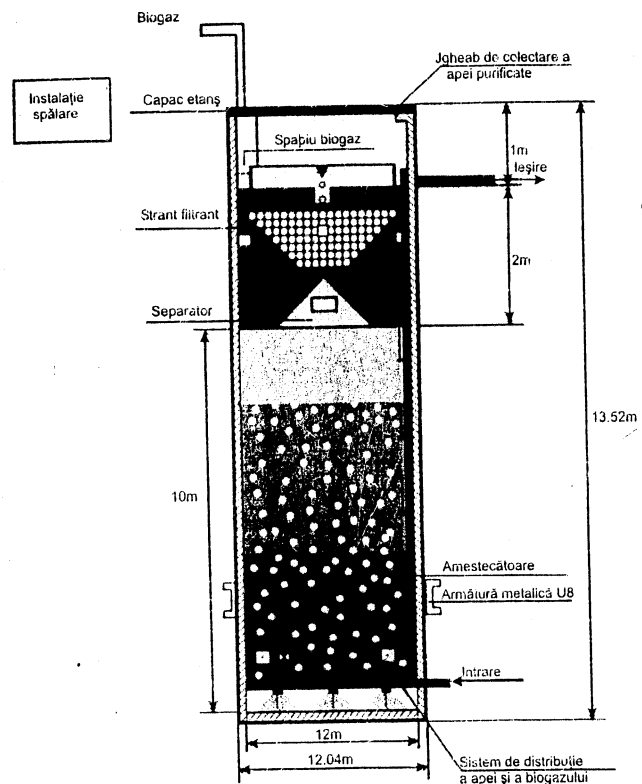


Fig. 2.18 Schema biofiltrului anaerob pentru epurarea apelor uzate.

Primul grup de microorganisme sunt cele care realizează hidroliza și care desfac substanțele complexe în acizi organici, aminoacizi, hidrogen și dioxid de carbon.

Al doilea grup este reprezentat de microorganismele acidogenice și producătoare de hidrogen, care descompun substanțele rezultate anterior în hidrogen, acid acetic, și bioxid de carbon.

Al treilea grup este reprezentat de microorganismele metanogene, care transformă compușii simpli, ca: acidul acetic, metanol, hidrogen, și bioxid de carbon, în metan. Viteza de creștere a acestor bacterii este mai lentă, de 5-6 ori mai mică decât a bacteriilor nemetanogene, de aceea ele sunt cele care impun timpul de degradarea materiilor organice.

Reactoarele biologice anaerobe necesită echipamente de amestecare, care pot fi mecanice sau sisteme cu barbotare care recircula biogazul prin amestecul polifazic. Ele pot fi amplasate fie subteran, fie suprateran, dar în ambele cazuri trebuie să fie bine etanșate. Bazinele vor avea nevoie și de o sursă de

căldura, pentru a menține temperatura optimă pentru bacterii în regim mezofil. Sistemele la care se asigură aceste temperaturi au următoarele avantaje: volum redus al reactorului biologic, producție mare de metan, creștere și dezvoltare mai rapidă a bacteriilor, distrugerea mai eficientă și mai rapidă a virușilor și bacteriilor patogene. Un dezavantaj major al acestora este acela că necesită sisteme mai complicate și mai scumpe necesitând în același timp și un control mai bun.

Biogazul necesită a fi prelucrat până la utilizare. De obicei este trecut prin separatoare speciale, unde metanul este separat de restul gazelor. Metanul este componentul care conferă biogazului valoare energetică. În stare pură este un gaz combustibil, lipsit de culoare, miros sau gust; mai ușor decât aerul ($M = 16$); arde cu flacără albastruie; are o putere calorică de 97 MJ pe mililitru (puțin mai mult ca motorina). Biogazul, comparativ cu metanul pur, are o putere de 25 MJ/ml, din cauza prezenței în el a dioxidului de carbon și altor gaze. Metanul nu se lichiefiază la temperatura mediului ambiant (de la -20°C până la $+40^{\circ}\text{C}$). Se păstrează la presiuni joase în containere cu volum mare sau presiuni ridicate în volume mici. De exemplu, o butelie de 0,1 ml la presiunea de 200 bari conține 28 ml de metan, cu care un tractor poate funcționa 8 ore.

Efluentul (apa epurată), indiferent de compoziția influentului (apa uzată), este aproape pur. Nămolul, care este o mare problemă într-o stație de epurare, aici nu mai ridică nici o problemă deoarece cantitatea de nămol rezultată este foarte redusă.

Eficiența de degradare a materiilor organice prin fermentarea anaerobă depinde de o serie de factori, dintre care cei mai importanți care trebuie luați în considerare în stabilirea gradului de bioconversie, pentru sistemele de epurare anaerobă, sunt:

- numărul foarte mare de microorganisme care asigură degradarea substratului organic, mai mult sau mai puțin complex;
- faptul că microorganismele de diverse tipuri au diferite caracteristici cinetice și sunt afectate în mod diferit de condițiile de mediu (exemplu: pH-ul, temperatura, compuși toxici);
- produșii intermediari, specifici fiecărui grup de microorganisme, pot afecta, într-o mai mare măsură, alte grupuri de microorganisme;
- factorii chimici și fizici pot afecta, într-o mare măsură, gradul de bioconversie (exemplu: mărimea și densitatea particulelor solide de natură organică, solubilitatea particulelor solide de natură organică, mărimea și densitatea microorganismelor, modul de punere în contact a microorganismelor cu apa uzată etc.);
- schimbarea condițiilor de mediu în reactor, datorate schimbării indicatorilor fizici și chimici ai apei uzate (exemplu: pH, alcalinitate, concentrația apei în sulfat, amoniac etc.).

Caracteristicile nămolului

1. *Activitatea metanică specifică* a nămolului se exprimă prin cantitatea de substanțe organice transformată în CH_4 , raportată la cantitatea de nămol și de

timp; în mod curent, se exprimă în: $\frac{\text{gCCOCH}_4}{\text{gSVS din nămol} \times \text{t}}$

2. Forma nămolului

Se deosebesc trei tipuri de nămoluri, din punctul de vedere al modului în care se pot lega particulele:

- nămol dispersat** – nu are loc o agregare (legare) a particulelor de nămol; din aceasta cauză, nămolul prezintă proprietăți slabe de sedimentabilitate;
- nămol legat** – formând flocoane distincte; din această cauză nămolul prezintă proprietăți medii de sedimentabilitate;
- nămol granular** – bacteriile sunt legate compact, în adevărate granule, cu diametrul de 1...3 mm; din aceasta cauză nămolul prezintă proprietăți superioare de sedimentabilitate;

Vitezele de sedimentare posibil a fi folosite în reactoarele anaerobe depind de tipul nămolului care se va forma; în general, se pot considera următoarele viteze: nămolul dispersat – 0,05...0,2 m/h; nămolul legat – 3 m/h; nămolul granular – 6 m/h.

3. Reținerea nămolului în reactor este foarte importantă, fenomenele de destrămarea a stratului suspensional și de evacuare a biomasei din reactor fiind des întâlnite, ca urmare a modului defectuos de exploatare.

Cel mai important test care condiționează folosirea sistemului de epurare biologică anaerobă este testul pentru stabilirea **gradului de biodegradabilitate anaerobă** a apei uzate și care se realizează în sistem staționar (închis), fără realimentarea reactorului.

Pentru realizarea instalației anaerobe trebuie stabilite următoarele elemente:

- compoziția chimică a substratului (necesarul de nutrienți suplimentari);
- încărcarea organică a reactorului (I_{ob} – kg CCO/m³ reactor x zi);
- timpul de retenție hidraulică (durata de staționare – TRH – ore, zile);
- încărcarea stratului suspensional în biomasa (kg/dm³);
- cantitatea de gaz metan obținută prin fermentare;
- randamentul procesului de epurare anaerobă (% de reducere a substanțelor organice);
- viteza ascensională a apei uzate în reactor, care condiționează acumularea biomasei în stratul suspensional;
- temperatura optimă pentru desfășurarea la eficiență maximă a procesului de epurare;
- nivelul de reducere a eficienței procesului de epurare pentru diferite concentrații ale substanțelor toxice;
- suprafața maximă necesară pentru uniformizarea debitului de apă uzată, la nivelul radierului reactorului;
- înălțimea optimă între secțiunea de colectare a gazului de fermentare și nivelul maxim al apei în reactor, corespunzătoare asigurării suprafeței optime pentru colectarea și reintroducerea în circuit a biomasei;
- înălțimile optime, pentru fiecare caz în parte, a zonei de intrare-liniștire, zonei stratului suspensional, zonei de liniștire separare lichid-gaz, zonei de separare gaz-lichid;

- gradul de agresivitate a apelor uzate și a gazului de fermentare, pentru a se stabili materialele necesare a fi folosite (exemplu : betonul, dacă nu se respectă rețeta exactă, se degradează rapid, datorită bioxidului de carbon produs prin fermentare);

Eficiența instalației anaerobe privind reducerea substanțelor organice din apele uzate orășenești și industriale este de la 70% până la 95 %.

Față de epurarea aerobă, are următoarele avantaje:

- epurarea anaerobă se folosește la încărcări organice mari, la care epurarea aerobă ar fi avut un cost de exploatare foarte mare datorită consumului mare de energie electrică;
- la instalația anaerobă rezultă o cantitate mult mai mică de nămol, deci se consumă mult mai puțină energie electrică pentru tratarea acestuia, acesta fiind nămol stabilizat;

Comparând descompunerea materiilor organice, a căror concentrație este exprimată prin CBO_5 , prin cele două procedee, aerob și anaerob (fig. 2.19), se poate observa că din epurarea anaerobă rezultă 10% nămol, pe când din cea aerobă rezultă 50% nămol, deci pentru epurarea aerobă va fi nevoie de o instalație de tratare a nămolului, care nu este necesară epurării anaerobe.

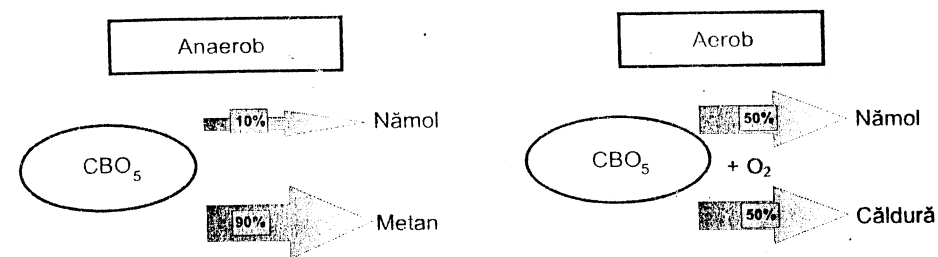


Fig. 2.19. Comparație produși aerob-anaerob.

- pornirea instalației de epurare în regim anaerob se face în câteva minute (30 min), bacteriile anaerobe având această caracteristică de a se adapta foarte rapid;
- principalele avantaje ale metodei anaerobe sunt consumul mic de energie electrică și producția de biogaz, care se folosește la producerea energiei electrice și termice necesare; prin producerea proprie de energie electrică și termică costul apei epurate scade cu 75%.

Principalul dezavantaj al instalației de epurare anaerobă este acela că necesită o investiție inițială mare, față de cea aerobă. Un alt dezavantaj major îl constituie faptul că această metodă are o eficiență mai scăzută, acest lucru însemnând aplicarea unei epurări suplimentare în regim aerob.

Principalii factori ce trebuie comparați între biotehnologia aerobă și cea anaerobă sunt consumul de energie folosit, producția de biogaz și producția de nămol în exces asociată cu costurile de manipulare și descărcare. Astfel, studiile au arătat următoarele:

- consumul de energie electrică scade cu 60% la instalația anaerobă;
- producția de nămol scade cu 80% la instalația anaerobă;
- investiția crește cu aproximativ 50% la instalația anaerobă;
- la instalația anaerobă rezultă o producție de biogaz ce poate fi valorificat.

2.7. Procedee, instalații și echipamente pentru oxigenarea apelor

Oxigenarea apelor este un proces de transfer de masă a gazului în masa de lichid. El se poate utiliza în tratarea apelor în scopul deferizării sau demanganizării și în epurarea apelor la treapta biologică. Procesul se poate baza pe oxigenul din aer, pe aerul ozonizat sau direct pe oxigenul pur.

2.7.1. Parametrii unei instalații de oxigenare a apelor

Se consideră un bazin de aerare de formă rectangulară în plan, pătrat cu latura l și cu adâncimea h . În centrul suprafeței plane se află un echipament mecanic de oxigenare. Pe o astfel de instalație se definesc următorii parametri geometrici, mecanici, hidrodinamici și tehnologici – funcționali.

1. Parametrii geometrici ai reactorului și ai echipamentului de oxigenare

a) Parametrii geometrici relativi la cuva de aerare sunt:

- latura bazinului de oxigenare notată cu L în cazul când acesta are forma de pătrat sau cu d – diametrul – dacă reactorul de oxidare este de forma circulară în plan orizontal;

- adâncimea apei h apreciată prin cota nivelului static al apei față de radierul bazinului;

- diferența de nivel Δh – în unele cazuri, când reglarea cantității de oxigen introduse în masa de apă se face prin variația nivelului, trebuie considerată și aceasta sub forma cotei Δh măsurată între nivelul maxim și minim al apei din bazin; în general, pentru a ține cont de variațiile nivelului apei în timpul funcționării echipamentelor de oxigenare, înălțimea pereților cuvei de aerare depășește cota nivelului static maxim al apei cu circa 0,8...1,2 m;

- volumul de lichid V cuprins în cuva de aerare în care trebuie să funcționeze echipamentul de oxigenare;

b) Parametrii geometrici relativi la echipamentul de oxigenare sunt:

- diametrul caracteristic – diametrul rotorului pentru echipamente mecanice cu organe active rotitoare notat cu D , diametrul duzei d_0 în cazul sistemelor

pneumatice cu dispersia gazului sub formă de bule în masa de apă sau diametrul duzei de pulverizare a apei în aer;

- lățimea caracteristică b – în cazul aeratoarelor această mărime este reprezentată prin lățimea palelor la ieșirea din rotor, iar pentru sistemele pneumatice prin lungimea orificiilor de dispersie care creează pierderea de sarcină în instalația de pulverizare;

c) Parametrii geometrici relativi la ansamblul echipament-bazin de aerare sunt reprezentați în principal de imersiunea h_i a organului activ de dispersie a apei sau a aerului, definită prin cota dintre dispozitivul de oxigenare și nivelul static al apei din bazin. Acestei mărimi i se afectează un semn în funcție de poziția organului de dispersie și anume dacă elementul activ este complet imersat în lichid cota h_i se consideră pozitivă, iar în cazul când este afară din apă imersiunea h_i este negativă.

Imersiunea elementului activ este o cotă funcțională importantă în procesul de oxigenare, fiind în unele cazuri parametrul de reglare al procesului, deoarece condiționează atât consumul de putere, cât și valorile coeficientului de transfer a oxigenului din aer în apă.

2. Parametrii mecanici ai echipamentului de oxigenare

- puterea absorbită de echipament P care poate fi putere brută sau electrică P_b [kW] absorbită de la rețeaua de alimentare sau puterea netă P_n [kW] aplicată la axul organului activ al echipamentului de oxigenare; între cele două puteri există relația $P_n = P_b \cdot \eta$, unde η este randamentul total al echipamentului de oxigenare; în cazul echipamentului pneumatic această mărime este reprezentată prin puterea absorbită de la rețeaua electrică de alimentare de către suflantă sau compresoarele statice. Pentru optimizarea funcționării echipamentelor de oxigenare interesează puterea netă P_n , dar în instalațiile de tratare sau de epurare, în ansamblul lor, contează consumul total de putere absorbită de la rețeaua de alimentare care trebuie să fie cât mai redus;

- turația caracteristică a echipamentelor mecanice n – mărime care apare numai în cazul echipamentelor dinamice; turația echipamentului condiționează consumul de putere și întreaga desfășurare a procesului de transfer de masă al oxigenului;

- randamentul echipamentului de oxigenare η reprezentat prin produsul randamentelor mecanic η_m , hidraulic η_h și electric η_e .

3. Parametrii hidrodinamici ai instalației și echipamentelor de oxigenare

- debit de apă uzată Q_{uz} – introdus în bazinul de aerare care trebuie să fie tratat sau epurat în scopul purificării; această mărime se corelează cu volumul cuvei de oxigenare prin timpul de retenție al instalației impus de tehnologia procesului;

- debit de apă vehiculat de echipament Q [m³/s] – definit prin volumul de lichid care trece printr-o suprafață caracteristică a echipamentului de aerare în unitatea de timp; acest parametru trebuie divizat în debitul de lichid efectiv pompat de echipamentul de oxigenare Q_{ef} , mărime care trece prin utilajul de aerare și debitul de lichid antrenat în mișcare Q_{an} datorită curenților generali de convecție generați și induși de echipament în masa de apă din bazinul de aerare, între cele

două mărimi există, în general, raportul $Q_{an}/Q_{ef} = 1...50$; de exemplu, aceste mărimi apar simultan în cazul aeratoarelor mecanice, iar pentru sistemele pneumatice există numai cantitatea de apă antrenată prin efect de gaz-lift;

– *debit de aer* Q_a antrenat în cazul aeratoarelor mecanice de către jetul de lichid și dispersat în masa de apă prin aerarea pneumatică; pentru echipamentele care folosesc alte gaze în afara aerului, de exemplu ozon, oxigen pur, acest parametru se denumește debitul de gaz Q_g ;

– *debitul de oxigen* Q_{ox} introdus în masa de apă care reprezintă un procent din debitul de aer sau de gaz folosit la oxigenare;

– *sarcina* H [mH_2O] – noțiune introdusă prin asimilarea echipamentelor de oxigenare cu mașinile hidraulice pentru cazul echipamentelor mecanice și presiunea p [bar] în instalațiile pneumatice de dispersie a gazului;

– *viteza indusă în masa de apă* în diverse puncte din masa de apă definită prin vectorul $v(v_r, v_\theta, v_z)$ de componente v_r, v_θ, v_z , precizate în raport cu sistemul cilindric de coordonate;

– *turbulența generată în bazinul de oxigenare* în zona de acțiune directă a echipamentelor de oxigenare apreciată prin valorile numărului lui Reynolds (valori superioare cifrei de 20 indică un regim turbulent de curgere);

– *turbulența indusă în zona indirectă de acțiune* prin curenții de convecție care apar în mod natural datorită diferențelor de presiune și concentrație dintre diferitele puncte din bazin sau în mod artificial – convecție forțată.

4. Parametrii funcționali-tehnologici

– *capacitatea de oxigenare* – $C.O.$ [kgO_2/h] reprezintă debitul masic de oxigen transferat din aer în apă într-o oră; este de menționat că numai o parte din debitul de oxigen introdus de echipamentul de oxigenare în masa de apă participă efectiv la procesul de transfer, cealaltă parte, mult mai mare decât prima, se degajă în mediul înconjurător;

– *producția zilnică de oxigen* – P_O [kgO_2/zi] reprezintă, de asemenea, un debit de oxigen transferat în timp de o zi, corelat cu mărirea de mai sus prin relația $P_O = 24 \cdot C.O.$; ea trebuie corelată cu necesarul de oxigen stabilit prin cinetica procesului biochimic cu relația 4.14;

– *coeficientul economic* – E [kgO_2/kWh] definit prin raportul dintre capacitatea de oxigenare $C.O.$ și puterea absorbită de la rețeaua electrică de alimentare, caz în care este un coeficient economic brut E_b sau, respectiv, puterea netă la arborele echipamentului mecanic – coeficient economic net E_n ; între cele două valori ale coeficientului economic există relația $E_b = E_n \cdot \eta_t$, unde η_t este randamentul total al echipamentului de oxigenare; în cazul echipamentelor moderne, testate în condiții standard, acest parametru ia valori în gama 2,2...6,0 kgO_2/kWh ;

– *indicele energetic specific* – δ [W/m^3] definit prin raportul dintre puterea unitară a echipamentului de oxigenare și volumul cuvei de aerare V , conform expresiei $\delta = P [W] \cdot V^{-1} [m^3]$; la echipamentele moderne în funcție de puterea unitară a agregatelor de oxigenare acest parametru ia valori în gama $\delta = 5...280 W/m^3$;

– *raportul* $\tau = (Q_{ox}/Q) \cdot 100$ care exprimă indirect un randament de pompaj și oxigenare al echipamentului de aerare, cu alte cuvinte exprimă modul cum este utilizat debitul de apă pentru antrenarea aerului la asigurarea transferului de oxigen în apă; acest parametru se determină cu relația

$$\tau = \frac{C.O. [kgO_2/h]}{3600 \cdot 1,429 Q [m^3/s]} \cdot 100 = 0,01945 \frac{C.O.}{Q}, \text{ în care } Q \text{ este debitul de lichid}$$

vehiculat de aerator; acest indice exprimă proporția debitului de apă folosită efectiv pentru antrenarea debitului de oxigen care rămâne în apă prin transfer de masă.

Pentru funcționarea corectă a unui echipament de oxigenare este necesară corelarea optimă a acestuia ca dimensiuni și performanțe cu forma și dimensiunile cuvei de aerare și cu tehnologia procesului biologic de purificare. În acest sens este bine de menționat că, pe lângă parametrii prezentați mai sus, trebuie studiată și influența factorilor hidrodinamici și mecanici asupra calității nămolului activ în procesul biologic de epurare.

Tabelul 2.1

Variabilele dimensionale pentru procese de oxigenare

Variabila dimensională		U/M	Dimensiune în SI
1. Parametri geometrici			
1.1. Latura bazinului de aerare	L	m	L
1.2. Adâncimea apei din bazin	H	m	L
1.3. Diferența de nivel	Δh	m	L
1.4. Volumul cuvei de aerare	V	m^3	L^3
1.5. Diametru caracteristic rotor-echipament dinamic de oxigenare	D	m	L
1.6. Diametru caracteristic duză-echipament static de dispersie	d_0	m	L
1.7. Lățimea caracteristică rotor	b	m	L
1.8. Imersiunea dispozitivului de dispersie	h_i	m	L
1.9. Diametru bulă aer sau picătură lichid	d_b	n	L
2. Parametri mecanici			
2.1. Putere echipament	P	W	ML^2T^{-3}
2.2. Turație echipament dinamic	n	rot/min	T^{-1}
3. Parametri hidrodinamici			
3.1. Debit de apă uzată	Q_{uz}	m^3/s	L^3T^{-1}
3.2. Debit de apă vehiculat de echipament	Q	m^3/s	L^3T^{-1}
3.3. Debit de aer antrenat sau de gaz	Q_a	m^3/s	L^3T^{-1}
3.4. Debit de oxigen transferat în apă	Q_{ox}	m^3/s	L^3T^{-1}
3.5. Sarcina echipamentelor	H	mH_2O	L
3.6. Viteza indusă în diverse puncte	v_i	m/s	LT^{-1}
4. Parametri funcționali-tehnologici			
4.1. Capacitatea de oxigenare	CO	kgO_2/h	MT^{-1}
4.2. Coeficient economic	E	kgO_2/kWh	$L^{-2}T^2$
4.3. Coeficient de transfer	K_{la}	H^{-1}	T^{-1}
4.4. Indice energetic specific	δ	W/m^3	$ML^{-1}T^{-3}$
4.5. Timp de retenție în bazin	t	h	T
5. Proprietăți ale apei			
5.1. Densitate	ρ	kg/m^3	ML^{-3}
5.2. Tensiune superficială	σ	N/m	MT^{-2}
5.3. Viscositatea dinamică	η	Ns/m^2	$ML^{-1}T^{-1}$

Unele echipamente, prin șocurile presiune-depresiune create datorită principiilor lor de funcționare, provoacă spargerea membranei celulelor bacteriene și sunt improprie pentru a funcționa în procesul biologic cu nămol activ. Altele, prin turbulența puternică creată în mediul apos fragmentează flocoanele de nămol activ în particule foarte fine; acestea capătă un diametru echivalent mai mic, ceea ce conduce la mărirea suprafeței de contact, deci crește eficiența biologică a nămolului, dar conduce la o înrăutățire a procesului de sedimentare din decantorul secundar.

Clasificarea echipamentelor de oxigenare

Echipamentele de oxigenare se pot clasifica după mai multe criterii fundamental diferite.

Din punctul de vedere al procedurii de obținere a unei suprafețe de contact interfazice echipamentele de oxigenare se clasifică în: a) echipamente care pulverizează apa în aer și echipamente în cascadă; acestea vehiculează faza grea – apa; b) echipamente care dispersează gazul – faza ușoară – în apă, de exemplu sisteme pneumatice, aeratoare mecanice de mare adâncime; c) echipamente mixte – care pulverizează apa sub formă de picături și antrenează aerul atmosferic prin efectul de jet la reintrarea în masa de apă din bazin, de exemplu aeratoare mecanice de suprafață.

După criteriul mișcării organului activ al echipamentului de oxigenare sunt: a) oxigenarea apei cu echipamente statice, de exemplu echipamente pneumatice, aeratoare statice, ejectoare; b) oxigenarea apei cu echipamente dinamice, de exemplu aeratoare mecanice de suprafață sau de adâncime.

După criteriul gazului folosit la oxigenare echipamentele se pot clasifica în: a) echipamente care dispersează aerul în apă: aeratoare mecanice de mare adâncime, aeratoare pneumatice, ejectoare; b) echipamente care dispersează oxigenul pur în apa cuvei de aerare care pot fi de tip pneumatic; c) echipamente cu introducerea de ozon sau aer îmbogățit în ozon în apă care sunt de tipul pompelor cu jet de fluid.

După soluția constructivă: a) echipamente pneumatice de oxigenare cu difuzori poroși, aeratoare statice; b) echipamente mecanice de suprafață, medie sau mare adâncime cu rotor, cu perie; c) echipamente mixte de oxigenare.

După imersia dispozitivului de dispersie: a) echipamente de suprafață, de exemplu aeratoare mecanice de suprafață cu rotor sau cu perie; b) echipamente de medie adâncime caracterizate prin aceea că dispozitivul de dispersie este amplasat la o adâncime de 1...2 metri, cum sunt de exemplu dispozitivele pneumatice de tip INKA, aeratoarele mecanice de medie adâncime; c) echipamente de mare adâncime la care dispozitivul de dispersie este amplasat la circa 3...10 metri cum sunt de exemplu echipamentele pneumatice, cu injector, mecanice de mare adâncime.

După tipul sistemului de introducere a gazului echipamentele de oxigenare se împart în: a) aeratoare și amestecătoare statice cu pulverizare, stropire, prelingere pe o masă de contact, barbotare cu presiune mare sau mică, insuflare cu bule mari, medii sau fine; b) aeratoare și amestecătoare mecanice cu perii, cu rotor lent sau rapid, injectoare; c) aeratoare sub presiune folosite la defierizare; d) echipamente bazate pe combinarea unor procedee menționate mai sus.

După modul de introducere al gazului echipamentele de oxigenare se clasifică în: a) echipamente cu antrenare de aer atmosferic din mediul înconjurător prin efect de jet lichid, dispozitive în cascadă; b) echipamente cu antrenare de aer prin efect de ejectie, de exemplu injectoarele, aeratoare cu rotor special; c) echipamente cu insuflarea de aer sub presiune, de exemplu aerare pneumatică; d) echipamente cu oxigenarea apei în peliculă, de exemplu aeratorul cu deversor.

Pentru studiul echipamentelor de oxigenare se va folosi primul criteriu care oferă multiple avantaje teoretice și tehnice. În fiecare grupă există subdiviziuni care vor fi menționate în capitolele următoare.

2.7.2. Echipamente pneumatice de oxigenare

În general, schema de funcționare a echipamentelor pneumatice de oxigenare a apelor uzate, cuprinde patru faze distincte: a) alimentarea cu aer; b) purificarea aerului de alimentare; c) distribuția aerului purificat; d) dispersia aerului în masa de apă.

Echipamentele de oxigenare a apei cu bule fine sunt deosebit de complexe, în alcătuirea lor intrând generatoare pneumatice, conducte de transport și distribuție pentru aer, armături de comandă, control și asigurare în funcționare, dispozitive de dispersie. Bulele fine se obțin prin insuflarea unui debit de aer printr-un mediu poros. Aceste echipamente au performanțe ridicate $\eta_{ox} = 8...20\%$ și $E = 2...7,5 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ în mod excepțional, dar în general $E = 2,5...4,5 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$. Caracteristic acestor echipamente este amplasarea dispozitivelor de dispersie la fundul bazinului de aerare sau cât mai aproape de radier.

2.7.2.1. Difuzoare destinate dispersiei aerului în apă

Difuzoarele sunt imersate și au drept scop să asigure dispersia aerului sub formă de bule. Este imperios necesar să se asigure o dispersie uniformă a aerului în întreaga masă de apă astfel încât, la suprafața liberă, să fie un grad maxim de acoperire. Difuzoarele se amplasează astfel încât întreaga masă de apă să fie agitată și amestecată, precum și să se asigure necesarul de oxigen impus de procesul biologic.

După mărirea bulelor de gaz, care apar în masa de apă, echipamentele de dispersie ale aerului în apă se clasifică în: a) *echipamente de oxigenare cu bule fine* sub un milimetru; ele se realizează prin dispozitive de dispersie din medii ceramice poroase; b) *echipamente de oxigenare cu bule medii* 1...3 mm diametru care apar prin dispozitive ceramice, cu membrană elastomer; c) *echipamente cu bule mari sau grosiere* 3...120 mm care rezultă din tuburi perforate cu orificii de peste 2 mm, difuzori poroși cu porozitate redusă, aeratoare statice. Este de semnalat că dimensiunea bulelor depinde de debitul și presiunea gazului din conductele de aer; la debite specifice de gaz de peste $3 \text{ m}^3/\text{aer}/\text{minut}$ și m^2 suprafață nu se mai obțin bule fine nici în cazul plăcilor poroase.

Mediile poroase se execută din particule foarte fine metalice, materiale silico-aluminoase sau din ciment special în care se înglobează particule de

carborund. Particulele metalice, granulele de cuarț și oxid de aluminiu sau de carbon sunt sinterizate astfel încât să dea o masă cu structură uniformă și porozitate de 30...36 %. Dimensiunile porilor (diametrul d_0) sunt cuprinse între câteva sutimi de milimetru până la câteva zecimi de milimetru. Tehnologiile actuale de sinterizare permit obținerea de materiale poroase cu diametrul $d_0 = 50 \mu\text{m}$.

Difuzoarele executate din materiale ceramice sunt cele care dau bulele cele mai fine. Mediile poroase ceramice se execută trei tipuri de compoziții: a) difuzoare poroase ceramice executate din granule cristaline de oxid de aluminiu; b) corpuri ceramice executate din granule sticloase de silicat pur; c) materiale ceramice poroase executate din granule de silicat pur într-un mediu de tip rășină.

Difuzoarele poroase trebuie să îndeplinească următoarele condiții: a) rezistență mecanică ridicată; b) rezistență la acțiunea apei; c) prelucrare mecanică ușoară; d) permeabilitate ridicată și uniformă la aer.

Pentru o funcționare optimă se recomandă materiale ceramice cu permeabilități de $12...24 \text{ m}^3/\text{m}^2$, la o pierdere de presiune prin pori de $50 \text{ mm H}_2\text{O}$. În tabelul 5.9 se prezintă materialele poroase și debitele specifice de aer insuflate.

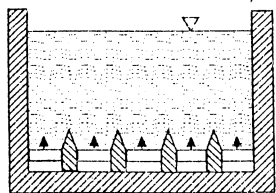


Fig. 2.20. Bazin de aerare cu plăci poroase.

Corpurile poroase se execută sub formă de tuburi, discuri sau difuzoare speciale interschimbabile, montate pe suporturi amplasați direct pe conductele de alimentare cu aer comprimat.

Plăcile poroase au dimensiuni în plan de $300 \times 300 \text{ mm}$ și grosimi variabile între $25...40 \text{ mm}$. Ele se amplasează pe radierul bazinului între dinții de fierăstrău cu înclinarea de 45° și înălțimea de $300...500 \text{ mm}$ (fig. 2.20). Suprafața ocupată de plăcile poroase este de $15...25 \%$ din totalul radierului.



Fig. 2.21. Difuzor poros tubular.

Difuzoarele poroase de tip tubular (fig. 2.21) se amplasează la o cotă de circa $500...700 \text{ mm}$ față de radierul bazinului. Ele se montează în grupuri de câte 8 pe un braț basculant în jurul unei articulații care în perioada reviziei permite ridicarea difuzoarelor deasupra apei în bazin. Toate părțile componente se execută din material plastic rezistent la coroziune. Mantaua cilindrică pentru dispersia aerului are o porozitate de 56% , cu diametrul mediu al orificiilor de $90 \mu\text{m}$, ceea ce conduce la obținerea bulelor de $2...3 \text{ mm}$. Debitul de aer variază în gama $5...15 \text{ m}^3/\text{oră}$ și bucată.

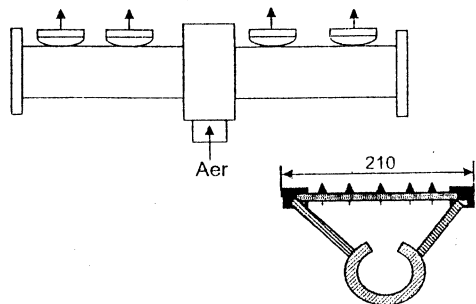


Fig. 2.22. Difuzoare poroase de tip disc amplasate pe braț.

Difuzoarele poroase de tip disc (fig. 2.22) se execută din materiale plastice (polietilenă) la diametre de $150...3000 \text{ mm}$. Prin aceste difuzoare rezultă bule de aer cu diametrul de $3...5 \text{ mm}$ pentru debite de $3...5 \text{ m}^3/\text{h}$ și

dispozitiv. Difuzoarele disc montate pe braț (fig. 5.15) au un corp tronconic pe care se fixează, cu un inel exterior filetat, placa poroasă. Pentru etanșare se folosește un inel din cauciuc plasat între placa poroasă și discul de strângere.

Deși epurat inițial, aerul introdus mai conține impurități care conduc cu timpul la înfundarea difuzoarelor poroase; din punctul de vedere al exploatarei optime, este necesar ca pierderea de presiune la trecerea prin difuzorul poros să fie menținută la valori minime. Pentru aceasta, în general, la depășirea pierderii de presiune de $20...30 \text{ mmH}_2\text{O}$, difuzoarele poroase se vor demonta și curăța cu diferite substanțe.

Pentru calculul tehnologic se are în vedere că un dispozitiv de tip disc poate să asigure $20...24 \text{ grO}_2/\text{Nm}^3$ aer și metru de adâncime la debite optime de $3...5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ și difuzor, la care se asigură coeficienți economici de circa $4 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$. Ele se amplasează la distanțe de $500...800 \text{ mm}$.

Materialele plastice rigide poroase sunt polimeri rigizi termoplastici care includ polietilenă, polipropilenă, fluorid de poliviniliden, acetat de etilvinil, stiren-acrilonitrilic, politetrafluoretilenă. Aceste materiale se folosesc în dispersia aerului în apă sau ca medii de filtrare ale apei, aerului și produșilor chimici. Pentru a forma pori fini se recomandă polietilena de mare densitate (560 kg/m^3) și stiren-acrilonitrilic; aceste materiale sunt inerte și au o bună rezistență mecanică. În Europa se produc plăci cu strat dublu, primul de grosime 6 mm cu pori mari deschiși și al doilea poros subțire de 3 mm .

Membranele elastomer au grosimi de $0,6...2,5 \text{ mm}$ și se execută din materiale elastice, polimeri similari cauciucului, cauciuc natural sau alți elastomeri sintetici. Cele mai multe membrane sunt fabricate din etilenpropilenă. Aceste materiale sunt trase în plăci subțiri în care se practică orificii foarte fine. Avantajul principal rezultă din elasticitatea materialului care se va deforma și va deschide porul pe măsura creșterii presiunii. La căderea presiunii orificiile se închid automat, evitându-se pătrunderea flocoanelor de nămol activ în interiorul conductei de distribuție. Dezavantajul este că proprietățile materialului sunt dependente de timp – fenomen de îmbătrânire.

Difuzorii se execută sub formă de plăci, tuburi sau discuri. Plăcile au dimensiuni de $1 \times 2 \text{ m}$ și se fixează într-un cadru, cu rigidizări intermediare, plasate astfel încât să se evite deformarea puternică a membranei. Cadru este montat pe fundul bazinului de aerare astfel încât se acoperă practic întreaga suprafață în plan a cuvei.

Difuzorii tubulari au diametrul de $64...75 \text{ mm}$ și lungimea de $500...1500 \text{ mm}$. Ei sunt acoperiți de membrana elastomer pe suprafața cilindrică exterioră și se fixează direct pe conducta de distribuție a aerului, amplasată la circa $200...300 \text{ mm}$ distanță de radier, prin înfiletare. Ei pot asigura transferul a $15...20 \text{ grO}_2/\text{Nm}^3$ aer și metru de imersiune la un debit optim de aer de $5...15 \text{ Nm}^3/\text{h}$ și metru lungime difuzor. Acești dispersori sunt recomandați pentru procese de nitrificare-denitrificare.

Difuzorii de tip disc (fig. 2.23) sunt similari cu cei din figura 2.22 și se amplasează direct pe conducta de distribuție la distanțe de circa $400...600 \text{ mm}$. Ei sunt

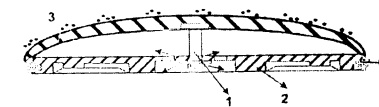


Fig. 2.23. Difuzor poros cu membrană elastomer.
1 – piesă de fixare; 2 – suport;
3 – membrană elastomer; 4 – inel fixare.

executați dintr-un cadru rigid din PVC pe care se fixează, cu ajutorul unui inel filetat, membrana elastică. Diametrul exterior este cuprins între 250...500 mm.

2.7.2.2. Instalația de aer comprimat

Instalația de aer comprimat este alcătuită din generatoarele pneumatice, filtrele pentru purificarea aerului, rețeaua de distribuție a aerului.

Generatoarele pneumatice. Generatoarele se aleg în funcție de cei doi parametri principali: debit Q_a [Nm^3/h] și sarcină H [mH_2O]. Debitul rezultă din cele două condiții axate pe asigurarea necesarului de oxigen pentru procesul biologic și respectiv realizarea intensității mișcărilor generate și induse în scopul menținerii flocoanelor de nămol activ în suspensie. Sarcina se calculează pe baza presiunii hidrostatice corespunzătoare imersiunii dispersoarelor, a pierderii de sarcină prin dispozitivele de dispersie și respectiv a tuturor pierderilor de presiune la mișcarea gazelor prin rețeaua de distribuție. În general, pierderile de presiune prin rețeaua de distribuție se limitează la circa 25% din cea corespunzătoare adâncimii coloanei de apă de deasupra dispozitivelor de dispersie.

Suflantele cu rotor de distribuție – de tip Roots – sunt mașini pneumatice volumice cu pistoane rotative. Rotoarele sunt cu doi lobi (după lemniscata lui Bernoulli) sau cu trei. Mișcarea lor este sincronizată prin intermediul unui angrenaj cu roți dințate amplasat în exteriorul carcasei mașinii. Rotoarele sunt în contact permanent de-a lungul unei linii care se deplasează pe suprafața cilindrică. Aceasta asigurând etanșarea între zona de aspirație respectiv refulare. Reglajul performanțelor se realizează prin variația turației motorului electric alimentat prin intermediul unui convertizor de frecvență. Aerul comprimat poate conține și picături de ulei fapt care impune dotarea instalației cu separator și filtru pe circuitul de refulare.

Turbosuflete. Turbosufletele sunt mașini pneumatice dotate cu rotor cu palete cu dublă curbura. Rotorul este antrenat la turații de ordinul 20.000...30.000 rot/min și asigură circuite independente de aer și ulei astfel încât aerul este perfect curat. Mașina are performanțe foarte bune, o fiabilitate și durabilitate ridicată. Reglajul performanțelor se realizează prin modificarea unghiului palelor anterioare și posterioare prin comandă dată de la un controler astfel încât la orice punct funcțional să se asigure randamentul maxim al mașinii.

În funcție de calitatea și caracteristicile aerului comprimat stațiile de comprimare sunt echipate cu filtre, separatoare pentru apă și ulei, regulatoare de presiune, recipienti tampon, aparatură de comandă și control, instalații de automatizare. Construcția rețelei interioare de conducte a stației de comprimare trebuie studiată cu mare atenție deoarece desprinderea stratului limită la punctele de racord ale mașinilor poate conduce la un nivel ridicat de zgomot. Fiecare suflantă trebuie să aibă un circuit special destinat evitării pompajului la mașina pneumatică.

Rețeaua de distribuție. Rețeaua de distribuție este alcătuită din conducte magistrale de legătură cu stația de comprimare a aerului, conducte principale și ramificațiile pentru susținerea și alimentarea dispozitivelor de dispersie. Conductele se execută din PVC, oțel laminat, oțel inoxidabil. Forma secțiunii transversale a conductelor poate fi circulară sau dreptunghiulară. Pentru instalațiile pneumatice

de oxigenare cu bule fine se recomandă conducte executate din tablă din oțel inoxidabil, 0,6...1,2 mm, roluită și sudată. Acest material asigură fiabilitatea dispersoarelor. PVC-ul este un material ce îmbătrânește în timp și care, după un număr de ani de folosință, nu mai poate avea nici o utilizare și deci nu poate fi recuperat.

2.7.3. Echipamente mecanice pentru oxigenarea apelor

Echipamentele mecanice de oxigenare cuprind totalitatea agregatelor care, prin mijloace mecanice, creează suprafața de contact interfazică și asigură mișcări hidrodinamice induse de o intensitate convenabilă procesului. Sistemele de aerare mecanice asigură atât dispersia lichidului în mediul înconjurător, cât și antrenarea aerului atmosferic sub formă de bule, prin recircularea continuă a unei cantități de apă.

Trăsăturile funcționării echipamentelor mecanice de oxigenare sunt: a) în principal ele pompează un lichid, fie axial, fie radial, prin organul activ amplasat la suprafață sau la o adâncime oarecare a apei din bazinul de aerare; b) lichidul pompat creează o zonă de turbulență intensă în jurul aeratorului care este sediul admisiei apei și aerului atmosferic.

Pomparea unei cantități mari de lichid este necesară pentru: a) menținerea forțelor conducătoare ale procesului de transfer al oxigenului din aer în apă, proporționale cu deficitul ($C_s - C_0$), la valori cât mai mari datorită trecerii unui curent de lichid prin zona de oxigenare; b) împrăștierea în bazin a lichidului îmbogățit în oxigen și omogenizarea gazului dizolvat în masa de apă; c) întreținerea unei mișcări turbulente în lichid, de o anumită intensitate, capabilă să mențină în suspensie uniformă solidele dispersate în toate punctele din bazin.

Antrenarea aerului atmosferic în masa de apă se realizează în principal prin efectul de jet dat de organul activ mobil: rotor, perie etc. Cercetările au arătat că, funcție de sistem, jetul de lichid antrenează o cantitate de aer de 1...20 ori mai mare.

Pentru utilizarea echipamentelor mecanice de oxigenare sunt necesare respectarea următoarelor condiții: a) asigurarea unei adâncimi a bazinului de aerare și a unui raport optim lățime/adâncime; dacă acestea nu sunt în limitele convenabile este necesar să se utilizeze o pompă ușoară la mare adâncime (în cazul aeratoarelor mecanice de suprafață cu rotor și ax vertical acesta se poate realiza cu un rotor de pompă montat pe același ax cu aeratorul, amplasat cât mai aproape de radier sau prin tub de aspirație); b) asigurarea unui spațiu și a unei distanțe convenabile a pereților și a altor construcții față de periferia rotorului; dacă această condiție nu se realizează din proiectare atunci o parte a jetului de lichid aruncat de rotor va avea un efect redus; c) asigurarea unui pompaj al lichidului pe unitatea de volum de bazin astfel încât oxigenul introdus să fie dispersat și microorganismele din nămolul activ să fie amestecate adecvat cu lichidul aerat și menținute în suspensie.

Echipamentele mecanice de oxigenare, după modul de amplasare al organului activ, se clasifică în: a) *echipamente de suprafață* aeratoare mecanice cu

rotor și ax vertical lente sau rapide, perii de aerare; b) echipamente de medie adâncime la care organul activ este amplasat la adâncimea de 1...2 m față de nivelul static al apei din bazin; c) echipamente mecanice de mare adâncime cu rotorul amplasat la circa 4...6 m față de nivelul static al apei.

2.7.3.1. Perii de aerare

Periile de aerare au apărut inițial în Anglia, în 1916, sub denumirea de aeratoare cu palete, executate din „paie de Piassara” (fibră de palmier). Ulterior, au fost executate sub forma rotoarelor cu dinți metalici flexibili sau din materiale plastice. Peria de aerare, deși constructiv aceeași, se utilizează în următoarele moduri: a) plasată la marginea bazinului de aerare, paralel cu peretele vertical și pe jumătate imersată 3, rotindu-se în jurul axei proprii, orizontale (perii Kessener, fig. 2.24); în acest caz, pentru a favoriza apariția vitezelor superioare în zona radierului, se introduce un perete vertical deflector 4, care accelerează mișcarea de fund; b) plasată transversal într-un canal de mică adâncime (șanțuri de oxidare), ele se rotesc în jurul propriei axe orizontale, și se creează o mișcare de circulație în lungul bazinului, (fig. 2.25); șanțurile de oxidare se folosesc pentru stații mici de epurare, la ape uzate din industria zahărului, amidonului, berii, la procese de defenolare etc.; avanta-

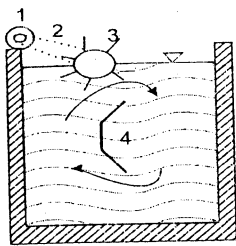


Fig. 2.24. Perie de aerare în bazin de oxidare biologică:
1 – grup de antrenare;
2 – perie; 3 – ecran;
4 – bazin de aerare.

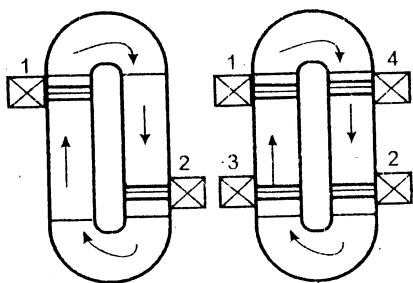


Fig. 2.25. Șanțuri de oxidare cu perii de aerare în două variante de instalare.

15 metri. În acest caz, puterea specifică variază în gama $\delta = 2,5...4,0 \text{ W/m}^3$.

2.7.3.2. Aeratoare mecanice de suprafață cu rotor lent și ax vertical

Aeratorul este o mașină hidromecanică care transformă energia mecanică, furnizată de la un grup motoreductor, în energie hidraulică prin intermediul unei

jele lor sunt costul redus al investiției și o mică sensibilitate la șocurile încărcării organice și hidraulice; dezavantajele constau în necesitatea asigurării unor suprafețe mari de teren și un consum ridicat de energie electrică; c) amplasate pe flotoare, în sistemul de epurare lagunar, cu posibilitatea măririi suprafeței active prin rotirea întregului ansamblu în jurul unui ax vertical; datorită reacțiunii provocate de rotația periei amplasată pe flotoare, la suprafața apei apare o mișcare turbulentă în avantaj; periile de aerare cu diametrul de 1000 mm, amplasate pe flotor, au o raza de girație de 10, 12 sau

mărimi cu caracter turbionar. Termenul „turbionar” este folosit în sensul mișcării imprimată lichidului prin rotor și a celei induse, în genul unei curgeri elicoidale în bazinul de aerare.

Rotorul pompează o cantitate de lichid, creând astfel în jurul său o zonă de turbulență intensă care este sediul admisiei apei și aerului atmosferic. Imaginea optică a jetului refulat este dependentă de imersiunea rotorului, (fig. 2.26). Astfel, pentru imersiuni pozitive mari, rotorul aruncă apa îndeosebi sub formă de jet continuu, în timp ce la valori negative (rotorul scos afară din apă), lichidul este pulverizat sub formă de picături.

Oxigenul este preluat din aerul atmosferic prin picăturile de apă și prin suprafața mare de contact a bulelor de aer introduse în lichid. Unele soluții constructive forțează introducerea aerului atmosferic în rotor fie prin aspirația lui în canalul interpaletar prin efect de ejectie, fie prin introducerea lui forțată de la o suflantă.

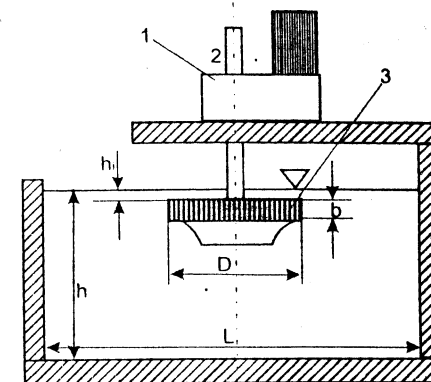


Fig. 2.26. Bazin de aerare echipat cu aerator mecanic de suprafață:
1 – bazin de aerare; 2 – grup de antrenare; 3 – rotor.

2.7.3.3. Aeratoare mecanice de suprafață rapide

Aeratorul mecanic de suprafață rapid a apărut pe plan mondial în ultimele decenii. El se compune dintr-un electromotor 1, cu turația de 1440 sau 970 rot/min, pe axul căruia se montează direct un rotor de tip pompă axială 3 care funcționează întubat într-o carcasă cilindrică exterioră 2 (fig. 2.27). Debitul de lichid pompat de rotor este dirijat prin difuzorul paletat, cvasiparalel cu suprafața liberă a apei din bazin sub formă de jet și picături.

În raport cu aeratoarele lente, aceste agregate noi au următoarele avantaje: a) investiție redusă prin eliminarea reductorului de turație; b) construcție cu gabarite mici, datorită turațiilor mari ale rotorului; c) reducerea sensibilității la modificarea imersiunii; d) mărirea fiabilității echipamentului prin eliminarea reductorului de turație.

Dezavantajul principal al aeratorului axial constă, în principal, în reducerea coeficientului economic și a vitezelor induse în masa de apă din bazin. Pentru funcționarea corectă a aeratorului axial, se corelează puterea unitară pe agregat cu adâncimea apei din bazinul de aerare. Datorită turației mari a echipamentului, sub rotor se formează un vârtej care poate produce, la adâncimi

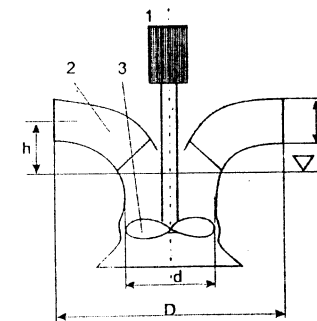


Fig. 2.27. Aerator axial.

mici, erodarea radiatorului din beton. Eliminarea acestui fenomen se poate realiza fie prin mărirea adâncimii de lucru, fie prin montarea la cota fixă, a unei plăci metalice sub rotor. La valori ale adâncimii peste cele considerate optime, pentru asigurarea spectrului hidrodinamic indus se montează sub aerator, un tub cilindric de aspirație, care accelerează mișcarea în zonele adiacente radiatorului.

2.7.3.4. Aeratoare mecanice de mică și medie adâncime

Echipamentele mecanice de oxigenare la adâncime constituie o noutate a ultimelor decenii. În raport cu echipamentele mecanice de suprafață, acestea au avantajul că asigură transferul oxigenului la o presiune superioară, deci cu un randament de transfer considerabil mai mare. O caracteristică generală a acestor echipamente este că o variație a imersiunii rotorului nu aduce modificări importante a consumurilor de putere. De asemenea, modificarea cotei de imersare nu conduce la variația performanțelor de oxigenare. Așadar, imersiunea nu constituie un parametru de automatizare și reglaj ca în cazul aeratoarelor mecanice de suprafață.

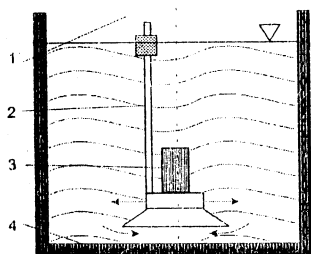


Fig. 2.28. Aerator mecanic de adâncime cu rotor dublu aspirant: 1 - filtru de aer; 2 - țevă de aer; 3 - aerator dublu aspirant; 4 - bazin aerare.

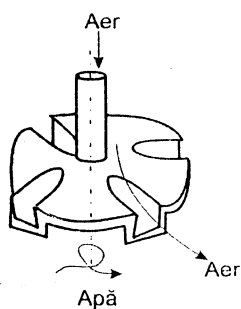


Fig. 2.29. Rotor dublu aspirant apă-aer.

mic refulat de rotor. Echipamentul de oxigenare este alcătuit dintr-un electromotor, pe arborele căruia se montează direct rotorul. Acesta este de tip dublu flux pentru

Echipamentele de mică adâncime s-au impus ca utilaje specifice de aerare pentru bazine mici și încărcări organice reduse. Principial, ele sunt pompe cu rotorul imersat, care prin lichidul refulat creează un efect de ejecție utilizat la aspirația aerului atmosferic. Rotorul este dublu aspirant amestecând și omogenizând mediul polifazic.

Astfel, în figura 2.28 se prezintă un aerator mecanic de medie adâncime 3 amplasat pe fundul bazinului de aerare 4. Prin refularea debitului lichid, rotorul realizează depresiunea necesară pentru aspirația și introducerea în masa de apă a aerului atmosferic, pe conducta 2 de aer dotată cu un filtru 1. Totodată, în bazin se asigură formarea curenților hidrodinamici necesari menținerii flocoanelor de nămol activ în suspensie.

Figura 2.29 prezintă rotorul dublu aspirant apă-aer. Pala rotorului, pe circuitul de apă, este mult mai groasă decât este necesar astfel că pe partea opusă se poate săpa un canal destinat aspirației de aer. La turația mare a rotorului cele două faze sunt intim amestecate și refulate simultan în bazin. Apa pompată asigură aspirația aerului atmosferic prin efect de ejecție. Prin interiorul arborelui, de construcție tubulară, aerul aspirat este introdus în centrul curentului de apă pompat de rotor. Performanțele acestui echipament sunt relativ reduse datorită debitului

circuitului de aer la partea superioară și lichid aspirat prin zona inferioară. Pentru cazul funcționării cu ape uzate care spumează puternic, se introduce o coloană specială care permite aspirația și redizolvarea spumei formate. Pentru a aspira spuma, trebuie ca înălțimea tubului exterior să depășească cota nivelului static al apei cu circa 5...10 mm funcție de proces și concentrație.

2.7.4. Oxigenarea apei cu pompe cu jet de fluid

Antrenarea aerului atmosferic prin intermediul pompelor cu jet de fluid – transformatoarelor hidraulice – bazate pe principiul tubului Venturi, a căpătat în ultimii ani o importanță deosebită. Avantajele acestor echipamente statice, în raport cu cele mecanice și pneumatice, sunt: a) nu au piese în mișcare, cu excepția pompei de recirculare, deci sunt dispozitive care prezintă o durabilitate ridicată; b) se renunță la conductele de aer comprimat cu armăturile, dispozitivele de siguranță și control ca în cazul sistemului de aerare pneumatic clasic; c) se pot introduce la adâncimi mari; d) nu necesită întreținere și supraveghere în funcționare. Dezavantajele acestor echipamente statice sunt: a) au randamente energetice reduse specifice transformatoarelor hidraulice (injectoare-ejectoare); b) dependența strictă a performanțelor hidraulice și de oxigenare de forma și dimensiunile dispozitivului, precum și de pregătirea și experiența în domeniu a proiectantului; c) variația performanțelor hidraulice și de oxigenare ale pompei cu jet de fluid relativ rapid în timp ca urmare a modificării formei și dimensiunilor duzei prin efect de abraziune și coroziune cavitațională.

Pompele cu jet de fluid

(fig. 2.30), denumite și transformatoare de pompare, se clasifică în: a) *injector*, când refularea dispozitivului se face la o presiune superioară celei atmosferice, având deci scop de introducere; b) *ejector*, când refularea aparatului se face la presiunea atmosferică, deci cu scop de extracție a unui fluid dintr-o incintă.

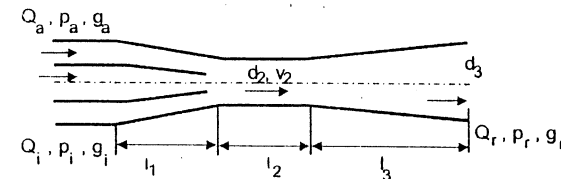


Fig. 2.30. Schema pompei cu jet de fluid.

Fluidul de injecție, apa, trece prin duză cu viteză mare, scade presiunea și se asigură aspirația aerului amestecându-se cele două fluide în zona gâtului cilindric. Amestecul bifazic este refulat prin conducta de la capătul dispozitivului.

mici, erodarea radierului din beton. Eliminarea acestui fenomen se poate realiza fie prin mărirea adâncimii de lucru, fie prin montarea la cotă fixă, a unei plăci metalice sub rotor. La valori ale adâncimii peste cele considerate optime, pentru asigurarea spectrului hidrodinamic indus se montează sub aerator, un tub cilindric de aspirație, care accelerează mișcarea în zonele adiacente radierului.

2.7.3.4. Aeratoare mecanice de mică și medie adâncime

Echipamentele mecanice de oxigenare la adâncime constituie o noutate a ultimelor decenii. În raport cu echipamentele mecanice de suprafață, acestea au avantajul că asigură transferul oxigenului la o presiune superioară, deci cu un randament de transfer considerabil mai mare. O caracteristică generală a acestor echipamente este că o variație a imersiunii rotorului nu aduce modificări importante a consumurilor de putere. De asemenea, modificarea cotei de imersare nu conduce la variația performanțelor de oxigenare. Așadar, imersiunea nu constituie un parametru de automatizare și reglaj ca în cazul aeratoarelor mecanice de suprafață.

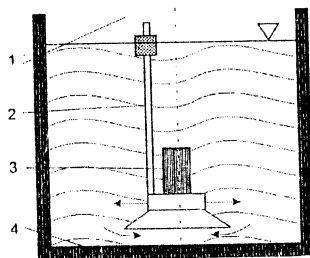


Fig. 2.28. Aerator mecanic de adâncime cu rotor dublu aspirant: 1 - filtru de aer; 2 - țevă de aer; 3 - aerator dublu aspirant; 4 - bazin aerare.

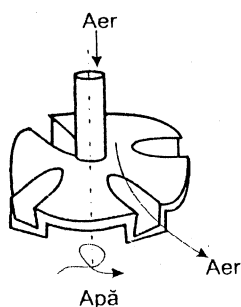


Fig. 2.29. Rotor dublu aspirant apă-aer.

Echipamentele de mică adâncime s-au impus ca utilaje specifice de aerare pentru bazine mici și încărcări organice reduse. Principial, ele sunt pompe cu rotorul imersat, care prin lichidul refulat creează un efect de ejecție utilizat la aspirația aerului atmosferic. Rotorul este dublu aspirant amestecând și omogenizând mediul polifazic.

Astfel, în figura 2.28 se prezintă un aerator mecanic de medie adâncime 3 amplasat pe fundul bazinului de aerare 4. Prin refularea debitului lichid, rotorul realizează depresiunea necesară pentru aspirația și introducerea în masa de apă a aerului atmosferic, pe conducta 2 de aer dotată cu un filtru 1. Totodată, în bazin se asigură formarea curenților hidrodinamici necesari menținerii flocoanelor de nămol activ în suspensie.

Figura 2.29. prezintă rotorul dublu aspirant apă-aer. Pala rotorului, pe circuitul de apă, este mult mai groasă decât este necesar astfel că pe partea opusă se poate săpa un canal destinat aspirației de aer. La turația mare a rotorului cele două faze sunt intim amestecate și refulate simultan în bazin. Apa pompată asigură aspirația aerului atmosferic prin efect de ejecție. Prin interiorul arborelui, de construcție tubulară, aerul aspirat este introdus în centrul curentului de apă pompat de rotor. Performanțele acestui echipament sunt relativ reduse datorită debitului

mic refulat de rotor. Echipamentul de oxigenare este alcătuit dintr-un electromotor, pe arborele căruia se montează direct rotorul. Acesta este de tip dublu flux pentru

circuitul de aer la partea superioară și lichid aspirat prin zona inferioară. Pentru cazul funcționării cu ape uzate care spumează puternic, se introduce o coloană specială care permite aspirația și redizolvarea spumei formate. Pentru a aspira spuma, trebuie ca înălțimea tubului exterior să depășească cota nivelului static al apei cu circa 5...10 mm funcție de proces și concentrație.

2.7.4. Oxigenarea apei cu pompe cu jet de fluid

Antrenarea aerului atmosferic prin intermediul pompelor cu jet de fluid – transformatoarelor hidraulice – bazate pe principiul tubului Venturi, a căpătat în ultimii ani o importanță deosebită. Avantajele acestor echipamente statice, în raport cu cele mecanice și pneumatice, sunt: a) nu au piese în mișcare, cu excepția pompei de recirculare, deci sunt dispozitive care prezintă o durabilitate ridicată; b) se renunță la conductele de aer comprimat cu armăturile, dispozitivele de siguranță și control ca în cazul sistemului de aerare pneumatic clasic; c) se pot introduce la adâncimi mari; d) nu necesită întreținere și supraveghere în funcționare. Dezavantajele acestor echipamente statice sunt: a) au randamente energetice reduse specifice transformatoarelor hidraulice (injectoare-ejectoare); b) dependența strictă a performanțelor hidraulice și de oxigenare de forma și dimensiunile dispozitivului, precum și de pregătirea și experiența în domeniu a proiectantului; c) variația performanțelor hidraulice și de oxigenare ale pompei cu jet de fluid relativ rapid în timp ca urmare a modificării formei și dimensiunilor duzei prin efect de abraziune și coroziune cavitațională.

Pompele cu jet de fluid

(fig. 2.30), denumite și transformatoare de pompare, se clasifică în: a) *injector*, când refularea dispozitivului se face la o presiune superioară celei atmosferice, având deci scop de introducere; b) *ejector*, când refularea aparatului se face la presiunea atmosferică, deci cu scop de extracție a unui fluid dintr-o incintă.

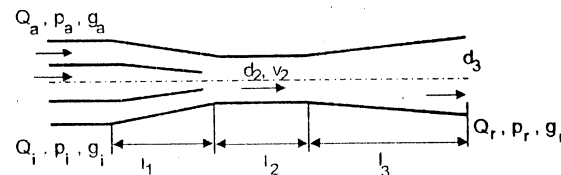


Fig. 2.30. Schema pompei cu jet de fluid.

Fluidul de injecție, apa, trece prin duză cu viteză mare, scade presiunea și se asigură aspirația aerului amestecându-se cele două fluide în zona gâtului cilindric. Amestecul bifazic este refulat prin conducta de la capătul dispozitivului.

3 EPURAREA CHIMICĂ A APELOR UZATE

Epurarea chimică constituie ansamblul procedeele tehnologice prin care se prelucrează substanțele dizolvate sau în stare de suspensie coloidală prezente în apele uzate. Funcție de modul în care se prezintă substanțele chimice (ioni, atomi, materii în stare coloidală), există operații de neutralizare, precipitare, coagulare și floculare. Tehnologia de epurare, ce se bazează pe reacții chimice precizate prin ecuații stoichiometrice, comportă operații de preparare, dozare și amestecare în diferite proporții a reactivilor care se desfășoară în instalații și cu echipamente specifice. Așadar, instalațiile din treapta chimică sunt dotate cu depozite de reactivi, dispozitivele de dozare, bazine pentru prepararea reactivilor dotate cu amestecătoare rapide, instalațiile destinate introducerii soluțiilor la concentrația impusă, reactoarele și respectiv decantoarele de separare.

3.1. Operații tehnologice

Neutralizarea. Neutralizarea este o operație care se aplică apelor uzate acide sau alcaline, evacuate din diferite zone, cu scopul corectării pH-ului apelor înainte de deversarea în emisar. Pentru a realiza o economie de reactivi chimici este util să se studieze posibilitatea neutralizării parțiale sau totale a apelor acide cu cele alcaline prin amestecarea efluenților de la diferite industrii.

Pentru neutralizarea acizilor minerali se poate utiliza: a) piatra de var – carbonatul de calciu – sub formă de granule cu diametrul de până la 0,5 mm în filtre cu o viteză de filtrare de 5 m/h și un timp de contact de 5 minute; b) varul – oxidul de calciu – stins sub formă pulverulentă sau lapte de var cu o concentrație de 5...10% ce se adaugă în decantoare cu timp de reacție de 5...30 minute; c) bicarbonatul de sodiu – folosit sub formă de praf; d) hiposulfid de sodiu – în stare pulverulentă este folosit la reducerea clorului și a derivatelor sale; e) creșterea eficienței filtrării și a centrifugării.

Pentru neutralizarea apelor alcaline se pot folosi acizii minerali reziduali rezultați din diferite procese industriale. De exemplu, dioxidul de carbon prezent în gazele de ardere ale centralelor termice care reacționează cu hidroxizii alcalini formând bicarbonați precipitabili.

Precipitarea, coagularea și flocularea. Utilizarea acestor procedee se poate face în următoarele situații: a) în cazul variațiilor sezoniere ale debitului de ape uzate în situația în care capacitatea stației este depășită și trebuie îndeplinite condițiile de descărcare în emisar; b) când este necesară tratarea între sedimentarea naturală și treapta biologică; c) când sunt depășite posibilitățile treptei biologice și aceasta trebuie ajutată să facă față situației; d) pentru clarificarea amestecurilor polifazate ce conțin suspensii coloidale.

În aprecierea tehnico-economică a epurării chimice trebuie ținut seama de prețul reactivilor, ușurința procurării lor, posibilitățile și costurile de tratare a nămolurilor. Din aceste procedee apar cantități relativ mari de nămoluri în raport cu sedimentarea naturală care, în general, conțin numai compuși chimici anorganici.

Sistemele coloidale diferă între ele în ceea ce privește stabilitatea. Particulele coloidale au, în general, o încărcare electrică negativă care generează forțe de respingere electrostatice superioare celor de atracție Van der Waals. Ele sunt de dimensiuni foarte mici și nu pot fi reținute prin sedimentare sau filtrare. Pentru a fi separate este necesar ca ele să fie aglomerate prin tratare cu reactivi chimici de precipitare, coagulare, floculare. Particulele de coagulant, încărcate pozitiv, se combină cu cele coloidale, negative, anulând sarcina electrică și permițând flocularea prin formarea unor complecși care pot fi reținuți.

Precipitarea – este un proces specific ionilor care presupune desfășurarea unor reacții chimice.

Coagularea – este determinată de modificarea factorilor care condiționează stabilitatea sistemelor coloidale ceea ce conduce la distrugerea lor.

Flocularea – constituie faza următoare coagulării și are drept rezultat formarea agregatelor mari prin aglomerarea particulelor destabilizate; mărimea particulelor în suspensie se modifică prin aglomerarea lor electrochimică.

Procesul de coagulare necesită folosirea unor reactivi chimici numiți agenți de coagulare. **Reactivii de coagulare** produc în apă ioni pozitivi de metale cu valență mare. Aceștia pot fi **anorganici**: a) *clorura ferică* – FeCl_3 – livrat sub formă de blocuri cristalizate cu o concentrație de 60% și ca sublimat cu tendință de topire, pH optim 4...10, doză 5...100 mg/l; b) *sulfatul de aluminiu* – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – coagulant livrabil în plăci, praf sau soluție cu concentrația de 26...28%, pH optim pentru reacție de 5,5...8 și doză de 5...50 mg/l; c) *fosfat de aluminiu* – AlPO_4 , solubilitatea este dependentă de pH, preferabil pH < 6, deoarece la pH neutru fosfatul este insolubil; d) *fosfat feric* – FePO_4 ; e) *fosfat feros* – $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$; f) *fosfat tricalcic* – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ – recomandabil la pH > 8,5, de regulă pH = 9; g) *sulfat feros* – FeSO_4 – livrabil sub formă de praf, pH = 5...11 și doză de 5...25 mg/l; h) *sulfat feric* – $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ – livrat în stare pulverulentă, pH optim de 5...10 și doză de 10...50 pentru ape de la cărbune; i) *colagenul* în cazul apelor de la fabricarea berii, sau **sintetici**: *polietilenaminele, clorhidrații de polivinilamoniu* etc.

Reactivii de floculare sunt: a) *silicatul de sodiu* – Na_2SiO_3 – este un floculant folosit și la condiționare livrat sub formă de soluție cu viscozitate mare; b) *polielectroliti diverși sintetici de natură organică*. Polielectroliti organici sintetici –

floculanți poliacrilamidici – au sarcini negative în soluții apoase. Polielectrolitii sunt reactivi speciali – polimeri cu lanț lung solubili în apă – ce rezultă prin sinteza monomerilor individuali prin reacții de polimerizare. În cazul copolimerilor poliacrilamidă doza folosită este de 0,226...4,54 kg/tonă s.s.u., iar pentru homopolimer poliamidă doza este de 0,91...4,54 kg/tonă s.s.u. Polielectrolitii organici se dizolvă și formează soluții cu diferite viscozități dinamice dependent de greutatea lor moleculară și de gradul de încărcare ionică. Polielectrolitii organici se dozează funcție de operația de prelucrare a nămolului: a) astfel, pentru îngroșare 1...1,5 kg/tona de nămol solid îngroșat; b) deshidratare în centrifugă 3,5...4,5 kg/tona nămol s.s.u.; introducerea reactivului se va face direct în conducta de alimentare cu nămol.

Polimerii organici pot să fie cationici* (încărcați cu sarcină electrică pozitivă) sau anionici (negativă). În general, doza inițială de polimer este de 1 mg/l și se observă efectele. Dependent de efect dozajul poate crește cu 0,5 mg/l, în trepte de 0,25 mg/l până la obținerea efectelor scontate.

3.2. Coagulare – floculare

Agregarea particulelor coloidale și pseudocoloidale în flocoane mai mari este un proces unitar în tratarea și epurarea apelor. Particulele coloidale, încărcate electric – între care apar forțe de respingere electrostatică superioare celor de atracție Van der Waals – trebuie să fie destabilizate prin folosirea agenților de coagulare. Reactivul are rolul de a reduce sau a anula sarcina electrostatică a particulelor coloidale generând un mecanism de unire prin stabilirea unei punți de legătură. Acest mecanism este complex și se bazează pe adsorbție și precipitare pe suprafața particulelor coloidale, pe acumularea sarcinii de respingere pe suprafață, pe natura gelatinoasă a coagulantului. Este deosebit de important ca adăugarea coagulantului în apă să se facă prin dizolvare și amestecare rapidă – difuzia rapidă și completă în 1...2 minute.

La introducerea coagulantului în apă apar microflocoane în amestecul polifazat. Pentru a crește dimensiunea flocoanelor se utilizează diferite sisteme de agitare-amestecare. Combinarea proceselor de amestecare și agitare care conduce la agregarea suspensiilor (se referă la mărimea particulelor) este denumită floculare – contopirea particulelor prin unire mecanică formează un flocon fizic.

Doza optimă de coagulant se stabilește pentru fiecare caz concret al utilizării reactivului în condiții reale. Aprecierea acesteia prin metode de laborator nu conduce la rezultate suficient de precise. Parametri care influențează coagularea sunt: a) pH-ul apei – optim pentru fiecare reactiv de coagulare; b) condițiile hidrodinamice care influențează procesul prin amestecare și reacție.

Amestecarea apei cu reactivul trebuie să se realizeze rapid astfel ca în 1...2 minute să se obțină dispersia agentului în întreaga masă apoasă în scopul destabilizării coloizilor (un gradient de viteză foarte mare de până la 1500 s^{-1}).

Reacția sau flocularea este faza imediat următoare în care se continuă agregarea ca efect al atracției particulelor prin forțele de suprafață Van der Waals.

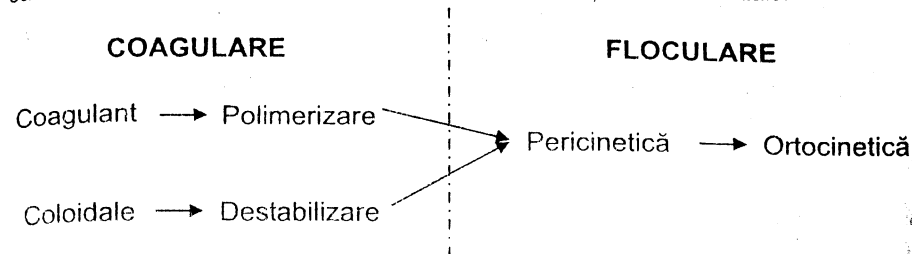


Fig. 3.1. Etapele coagulării floculării.

Modelul cinetic de agregare a particulelor elaborat de Smoluchowski este cel care precizează acest mecanism. Se consideră două particule în mișcare și se identifică mecanismul de transport care duce la coliziunea, contactul și agregarea lor având în vedere mișcarea browniană și cea a fluidului de bază. Modelarea și simularea sunt posibile numai dacă se consideră factorul de eficiență în coliziune, denumit și raport de grup, în expresiile cinetice pentru contact și aglomerare. Procesul care se desfășoară în carierele de reacție are trei faze care se suprapun, parțial, în diferite proporții: coagularea, flocularea pericinetică și flocularea ortocinetică.

Flocularea pericinetică. În lipsa unei bariere de respingere electrostatică, care să ducă la inhibarea fenomenului controlat de condițiile chimice, se produce flocularea pericinetică determinată de mișcarea browniană. Această fază de floculare rapidă se produce într-un interval de timp foarte scurt. După unii autori agregarea a jumătate din particule apare într-un interval cuprins între o secundă și un minut. Acest timp înjumătățit de floculare pericinetică este invers proporțional cu numărul de particule coloidale existente în apă.

Flocularea ortocinetică. Particulele transportate de un curent de fluid în suspensie pot să ajungă la agregare datorită curgerii. Modelul propus de Smoluchowski pentru agregare consideră scara razei de interacțiune a particulei și gradientul constant al vitezei ce caracterizează mișcarea. În mișcarea unidirecțională viteza relativă a unei particule în raport cu alta poate fi considerată a fi produsul dintre gradientul local de viteză și distanța care separă particulele măsurată pe normala la direcția de curgere.

3.3. Criterii pentru dimensionarea camerelor de reacție

Camerele de reacție sunt bazine în care particulele mai mari de 2 microni, din apa coagulată, își continuă agregarea în condițiile floculării ortocinetice,

respectiv al aplicării unui gradient de viteză potrivit ales. În bazinele de reacție se produce creșterea flocoanelor, până la cel puțin 0,5...0,6 mm, prin agitare mecanică. Acestea vor avea densitatea, rezistența mecanică și filtrabilitatea cât mai ridicate astfel încât să poată fi reținute cât mai rapid prin decantare. Pe măsura creșterii flocoanelor se majorează vulnerabilitatea fizică la acțiunile mecanice ceea ce impune reducerea gradientilor de viteză.

Pentru obținerea unor rezultate mai bune gradientul de viteză trebuie să varieze de-a lungul procesului astfel încât să accelereze aglomerarea și să compacteze flocoanele. Aproape toate tipurile de bazine de reacție asigură un gradient de viteză mai mare lângă amestecător decât media din bazin. Aceste valori mari ale gradientului, neprecizate încă, conduc la ideea limitării vitezelor maxime induse la 0,6 m/s pentru flocoanele slab legate și la 1,2 m/s în cazul flocoanelor cu legături puternice. Gradientii de viteză admisibili variază mult de la o instalație la alta. În general, se poate admite ca acceptabil un gradient de viteză de 10 s^{-1} . O indicație în acest sens îl poate da gradientul de viteză din ultimul compartiment al bazinului de reacție.

Alegerea și dimensionarea sistemului de distribuție în decantoare se lovește astfel de cerințe contradictorii precum cea de limitare a gradientului de viteză și necesitatea unei distribuții cât mai uniforme, care presupune orificii dese și mici cu pierderi de sarcină mari și gradienti de viteză ridicați. Aceasta conduce, în general, la adoptarea unui compromis prin care să se realizeze un volum minim construit suplimentar pentru uniformizare și decantare fără a aduce prejudicii grave flocoanelor.

3.4. Procedee de amestecare

Amestecarea este un proces hidrodinamic care are drept scop dizolvarea și omogenizarea cu reducerea gradientilor de concentrație sau temperatură sau în mod simultan a ambilor în interiorul sistemului dispers. Este un proces utilizat în prepararea și diluarea soluțiilor de reactivi, în amestecarea și omogenizarea acestora și a dezinfectanților cu apa. Totodată, procesele de amestecare au rolul de a accelera reacțiile din tehnologia de tratare și epurare a apelor.

Amestecarea în industrie are următoarele scopuri: a) omogenizarea amestecurilor polifazate; b) menținerea în suspensie a particulelor; c) dispersarea gazelor în masa de apă – procese de oxigenare, de ozonizare; d) realizarea transferului de masă și căldură; e) dispersia fluidelor în fluide.

În industrie se folosesc o multitudine de procedee tehnologice pentru omogenizare: a) amestecarea hidrodinamică a fluidelor în conducte; b) amestecarea lichidelor în recipiente prin mișcările induse de pompele de recirculare exterioare cuvelor; c) amestecarea cu aer sau alte gaze în bazine prin barbotare; d) amestecare prin energia comunicată fluidelor de vibrațiile ultrasonore; e) amestecarea prin echipamente mecanice; f) amestecarea prin jeturi fluide.

3.4.1. Amestecarea hidrodinamică

Procesele de amestecare hidrodinamică se bazează pe caracteristicile mișcării turbulente, în principal transportul transversal de particule între straturile de fluid în mișcare.

Amestecarea hidrodinamică a fluidelor în conducte. Cel mai simplu proces de amestecare hidraulică are loc la curgerea simultană a unor fluide miscibile pe conductă. Pentru amestecare se folosește regimul turbulent de curgere care este caracterizat prin transport/transfer de cantitate de mișcare atât în direcția de curgere, cât și perpendicular pe aceasta. Lungimea conductei are un rol important în asigurarea omogenizării fluidelor; valoarea minimă a acesteia este dată de relația $L = vt$ [m], în care v este viteza fluidului, iar t – timpul de reacție necesar, specific fiecărui proces și reactiv.

Amestecarea în conducte este un proces care se desfășoară lent și se datorește pulsațiilor mărimilor cinematice și dinamice în regimul turbulent de curgere. În cazul în care conducta nu este suficient de lungă, corespunzător distanței de amestecare în regimul turbulent, se prevăd, pentru intensificarea fenomenului, șicane sau injectoare la introducerea reactivului în apă (fig. 3.2).

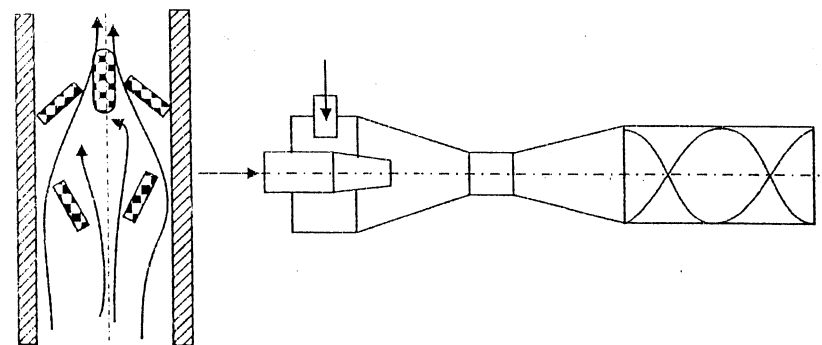


Fig. 3.2. Sistem de amestecare hidrodinamică cu șicană și de tip injector cu amestecare pe conductă cu șicană elicoidală.

Amestecarea hidraulică în bazine. Amestecarea în bazine este, de asemenea, un proces care se desfășoară lent. Procedeele se utilizează la reacția floculanților în cazul decantoarelor radiale. În acest caz, bazinul, de tip cilindric cu vârful în jos, este parcurs de o circulație elicoidală pentru un interval de circa 15 minute. Procedeele se folosesc și la amestecarea soluțiilor de clor cu apa în bazine de înmagazinare. În acest caz bazinul este prevăzut cu pereți șicană astfel încât să se evite formarea curenților de scurtcircuitare intrare-ieșire. Injecția clorului se efectuează fie la intrarea apei în bazin, fie în conducte de admisie.

Amestecarea hidraulică în canale. Amestecarea reactivilor cu apa de tratat se realizează prin turbulența creată fie de un deversor, fie într-un canal de tip Venturi. Procedeele se mai aplică încă instalațiilor mici.

Amestecarea hidraulică cu pompe. Amestecarea hidraulică cu pompe se efectuează în vederea dizolvării, diluării și omogenizării reactivilor. Un caz tipic de utilizare îl constituie accelerarea dizolvării sulfatului de aluminiu solid, sub formă de plăci, depus pe un grătar din bazinul de depozitare-dizolvare. Sulfatul de aluminiu este depozitat uscat. Pentru dizolvare se introduce apă, la partea superioară a bazinului, până la un anumit nivel corelat cu volumul de reactiv necesar a fi preparat. Accelerarea procesului de dizolvare, până la saturație, se realizează cu ajutorul unei circulații exterioare forțate. Pompa de circulație aspiră apa de la fundul bazinului și o refulează în zona superioară. Debitul pompei, folosită și la încărcarea recipientilor de diluare, se alege astfel încât să asigure circa 4 recirculări pe oră ale volumului bazinului.

3.4.2. Amestecarea pneumatică

În majoritatea instalațiilor de tratare și epurare, amestecarea pneumatică se realizează fie prin barbotarea liberă a gazului în apă, fie controlată printr-un tub de tiraj. La proiectarea recipientilor cu amestecare pneumatică trebuie ca dispozitivul de dispersie să fie amplasat astfel încât traseul bulelor să fie cât mai lung, deci rezervoare cu adâncime mare.

Amestecarea pneumatică se realizează prin introducerea de aer pe la partea inferioară a unui bazin și are mai multe scopuri: a) împiedicarea depunerilor suspensiilor, ca de exemplu în bazinele cu lapte de var sau la deznisipatoarele aerate; b) dizolvarea și omogenizarea reactivilor solizi depuși pe un grătar, deasupra țevilor cu orificii pentru distribuția aerului. După Kauffman debitele de aer necesare într-un bazin sau recipient cu adâncimea de 2,7 m sunt: 0,2 m³ aer/min, pentru amestecarea medie; 0,4 m³ aer/min în cazul amestecării complete și 1 m³ aer/min la amestecarea intensă. Dacă adâncimea se reduce la un metru, pentru un grad egal de amestecare, se dublează debitul de aer.

Pentru deznisipatoarele longitudinale debitul necesar este de 1,5 m³ aer/oră și m³ bazin valoare care asigură o mișcare elicoidală a apei. Conductele de distribuție ale aerului trebuie să fie montate în bazin perfect orizontale. Ele au orificii de 3...6 mm diametru, amplasate pe zona inferioară, cu sensul de insuflare vertical în jos, sau la un unghi de 45° față de verticală, astfel încât la pornire să se asigure evacuarea apei din conducta pneumatică.

Dispozitivele pneumatice cu mișcarea bulelor de gaz controlată prin tubul de tiraj vertical asigură deplasarea, prin acesta, a unui curent ascensional de lichid, la viteze superioare.

3.4.3. Amestecarea mecanică

Procesele de amestecare mecanică se bazează pe acțiunea unui echipament mecanic dotat cu un organ activ care, prin mișcarea de rotație, asigură pompajul lichidului întreținând în recipientul exterior o circulație cu rol de omoge-

nizare. Amestecătorul mecanic este un echipament format dintr-un electromotor cuplat direct la un rotor axial sau de tip centrifug sau prin intermediul unui reductor la o construcție paletată. În funcție de turația echipamentului și de construcția organului activ amestecătorul poate realiza următoarele tipuri de curgeri: a) mișcare tangențială ce se realizează numai la turații reduse; spectrul este caracterizat prin aceea că lichidul este antrenat într-o mișcare de rotație concentrică cu traseul descris de organul activ; b) curgere radială – în care lichidul este expulzat din rotor în lungul razei vectoriale; c) axială – lichidul intră în rotor și-l părăsește în direcție paralelă cu axa arborelui (fig. 3.3).

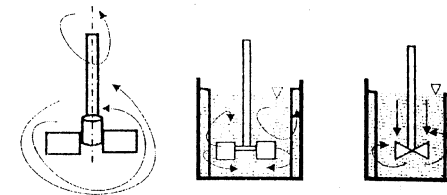


Fig. 3.3. Schema spectrelor de curgere în vasul de amestecare: tangențial, radial și respectiv axial.

Pentru amestecarea reactivilor cu apa și nămolul, precum și la prepararea soluțiilor diluate de reactivi, se utilizează o amestecare rapidă, iar pentru reacțiile de floclurare se folosește o amestecare lentă. În cazul amestecării reactivilor cu apa, în bazine de amestec în flux, se utilizează procedeul de omogenizare rapidă cu rotor de tip pompă sau elice de vapor al cărui debit este de 1/3...1/4 din cel introdus în cuvă. Pentru rapida amestecare și omogenizare se face o circulație în contracurent, apa brută intră prin partea inferioară și urcă în cuvă, iar cea vehiculată de echipament este împinsă în jos. La prepararea reactivilor se folosesc amestecătoare de tip pompă care trebuie să fie astfel dimensionate încât să asigure o recirculare de circa 40 de ori pe oră a volumului bazinului în cazul substanțelor solubile și de 80 de ori/oră pentru cele care rămân în suspensie, așa cum este cazul hidratului de calciu. Pentru operația de floconare se folosesc amestecătoare lente care vor avea o viteză periferică de 0,2 ...0,4 m/s impusă de tehnologia procesului.

Amestecătoarele rapide cu pale radiale sunt utilizate în diferite procese din cadrul stațiilor chimice, ca de exemplu la amestecarea dioxidului de carbon în bazinele de recarbonare la care se recomandă viteze periferice de circa 3...4 m/s.

Amestecarea rapidă. Amestecătorul cu elice, datorită formei constructive și turațiilor ridicate, creează în recipientul de agitare o curgere turbulentă, preponderent axială. Gradul de amestecare este dependent, în mare măsură, de forma vasului și de poziția de amplasare a rotorului în recipient. Pentru a împiedica formarea vortexului central se montează în vas șicane laterale care deșurubează mișcarea rotațională orizontală și o transformă în curenți pe verticala bazinului.

Pentru corelarea dimensiunilor rotorului și a camerei de reacție la dimensionarea de gabarit, se recomandă: $d/D = 0,2...0,5$; $h/d = 0,5...1,0$; $p/d = 1...3$; adâncimea de imersare a rotorului este de $(2...4)d$; distanța dintre două rotoare pe același ax $(1...5)d$; turația uzuală a rotorului axial 440...2400 rot/min, iar în cazul în care amestecul polifazic este foarte vâscos, conține suspensii și are tendința de a spuma, se va limita la 150...400 rot/min. De preferat, în acest ultim caz, să fie utilizat un amestecător complet imersat în lichid.

Amestecarea lentă. Amestecarea lentă constă din folosirea dispozitivelor cu turații joase ($n < 60$ rot/min), iar în procesele de floculare $n = 2...4$ rot/min. Amestecătorul lent are pale plane, dispuse perpendicular pe arborele montat la poziție orizontală sau verticală. Palele se înclină cu un unghi superior valorii de 90° față de direcția de mișcare, dacă precipitatul se aglomerează în straturile inferioare și sub 90° ($35^\circ...45^\circ$), pentru cazul dirijării curentului axial în sens descendent. Orientativ, se recomandă următoarele rapoarte între dimensiunile de gabarit: $d/D = 0,66... 0,90$; $h/d = 0,1...0,2$; $H_0/d = 0,01...0,03$. Pentru recipienti adânci, în funcție de viscozitatea amestecului, pe același ax se montează mai multe rânduri de pale la distanța ($0,3...0,8$) d . Amestecătorul cu pale paralele cu arborele are raportul $d/D = 0,85... 0,95$. Antrenarea rotorului se face mecanic sau pneumatic.

În funcție de proprietățile mediului care se amestecă și de condițiile de funcționare rotorul amestecătorului lent se execută din oțel carbon, oțel inoxidabil, fontă, materiale plastice, lemn etc.

Un amestecător cu pale înclinate la 45° are același efect de menținere a solidelor în suspensie ca și unul axial, dar consumul de putere este cu circa 25% mai mare.

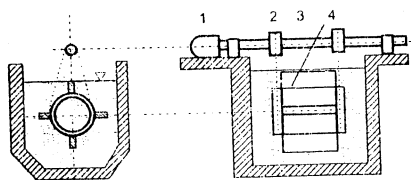


Fig. 3.4. Amestecător lent orizontal:
1 – grup de antrenare; 2 – roți de lanț;
3 – arbore; 4 – roată cu zbaturi.

Amestecătorul lent orizontal (fig. 3.4) este executat sub forma unei roți cu zbaturi 4. Între două discuri paralele se fixează palele radiale. Tot acest ansamblu este susținut pe lanțuri cu zale inelare care realizează antrenarea prin fricțiune. Arborele motor 3, antrenat de grupul motoreductor 1, are două role 2 care susțin și pun în mișcare de rotație (cu $3...6$ rot/min) roata cu zbaturi ce are rolul de amestecător. Echipamentul este simplu, ușor de realizat și

nu necesită supravegheri speciale. El este destinat omogenizării mediilor polifazate cu concentrație mare.

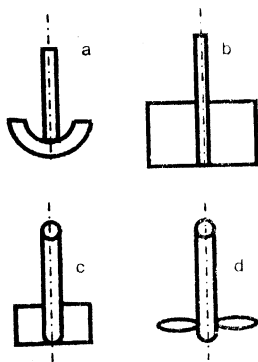


Fig. 3.5. Tipuri de amestecătoare.

Amestecătoare rapide cu elice

Amestecătorul rapid cu elice – rotor axial – poate agita lichide cu viscozitatea dinamică sub 4000 cP, în care se află suspensii solide cu dimensiunea maximă între $0,1$ și $0,5$ mm, în concentrație de 10% (fig. 3.5). Rotorul este montat pe un arbore orizontal, vertical sau oblic, cuplat direct pe axul motorului electric de antrenare. În ultimii ani au apărut o serie de amestecătoare capsulate, de adâncime, la care rotorul de mari dimensiuni poate să vehiculeze și amestecuri polifazate cu concentrații mari și viscozități ridicate. Amestecătoarele submersibile au turații mici, $n = 150...300$ rot/min, și se pot utiliza la orice tipuri de bazine, fiind recomandate în special acolo unde regimul este anoxic și valurile create la suprafață au genera procese de transfer a oxigenului. Forma

rotorului este asemănătoare elicei de vapor, aceasta fiind optimă pentru realizarea curenților de omogenizare a amestecurilor polifazate.

Amestecătoare submersibile

Avantajele acestei soluții constructive sunt: a) nu apar probleme de instalare; b) poate fi utilizat la orice formă de bazin; c) adâncimea de lucru poate fi reglată pe verticala bazinului; d) se poate modifica direcția de curgere a curentului fluid; e) necesită spațiu mic de amplasare; f) reduce depozitele formate pe radier; g) se evită formarea valurilor la suprafața apei din bazin reducând astfel la minimum oxigenul transferat prin suprafața liberă; h) se realizează un curent optim de omogenizare datorită formei hidrodinamice a palelor. Ele sunt recomandate în special pentru omogenizare, menținerea în suspensie a particulelor, în bazinele de egalizare uniformizare, la nitrificare-denitrificare și la bazinele de stocare ale nămolului. Avantajul principal este că această mașină hidraulică creează un curent tridimensional, jet liber cu efect de curgere și antrenare prin transport/transfer de cantitate de mișcare.



Fig. 3.6. Rotor de tip elice pentru amestecător imersat.

4 TRATAREA NĂMOLURILOR

Tehnologiile de prelucrare a nămolurilor cuprind totalitatea procedeeelor tehnice pentru stabilizarea și rezolvarea problemei finale a deșeurilor rezultate din operațiile de epurare a apelor uzate.

Nămolurile sunt amestecuri polifazate alcătuite dintr-un fluid de bază, apă, și diferiți constituenți, de natură minerală sau organică, dispersați în mediul apos. Ele pot avea compoziții și concentrații diverse, funcție de proveniență – din decantorul primar, secundar sau terțiar – și de gradul de deshidratare – extras din decantor, concentrator sau de la deshidratare. Așadar, termenul de nămol este o noțiune foarte largă ce desemnează diferite soluții apoase, cu compoziție eterogenă, în care se găsesc materii în suspensie, dizolvate, particule coloidale de natură minerală sau organică, cu aspect gelatinos la concentrații mai mari și culoare negru-brun. Din punct de vedere chimic, nămolurile se clasifică în: a) nămoluri minerale, la care materiile solide minerale sunt preponderente, depășesc 50%; b) nămoluri organice, la care cantitatea de substanță organică este superioară valorii de 50% din totalul materiilor solide reținute.

Din punctul de vedere al provenienței apei uzate, nămolurile pot fi: *menajere, orășenești* sau *industriale*. În acest caz raportul mineral/organic se modifică după proveniența nămolului.

Din punctul de vedere al sursei, nămolurile pot fi: a) nămoluri de la decantoare primare – au o culoare cenușiu deschis, un miros slab, un conținut sub 50% de materii organice, fermentează repede și, după 15 zile pe paturile de uscare, devin lopătabile; b) nămoluri provenite din decantoarele secundare, care sunt preponderent organice și se deshidratează greu în aer liber; c) nămoluri de la decantoare terțiare după treapta de nitrificare-denitrificare; d) nămoluri de la decantorul treptei chimice care are caracteristici apropiate de cele primare.

Tehnologiile actuale impun concentrarea nămolurilor de la toate treptele stației de epurare în scopul prelucrării centralizate. În acest mod este posibil să se utilizeze instalații complexe de tratare cu eficiență ridicată de stabilizare și care pot conduce la procente mari de deshidratare. Din acest motiv, metodele de prelucrare a nămolurilor au drept scop eliminarea din amestecul polifazic a unei cantități cât mai mari de apă.

Substanțele solide în suspensie din nămol pot varia în gama 1...10% în greutate.

4.1. Caracteristicile nămolurilor

Parametrii de calitate caracteristici ai nămolurilor se grupează în:

1. **Generalii:** culoare, aspect, miros, temperatură, pH, umiditate, reziduu de calcinare, pierdere prin calcinare – volatil, greutate specifică, densitate, putere calorică, coeficient de compresibilitate, rezistență la filtrare, granulometria particulelor din nămol.

2. **Specificali:** CCO, CBO₅, carbon organic, carbon total, proteine brute, celuloză, grăsimi, azot total, fosfor total, lignină, substanțe extractibile, conținut de metale grele zinc, cupru, fier, mercur, crom.

3. **Indicatori de valorificare agricolă:** prezența substanțelor și a elementelor fertilizante – calciu, natriu, azot, fosfor, magneziu, humus etc.

4. **Teste tehnologice:** sedimentabilitate, caracteristici reologice, filtrabilitate, fermentabilitate, centrifugabilitate, indicii volumului de nămol, viteza consumului de oxigen, activitate enzimatică, drenabilitate. Dintre aceștia se analizează în cele ce urmează cei mai reprezentativi.

Concentrația în substanță solidă uscată, s.s.u.: reprezintă masa de materie obținută prin evaporarea completă a lichidului, dispersată într-un litru de apă C [mg/l]. Valorile acesteia sunt în gama $C = 1...10$ gr/l funcție de proveniență, decantor $C = 2...3$ gr/l sau concentrator $C = 6...8$ gr/l. Pentru tehnologia de prelucrare se recomandă ca aceasta să fie cât mai mare, deoarece un nămol mai concentrat reduce capacitățile de prelucrare, micșorează costurile de investiție și tratare.

Compoziția nămolurilor este un parametru important în adoptarea tehnologiei de prelucrare. La aprecierea acesteia interesează: a) concentrația în materii volatile organice sau minerale exprimată în procente din totalul de substanță solidă uscată; ea se determină în faza de gazeificare a nămolului la temperaturi de 550°...600°C; nămolurile orășenești brute au raportul mineral/volatil de 40/60, cele de la fermele agrozootehnice 20/80, iar în cazul nămolurilor industriale acest raport variază în limite foarte largi funcție de tipul societății comerciale; b) prezența elementelor: 1. carbon și hidrogen – elemente necesare pentru aprecierea gradului de stabilizare al nămolului și precizarea puterii calorice inferioare; 2. azot, fosfor, potasiu – apreciază valoarea agricolă fertilizantă de îngrășământ a nămolului; 3. alte elemente – de exemplu metale grele: fier, magneziu, aluminiu, crom, argint, cupru cu posibilități de prelucrare și recuperare și care pot interzice folosirea nămolului în agricultură.

Comportament reologic. În general nămolurile au o comportare de corp plastic Bingham sau pseudoplastic conform expresiei $\tau_n = \tau_0 + K \left(\frac{dv}{dn} \right)^\alpha$; valorile

rigidității K și a indicelui de curgere α sunt precizate în tabelul 4.1. De asemenea, nămolurile din instalațiile de canalizare au o comportare tixotropă – devin fluide când sunt agitate. Concentrația C este suficient de mare astfel încât nămolul să formeze o structură continuă. În aceste condiții nămolul se comportă ca un solid elastic până la valoarea tensiunii prag. La tensiuni mai mari structura elastică este distrusă și nămolul curge vâcos.

Atât tensiunea prag de curgere τ_0 , cât și rigiditatea K depind de concentrația în substanțe solide uscate, mărimea și caracterul particulelor în suspensie, natura fazei fluide continue – apă cu substanțe organice și anorganice dizolvate, temperatură, tixotropie, alunecarea și infiltrația, gradul de agitare al soluției, conținutul de gaze dizolvate. Proprietățile reologice sunt importante în proiectarea stațiilor de pompare ale nămolului, precum și la alegerea parametrilor hidrodinamici ai regimului de curgere din conducte.

Caracteristicile reologice ale nămolurilor

Tabelul 4.1

Nămol	T [°C]	C [%]	τ_0 [N/m ²]	K [Ns/m ²]
Apă	20	0	0	0,001
Nămol brut urban	12	6,7	430	28
Nămol coagulat cu alumina	20	3,27	600	6
Nămol apos și clarificat	18	13,6	53	7,5
Nămol urban fermentat	17	10...18	150...610	92...116
Nămol activ	20	2...4	0,7...2,0	5...7

Filtrabilitatea este un indicator important în adoptarea tehnologiei de prelucrare a nămolurilor. Exprimarea ei se face în termenii rezistenței specifice la filtrare și coeficientul de compresibilitate r [m/kg] dat de expresia $r = \frac{2b\Delta p A^2}{\eta C}$,

unde Δp [N/m²] este diferența de presiune la care se realizează filtrarea, A [m²] – suprafața de filtrare, η [Ns/m²] – viscozitatea dinamică aparentă a fluidului polifazic, C [kg/m³] – concentrația solidelor. Experimental se determină volumul de filtrat V scurs la diferite intervale de timp t . Din reprezentarea grafică t/V funcție de volumul V rezultă o dreaptă a cărei pantă este b .

Coeficientul de compresibilitate s provine din relația rezistenței la filtrare $r = r_0 \Delta p^s$, unde r_0 este rezistența specifică determinată pentru diferența de presiune unitară. Pentru determinarea coeficientului de compresibilitate s se măsoară rezistența specifică la diferite presiuni; reprezentată în scară logaritmică panta dreptei este s . În cazul nămolurilor greu filtrabile – orășenești brute, nămolurile parțial fermentate – $r = 10^{11} \dots 10^{12}$ m/kg; dacă $r = 10^9 \dots 10^{10}$ m/kg nămolurile au o filtrabilitate medie – nămoluri fermentate, obținute la tratarea apelor predominant anorganice, iar dacă $r < 10^9$ m/kg nămolurile sunt ușor filtrabile – cazul nămolurilor fibroase, granuloase, condiționate.

Substanțe organice volatile se exprimă în procente % din substanța uscată; ele dispar prin descompunerea materiilor organice.

Puterea calorică este în funcție de cantitatea de substanță volatilă prezentă în nămol. Orientativ puterea calorică netă se poate determina cu expresia empirică $P_{cnet} = 0,444 SV$ [kJ/kg], unde SV este concentrația în procente din greutate a substanțelor volatile din nămol. În cazul nămolului fermentat, la care scade

cantitatea de materie organică, se va reduce puterea calorică cu circa 40%. Puterea calorică este dependentă de compoziție, concentrație, umiditate, dacă nămolul este stabilizat sau nu etc. Astfel, în cazul în care nămolul are materii organice în proporție de 70...100% puterea calorică este $(38,5 \dots 56,5)10^3$ kJ/kg.

Greutatea specifică a nămolului crește liniar cu concentrația volumică a particulelor din amestecul polifazic. În cazul nămolului activ ea crește cu circa 0,0007 pentru o concentrație de 10 gr/l; rezultă o greutate specifică de circa 1,08 din cea a apei. Pentru nămolul primar greutatea specifică crește cu circa 0,0064 pentru fiecare 10 gr/l ceea ce conduce la un coeficient de majorare de 2,75 față de cea a apei curate.

Umiditatea nămolului este dependentă de proveniența acestuia și variază între 99...90%. În practica prelucrării nămolurilor interesează raportul dintre apa legată și apa liberă întrucât umiditatea rezultă din diferite moduri de legare a fazelor solid-lichid. Umiditatea se exprimă în procente și se determină prin evaporarea lichidului la 105°C și cântărire. Umiditatea se determină cu expresia $U [\%] = \frac{G_i - G_f}{G_i} \cdot 100$, unde G_i , G_f reprezintă greutatea inițială a probei, respectiv

finală după evaporarea lichidului. În multe situații se dă, în locul umidității, conținutul în materii solide totale obținut prin cântărirea materiilor rămase pe pereții vasului după evaporarea apei. Dacă proba se introduce în cuptor după o nouă cântărire va rezulta cantitatea de materii minerale, iar prin diferență partea volatilă – materiile organice.

Substanțele fertilizante sunt reprezentate prin conținutul de săruri de azot, fosfor, sodiu, potasiu existente în nămoluri și verificate prin experimentări pe terenuri cultivate.

Din punct de vedere igienico-sanitar procedeele de prelucrare și valorificare ale nămolurilor trebuie să aibă în vedere: a) reducerea contactului dintre materialul supus prelucrării și operatori; b) prevenirea dezvoltării mirosurilor neplăcute în transport, prelucrare și utilizare; c) distrugerea germeilor patogeni și a ouălor de paraziți; d) obținerea unor materiale neputrescibile pentru stocare și valorificare ulterioară.

Procesele tehnologice utilizate în gospodăria de nămol sunt adoptate funcție de caracteristicile și proprietățile principale ale amestecului polifazic.

Îngroșarea sau concentrarea nămolului se poate realiza prin procedee gravitaționale, flotație sau prin centrifugare.

Stabilizarea și condiționarea se realizează prin compostare, procedee aerobe, anaerobe, tratare cu var, cu clor sau tratare termică.

Deshidratarea se poate realiza prin procedee naturale pe platformă sau în lagună, sau cu echipamente mecanice de tipul filtrelor presă, cu vacuum, cu bandă sau în centrifuge.

Pasteurizarea termică se realizează în instalații cu vetre etajate, uscător cu țevi, de tip ciclon, atomizor.

Reducerea cantității se obține prin incinerare, oxidare umedă, piroliză.

Evacuarea finală a nămolului se rezolvă prin utilizarea acestuia ca îngrășământ, depozitare cu folosirea lui ulterioară de exemplu la diguri ca material de construcție, condiționare a solului și nivelarea acestuia prin astuparea gropilor din teren, evacuarea în subteran sau în mediul marin.

4.2. Tratări preliminare

4.2.1. Îngroșarea nămolului

Operația de îngroșare sau concentrare a nămolurilor este impusă de condiția realizării unor economii la costurile de investiție – volume mai reduse ale obiectelor tehnologice și la costurile de exploatare – consumuri mai mici de energie la pompare și deshidratare. Tehnologiile de îngroșare folosesc sedimentarea gravitațională, flotația, centrifugarea. De regulă, pentru această operație se preferă procesele gravitaționale care oferă avantaje economice în raport cu flotația sau centrifugarea. Prin concentrare scade volumul nămolului din amestecul polifazic conform expresiei

$$\frac{V_i}{V_f} = \frac{[100\gamma_a + U_i(\gamma_s - \gamma_a)](100 - U_f)}{[100\gamma_a + U_f(\gamma_s - \gamma_a)](100 - U_i)} = \frac{100 - U_f}{100 - U_i}$$

în care indicii i și f precizează situația inițială, respectiv finală după îngroșare. Prin îngroșare volumul nămolului se reduce cu 20...50%. Nămolul intră cu o concentrație în substanță solidă uscată de circa 2% și iese cu 8...10%. Prin îngroșare se produce și o modificare a structurii nămolului fapt care va afecta rezistența specifică de filtrare. În unele situații, pentru obținerea unor rezultate superioare, după concentrare se poate aplica un procedeu de elutriere. Îngroșarea gravitațională se desfășoară în bazine de formă cilindro-conică de tipul decantoarelor radiale. Acestea se dimensionează pe baza considerentelor hidrodinamice de sedimentare în masă sau a teoriei fluxului. Îngroșătoarele de nămol se dimensionează pentru o încărcare superficială de 0,2...0,4 m³/m² oră și un timp de retenție de 3...75 ore. Încărcarea masică poate fi de 40...60 kg materie solidă uscată/m²-zi. Radierul bazinului are o înclinare mai mare decât în cazul decantoarelor radiale obișnuite. Adâncimea la centru a bazinului este de 3,5...6,0 m.

Suprafața în plan a concentratorului este $S[m^2] = QC_0S_u$, unde Q este debitul influentului brut, în m³/h. Pentru stabilirea suprafeței reale se majorează valoarea calculată cu 50%.

Admisia nămolului de la decantoare se face în centrul bazinului, iar colectarea apei, a supernatantului, pe canalul inelar al bazinului, concentric cu acesta. Aceasta are o încărcare organică și se va reîntoarce în proces.

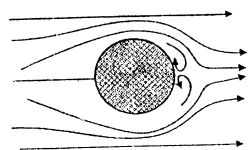


Fig. 4.1. Regimul de desprindere a stratului limită.

În bazinul de concentrare a nămolului se introduce un grătar cu bare verticale care este rotit cu o turație mică. Alegerea acestuia se face din considerente hidrodinamice. Pentru a ușura separarea fazelor – apă + particule solide – și a favoriza degajarea pungilor de gaze, care se formează prin fermentarea materiilor organice, este necesar să se folosească regimul de

desprindere al stratului limită de profilul circular (fig. 4.1). Acest regim apare la valori ale numărului lui Reynolds atașat cercului între 5...15. La aceste viteze

particulele solide, datorită inerției, urmăresc liniile de curent și deci în spatele profilului rămâne apa curată care se va deplasa în sus spre suprafața liberă. Tot prin acest spațiu se vor degaja bulele de gaz formate în procesul de fermentație. Pentru calculul turației, având dimensiunea bazinului, se are în vedere încadrarea tuturor barelor în acest interval de variație a numărului lui Reynolds.

Echipamentul de amestecare este format dintr-un cadru metalic, cu bare verticale paralele echidistante, de diametru constant sau cu raze diferite funcție de amplasarea în raport cu axul de rotație. Cadru este susținut pe lagăre și antrenat de la un grup motoreductor prevăzut cu limitator de moment, care, la eventualele rezistențe superioare, deconectează alimentarea cu energie electrică.

4.2.2. Elutrierea

Prin stabilizarea anaerobă a nămolului se formează acizi organici, bicarbonați și amoniac care produc o creștere excesivă a alcalinității până la de 60 de ori față de nămolul brut. Totodată, o parte din materia organică mineralizată conduce la majorarea concentrației de particule coloidale și fine în suspensie. Prin aplicarea procedurii se îndepărtează circa 80% din alcalinitatea totală ceea ce conduce la reducerea dozei de coagulant la filtrare – clorură ferică – cu 65...80%.

Elutrierea este procedeu de spălare a nămolului în scopul îndepărtării particulelor coloidale și a celor fin dispersate. Prin acest procedeu se îmbunătățește filtrabilitatea nămolului, se reduce alcalinitatea excesivă ce conduce la un consum mare de coagulant și se obține o scădere a rezistenței specifice de filtrare.

Încărcarea maximă superficială a bazinului de elutriere este de 50 kg s.s.u./m²-zi sau 32 m³/m²-zi. Timpul de retenție hidraulic este de circa 4 ore; la valori sub 2,5...3 ore se produce acumularea nămolului – fenomen care trebuie evitat.

În cazul procesului cu funcționare continuă apa și nămolul circulă în contracurent în aceste bazine, în care se folosește și o amestecare. Amestecul este apoi separat prin sedimentare, iar apa se reîntoarce în stație.

Ca agent de elutriere se folosește apă epurată după treapta biologică, apa de râu sau de la rețea. Debitul de apă este funcție de caracteristicile nămolului putând fi de 2...10 ori mai mare decât cel al nămolului; elutrierea în contracurent necesită cantitatea de apă de spălare cea mai mică.

În procesul cu funcționare discontinuă elutrierea se face în bazine în care are loc și sedimentarea. Procesul de poate desfășura într-o treaptă unică sau în două trepte cu bazine destinate special fiecăreia.

Amestecarea se realizează prin procedee hidrodinamice cu amplasarea de șicane în canalul de aducțiune a nămolului în care se face și injecția sub presiune de apă pentru spălare. În bazinele în care se face elutrierea în regim continuu amestecarea se face cu mijloace mecanice sau prin barbotarea cu aer comprimat.

Bazinele destinate elutrierii au forme circulare sau poligonale în plan cu colțurile rotunjite similare concentratoarelor echipate cu sistemul de bare verticale. Evacuarea nămolului trebuie făcută astfel încât să nu se acumuleze cantități ce pot depăși mai mult de jumătate din înălțimea bazinului.

Volumul bazinelor de elutriere este dependent de: a) tipul nămolului și umiditatea lui; b) tratarea nămolului primar fermentat necesită volume mai mici decât cea corespunzătoare nămolului primar amestecat cu cel în exces fermentat; c) concentrația nămolului în substanță solidă uscată – în cazul concentrațiilor reduse nămolurile au o densitate inițială mai mare și elutrierea este mai dificilă; d) raporturile mari de elutriere conduc la volume mai mari; e) regimul de exploatare – intermitent sau continuu – are importanță în dimensionare.

Stația de pompare se echipează cu pompe dimensionate astfel încât să se acopere valorile maxime ale debitelor de nămol și în mod corespunzător ale apei.

4.2.3. Coagularea – condiționarea chimică

Coagularea, denumită și condiționarea chimică, este o operație preliminară obligatorie pentru deshidratarea nămolurilor pe filtre presă sau cu vid. Ea are drept scop reducerea rezistenței specifice la filtrarea mecanică prin modificarea structurii nămolului. Nămolul este un amestec polifazic în care particulele solide fine coexistă cu cele coloidale. Pentru destabilizarea particulelor coloidale se introduc reactivi care prin sarcina electrică contrară provoacă agregarea coloizilor.

Dozele de coagulant sunt dependente de proveniența nămolului, de compoziția lui chimică, concentrație și de gradul de dispersie. Dozele variază între 1...20% procente în greutate față de cantitatea de materie solidă uscată. Drept coagulanți se folosesc: a) săruri de aluminiu – sulfat de aluminiu, clorură de aluminiu – cu doze de 1...2%; b) săruri de fier – sulfat feros, sulfat de fier clorurat, clorură ferică – cu doze de 5...10% pentru fier sau asociat cu var; c) polielectroliti organici anionici sau cationici – aceștia provoacă o floculare rapidă a nămolului chiar dacă doza este mică și diluția mare. Dozele optime de coagulant se stabilesc pe calea experimentărilor de laborator astfel încât să se obțină productivitatea maximă a filtrelor mecanice; astfel, pentru filtrare este necesară o rezistență specifică la filtrare $r \leq 10^{10}$ m/N, iar în cazul filtrelor presă $(1...2) \cdot 10^8$ m/N la o diferență de presiune de $4,9 \cdot 10^4$ N/m². Pentru reducerea dozei de coagulant de 3...4 ori se recomandă aplicarea în prealabil a unui proces de elutriere și de îngroșare prin decantare.

Bazinele destinate operației de floculare trebuie să fie construite astfel încât să permită introducerea și omogenizarea reactivilor cu amestecul bifazic. Amestecarea se face rapid în zona de introducere a reactivilor și apoi lent pentru a nu se provoca fragmentarea flocoanelor formate. Dimensionarea bazinelor se face pe baza gradientului de viteză definit de Camp. Datorită coagulării volumul de nămol este de 2...3 ori mai mare decât în cazul sedimentării normale.

4.2.4. Flotația

Tratarea preliminară a nămolului prin flotație conduce la concentrarea acestuia. Pentru obținerea bulelor de gaz se poate introduce acid în nămol care va

reacționa cu bazele. O altă cale de obținere este de a conta pe formarea bulelor prin fermentarea anaerobă a nămolului stocat în bazine închise la temperaturi de circa 35°C. Flotarea nămolului se mai poate face cu aer comprimat prin barbotare. Prin flotație se obține un nămol concentrat cu un volum de o treime din cel obținut prin sedimentare.

4.3. Stabilizarea nămolurilor

Nămolurile cu compoziție predominant organică, care rezultă în cantități importante din procesul de epurare, prezintă inconvenientul de a constitui un material ușor putrescibil. Astfel, ele constituie un potențial infecțios, apar mirosuri grele, nepăcute, atrage insecte și rozătoare. În toate cazurile în care evacuarea finală a nămolurilor se face cu utilizare agricolă, stocare temporară, depozitare finală, astuparea denivelărilor de teren etc. este absolut necesar ca acestea să fie în prealabil stabilizate pentru a se evita inconvenientele de mai sus.

Procesul de stabilizare biologică artificială constă în degradarea controlată a materiilor organice astfel încât să se obțină un produs final cu un raport mineral/organic modificat. El se poate desfășura în mediu aerob – în prezența oxigenului atmosferic sau în condiții anaerobe – mediu închis lipsit de oxigen.

Reacțiile biochimice corespunzătoare degradării materiilor organice sunt: a) în cazul stabilizării aerobe – Substanță organică + oxigen \Rightarrow dioxid de carbon + apă + substanță remanentă + material celular; b) pentru stabilizarea anaerobă – materie organică + hidrogen \Rightarrow metan + dioxid de carbon + apă + amoniac + hidrogen sulfurat + substanță remanentă + material celular.

4.3.1. Stabilizarea anaerobă a nămolurilor

Procesul de stabilizare anaerobă a nămolului este rezultatul activității a două grupe distincte de microorganisme care se dezvoltă în același mediu. Primul grup este cel al microorganismelor facultativ anaerob care, cu ajutorul enzimelor extracelulare produse, transformă produșii organici macromoleculari în compuși mai simpli ca alcoolii, acizi grași, aminoacizi, cetone, aldehide precum și importante cantități de dioxid de carbon și volume mai mici din alte gaze; aceasta reprezintă faza de gazeificare. Această fază acidă a fermentării este rapidă și puțin sensibilă la condițiile de mediu. Al doilea grup de microorganisme – bacteriile metanice – obligat anaerobe, realizează transformarea produșilor fazei acide, prin activitatea enzimelor intracelulare, în metan și dioxid de carbon. Fermentarea anaerobă se prezintă, așadar, ca o succesiune de reacții în lanț: materii organice \Rightarrow acizi volatili \Rightarrow metan și dioxid de carbon. Viteza procesului este determinată de faza de gazeificare, mult mai lentă, datorită perioadei mai mari de creștere a bacteriilor metanice.

Cinetica procesului de fermentare este dependentă de o serie de factori: a) temperatură; b) pH; c) concentrația materiilor organice exprimată în conținutul de s.s.u. din nămol; d) inhibitori; e) amestecarea și recircularea exterioară; f) timpul de staționare; g) raportul organic/mineral; h) raportul materie organică/elemente nutritive în special azot și fosfor.

Temperatura. Practic fermentarea este posibilă în intervalul de 2...60°C cu o durată a procesului conform figurii 4.2. Domeniul criofil, sub 15°C, este utilizat

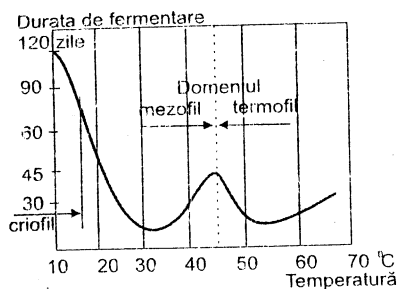


Fig. 4.2. Influența temperaturii asupra duratei de fermentare.

în practică la instalațiile de mici dimensiuni pentru producerea gazului de fermentație necesar unei gospodării individuale. Domeniul mezofil (15...45°C) este folosit astăzi în majoritatea instalațiilor industriale, deoarece din punct de vedere tehnic și economic se poate obține o autonomie energetică prin utilizarea gazului de fermentație. Ultimul deceniu a impus și utilizarea domeniului termofil (50...60°C) care conduce la viteze mari ale procesului și la reducerea volumului recipientilor de fermentare.

Amestecarea. Cuvele de fermentare ale nămolurilor trebuie să fie prevăzute cu sisteme de amestecare interioară și

recirculare exterioară. Amestecarea interioară are drept scopuri: a) omogenizarea conținutului cuvei prin aducerea nămolului proaspăt în contact cu microorganismele; b) spargerea crustei ce se formează la suprafața liberă a nămolului; c) favorizarea degajării bulelor de gaz formate în masa nămolului; d) reducerea gradientilor de temperatură și concentrație în masa de nămol. Recircularea exterioară are drept scop încălzirea nămolului la temperatura optimă procesului; este de fapt tot un proces de amestecare în masă, dar mult mai lent.

Timpul de retenție hidraulic. Timpul de retenție al nămolului în cuvele de fermentare, denumite și metantancuri, este hotărâtor în stabilirea randamentului procesului și al procentului de materie organică stabilizată. El poate fi influențat prin concentrarea nămolurilor, golirea apei din spațiul de fermentare și prin agitarea amestecului polifazic.

Inhibitori. Toate substanțele toxice, sărurile metalice, metalele grele, detergenții, substanțele insecto-fungicide au o acțiune de inhibare a procesului biologic.

Experimentările făcute pe plan mondial asupra procesului de fermentare anaerobă au condus la următoarele concluzii: a) 1 kg de substanță solidă uscată conține 0,67 kg de substanță solidă uscată volatilă; b) dintr-un kg de substanță solidă uscată volatilă rezultă 0,713 kg de gaz de fermentare; c) un kg de gaz de fermentare are următoarea compoziție masică: 0,4 kg metan și 0,6 kg dioxid de carbon sau volumică 65 Nm³ metan/Nm³ de gaz și 35% dioxid de carbon, sau 0,462 kg/Nm³. Limita tehnică de fermentare corespunde unui grad de descompunere a materiei organice de circa 59%. Așadar, dintr-un kg de substanță solidă uscată rezultă 0,19 kg metan sau volumic 0,415 m³. Puterea calorică a gazului este de circa 18630...22350 kJ/Nm³ sau 17000...19900 kJ/kg. Gazul are densitatea de 1,157 kg/Nm³.

Concentrația suspensiilor poate varia între 2gr/l dacă nămolul este preluat din decantor secundar sau poate ajunge la 50...150 gr/l dacă este îngroșat prin centrifugare. Materialele care nu se pot degrada în fermentator sunt: produsele petroliere, uleiurile minerale, cauciuc, mase plastice, filtre pentru țigarete, păr, material nisipos. Alte materiale cum sunt paie, celuloza se degradează foarte greu și pot bloca conductele de circulație.

Metantancuri

Metantancul este un rezervor închis în care se introduce nămolul, îngroșat anterior, în scopul stabilizării anaerobe și al producerii gazului de fermentare. Funcție de gradul de încărcare există mai multe forme constructive care se deosebesc și prin regimul de exploatare.

Metantancul de mică încărcare este rar utilizat în stațiile de epurare urbane. El este alimentat discontinuu, la intervale relativ scurte de timp, iar conținutul din cuvă este amestecat în mică măsură numai de bulele de gaz care se degajă. În timpul funcționării, care se desfășoară de regulă în domeniul criofil, apare o stratificare – crustă în cantitate mare, apă și nămol în fermentare. Cuvă are o capacitate redusă de 10...50 m³, funcție de natura materiei organice și de temperatură. Metantancul poate asigura 0,2...0,4 m³ gaz/m³·zi producție netă, deoarece nu este necesară o cantitate de gaz pentru încălzire. Timpul de staționare a nămolului este de 30...60 zile.

Metantancul de mare încărcare este tipul de instalație cel mai des utilizat. El este caracterizat prin alimentare continuă, este dotat cu instalații de încălzire și amestecare prin convecție forțată.

Bazinul de fermentare în două trepte este alcătuit dintr-un rezervor inițial de fermentare, cu încălzire și convecție forțată, în care se produce și se colectează gazul și bazinul secundar unde procesul de stabilizare se continuă în mod natural fără a fi ajutat cu alte mijloace.

În general bazinele de fermentare de mare încărcare (fig. 4.3) se cuplează câte două, având între ele camera de manevră 2 unde se concentrează pompele de circulație, schimbătoarele de căldură, colectorul-distribuitor, rețeaua de conducte și armăturile corespunzătoare. Metantancul este dotat cu schimbătorul de căldură 2 unde se arde o cantitate de gaz de fermentație. Nămolul proaspăt este introdus pe conducta 6 și amestecat cu cel din cuvă datorită sistemului 3. Pe conducta 7 se evacuează nămolul și prin 10 nămolul fermentat. Conducta 8 este destinată evacuării prin dispozitivul de preaplin. Gazele sunt captate de dispozitivul 4 și dirijate spre rezervorul de stocare pe conducta 9.

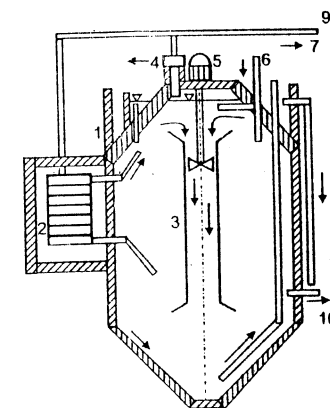


Fig. 4.3. Metantanc de mare încărcare:

- 1 – bazin din beton; 2 – schimbător de căldură; 3 – tub de dirijare a curentului; 4 – gaz de fermentație;
- 5 – motor; 6 – admisie nămol;
- 7 – evacuare nămol; 8 – preaplin;
- 9 – gaz de fermentație;
- 10 – evacuare nămol fermentat.

Captatorul de gaze este executat sub forma unui clopot vertical mobil sau fix care se amplasează în punctul cel mai înalt al bazinului de fermentare. El are rolul de a colecta gazul rezultat din proces, eliminând pericolul exploziei. În zona superioară se montează o supapă de siguranță, cu închidere hidrostatică, care limitează presiunea gazului la 180...220 mm H₂O.

Pentru cuvele cu etaj de mari dimensiuni se colectează gazul de fermentare într-un clopot imersat la circa 300 mm. Gazele, după ce sparg crusta formată la suprafața nămolului, sunt dirijate către clopot. Ele difuzează prin planșeul ușor din beton poros care împiedică pătrunderea spumei și a nămolului plutitor. Din clopot, datorită ușoarei suprasarcini dată de diferența de nivel hidrostatic, ele sunt dirijate spre utilizator prin conducta de gaze.

În cazul metantancurilor se folosesc captatoare de gaze sub formă de clopot mobil cu închidere hidrostatică și prevăzut cu supapă de siguranță. În acest mod se limitează presiunea gazului la 180 mm H₂O. Dezavantajul principal îl constituie pericolul înghețării lichidului din exteriorul clopotului în perioada temperaturilor scăzute.

La metantancurile de mare încărcare captatorul de gaze se execută sub forma unui turn solidar cu capacul metalic central amplasat cu 1,0...1,2 m peste nivelul nămolului. La cilindrul metalic vertical fix se racordează ștuțul conductei de gaz spre rezervorul independent exterior.

Pentru funcționarea corectă a metantancului trebuie avute în vedere următoarele: a) nivelul din bazin trebuie menținut constant cu ajutorul dispozitivelor de preaplin; b) este necesar să existe un sistem capabil să distrugă crusta de nămol formată la suprafața acestuia; c) supapa hidrostatică se va monta întotdeauna pe interiorul metantancului pentru a se evita înghețul; d) presiunea de lucru la metantanc se reglează prin greutatea gazometrului la 160...180 mm H₂O; o presiune mai mare împiedică dezvoltarea microbilor anaerobi din metantanc, iar mai mică nu conduce la formarea flăcării și la funcționarea arzătorului; e) trebuie să se evite introducerea nisipului în metantanc care conduce la formarea depozitelor solidificate pe radierul acestuia; este necesar ca deznisipatorul existent în schema de epurare să funcționeze foarte bine sau se va introduce pe circuitul nămolului, înainte de intrarea acestuia în bazin, un filtru cu sită destinat să rețină granulele de nisip; f) amestecătorul cu elice are rotorul imersat la o cotă de 3...3,5 m în nămol.

Izolarea termică corectă a metantancului conduce la importante economii de energie atât calorică (prin reducerea pierderilor având în vedere că suprafața exterioară a bazinului anaerob expusă este destul de mare), cât și electrică, necesară acoperirii recirculării exterioare (se poate reduce necesarul de recirculare până la 0,3 volume/zi).

Produsele care nu se pot degrada în metantanc sunt: a) produse petroliere; b) uleiuri minerale; c) produse din cauciuc; d) mase plastice; e) filtre de țigări; f) păr; g) nisip și materiale granulate. Așadar, schema tehnologică trebuie să permită reținerea acestor materiale înainte de intrarea în fermentator.

Amestecarea în metantanc. Pentru amestecarea conținutului vasului de fermentare se folosesc mai multe metode: a) *recirculare interioară cu hidroelevatoare* – acesta este amplasat în centrul cuvei, în zona superioară, astfel încât să se asigure antrenarea crustei și spumei odată cu nămolul aspirat; metoda nu este recomandată în special datorită randamentului energetic redus și duza se poate

întinde și decalibra, caz în care se modifică substanțial performanțele; b) *recirculare interioară cu dispozitiv de stropire* – instalația se compune dintr-o pompă exterioară care aspiră nămolul din partea inferioară a metantancului, îl trimite prin schimbătorul de căldură și îl dispersează sub formă de picături deasupra stratului din cuvă; dezavantajul principal îl constituie consumul suplimentar de energie în situația în care nu este nevoie de încălzire; c) *recirculare interioară cu gaz-lift* – instalația este compusă dintr-un echipament mecanic destinat comprimării gazului, conducte, armături și dispozitivele de dispersie ale acestuia sub formă de bule; pentru realizarea unei bune amestecări este necesar un debit de 1,0...1,5 Nm³/min și m² de suprafață; dezavantajul sistemului constă în consumul suplimentar de energie pentru comprimarea gazului, precum și măsurile speciale care se iau pentru evitarea exploziilor; d) *recircularea mecanică interioară* – se realizează cu amestecătoare mecanice amplasate la metantancuri care funcționează cu nivel constant; este metoda cea mai des folosită deoarece prezintă multiple avantaje constructive și funcționale.

Amestecătoarele sunt echipamente mecanice cu rotor de tip axial (fig. 4.4) cuplat direct pe arborele motorului electric. Acesta funcționează întubat într-un tub de tiraj cu diametrul de 450...600 mm. Capătul superior al tubului de tiraj are o margine ondulată și este situat la circa 450 mm sub nivelul liber al apei din metantanc. Rotorul este imersat în tubul central la o cotă de 300...600 mm sub nivelul liber. În funcționare el aspiră apa de nămol – supernatantul – antrenând pe această cale crusta și spuma formată la suprafață, le împinge în jos prin tubul vertical și asigură în întreg bazinul o mișcare de circulație. Turația acestui rotor este de 720 sau 970 rot/min realizată prin cuplarea directă la motorul electric cu puterea de 1,1...1,5 kW. Tubul vertical este centrat în metantanc prin suportul de ghidaj montat în acoperiș și susținut pe picioare rezemate pe radier. Pentru dimensionarea hidrodinamică a rotorului este necesar să se vehiculeze volumul cuvei de circa 2...4 ori pe zi, iar sarcina trebuie să asigure învingerea coloanei hidrostatice la care se adaugă un spor de 15...20% necesar acoperirii pierderilor.

Amestecătorul cu spirală cilindrică sau cilindro-conică (fig. 4.5) se dimensionează pentru un debit de 350...7200 m³/h la o turație de 1500...4200 rot/min. Rotorul șurub are două începuturi și el se poate roti în ambele sensuri – condiție esențială pentru funcționarea corectă a amestecătorului în metantanc. La sensul normal de rotație amestecul polifazic este pompat în jos, ceea ce permite absorbția crustei și a materialelor grosiere care sunt împinse spre fundul cuvei. La schimbarea sensului de rotație este aspirat nămolul de la fund și pulverizat la suprafață prin dispozitivul deflector.

Conductele de nămol se execută din fontă, mai rar din oțel, mai nou din fibră de sticlă sau epoxi care prezintă avantajul că sunt netede și nu permit formarea depunerilor

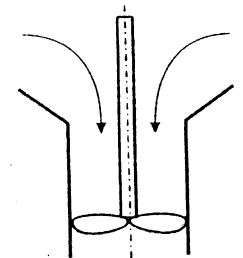


Fig. 4.4. Amestecător cu elice.

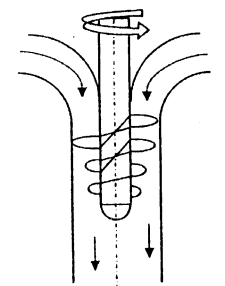


Fig. 4.5. Amestecător cu spirală.

aderente care reduc capacitatea de transport. Conductele de gaz se execută din oțel protejat anticorrosiv, deoarece gazele au o mare umiditate, conțin impurități și hidrogen sulfurat, cu diametrul minim de 2 țoli. Se recomandă spălarea periodică a conductelor.

Descompunerea anaerobă în faza termofilă. În acest proces se va încălzi nămolul la o temperatură corespunzătoare domeniului termofil (fig. 4.6).

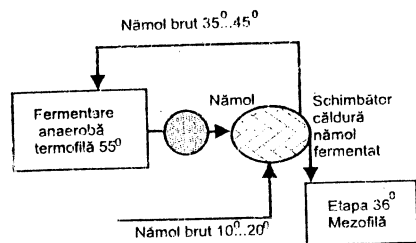


Fig. 4.6. Schema procesului de fermentare anaerobă termofilă.

prin schimbătoare de căldură cu circulație exterioară forțată a nămolului.

Încălzirea directă se face prin: a) injectare de abur sau apă caldă în zona adiacentă radiatorului cuvei; metoda are o eficiență de circa 60% pentru apa caldă, iar în cazul aburului metoda a dat rezultate, dar nu este economică deoarece este necesară dedurizarea apei și apar zgomote puternice; b) conducte cu circulație de apă caldă montate direct în interiorul metantancului pe eșafodaj sau lângă radiator și pereți; eficiența metodei este de circa 80%; c) arderea gazului de fermentare în arzătoare deschise sau camere speciale de combustie, submerse, cu dispersia gazelor calde în masa nămolului din cuvă; eficiența totală a instalației este de circa 85...90%; d) încălzirea nămolului la admisia în cuvă, în zona radiatorului, cu vapori sau cu schimbător de căldură în contracurent.

Încălzirea indirectă a nămolului, în circuit exterior dotat cu schimbător de căldură, este metoda cea mai răspândită. Schimbătorul de căldură se construiește sub forma unui recipient de nămol în interiorul căruia se amplasează, în plan vertical, o conductă spirală prin care circulă apă caldă. Temperatura acesteia este limitată la 68° pentru a se evita fenomenul de prăjire a nămolului și formarea crustelor arse lipite, care pot bloca circulația amestecului polifazic. Unele soluții moderne au spirale duble de apă și nămol, cu circulație în contracurent, care permite îmbunătățirea coeficienților de schimb termic. Capacul frontal al recipientului se poate rabate lateral, în plan orizontal, ceea ce permite vizitarea și curățarea spiralei. Schimbătorul de căldură exterior, cu circulație de apă și nămol, are un coeficient ridicat de transfer al căldurii în raport cu celelalte metode.

Rezervorul de gaz – gazometru. Bazinele de fermentare de mică încărcare au acoperișul plutitor, acesta constituind rezervorul de înmagazinare. Pentru metantancurile de mare încărcare, cu acoperiș fix, gazele de fermentare sunt înmagazinate în rezervoare independente.

Rezervorul de gaz independent, denumit și gazometru (fig. 4.7), se execută din două părți: cea inferioară, fixă, de formă circulară, construită din beton

izolat hidrofug 1 și cea superioară, tot de formă circulară, concepută din tablă sudată 2. Cele două părți asamblate formează un spațiu închis, etanșat hidraulic, util pentru stocarea gazului de fermentație. Clopotul metalic este ghidat lateral prin șine, sudate elicoidal pe exteriorul cilindrului metalic, care culisează pe role montate în interiorul cuvei din beton. Suprafața inferioară a clopotului, în poziția ridicată, trebuie să fie cu cel puțin 2 m sub nivelul minim al nămolului din metantanc. Clopotul de gaze plutitor asigură menținerea unei presiuni constante între 150...320 mm H₂O având rol de compensator de debit. Rezervorul de gaz este prevăzut cu limitatoare de cursă ale clopotului 6 și cu dispozitive de siguranță contra exploziilor.

O soluție modernă este utilizarea gazometrului cu membrană dublă gonflabilă (fig. 4.8).

Pe o fundație din beton 3 se fixează membrana exterioară 1 și interioară 2 cu ajutorul inelului de ancorare 4. Inelul de ancorare este executat din oțel galvanizat și fixat cu buloane din oțel inox. Sulfanta 5 este cea care introduce gazul sub o ușoară presiune în interiorul membranelor la o presiune de 22 mbar. Umflarea acestora este controlată cu senzorul cu ultrasunete 6 montat în partea superioară a membranelor. Acesta permite măsurarea nivelului, debitelor și a diferențelor de nivel; sistemul este excitat electric și transmite un impuls ultrasonic în direcția suprafeței care va reflecta parțial impulsul. Ecoul este sesizat de același traductor care funcționează acum în sistem de microfon direcțional. Timpul dintre transmisie și recepție t este direct proporțional cu distanța dintre senzor și suprafață $h = ct/2$, unde c este viteza sunetului. Supapa de siguranță 7 este cea care menține presiunea constantă, iar fereastra acrilică cu perete vitrat permite vizionarea interiorului gazometrului.

Dispozitivele de siguranță au rolul de a proteja recipientii de fermentare și stocare a gazului în cazul apariției suprapresiunilor sau depresiunilor. Datorită inflamabilității gazelor de fermentare, deci pericolelor care pot apărea în exploatare, dispozitivele de siguranță trebuie să funcționeze corect, fără a fi afectate de variațiile de temperatură.

La metantanc, în cupola acestuia 1, se amplasează dispozitivul 2 de siguranță, din figura 4.9. Acesta este conectat pe conducta de gaze dintre metantancul 4 și gazometrul 5 și are legătură unică a tronsonului cu aerul 3. Dispozitivul, cu închidere hidraulică, asigură funcționarea în următoarele situații: a) presiune normală pe circuitul de gaze – gazul de fermentare trece direct spre

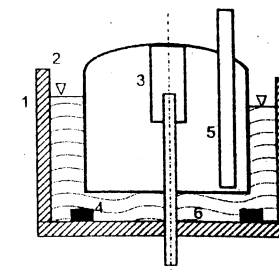


Fig. 4.7. Gazometru la metantanc:

- 1 – bazin din beton; 2 – clopot;
- 3 – țevă; 4 – suport clopot;
- 5 – țevă; 6 – apă pentru etanșare.

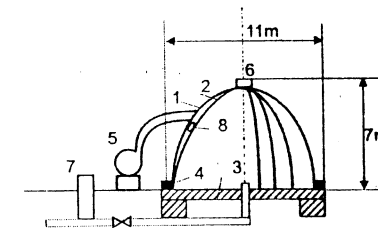


Fig. 4.8. Gazometru cu membrană:

- 1 – membrană exterioară; 2 – membrană interioară; 3 – fundație; 4 – inel fixare;
- 5 – sulfanta; 6 – senzor cu ultrasunete;
- 7 – conductă; 8 – capac de vizitare.

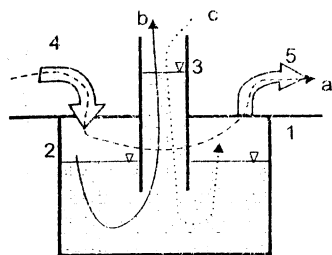


Fig. 4.9. Dispozitiv de siguranță la metantanc:

- 1 - dispozitiv; 2 - capac;
- 3 - coloană de legătură cu aerul;
- 4 - gaz de fermentare;
- 5 - legătură la gazometru.

Valorificarea gazului de fermentație. În general, gazul de fermentație se utilizează pentru acoperirea nevoilor proprii ale stației de epurare. Pentru o bună gospodărire a gazului acesta este utilizat la producerea de energie termică și/sau electrică. Căldura gazelor de ardere, precum și cea din apa de răcire, este recuperată și utilizată la încălzirea metantancului. Gazul excedentar, obținut în perioadele calde, se stochează în rezervoare metalice sferice sau în butelii speciale de presiune.

Arzătoarele pentru biogaz sunt destinate arderii gazelor cu scopul de a furniza energia termică necesară stației de epurare. Un arzător poate avea o putere de 300...1400 kW și trebuie să fie dotat cu regulator de gaz pentru presiune joasă și înaltă, detector de flămă, filtru de ulei, filtru de gaz. Pentru ardere este necesar un aport de aer de 8 kg aer/kg de gaz. Ele se montează la cazane automate care pot furniza apă caldă la presiunea de 5 bari și 110 °C. Cazanul este proiectat cu flămă reversibilă pe gaz sau ulei și are un sistem de distribuție cu reîntoarcerea apei astfel încât să se asigure o amestecare eficientă.

Motorul termic de biogaz este de tip Otto în 4 timpi, 12 cilindri în V la 90°, cu raport de compresie de 10/1 și turație de 1500...1800 rot/min. El se cuplează la un generator electric, iar apa de răcire se folosește la necesitățile stației. În el se introduce gaz de fermentație cu 70% metan, la o presiune de 20...50 mbar, cu umiditate maximă de 80%, fiind dotat cu sisteme de epurare a gazelor arse în conformitate cu normele euro.

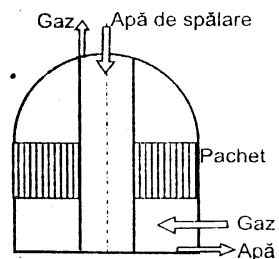


Fig. 4.10. Filtru pentru gaz.

Pentru protecția motorului termic este necesară epurarea gazelor de fermentație cu reținerea compușilor pe bază de sulf. Cercetările au demonstrat că procedeul cel mai eficient este cel bazat pe activitatea biologică a unor bacterii capabile să prelucreze sulfurile. Gazul de fermentare se introduce într-un filtru unde este spălat cu jeturi de apă, răcit și în care apar procese în peliculă biologică de desulfurare și denitrificare (fig. 4.10). Gazul parcurge coloana de jos în sus

este spălat, apoi intră în pachetul median, și este spălat din nou. La curgerea prin pachet apar procese de oxidare biologică a hidrogenului sulfurat de către *Thiobacillus oxidans* care se fixează în peliculă. Procedeul este eficient reușind să elimine hidrogenul sulfurat până la o valoare foarte mică de 300 ppm H₂S. La ieșirea din pachet se elimină compușii de azot prin neutralizare cu reactivi introduși prin jeturi de lichid.

Grupul cogenerativ este folosit pentru obținerea simultană a două forme de energie termică și electrică. La puteri de peste 1 MW se pot utiliza grupuri cu turbină cuplate la generator electric. Gazele de ardere de la turbină intră într-un cazan recuperator care furnizează apă caldă pentru necesitățile stației de epurare. Energia electrică obținută de la generatoare este folosită tot în stația de epurare de exemplu pentru alimentarea echipamentelor de oxigenare. Acest procedeu este deosebit de rentabil deoarece prețurile energiei electrice și termice sunt foarte mici.

Optimizarea procesului de producție a gazului de fermentație constă, în principal, din reducerea necesarului de căldură precum și din fermentarea completă a substanței organice uscate volatile. Micșorarea consumului de căldură se obține prin reducerea debitului de apă din nămol. Aceasta conduce la necesitatea dimensionării corecte a îngroșătoarelor de nămol și a utilizării lor la maximum de performanțe.

Reducerea necesarului de căldură se realizează printr-o bună izolare termică a rezervorului de fermentare. Din acest punct de vedere se recomandă îngroparea metantancului, în special în țările cu climă temperată, sau căptușirea lor la exterior cu o bună izolare termică. O bună izolare termică poate conduce la reducerea necesarului de energie pentru recircularea exterioară.

Fermentarea completă a substanțelor uscate volatile se realizează în următoarele condiții: a) introducerea de nămol îngroșat în metantanc; b) menținerea pH-ului în limite foarte strânse 6,8...7,2, ceea ce, uneori, necesită o condiționare a nămolului; c) o bună omogenizare; d) asigurarea timpului de fermentație în domeniul mezofil de 22 zile.

Ridicarea eficienței procesului de fermentare se poate face prin reducerea consumului de gaz pentru necesitățile termice proprii. Asigurarea necesarului de căldură se poate face, atunci când vremea va permite, pe seama energiei solare captată prin panouri solare.

Rentabilizarea instalațiilor de obținere a gazului de fermentație. Aceste instalații furnizează gaz combustibil, dar sunt mari consumatoare de energie. Prin folosirea surselor neconvenționale este posibilă rentabilizarea lor. Astfel, se pot utiliza panouri solare pentru obținerea energiei termice necesare încălzirii nămolului din metantanc. Acestea se vor amplasa la un unghi de circa 10° peste valoarea latitudinii corespunzătoare amplasării stației. Dacă suprafața lor este judicios aleasă atunci cantitatea de căldură pe care pot să o dea, cu un randament de 40%, prin absorbție de la radiația solară este de 4...6 kJ/m²h. Pentru instalațiile de fermentație a nămolului de 1500...8000 m³ sunt necesari 0,8...0,9 m² panou solar/m³ nămol.

O altă sursă de energie neconvențională este cea a vântului care poate fi captată și utilizată prin folosirea turbinelor eoliene cuplate la generatoare electrice și stocare în baterii de acumuloare.

4.3.2. Stabilizarea aerobă a nămolurilor

Procesul implică oxidarea directă a materiilor organice biodegradabile, realizată de masa de microorganisme biologic active, precum și oxidarea însăși a materialului celular format. Această a doua fază, denumită respirație endogenă, este de regulă predominantă în instalațiile de stabilizare aerobă (fig. 4.11). Producții finali ai procesului sunt: dioxid de carbon, apă, azotați, fosfați, sulfati. Avantajele procedurii de stabilizare sunt: a) investiție mai mică decât în cazul instalațiilor de fermentare; b) lipsa mirosurilor neplăcute și reducerea numărului de germeni patogeni. Comparativ cu fermentarea anaerobă procesul de stabilizare aerobă este mai puțin influențat de substanțele toxice ceea ce îl face apt de funcționare în situații în care primul nu oferă suficientă siguranță în exploatare. Totodată se menționează că viteza de stabilizare aerobă este mult mai

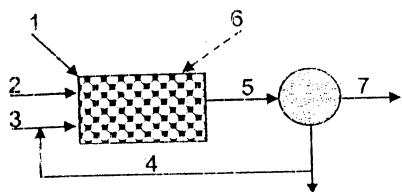


Fig. 4.11. Schema instalației de stabilizare aerobă:

- 1 – nămol primar; 2 – nămol secundar;
3 – nămol recirculat; 4 – nămol
însămânțare; 5 – decantor; 6 – aer;
7 – apă din nămol.

mare decât cea din cinetica procesului de fermentare anaerobă. Dezavantajul procedurii este consumul de energie, deci majorarea costurilor de exploatare. De regulă, se folosește stabilizarea aerobă pentru prelucrarea nămolurilor care nu se pretează la fermentare. După stabilizare, în mod obișnuit, se aplică deshidratarea pe platforme cu strat drenant sau nămolul în stare fluidă este valorificat pe terenuri agricole.

Instalația concentrează nămolul primar 1, biologic 2 și cel recirculat 3 într-un bazin de aerare în care se furnizează oxigen 6 în mod continuu. Decantorul 5 al liniei de nămol este destinat separării fazelor. În condițiile de climă ale țării noastre, instalația se dimensionează pentru o durată de retenție de 10...15 zile (pentru nămol primar mai mult) cu un sistem de aerare corespunzător necesității de agitare.

4.3.3. Stabilizarea cu var

Procedeele de stabilizare a nămolului prin tratare cu var se realizează prin introducerea și amestecarea unei cantități de reactiv astfel încât să crească pH-ul mediului polifazic la 12 după două ore de contact.

4.4. Deshidratarea nămolurilor

Prin deshidratare se urmărește reducerea umidității nămolului de la 92...95%, cât rezultă din îngroșătoare, până la 55...60%, valoare la care nămolul este lăptos. Deshidratarea nămolurilor se poate realiza prin: a) procedee naturale; b) procedee mecanice; c) deshidratare avansată prin procedee termice sau oxidare umedă; d) pasteurizarea nămolului; e) depozitarea.

4.4.1. Deshidratarea naturală

Deshidratarea naturală se realizează pe platforme aerisite în scopul evaporării apei concomitent cu drenarea acesteia prin infiltrare dirijată. Platformele sunt construcții din beton dotate cu straturi drenante din zgură, pietriș, piatră spartă, nisip, tuburi de drenaj cu diametrul de 75...150 mm, pantă de curgere de 2...5%, amplasate la 5...10 m distanță între ele. Grosimea stratului de nămol pentru condițiile temperate de climă este de 0,2...0,3 m, la o încărcare volumică de suprafață de 1,5...1,8 m³ nămol umed/m²·an. Apa, care rezultă din nămol, este dirijată către decantorul primar la stația de epurare. Umplerea platformelor de uscare se face de circa 9 ori pe an. Transportul nămolului se face hidraulic prin conducte cu diametrul minim de 150 mm, la o viteză minimă de 1,2 m/s. Pentru distribuția nămolului pe platforme, la capătul rețelei de conducte se montează robinete speciale care asigură două condiții: manevră rapidă și autocurățire. Astfel, se utilizează fie robinete de tip terminal clapetă cu contragreutate la care manevra se efectuează similar cu acele de cale ferată, fie robinete acționați cu pârghii.

Tempul de deshidratare este dependent de condițiile climatice: insolație, vânt, umiditatea aerului, precipitații etc. Înălțimea stratului de nămol scade în timp după legea compactării nămolului.

Volumul platformei de uscare V_p depinde de volumul nămolului V_n deshidratat și de cel al apei V_a cuprinse în amestecul polifazic. Volumul nămolului deshidratat pe patul de uscare este $V_n = \frac{G}{\gamma_n} \left(1 + \frac{U_f}{100 - U_f} \right)$, unde G este

greutatea nămolului exprimată în total substanță solidă uscată, γ_n este greutatea specifică a amestecului polifazic, U_f – umiditatea finală a nămolului.

Umiditatea nămolului curățat și evacuat cu mijloace manuale sau mecanice variază între 55...75%. Curățarea platformelor se efectuează manual, în cazul platformelor de mici dimensiuni. Pentru platformele de dimensiuni medii se poate face curățarea cu tractor echipat cu lamă de buldozer și greifer ce încarcă direct în remorci. La volume mari de nămol se preferă instalații mecanizate, care încăleacă platformele și descarcă nămolul colectat, cu sistem de raclete, în beca camioanelor de transport.

lazurile de nămol sunt depresiuni naturale, foste cariere de nisip sau de cărămidă în care se trimite nămolul în vederea deshidratării. După deshidratare

aceste parcele fie sunt redade agriculturii, fie sunt golite odată la câțiva ani. În acestea apar și procese de fermentare care conduc la stabilizarea depunerilor.

4.4.2. Deshidratarea mecanică a nămolurilor

4.4.2.1. Echipamente pentru separarea centrifugală

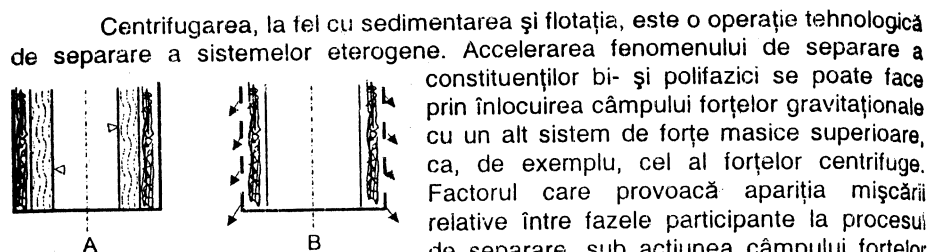


Fig. 4.12. Principiul separării centrifugale.

particulelor grele prin stratul de lichid sau filtrarea lichidului prin stratul poros de sedimente (fig. 4.12).

Ca aplicații tehnice pentru procesul de separare centrifugală în tehnica epurării apelor uzate se folosesc fie echipamente dinamice – centrifuge de nămol, fie statice – hidrocicloane. Figura 4.12 prezintă principiul separării centrifugale: A – centrifugă decantoare, B – centrifugă filtrantă cu tamburul perforat pentru evacuarea apei în exteriorul mașinii.

Centrifuge de nămol. Centrifugele de nămol sunt echipamente dinamice destinate separării amestecurilor bi- și polifazice. Deshidratarea centrifugală este dependentă de o serie de parametri funcționali și geometrici: a) debitul de alimentare – crește clarificarea cu scăderea debitului de alimentare; b) concentrația amestecului în suspensie – se recomandă să fie cât mai mare posibil; c) modul de variație cu temperatura a caracteristicilor fizico-chimice ale suspensiei în special densitatea, viscozitatea, tensiunea superficială etc.; d) caracteristicile nămolului și în special condiționarea lui – clarificarea se îmbunătățește dacă crește dozajul de floclanți chimici; e) parametri constructivi: lungime, diametru, zona conică, volumul interior, nivelul suspensiei etc.; f) parametri funcționali: spectrul de curgere, viteza de rotație, parametri transportorului axial a nămolului etc.; g) parametri dependenți de nămol – centrifugabilitatea dependentă de doza de polimeri, de natura particulelor, gradul lor de aglomerare care va conduce la ușurința evacuării sedimentului. Pentru funcționarea corectă a echipamentului de mare turație trebuie să se ia anumite precauții: a) deznisiparea nămolului – eliminarea nisipului din nămol este absolut necesară pentru protecția abrazivă a echipamentului; b) controlul granulometriei nămolului la intrarea în mașină – se impune eliminarea particulelor de mari dimensiuni care pot bloca melcul elicoidal în tamburul centrifugei.

Instalația de separare cu centrifugă de nămol. În figura 4.13. se prezintă schema generală a unei instalații de deshidratare a nămolurilor dotată cu centrifugă cu funcționare continuă. Nămolul proaspăt 2 vine în concentratorul de nămol 1 – bazin de tip cilindro-conic similar decantorului radial. Pompa de nămol 3 trimite amestecul polifazic în centrifuga 4. Pe conducta de admisie a nămolului la centrifugă se introduce floclantul 5 preparat în bazinul cu amestecător 11 și dozat cu sistemul 9. Nămolul deshidratat este evacuat prin 7, iar apa din nămol prin 6. Apa pentru diluarea soluției de polielectrolit 10 este apă curată sau rezultată din separarea apei din nămol. Consumul de polimer necesar floclării poate atinge 1,7...5,0 kg/h; se folosesc polielectroliti organici, injectați în conductele de admisie a nămolului, la următoarele doze: pentru îngroșare 1...1,5 kg/tonă s.s.u., la deshidratare 3,5...4,5 kg/tonă s.s.u.

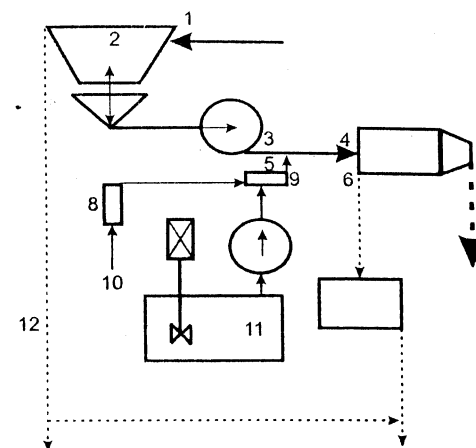


Fig. 4.13. Schema generală a unei instalații de deshidratare a nămolului prin centrifugare:

- 1 – nămol; 2 – concentrator; 3 – pompă;
- 4 – centrifugă; 5 – injecție reactiv; 6 – evacuare apă din nămol; 7 – nămol deshidratat;
- 8 – debitmetru; 9 – dispozitiv de diluare;
- 10 – apă diluție; 11 – recipient preparare reactiv; 12 – apă din nămol.

Centrifugele decantoare cu funcționarea continuă sunt concepute astfel încât să se realizeze separarea fazelor sub acțiunea forțelor masice centrifugale. Tamburul lor, de formă cilindro-conică cu raportul între lungime și diametru $L/D = 2...3$, este neperforat (fig. 4.14). Suspensia intră în mașină pe conducta centrală 1 care este și axa de susținere a echipamentului rotitor. Antrenarea se face prin intermediul unei transmisii cu curele multiplicatoare în zona 2. Suspensia intră în tamburul 3 prin orificiile 5 ale arborelui melcat 4. În zona cilindrică a tamburului – zona de sedimentare – se produce separarea fazelor. Nămolul concentrat este în contact cu peretele interior al tamburului, iar apa

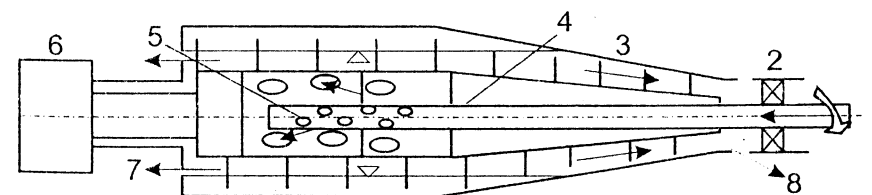


Fig. 4.14. Centrifugă decantoare pentru nămol:

- 1 – arbore; 2 – lagăr; 3 – tambur; 4 – țevă pentru nămol; 5 – orificii pentru nămol;
- 6 – reductor planetar; 7 – evacuare apă; 8 – evacuare nămol deshidratat.

formează, în zona centrală, un inel concentric cu peretele tamburului. Nivelul apei se reglează cu ajutorul unei diafragme. Orificiile diafragmei, precum și unghiul porțiunii conice au o mare importanță în procesul de deshidratare a nămolului. Astfel, unghiurile mici ale porțiunii conice conduc la obținerea unor turte bine deshidratate numai pentru granulele de mari dimensiuni, în timp ce pentru particulele fine se produce compactarea și deci se împiedică drenajul apei prin interspații. Orificiul pentru evacuarea apei decantate, situat la partea cilindrică a tamburului, are un diametru mai mare decât cel destinat evacuării nămolului și permite reglarea debitului prin montarea unei diafragme. Amplasarea acesteia va

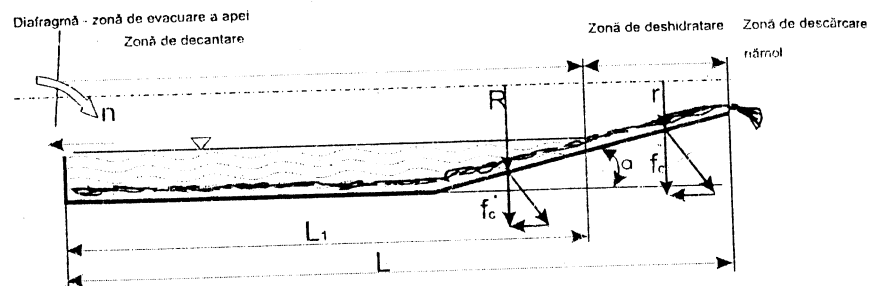


Fig. 4.15. Forțele centrifuge și zonele de lucru ale centrifugei.

controla nivelul de lichid din interiorul mașinii și lungimea porțiunii de deshidratare din zona conică. Nămolul depus pe peretele interior al centrifugei este împins de către arborele paletat 4 spre gura de descărcare 8. În zona conică nămolul este împins pe planul înclinat ceea ce permite scurgerea apei spre porțiunea cilindrică și deshidratarea fazei mai grele. Transportorul elicoidal este antrenat în mișcarea de rotație, prin intermediul reductorului planetar 6, cu o turație mai mică decât cea a tamburului cu 6...60 rot/min. Această diferență este suficientă pentru a se realiza mișcarea relativă și a împinge nămolul către zona de descărcare. Diferența de turație rezultă de la un reductor special cu două trepte, de tip planetar sau cicloidal, antrenat prin mișcarea tamburului. Unele soluții preferă antrenarea tamburului de la un motor electric, cu majorarea turației prin intermediul unei transmisii cu curele, iar melcul elicoidal este pus în mișcare de rotație de un motor hidraulic care utilizează energia de la un bloc de pompare; în acest mod se pot realiza ușor vitezele diferențiale necesare separării fazelor – sistem hibrid de antrenare.

La echipamentul cu funcționare în contracurent alimentarea tamburului se face către capătul aval al secțiunii cilindrice, în porțiunea mijlocie a mașinii. Particulele mari și grele se depun imediat în porțiunea cilindrică în care transportorul elicoidal împinge materialul în sens opus deplasării lichidului către zona de evacuare. Această soluție constructivă prezintă avantajul că permite îndepărtarea rapidă a particulelor grele și abrazive din zona cilindrică caracterizată prin forțe centrifuge maxime.

În cazul centrifugelor cu funcționarea în echicurent alimentarea cu suspensie se face pe la capătul amonte al secțiunii cilindrice. Avantajul acestei soluții constructive este acela că în zona cilindrică turbulența este redusă, deoarece

transportorul elicoidal se rotește astfel încât împinge materialul în direcția de curgere a lichidului. Procedul este perfect adaptabil pentru separarea particulelor fine sau a celor cu o diferență mică de densitate față de cea a lichidului. Totodată, în comparație cu echipamentul anterior, acesta asigură, la același diametru și turație, performanțe superioare de separare.

Date constructive: a) raportul optim lungime/diametru interior $L/D_2 = 2,5...3,5$; b) pasul melcului elicoidal/diametru $p/D_2 = 0,15...0,22$; c) unghiul de inclinare a porțiunii conice este în general $\alpha = 6...8^\circ$, iar pentru separarea nămolului activ $\alpha = 4^\circ$; d) diametrul exterior al centrifugei este de 180...850 mm, puterea între 4 și 80 kW, iar debitele de nămol 0,5...60 m³/oră, fiind eficiente pentru particule cu diametre mai mari de 80 microni. Toate aceste echipamente se vor dota cu detectoare de vibrații.

Centrifuga orizontală este exploatată sub turația critică. Tamburul este montat pe lagăre într-un cadru rigid din care cel puțin unul este de alunecare hidrodinamic pentru o bună centrare. Reductorul pentru asigurarea vitezei diferențiale este montat în consolă, la exterior, fără a se sprijini pe lagăre. Centrifuga este prevăzută cu un dispozitiv de siguranță, obligatoriu în sistemul cu transportor elicoidal. Reductorul diferențial, necesar pentru asigurarea mișcării transportorului elicoidal, are un element de forfecare, bolț de siguranță, care la blocarea melcului în tambur se rupe eliberând pârghia de comandă a microîntreruptorului; în acest mod se decuplează motorul electric de la rețea asigurând protecția mașinii și a personalului operator. Soluțiile moderne folosesc antrenarea independentă a tamburului și melcului.

Centrifuga cu ax vertical are tamburul și cutia reductorului suspendate de un inel care se rotește, legat de șasiu și cadru prin izolatori de vibrație. Un joc al bușei izolante limitează devierea tamburului în perioadele tranzitorii de porniri-opriri, dar nu impune restricții rotative lagărului în condiții normale de exploatare. Pentru centrifuge decantatoare ce funcționează cu produse de diferite tipuri se recomandă utilizarea motoarelor cu turație variabilă în scopul alegerii vitezei periferice optime din punctul de vedere al obținerii gradului maxim de separare.

Centrifuga clarificatoare cu funcționare discontinuă este destinată separării particulelor solide grosiere ușor sedimentabile. Nămolul este introdus continuu până când pe tambur s-a acumulat o cantitate de solide care împiedică clarificarea ulterioară. Lichidul clarificat curge printr-o țevă, situată spre centru, țevă culegătoare de spumă. Când încărcarea în solide a tamburului depășește sarcina pentru care a fost proiectat tamburul țeava culegătoare se deplasează radial către manta și îndepărtează prin praclare stratul de nămol. În scopul obținerii unei eficiențe ridicate reglajul poate să fie discontinuu cu prelungirea timpului de rotație pentru fiecare șarjă. La unele echipamente este necesar să se prevadă șicane interioare pentru prevenirea formării talazurilor – undelor hidrodinamice – care pot duce la scoaterea mașinii din echilibru.

Pentru dotarea stațiilor de epurare cu centrifuge destinate deshidratării nămolurilor trebuie să se țină seama de: a) calitatea apei – centrului; b) umiditatea turtei de nămol deshidratat; c) încărcarea maximă; d) durata de funcționare zilnică; e) durata de întrerupere a funcționării. Calitatea centrului și umiditatea turtei sunt impuse de schema generală de epurare și de procedul de prelucrare ulterioară a nămolului deshidratat. Încărcarea maximă a centrifugei depinde de

capacitatea de stocare a celorlalte instalații din schema tehnologică – bazine de fermentare, de concentrare, halde de stocare etc. În general, centrifuga suportă fluctuații de încărcare fără modificări sensibile la eficiența de îndepărtare.

Echipe statice de separare centrifugală – hidrociclonul. Hidrociclonul s-a impus în industrie ca echipament static de separare a suspensiilor solide dintr-un lichid. Tipul cel mai frecvent folosit de hidrociclon este cel de formă cilindro-conică, construit de Driessen în urmă cu 60 ani. Dispozitivul static este folosit drept separator, îngroșător sau la concentrarea fluidelor polifazate – nămolurilor (fig. 4.16).

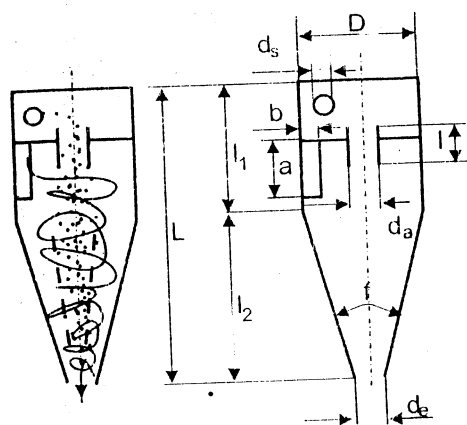


Fig. 4.16. Hidrociclon – schema funcțională și notarea elementelor geometrice constructive.

Amestecul polifazic este pompat în dispozitiv unde intră tangențial, în zona cilindrică, printr-o secțiune ștrangulată care măjorează mult viteza. Alimentarea tangențială și forma cilindrică a mantalei exterioare forțează amestecul să execute o mișcare de circulație – turbion centrat pe axa dispozitivului. Apare astfel un câmp al forțelor masice centrifugale care aruncă particulele grele la periferie. Suspensia se deplasează pe traiectorii elicoidale către vârful ciclonului împingând nămolul concentrat către zona de evacuare inferioară. Concentrația nămolului la evacuare se poate controla dacă se montează în zona de evacuare a conului o supapă ce permite modificarea și reglarea debitului. Lichidul clarificat iese prin suprascurgere – zona superioară – efectuând tot o mișcare rotațională de sens invers, lăsând centrul liber absorbției de aer. Zona mediană din porțiunea conică (liniile întrerupte din figura 4.16) acționează ca un filtru care nu permite particulelor separate să se întoarcă în lichidul clarificat.

În condițiile de lucru din hidrociclon, câmpul forțelor masice centrifugale, în care se produce separarea particulelor, este de 5...2500 ori mai mare decât cel al forțelor gravitaționale. Hidrociclonul poate separa particule cu dimensiuni între 200 și 2 microni, la suprapresiuni de intrare a amestecului polifazic de 0,35...8 bari.

Avantajele principale ale hidrociclonului sunt: a) dimensiuni mici în raport cu capacitatea de producție și de prelucrare; b) dispozitiv static, simplu, ușor de construit și exploatat; c) cost de investiție redus. Dezavantajele sunt: a) costuri ridicate de exploatare datorită, în special, consumului mare de energie de pompare; b) eroziunea pereților îndeosebi dacă deznisipatorul nu funcționează corect. Eficiența de reținere este mult mărită dacă se reduce diametrul dispozitivului și se asociază mai multe hidrocicloane în baterie pe care suspensia le parcurge în paralel sau în serie.

Hidrocicloanele pot fi utilizate la separarea particulelor solide granulate ce apar la epurarea apelor uzate din industria mineritului, cărbunelui, materialelor de

construcție etc. Ele sunt mai adecvate la separarea suspensiilor din apele uzate urbane, deoarece în hidrociclon apa nu poate fi limpezită atât de perfect ca în bazinele de sedimentare. Totodată în hidrociclon nu se pot folosi adăosuri de reactivi chimici de coagulare-floculare, deoarece flocoanele formate se dezintegrează sub acțiunea forțelor centrifuge.

Tabelul 4.2

Performanțele hidrocicloanelor

D mm	10	25	50	75	100	200	400	600
d_m microni	8-25	2-10	18-50	22-60	26-80	60-150	80-200	100-250
Q m ³ /h	0,15-0,30	0,45-0,9	1,8-3,6	3,6-7,5	4,5-11	16-45	64-150	190-320

Pentru ca dispozitivul să funcționeze corect trebuie să se respecte câteva condiții esențiale: a) racordul de alimentare trebuie să fie montat perfect tangențial și fără praguri pentru a se evita apariția curgerilor parazitare care ar perturba formarea vârtejului; b) trebuie evitate asperitățile și neregularitățile suprafeței interioare datorate execuției defectuoase, deoarece acestea influențează capacitatea de separare a hidrociclonului; c) racordul de evacuare inferior și cel de suprascurgere trebuie să fie montate perfect axial față de corpul cilindric și fără praguri; d) dispozitivul trebuie să fie conceput din repere demontabile în vederea înlocuirii rapide a pieselor uzate prin abraziune.

4.4.2.2. Separarea prin filtrare

Filtrarea este procesul de reținere al particulelor solide la trecerea unei suspensii printr-un mediu poros de o granulozitate dată. Stratul de precipitat, format pe suprafața poroasă, acționează ca un mediu filtrant suplimentar cu caracteristici variabile în timp. De regulă, procesul de filtrare urmează după decantare și constituie ultima treaptă de tratare a apei în vederea limpezirii complete. În epurarea apelor filtrarea este folosită pentru deshidratarea nămolurilor îngroșate în concentratoare.

Echipe de filtrare

Filtrarea este o operație mecanică, sau mai corect hidromecanică, de deshidratare care necesită mai puțină energie în raport cu evaporarea sau uscarea atunci când se impune și furnizarea energiei latente. Principali factori care conditionează alegerea echipamentului și a condițiilor de operare sunt: 1. proprietățile fizice ale fluidului în principal viscozitatea, densitatea și corozivitatea; 2. proprietățile fizice ale granulelor solide – mărimea, forma, granulometria și caracteristicile de aglomerare; 3. concentrația amestecului bifazic și debitul de material solid transportat; 4. produsul valoros – fluidul, solidul sau amândouă; 5. necesitatea spălării turtei filtrante; 6. contaminarea cauzată de contactul suspensiei sau filtratului cu diferiți componente; 7. necesitatea încălzirii suspensiei la alimentare; 8. Necesitatea oricărei forme de pretratare.

În funcție de modul de lucru, echipamentele de filtrare pot fi cu funcționare continuă, de exemplu vacuum filtru și filtru cu bandă, și cele cu funcționare discontinuă sau în șarje la care operațiunile de formare a turtei, deshidratare, eventuală spălare, descărcare și de pregătire a materialului filtrant pentru un nou ciclu se succed – presfiltru.

Un alt criteriu de clasificare a echipamentelor de filtrare este după direcția de deplasare a filtratului: a) pe suprafețe plane la care filtratul curge în direcția forței gravitaționale – este cazul filtrelor plane, filtrelor cu nisip – figura 4.17, a; b) pe suprafețe verticale – cazul filtrelor cu discuri la care filtrarea se realizează pe fețele laterale ale unor plăci verticale circulare (fig. 4.17, b); c) pe suprafețe concave curbate cu trecerea filtratului în direcția forței gravitaționale – cazul filtrelor concave curbate cu trecerea filtratului în direcția forței gravitaționale – cazul filtrelor interioare (fig. 4.17, c); d) pe suprafețe curbate convexe la care filtrarea se realizează în direcție contrară forțelor gravitaționale – cazul filtrelor cu vacuum cu tambur (fig 4.17, d).

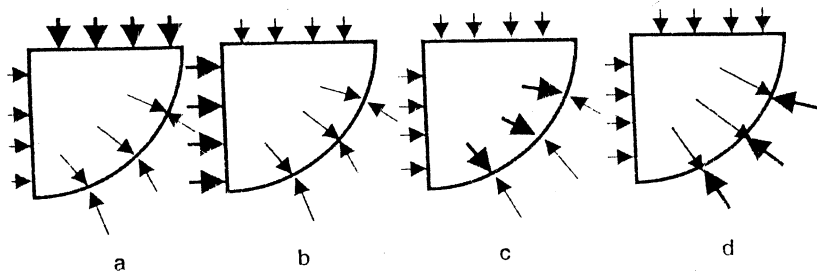


Fig. 4.17. Direcția de deplasare a filtratului pe suprafața de filtrare.

Condițiile care se cer unei bune filtrări sunt: 1. puritatea filtratului – în sensul absenței fazei solide din filtrat; 2. puritatea precipitatului – referitor la absența substanțelor solubile în precipitat; 3. umiditatea redusă a precipitatului – deshidratarea avansată a turtei este o cerință a proceselor din gospodăria de nămol; 4. productivitatea ridicată a echipamentului – această condiție impune o viteză cât mai mare de filtrare; 5. consum redus de apă de spălare pentru a nu se dilua prea mult substanțele solubile; 6. regenerare rapidă și ușoară a suprafeței filtrante – element care conduce la majorarea productivității; 7. consum redus de energie pe unitatea de greutate sau volum a turtei; 8. manoperă și calificare redusă a personalului de deservire a echipamentului; 9. uzură minimă a suprafeței filtrante.

Factorii care influențează filtrarea sunt:

1. **Factori legați de amestecul bifazic:** 1.1. natura suspensiei; 1.2. granulometria particulelor și structura suspensiei; 1.3. concentrația amestecului polifazic; 1.4. debitul de suspensie; 1.5. modul de obținere, sursa și vârsta suspensiei;

2. **Factori referitori la materialul filtrant:** 2.1. natura mediului filtrant; 2.2. porozitatea și permeabilitatea mediului; 2.3. grosimea stratului filtrant; 2.4. mărimea suprafeței active; 2.5. rezistența hidraulică a stratului;

3. **Factori dependenți de precipitat:** 3.1. modul de formare a turtei; 3.2. rezistența hidraulică a turtei formate pe mediul filtrant; 3.3. compresibilitatea precipitatului; 3.4. gradul de tasare al precipitatului; 3.5. gradul final de deshidratare a turtei;

4. **Factori dependenți de perioada de spălare:** 4.1. debitul de apă de spălare; 4.2. durata necesară procesului de spălare; 4.3. calitatea apei de spălare; 4.4. sarcina de concentrație la evacuarea apei de spălare;

5. **Factori legați de regenerarea materialului filtrant:** 5.1. modul de regenerare; 5.2. debit de apă și/sau aer pentru regenerare; 5.3. durata regenerării; 5.4. modul de îndepărtare a precipitatului;

6. **Factori referitori la condițiile de operare:** 6.1. presiunea de lucru; 6.2. temperatura fluidului polifazic; 6.3. debit și viteză de filtrare; 6.4. durata procesului de filtrare; 6.5. modul de funcționare – continuu sau discontinuu.

În figura 4.18 se prezintă etapele funcționării unui filtru. În etapa incipientă A, în care materialul filtrant este curat, nu se pot reține decât particulele mari. Pe durata B, a funcționării de regim, s-a format stratul de precipitat care acționează ca un strat filtrant suplimentar și deci se asigură o limpezire foarte bună a mediului apos. Ultima etapă C reprezintă cea de colmatare; stratul de precipitat opune o rezistență mai mare la curgere față de sarcina hidrostatică. După această etapă urmează cea de regenerare a mediului filtrant, când se îndepărtează precipitatul și se curăță nămolul.

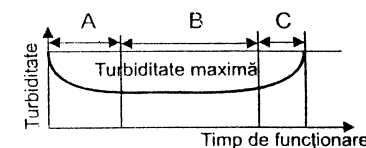


Fig. 4.18. Etapele funcționării filtrului.

Echipamente de filtrare sub vid – vacuumfiltru. Filtrul vacuum este utilizat la deshidratarea nămolurilor minerale sau organice, în general stabilizate. Instalația (fig. 4.19) este alcătuită din: a) filtrul cu vid propriu-zis 1 cu dispozitiv de preaplin 3, placă – cuțit raclor 2 pentru descărcare turtă, alimentare cu nămol 6 și cu amestecător pendular; b) stație de vid care cuprinde pompa de vid 8, separa-

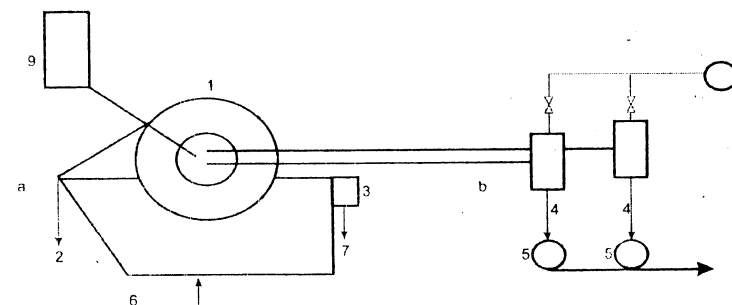


Fig. 4.19. Instalație de filtrare cu vacuum:

1 – tambur vacuum filtru; 2 – evacuare nămol deshidratat; 3 – preaplin; 4 – separatoare; 5 – pompe de filtrat; 6 – alimentare nămol; 7 – cuvă; 8 – pompă de vid; 9 – dispozitiv de spălare.

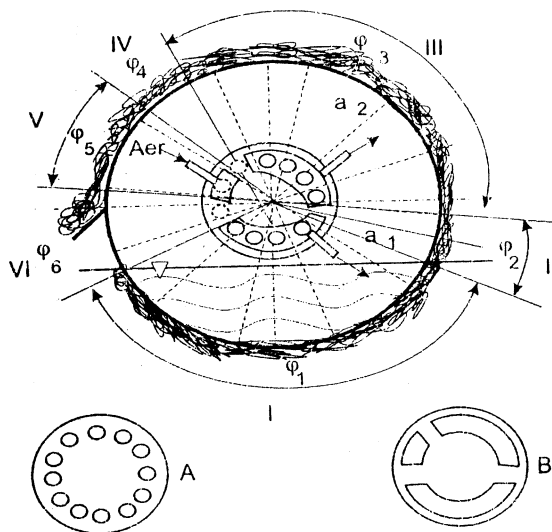


Fig. 4.20. Schema funcțională a filtrului cu vid.

buitorului, format din discul A rotitor – solidar cu tamburul și placa B fixă, celulele sunt puse pe rând în legătură cu instalația de vid sau de aer comprimat. În acest mod se asigură pe același echipament toate fazele necesare operației de filtrare într-un mod continuu. Pe zona I, cu arcul φ_1 , (fig. 4.20) celula este imersată în suspensie, materialul filtrant este curățat și, fiind racordată la vid, se aspiră apa pe conducta a (fig. 4.19), formându-se stratul de precipitat pe pânză. Grosimea acestei turte crește continuu până la ieșirea celulei din mediul apos. La ieșirea, prin rotire a tamburului din suspensie, turta de nămol formată se usucă sub acțiunea aerului aspirat, care împinge restul de filtrat prin porii precipitatului. Pe arcul φ_3 celula este din nou racordată la instalația de vid, pe conducta b – figura 4.19, și se realizează operația de deshidratare a turtei de nămol. Ulterior pe zona V, (fig. 4.20), se insuflă aer comprimat în celulă fapt care face ca să se ușureze desprinderea turtei și curățarea prin raclare a pânzei filtrante în scopul reînceptării

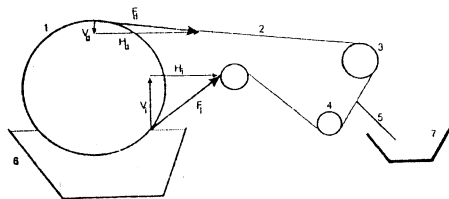


Fig. 4.21. Filtru vacuum cu pânză filtrantă pe role:

1 – tambur; 2 – bandă filtrantă; 3, 4 – rolă întoarcere; 5 – cuțit raclor; 6 – cuvă nămol; 7 – descărcare nămol deshidratat.

toare de apă 4 din aerul aspirat și pompe pentru evacuarea filtratului 5; c) compresor pentru aer comprimat; d) stație chimică pentru tratarea cu floclanți. Vacuum filtru este construit sub forma unui tambur rotitor, imersat parțial în suspensie, (fig. 4.20) sectorizat la interior (12...24 sectoare) cu pereți radiali. Tamburul este perforat la exterior, pe suprafața cilindrică, sau acoperit cu o sită metalică peste care se întinde pânza filtrantă confecționată din stofă sau nylon. Sectoarele interioare împreună cu segmentul de suprafață cilindrică aferent formează o celulă de filtrare care funcționează independent. Prin intermediul distri-

buitorului, format din discul A rotitor – solidar cu tamburul și placa B fixă, celulele sunt puse pe rând în legătură cu instalația de vid sau de aer comprimat. În acest mod se asigură pe același echipament toate fazele necesare operației de filtrare într-un mod continuu. Pe zona I, cu arcul φ_1 , (fig. 4.20) celula este imersată în suspensie, materialul filtrant este curățat și, fiind racordată la vid, se aspiră apa pe conducta a (fig. 4.19), formându-se stratul de precipitat pe pânză. Grosimea acestei turte crește continuu până la ieșirea celulei din mediul apos. La ieșirea, prin rotire a tamburului din suspensie, turta de nămol formată se usucă sub acțiunea aerului aspirat, care împinge restul de filtrat prin porii precipitatului. Pe arcul φ_3 celula este din nou racordată la instalația de vid, pe conducta b – figura 4.19, și se realizează operația de deshidratare a turtei de nămol. Ulterior pe zona V, (fig. 4.20), se insuflă aer comprimat în celulă fapt care face ca să se ușureze desprinderea turtei și curățarea prin raclare a pânzei filtrante în scopul reînceptării operației de filtrare. Zonele cu soț II, IV, VI sunt de izolare (etanșare) între sectoarele active de formare a turtei I, deshidratare III și respectiv curățare V.

Materialul filtrant, care se deplasează cu o viteză liniară de 0,5...4,0 m/min, se așează pe exteriorul tamburului formând o suprafață circulară sau o suprafață impusă de rolele de întindere, descărcare și întoarcere, (fig. 4.21). Filtru 1, amplasat în cuva de suspensie 6, are pânza filtrantă 2 susținută pe rola 3 de descărcare și rolele

4 de întoarcere și respectiv întindere. Placa raclor 5 descarcă turta în banda transportoare 7.

Echipamente de filtrare sub presiune – presfiltru. Primul procedeu mecanic folosit pentru deshidratarea nămolurilor a fost cel de filtrare sub presiune cu dezmembrarea manuală a ansamblului de celule. După o perioadă de regres, datorită dezvoltării vacuumfiltrului cu tambur sau cu discuri care consumă mai puțin reactiv de coagulare, 2,5...7,0% în comparație cu 6...10 %, și a numeroaselor manevre care se fac, filtrele presă au cunoscut o nouă dezvoltare, deoarece ele conduc la turte de nămol cu umiditate redusă, în medie de 50...65%. Noua generație de presfiltre este complet automatizată în funcționare, este dotată cu cilindri hidraulici pentru strângere și desfacere, iar curățarea se realizează mecanic; toate acestea conduc la un echipament cu o mare productivitate, total competitiv cu vacuum filtru care are o funcționare continuă. Totodată, filtrul presă are costuri reduse de întreținere, realizează suprafețe foarte mari de filtrare care pot lucra la presiuni ridicate și pot fi utilizate la diverse suspensii în condiții variate de operare.

Filtrul presă este un echipament mecanic din linia tehnologică destinată deshidratării nămolurilor formată din îngroșător (concentrator), bazin de reacție cu floclanți, pompă volumică pentru alimentare cu nămol, instalație hidropneumatică de acționare a cilindrilor de strângere.

Filtrul presă constă dintr-un număr n de celule de filtrare 5, realizate prin $(n - 1)$ rame (1) și două plăci laterale denumite capul fix și mobil. Admisia suspensiei se realizează pe conducta (2) și ulterior pe canalele (3) în interiorul celulei. Fiecare pereche de plăci vecine împreună cu rama dintre ele formează, la strângerea preseii, un spațiu gol de filtrare (5) care lucrează independent (fig. 4.22). Suspensia care se filtrează se introduce la o presiune de circa 15 bari. Apa trece prin materialul filtrant (4) și se scurge prin orificiile plăcii (6) în canalul colector, iar precipitatul rămâne în interiorul spațiului dintre rame. Turta formată se evacuează prin deplasarea capului mobil pe ghidaje

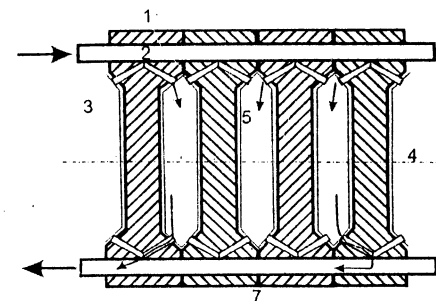


Fig. 4.22. Schema filtrului presă:

1 – rame; 2 – conducte; 3 – canale; 4 – membrane; 5 – spațiu de filtrare; 6 – orificiile plăcii; 7 – evacuare apă.

ce desface presa și succesiv fiecare ramă trece prin dreptul unei came care prin scuturare descarcă nămolul deshidratat. Plăcile sunt prevăzute cu canale pentru admisia suspensiei și colectarea apei filtrate din spatele membranei. Prin canalele de scurgere sau alte canale speciale se asigură introducerea apei de spălare și a aerului comprimat, în fiecare compartiment, la un debit de 2,5 Nm³/h. Plăcile și ramele trebuie suficient de groase (10...75 mm) pentru a rezista la presiunea interioară de peste 10 bari, ele executându-se din fontă căptușită cu cauciuc dur. Când spațiul dintre rame se colmatează, ceea ce se observă prin încetarea scurgerii filtratului la robinetele de golire, se începe operația de spălare – dacă precipitatul se folosește în cadrul acțiunii de recuperare a unor materii utile, este

numai operația de uscare prin trecerea unui curent de abur în sens invers și apoi faza de desfacere și curățare.

Echipamentul este format din cadrul de rezistență, role de susținere, platouri, cap fix și mobil. Un filtru presă conține circa 80...100 camere, fiecare cameră are două suprafețe filtrante cu dimensiuni de la $0,1 \times 0,1 \text{ m}^2$ până la $1,5 \times 1,5 \text{ m}^2$, strânse manual sau hidraulic, cu un volum util de 10 m^3 și o suprafață totală de 400 m^2 ; materialul filtrant este executat din iută, cupru - țesături din fire metalice, PVC, membrană din stofă etc.; toate aceste materiale trebuie să reziste la circa 2000...4000 cicluri de presare. Materialul filtrant trebuie să asigure reținerea particulelor cu dimensiuni între 5 și 500 microni.

Turtele de nămol obținute în presfiltru au o umiditate de 50...65%. În funcție de grosimea turtei de nămol de 20...50 mm, de natura nămolului și de presiunea de lucru, durata unui ciclu variază în gama 1...2 ore. Capacitatea de filtrare variază în gama 5...15 kg material solid/ m^2 și oră, iar consumul de energie specific de 3 kWh/m^3 nămol introdus la filtrare.

Filtre presă cu bandă. Filtrul presă cu bandă este un echipament destinat deshidratării nămolurilor caracterizat printr-o funcționare continuă. Funcționarea filtrului se bazează pe efectul de stoarcere și eliminare a apei din nămol sub acțiunea forțelor de presiune exercitate de două benzi, așezate față în față, executate din materiale filtrante (fig. 4.23). Nămolul, tratat în vederea deshidratării cu reactivi de coagulare, este repartizat uniform pe banda 1 între două ghidaje laterale. În prima zonă de lucru 2 apare o deshidratare incipientă sub acțiunea forțelor gravitaționale și capilare ale benzii; procesul poate fi accelerat datorită depresiei generate de un ventilator. Nămolul, sub forma unui covor stabil, este strâns între cele două benzi presate de role speciale acestui scop 6 sau datorită schimbării direcției de mers pe cilindri cu diametru mic 7. Nămolul este îndepărtat de pe bandă cu jeturi de apă curată sub presiune, dirijate în sens contrar curgerii în faza de stoarcere, prin dispozitivele 10. Grosimea turtei de nămol variază între 10 și 40 mm, iar viteza de deplasare a benzii se poate modifica între 0,5 și 4,5 m/min.

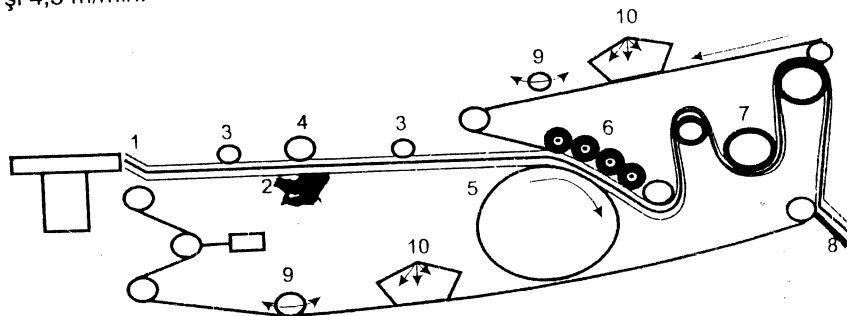


Fig. 4.23. Filtru presă cu bandă:

1 - alimentare cu nămol; 2 - bandă; 3, 4 - role; 5 - rolă de întoarcere; 6, 7 - role de stoarcere; 8 - lamă raclă; 9, 10 - dispozitive de spălare a benzii de stoarcere.

Reglajul instalației se realizează prin:
a) modificarea vitezei liniare a benzii cu variator de turație la reductor sau electronic la electromotor; b) variația forței de presare a roletelor cu ajutorul verinelor pneumatice cu presiune reglabilă, stabilizată; c) reglarea tensiunii în bandă cu cilindri de întindere; d) centrarea automată a benzii pe tambur prin rolă liberă cu mișcare oscilantă comandată de servomotoare; e) controlul grosimii stratului de nămol depus pe bandă - se realizează cu o placă dispusă transversal.

Figura 4.24. prezintă schema unui filtru presă cu stoarcere progresivă. Nămolul pregătit pentru deshidratare 1 intră în spațiul dintre cele două benzi 4 care se îngustează continuu pe măsura eliminării apei din suspensie. Banda 2 este cea activă, iar 5 și 6 sunt destinate preluării apei, prin efecte de capilaritate și respectiv direct. Greutatea 3 este cea care generează o forță de strângere a benzii 6 cuprinsă între 4 și 5. Pe porțiunea de întoarcere a benzilor acestea se curăță și se suflă cu aer comprimat.

Filtrele cu bandă prezintă avantajul că pot prelucra debite foarte mari de suspensie. Aceasta poate fi neomogenă, deoarece spațiul de lucru este liber oricărei dimensiuni și pe bandă se depun mai întâi particulele mari și grele și printre ele cele fine. Ele au dezavantajul suprafeței de filtrare mai reduse, deoarece suprafața activă este mică în comparație cu restul benzii neutilizate.

Indici tehnico-economici ai sistemelor de deshidratare. Comparația între diferitele sisteme de deshidratare a nămolurilor se efectuează pe baza consumurilor energetice specifice pe tona de substanță uscată. Indicii tehnico-economici ai diferitelor sisteme sunt dați în tabelul 4.3. Valorile indicate pentru umiditate reprezintă limite pentru toate tipurile de nămoluri dintr-o stație de epurare a apelor uzate menajere.

Tabelul 4.3.

Indici tehnico-economici

Echipament	Consum [kWh/tonă s.s.u.]	Umiditate p [%]
Centrifugă	30...60	91...70
Vacuum filtru	50...150	82...66
Filtru presă	15...40	67...40
Filtru presă cu bandă	5...20	85...64

Pompă specială pentru alimentarea filtrelor presă cu nămol

Filtrele presă lucrează la presiuni mari pe circuitul suspensiei, 5...15 bari. Acestea se pot realiza numai cu echipamente speciale, deoarece la fluide polifazice

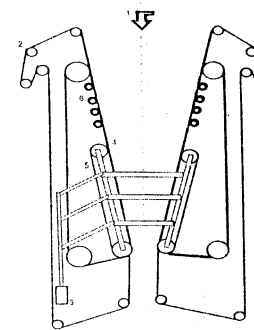


Fig. 4.24. Filtru cu bandă cu presare progresivă:

1 - alimentare cu nămol; 2 - role; 3 - bandă de presare; 4 - zonă pentru presare-stoarcere; 5 - role de sprijin.

încărcate nu se pot utiliza pompele de uz general. Echipamentul special are două trepte de pompare (fig. 4.25). Ei se compune dintr-un transportor elicoidal – primul etaj 1 – care aspiră nămolul și-l refulază în camera pistoanelor. Doi cilindri de pompare 8 – etajul doi al mașinii – amplasați sub șnecc lucrează în sistemul alternativ pompare/aspirație. În cursa de aspirație pistonul trage nămolul din camera centrală 5, iar la refulare îl trimite pe conducta cu care este pus în legătură prin intermediul unui sertar oscilant 7 sau tub elastic. Antrenarea melcului elicoidal se face de la un motor hidraulic rotativ, iar pistoanele sunt puse în mișcare alternativă folosind energia hidraulică de la o instalație de pompare cu ulei sub presiune. Așadar, melcul elicoidal 3 împinge nămolul în camera de aspirație 5, iar de aici îl iau pistoanele 8 care-l trimit pe conducta de refulare 6. Continuitatea mișcării pe conducta de refulare se realizează prin distribuitorul 7 care își corelează poziția cu mișcarea pistoanelor în cilindri.

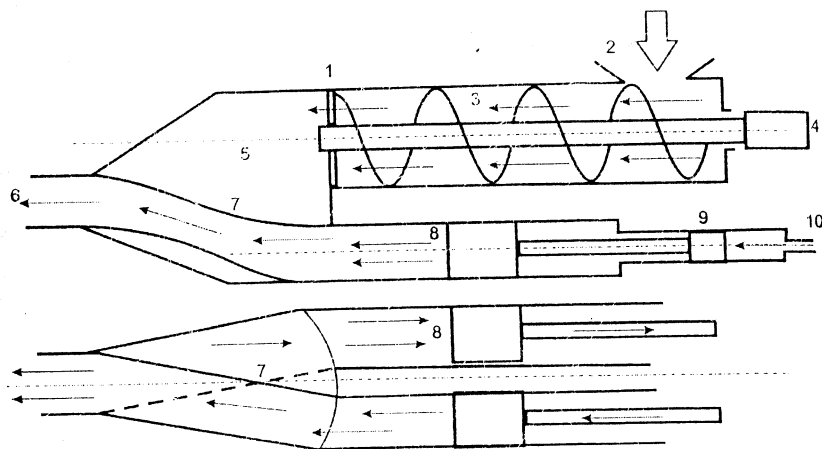


Fig. 4.25. Schema pompei speciale pentru nămol:

1 – cilindru; 2 – gură de alimentare; 3 – șurub melc; 4 – motor hidraulic; 5 – camera intermediară; 6 – gură de evacuare; 7 – distribuitor; 8 – cilindru de presiune; 9 – cilindru de forță; 10 – racord la instalația de presiune hidraulică.

Pompa specială are următoarele avantaje: a) permite trecerea unor particule de mari dimensiuni, deoarece nu este prevăzută cu supape; b) are o construcție și materiale rezistente la uzura abrazivă; c) se asigură ungerea pistoanelor, a lagărelor și etanșărilor astfel că se reduce uzura; întreținerea echipamentului este relativ simplă; d) este un echipament ce poate fi folosit la orice tip de nămol. De regulă se folosește pentru nămol cu particule solide organice de până la 60% sau minerale sub 80%.

Pentru deshidratarea prin mijloace mecanice a nămolurilor se folosesc instalații de filtrare – filtru presă, filtru cu vid, filtru cu bandă, sau centrifuge de nămol. Nămolurile supuse operației trebuie să fie inițial tratate cu reactivi chimici de condiționare clorură de fier 2,5% pentru nămoluri proaspete și 7% în cazul nămolului activ în exces.

5 EPURAREA AVANSATĂ A APELOR UZATE

Epurarea avansată a apelor uzate se definește prin ansamblul operațiilor suplimentare, ce urmează epurării convenționale secundare, având drept scop eliminarea substanțelor în suspensie și dizolvate rămase în apă după parcurgerea etapelor clasice. În efluentul deversat din treapta biologică secundară se mai găsesc: a) suspensii solide; b) substanțe organice rezistente la metabolismul microbian – nebiodegradabile; c) compuși toxici sau cancerigeni; d) ionii unor substanțe anorganice cum ar fi cei de calciu, potasiu, nitrați, fosfați, sulfatați, cloruri etc.; e) un număr nedefinit de compuși organici sintetici.

Epurarea avansată cuprinde procesele și tehnologiile destinate să asigure grade ridicate de epurare imposibil de realizat prin metode clasice și/sau destinate îndepărtării unor poluanți în treptele fizică și biologică.

După 1970 au apărut preocupări pentru epurarea avansată a apelor uzate cu scopul eliminării în special a compușilor pe bază de azot și fosfor. Treapta biologică reușește să elimine maximum 25...40% din azotul total. Aceste elemente și compușii lor au efecte dezastruoase asupra mediului prin accelerarea procesului de eutrofizare a bazinelor de apă. Ele sunt elemente nutritive care favorizează dezvoltarea algelor și sunt esențiale pentru formarea și dezvoltarea nămolului activ în epurarea biologică. După 1980 a început să se acorde o atenție deosebită compușilor organici volatili, mulți dintre ei fiind toxici pentru oameni și mediul acvatic.

Astăzi epurarea avansată a apelor uzate este obligatorie, fiind impusă de necesitatea menținerii echilibrului ecologic. Impactul stațiilor de epurare asupra mediului trebuie analizat atât din punctul de vedere al urmărilor ce apar la deversarea produșilor de carbon, cât și la modificările ce pot interveni în emisar ca urmare a compușilor pe bază de azot și fosfor. Totodată, trebuie analizat și efectul altor compuși, de exemplu cei toxici, care sunt deversați accidental sau dirijați în apele naturale.

Epurarea avansată a apelor uzate se introduce în tehnologia de tratare atunci când este necesar a se obține o apă de calitate superioară, imposibil de realizat prin procedeele secundare biologice, pentru protecția mediului înconjurător, evitarea eutrofizării pe cursul natural în aval de punctul de descărcare, în scopul reutilizării apei epurate sau atunci când emisarul este utilizat ca sursă de

alimentare a unor localități. Pentru alegerea procedurilor și a tehnologiei în ansamblu trebuie avute în vedere: a) capacitatea de autoepurare a cursului natural în care se face descărcarea efluenților; b) costurile de tratare a apelor în scopul potabilizării pentru cazul captărilor amplasate în aval de punctul de descărcare a efluenților; c) costurile construcțiilor și instalațiilor aferente tehnologiei propuse; d) costurile de exploatare și control a calității efluenților deversați; e) necesarul de energie pentru funcționarea instalațiilor și echipamentelor aferente tehnologiei propuse.

Clasificarea tehnologiilor de epurare avansată

Tehnologiile de epurare avansată se pot clasifica în funcție de tipul procesului unitar sau dependent de performanțele de îndepărtare a poluanților. Procesele de epurare avansată pot modifica, completa sau înlocui una sau mai multe faze ale tehnologiilor clasice de epurare. Scopul epurării avansate este fie de a diminua debitul de poluanți înainte de descărcarea în emisar, fie de a produce o apă de o calitate corespunzătoare refolosirii. Pentru comparația diverselor procese de epurare se au în vedere: a) funcțiile principale de îndepărtare ale constituenților poluanți; b) tipurile de operații sau procese care se folosesc în tehnologie; c) caracteristicile apei uzate.

Procese de epurare avansată

Tabelul 5.1

Materii îndepărtate	Operație sau proces recomandat	Tip
Solide în suspensie	Filtrare; Micrositare	EF,EBS
Oxidare amoniac	Nitrificare biologică	EF,EBS
Azot	Nitrificare, denitrificare biologică	EF,EBS
Azotați	Denitrificare biologică în etapă separată	EBS, N
Fosfor	Spălare în curent principal	AB,EF,NAR
Azot și fosfor	Nitrificare/denitrificare și îndepărtare fosfor prin procedeu biologic	AB,EF
Azot – metode fizice	Stripare cu aer; schimb ionic Clorinare la punct critic	EBS, EBS+filtrare
Fosfor – metode chimice	Precipitare chimică cu săruri metalice Precipitare chimică cu var	AB,EB,EBS
Compuși toxici și organici refractari	Adsorbție pe carbon; Oxidare chimică; Nămol activ + cărbune activ pudră	EBS EBS+filtrare
Solide anorganice dizolvate	Precipitare chimică; Schimb ionic; Ultrafiltrare; Osmoză inversă; Electrodializă	AB,EBS
Compuși organici volatili	Volatilizare și stripare cu gaz	AB,EF

EF – efluent de la treapta fizică de epurare; EB – efluent din treapta biologică înainte de decantorul secundar; EBS – efluent din treapta biologică după clarificarea în decantorul secundar; AB – apă brută; N – nitrificare; NAR – nămol activ recirculat.

Selecția operațiilor și combinarea proceselor în tehnologia de epurare depind de: a) capacitatea tehnologiei de a răspunde la necesitățile de epurare a apelor uzate; b) natura apei uzate – compoziția și concentrația ei; c) compatibilitatea diferitelor operații și procese; d) mijloacele de care se dispune; e) caracteristicile și exigențele mediului; f) fezabilitatea economică a sistemelor utilizate. Datorită condițiilor speciale impuse de eliminarea poluanților, studiul de fezabilitate economică nu poate fi factorul determinant în proiectarea instalațiilor de epurare avansată.

5.1. Procese și instalații pentru îndepărtarea compușilor pe bază de azot

Apele uzate municipale conțin, în general, azot în concentrații excedentare în raport CBO₅/N circa 4 față de valoarea necesară procesului de epurare biologică în faza de eliminare a carbonului. CBO₅/N = 20. În cazul tehnologiilor de epurare biologică de medie sau mare încărcare vârsta nămolului este mică și nu apare proces de nitrificare, azotul excedentar regăsindu-se în efluent.

În apele uzate azotul se găsește sub formă de amoniac și/sau nitrogen organic, solubil sau particulat. Azotul organic solubil este în principal sub formă de uree sau aminoacizi, proteine, amine. Apele uzate brute conțin și azot mineral, cantități mici de ioni nitrați NO₃⁻, nitriți NO₂⁻, amoniu NO₄⁺, amoniac NH₃, oxid de azot NO. În procesul de epurare fizică se depune materialul particulat, iar în treapta biologică se folosesc cantități mici de amoniu asimilat de materialul celular al biomasei (sub 30% din azotul total). Așadar, cea mai mare parte a compușilor de azot se va regăsi sub forma amoniului în efluentul secundar.

Un indicator al concentrației de azot din apele uzate este reprezentat prin azotul total, determinat prin metoda Kjeldahl TKN, care este dat de suma azotului organic și azotul amoniacal. Consumul de oxigen pentru eliminarea compușilor de azot apare mult mai târziu și deci concentrația produșilor de azot nu este cuprinsă în analiza de CBO₅.

Eliminarea compușilor pe bază de azot se realizează prin: a) nitrificarea – denitrificarea biologică; b) striparea ionului de amoniu; c) schimbul ionic; d) clorinarea la concentrația necesară limpezirii amestecului polifazic și formării unei stratificări în emulsie – break point.

Folosirea metodelor biologice pentru eliminarea azotului este recomandată și va conduce la o eficiență ridicată de nitrificare, dacă se utilizează procedeele de oxidare de mică încărcare caracterizate prin încărcarea organică a bazinului $I_b \leq 0,5 \text{ kg CBO}_5/\text{m}^3 \text{ bazin} \cdot \text{zi}$ și încărcarea organică a nămolului $I_n \leq 0,15 \text{ kg CBO}_5/\text{kg s.s.u.} \cdot \text{zi}$.

5.1.1. Nitrificarea

Nitrificarea este procesul biologic autotrof de prelucrare a compușilor de azot în nitrat și nitriți. Procesul autotrof are la bază obținerea energiei necesare pentru creșterea biomasei din oxidarea compușilor de azot în amoniac. În contrast cu nitrificarea heterotrofă se utilizează mai mult carbonul anorganic (dioxidul de carbon) în raport cu cel organic pentru sintetizarea unor celule noi. De regulă numărul de bacterii nitrificatoare este redus, rata creșterii și dezvoltării este mică și înmulțirea indivizilor bacterieni este dependentă de concentrația azotului și a carbonului organic.

Nitrificarea azotului din amoniu este un proces biochimic care se desfășoară în două etape ca efect al activității grupelor de bacterii **nitrosomonas**, **nitromonas** și **nitrosococcus**. În prima etapă amoniul NH_4 este transformat în nitrit, iar în a doua, acesta se modifică în nitrat ca efect al acțiunii unei noi grupe de bacterii **nitrobacter**; o parte din ionul de amoniu este asimilat în celulă. Cele două tipuri de reacție sunt cele care dau energie pentru dezvoltarea celulelor și ele se pot desfășura într-un singur reactor.

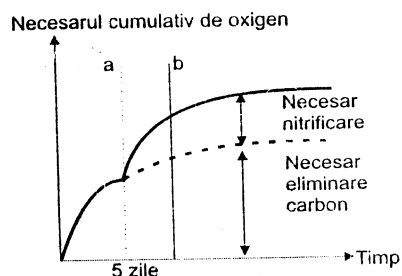


Fig. 5.1. Necesarul cumulativ de oxigen pentru oxidare carbon și nitrificare în cazul apei poluate netratată (a) și tratată (b).

raportului între 1...3, ce corespunde sistemelor de nitrificare în stadii separate, fracția de nitrificare a organismelor este estimată la 0,2. Pentru valori $\text{CBO}_5/\text{TKN} > 5$ apar procese combinate de oxidare a carbonului și de nitrificare, iar în cazul în care $\text{CBO}_5/\text{TKN} < 3$ se recomandă stadii separate.

Organismele nitrificatoare sunt prezente în aproape toate procesele biologice aerobe. Așadar, consumul de oxigen pentru procesele aerobe acoperă atât necesarul destinat oxidării compușilor de carbon, cât și pentru nitrificare. Oxigenul este util proceselor biochimice de oxidare a azotului trivalent la forma de valență maximă NO_3^- .

Oxigenul necesar pentru oxidarea amoniului în nitrat este de $4,3 \text{ mgO}_2/\text{mg}$ de azot din amoniu – valoare inclusă în cea recomandată pentru proiectare $4,57 \text{ mgO}_2/\text{mg}$ azot.

Posibilitatea folosirii proceselor biologice cu nămol activ la nitrificare se apreciază prin raportul CBO_5/TKN , unde TKN este indicele total Kjeldahl nitrogen. Pentru valorile

Tabelul 5.2

Relația dintre fracția de organisme nitrificatoare și raportul CBO_5/TKN

CBO_5/TKN	Fracție nitrificatoare	CBO_5/TKN	Fracție nitrificatoare
0,5	0,35	5	0,054
1	0,21	6	0,043
2	0,12	7	0,037
3	0,083	8	0,033
4	0,064	9	0,029

Parametrii care condiționează procesul de nitrificare sunt: a) pH-ul apei care trebuie să fie în gama 7,0...8,0; pe parcursul desfășurării procesului de nitrificare-denitrificare crește alcalinitatea și se poate ajunge la 9,0; b) temperatura apei – viteza de reacție și rata de creștere și dezvoltare a microorganismelor scad cu reducerea temperaturii; c) inhibitorii – de exemplu substanțele toxice – influențează procesul de nitrificare; d) vârsta nămolului și durata de aerare; pentru aerare medie sau de mare încărcare vârsta nămolului este redusă și apare procesul de nitrificare, iar la aerare de mică încărcare vârsta nămolului este ridicată și poate apărea nitrificarea avansată.

În general, procesul de nitrificare la temperatură moderată poate fi considerat ca un proces convențional cu nămol activ la care se aduc următoarele modificări. Cantitatea de oxigen necesară procesului este mai mare și deci este necesară furnizarea suplimentară de oxigen pentru nitrificare. Oxigenul rezidual dizolvat va fi menținut la minimum $1,5 \text{ mgO}_2/\text{l}$.

Se impune menținerea unui timp mai lung de reținere a celulelor în bazinul biologic. Bacteriile nitrificatoare sunt strict autotrofe și deci au o viteză de creștere și dezvoltare mult mai redusă decât microorganismele heterotrofe; în consecință pentru a fi eficiente este necesar un timp mai lung de retenție.

Deoarece conversia microbiană conduce la o scădere a pH-ului, este necesară adăugarea de substanțe chimice care să corecteze alcalinitatea. În apă se adaugă var, sodă sau cenușă dacă aceasta are o alcalinitate redusă.

5.1.2. Nitrificare și denitrificare biologică

Metoda de îndepărtare a azotului prin nitrificare/denitrificare este cea mai eficientă deoarece conduce la o mare eficiență de îndepărtare, are o mare stabilitate și fiabilitate, necesită suprafețe reduse, impune costuri moderate și permite un control relativ simplu al procesului. Metoda are la bază două etape: a) *nitrificare* – transformarea amoniului, în cadrul unui proces aerob, în nitrat (NO_3^-); b) *denitrificare* – nitrații sunt convertiți anaerob în azot gaz. Procesul de nitrificare – denitrificare este recomandat atunci când se dorește realizarea unei eficiențe ridicate în eliminarea azotului.

Denitrificarea este procesul biologic de transformare a nitraților în azot gaz sub influența unor catalizatori biochimici – enzime. Procesul de denitrificare se desfășoară în mediu anoxic (anaerob). El va apărea ca efect al stresării microorganismelor aerobe care, lipsite de oxigen, sunt forțate să preia acest element din nitrați și nitriți. În acest mod ionii sunt reduși la azot molecular care se degajă în atmosferă.

Denitrificarea se desfășoară sub acțiunea unor bacterii autotrofe specifice **micrococcus dinitrificans**, **thiobacillus denitrificans** și alte specii comune, heterotrofe **pseudomonas**, **acromobacter**, **micrococcus**, **bacillus**. Parametrii care influențează procesul de denitrificare sunt: a) reacția apei cu pH-ul optim de 6,5...7,5; b) concentrația în biomasă se recomandă a fi între 2000 și 3000 mg s.s.u./l cu o parte volatilă a nămolurilor denitrificatoare de circa 65%; c) temperatura care poate evolua în gama 5...20°C, cu valori optime între 10 și 20°C; d) concentrația

materiilor organice trebuie să fie atent supravegheată pentru că depășirea valorilor optime conduce la un efluent nestabilizat.

Dezvoltarea echilibrată a biomasei este dependentă de valorile raportului substrat organic/azot total = CBO_5/TKN care în apele uzate urbane este de circa 4...5, dar se recomandă a avea valoarea minimă 20. Așadar, cantitatea de azot existentă în apele uzate este mult mai mare decât cea impusă de necesarul unei dezvoltări echilibrate a masei bacteriene. Aceasta impune necesitatea formării substratului organic la nivelul cerut de procesul biologic fapt care se realizează din surse externe.

Pentru ca acest lucru să fie posibil este necesar să existe suficientă materie organică – sursă de carbon – pentru a se realiza conversia la azot gaz. Sursa de carbon poate să fie materia organică din apele uzate și materialul celular existent (sursă internă) sau o sursă externă – de regulă se introduce metanol. Utilizarea acestei surse externe conduce la o viteză de reacție superioară în raport cu cea care poate apărea atunci când acționează respirația endogenă ca sursă.

Procedeu de nitrificare cu pre-denitrificare (fig. 5.2) are două trepte. În prima treaptă apa uzată intră într-un bazin anaerob unde apare procesul de denitrificare prin utilizarea carbonului organic existent în apa uzată. Din al doilea

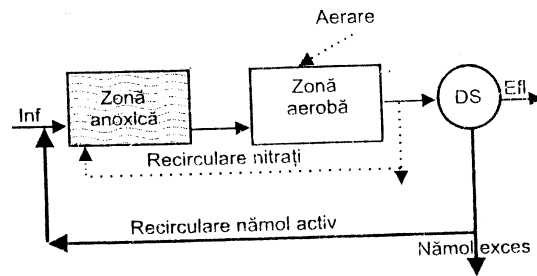


Fig. 5.2. Proces de nitrificare cu pre-denitrificare.

Procedeu de nitrificare cu post denitrificare (fig. 5.3) folosește fluxul de nitrificare în bazinul de oxidare și apoi denitrificare în cuva anoxică.

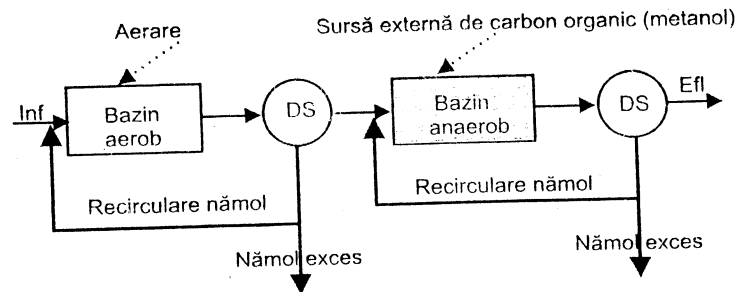


Fig. 5.3. Proces de nitrificare cu post denitrificare și sursă externă

După cum s-a mai arătat, folosirea unei surse externe de carbon organic conduce la majorarea vitezei de eliminare a nitraților și la reducerea volumului bazinului anaerob. Apare însă dezavantajul consumului sporit de energie la pompare și construirea unui decantor secundar suplimentar – investiție ridicată, precum și majorarea costurilor de exploatare corespunzător introducerii sursei de carbon externe.

Procesul de nitrificare – denitrificare discontinuă (fig. 5.4) permite nitrificarea (oxidarea aerobă a amoniacului) și denitrificarea în același bazin, dar la etape diferite de timp. Există două bazine în care se face aerare în regim alternant. În etapa de aerare apare în bazin un mediu aerob în care se oxidează materiile organice și compușii de amoniu realizând nitrificarea. După această perioadă se

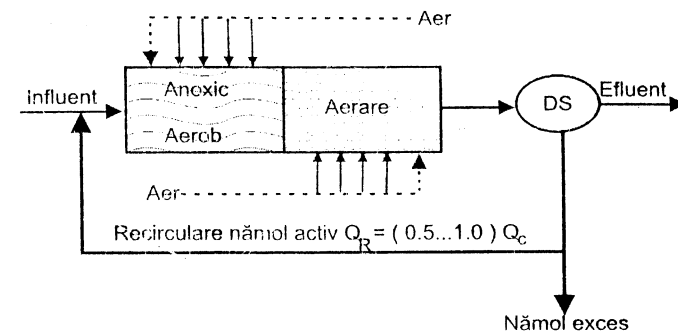


Fig. 5.4. Procedeu de nitrificare-denitrificare discontinuă.

oprește aerarea și se formează mediul anoxic în care se produc reacții de denitrificare. Dezavantajul metodei este că apar procese de oxidare și degradare a substratului, reducând concentrația carbonului organic necesar unei bune denitrificări. Problema poate avea o importanță deosebită pentru apele uzate caracterizate prin rapoarte mici CBO_5/TKN . Procedeu are avantajul unor costuri mai mici de investiție. Totodată apare dezavantajul egalității volumelor celor două cuve care scumpește construcția și mărește costurile de exploatare.

Procedeu Bardenpho (fig. 5.5) are patru trepte. Aplicarea procedurii se recomandă la rapoarte mici CBO_5/TKN în apele uzate la care se dorește un grad înalt de eliminare al azotului. Apa uzată intră în primul bazin A – zonă de denitrificare – la care vine în contact cu amestecul polifazic recirculat de la finalul treptei a doua B destinată procesului combinat de oxidare carbon și nitrificare.

Carbonul din apele uzate este utilizat la denitrificare, iar nitrații sunt recirculați. Datorită încărcărilor organice mari procesul de denitrificare este rapid. Amoniu din apele uzate trece prin bazin anoxic pentru a fi nitrificat în primul bazin de oxidare. Amestecul nitrificat din prima etapă A + B trece în zona anoxică C unde apare o denitrificare suplimentară folosind drept sursă de materie organică carbonul endogen. Ultimul bazin D este relativ mic el fiind destinat în principal stripării azotului gaz care se degajă din procesul de denitrificare. Amoniu care

rămâne în nămol este nitrificat în cea de a doua zonă. Se poate adăuga o nouă treaptă pentru eliminarea fosforului.

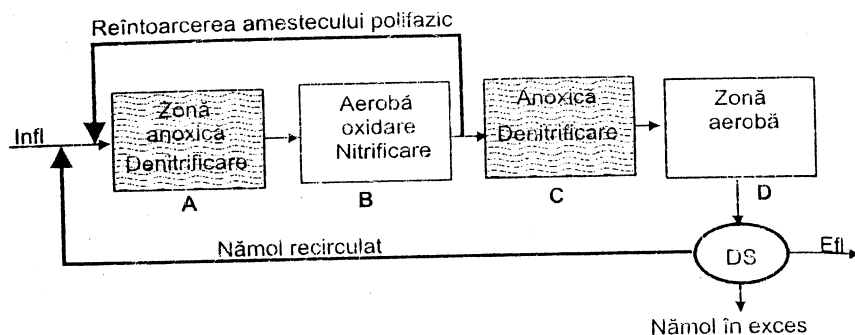


Fig. 5.5. Sistem combinat nitrificare-denitrificare cu nămol activ
Procedeu Bardenpho cu patru trepte.

Șanțul de oxidare, sau procedeu cu denitrificare simultană (fig. 5.6) este folosit la nitrificare-denitrificare funcție de zona în care se află amestecul polifazic anoxică sau aerobă. Zonele se formează în mod natural funcție de poziția acestora față de aeratoarele mecanice cu perii. În zona de acțiune a aeratorului crește concentrația oxigenului dizolvat care scade treptat spre aval datorită consumului biochimic formând zona anaerobă. Prin introducerea influentului la limita zonei anoxice apar direct în amestecul polifazic sursele de carbon necesare denitrificării. Așadar, cele două etape de nitrificare și denitrificare apar simultan în același bazin în care mișcarea este de tip piston generată de aeratoarele orizontale. Efluentul se descarcă la decantorul secundar de la finalul zonei aerobe. Eficiența de îndepărtare este mai mică decât la procedeu anterior, deoarece există o singură zonă anoxică pentru denitrificare.

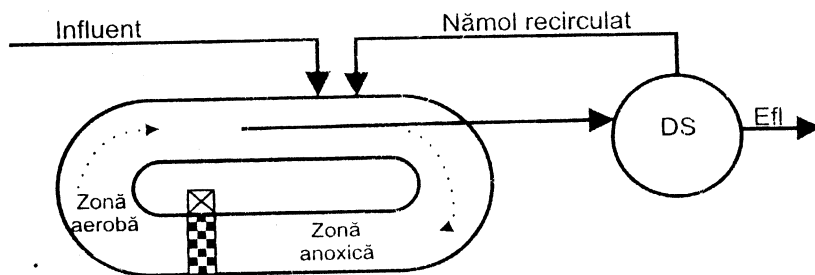


Fig. 5.6. Șanț de oxidare pentru nitrificare-denitrificare cu nămol activ.

Procedeu complex cu pre-denitrificare, nitrificare și post-denitrificare. În acest proces se folosesc mai multe bazine, în cascadă, utilizate la denitrificare, nitrificare și postdenitrificare. Bazinul pentru denitrificare sunt dotate

cu amestecătoare submersibile destinate să omogenizeze în mod continuu fluidul polifazic și să ușureze degajarea gazelor. Cuvele aerobe pentru nitrificare sunt dotate cu echipamente de oxigenare a apelor care trebuie să asigure transferul oxigenului și să omogenizeze amestecul polifazic.

5.1.3. Procedee de nitrificare-denitrificare cu peliculă biologică

Pelicula biologică atașată apare în biofiltru și în contactoarele biologice rotative. Această tehnologie prezintă avantaje și se recomandă în special la încărcări medii și reduse.

Filtre biologice. Încărcarea biologică a biofiltrelor va afecta procesul de nitrificare, deoarece la valori mari filmul bacterian va fi dominat de bacteriile heterotrofe. Pentru randamente de nitrificare bune se va menține încărcarea organică în limitele precizate în tabelul 6.5. În cazul biofiltrelor cu umplutură de masă plastică se pot folosi încărcări organice specifice ridicate, deoarece suprafața de contact este mai mare cu circa 80% față de cazul rocilor. Se obțin astfel performanțe de nitrificare majorate cu circa 60% la prelucrarea amoniului în sisteme combinate cu oxidarea carbonului. În acest caz se recomandă și intensificarea ventilației care permite un transfer mai bun al oxigenului.

Filtrul biologic poate fi utilizat ca etaj unic pentru denitrificare dacă el urmează după o instalație de epurare cu nămol activ destinată oxidării produșilor de carbon. Cel mai utilizat procedeu este cel care utilizează două biofiltre – unul destinat degradării materiilor organice, iar celălalt pentru nitrificare.

Filtrele turn folosesc ca umplutură corpuri din materiale plastice de diferite forme geometrice care au o suprafață specifică mare. Ele au înălțimi de circa 6,6 m și sunt proiectate cu ventilație forțată. Sunt recomandate pentru nitrificare deoarece au suprafețe mari de peliculă biologică. Eficiența de nitrificare scade cu creșterea încărcării de suprafață și cu reducerea temperaturii. Pentru încărcări hidraulice de suprafață mai mici decât $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ și minut se obține un grad înalt de nitrificare.

O variantă este procesul cu peliculă atașată prin procedeu Kaldnes. Instalația are minimum două bazine din beton armat, acoperite la suprafață. Primul bazin este anaerob fiind dotat cu amestecător axial submersibil, iar al doilea este aerob prevăzut cu dispozitive de dispersie ale aerului în apă, care mențin o concentrație a oxigenului rezidual între $4...6 \text{ mgO}_2/\text{l}$. La această concentrație viteza de nitrificare se dublează. În acest proces se folosesc elemente de transport a peliculei biologice, de forma unei roți dințate, de mici dimensiuni, executate din polipropilenă. Ele vor ocupa un volum de circa 50...70% din cel al reactorului. Acestea au o densitate apropiată de cea a apei și oferă o mare suprafață specifică de contact de $350...450 \text{ m}^2/\text{m}^3$. În acest mod amestecătoarele submersibile, cu diametrul de 1,8 m, reușesc să țină în mișcare, în agitație continuă, elementele de susținere ale peliculei biologice. Circulația dintre cele două bazine se realizează printr-un grilaj cu ochiurile de 5 mm, care permite curgerea apei, dar reține elementele din plastic. Procedeu poate fi utilizat pentru oxidarea compușilor pe bază de

carbon și în scopul nitrificării-denitrificării. În sistemul cu post-denitrificare, timpul hidraulic de retenție este de numai 2...3 ore, fiind destul pentru a obține o îndepărtare a azotului de peste 70%. Comparativ cu procedeul clasic cu nămol activ, tehnologia Kaldnes are o serie de avantaje printre care se menționează: a) eficiență de volum superioară; b) flexibilitate în exploatare; c) nu se recirculă nămol; d) încărcare scăzută în suspensie; e) consum scăzut de energie 0,3 kWh/kgCO₂.

Reactor biologic de contact. Pentru desfășurarea procesului de nitrificare a cantității de amoniu se recomandă reducerea încărcării organice solubile la mai puțin de 15 mgCBO₅/l. Suprafața de contact se determină pe baza necesarului pentru oxidarea biologică a materiei organice și destinată reducerii azotului amoniacal. Suma celor două suprafețe va fi cea necesară pentru desfășurarea procesului combinat.

Tabelul 5.3

Valori ale încărcării specifice pentru biofiltru

Proces	Eficiență nitrificare %	Încărcare specifică kgCBO ₅ /m ³ zi
Biofiltru cu rocă	75...85	0,160...0,096
	85...95	0,098...0,048
Biofiltru turn, mediu plastic	75...85	0,288...0,192
	85...95	0,192...0,096

5.1.4. Denitrificarea în strat fluidizat

În acest proces apa uzată nitrificată trece printr-un strat fluidizat format într-un reactor vertical pe care aceasta îl parcurge în sens vertical ascendent (fig. 5.7). Viteza de curgere a apei trebuie să fie suficientă pentru a fluidiza un strat de particule fine de tipul nisipului. Porozitatea mediului fluidizat se poate regla prin modificarea debitului de fluid care menține stratul în suspensie. Prin fluidizare se obține o majorare a suprafeței specifice ceea ce permite creșterea concentrației biomasei din reactor. Instalația este compactă, relativ simplu de exploatat și poate îndepărta 12...16 kg/m³ · zi.

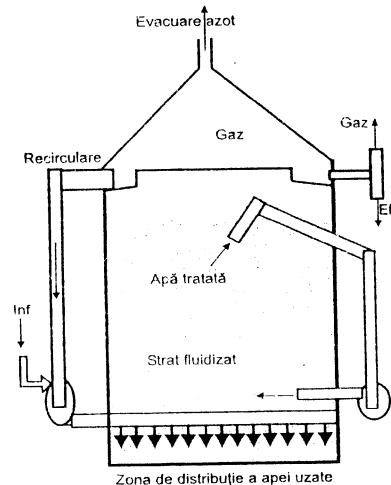


Fig. 5.7. Reactor biologic cu strat fluidizat pentru denitrificare.

5.1.5. Procede de fizico-chimice de îndepărtare a azotului

Striparea amoniului cu aer. Procedeul se bazează pe îndepărtarea azotului-amoniu prin volatilizarea amoniului gazos. Este necesară corecția pH-ului la valoarea de 10,5...11,5 prin adăugarea de var. Acest reactiv se folosește și la îndepărtarea fosforului. Metoda are un cost ridicat și se recomandă numai pentru cazuri speciale când apele uzate au deja un pH mare, sau în aplicații sezoniere.

Clorinarea la punctul de limpezire. Clorinarea la punctul de limpezire implică adăugarea de cloruri în apele uzate pentru a oxida azotul amoniacal din soluție până la azot gaz sau alți compuși stabili conform reacției chimice $2\text{NH}_3 + 3\text{HOCl} \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{HCl}$. Raportul clor/azot este de 8/1...10/1 când apele uzate au un pH = 6...7. Procedeul se poate utiliza individual sau în combinație cu alte procedee unitare. Pentru a majora eficiența procedeeului și a reduce costurile se impune uniformizarea debitelor și egalizarea concentrațiilor.

Procedeul de schimb ionic. Instalația de schimb ionic are drept scop reținerea ionului de amoniu de către o masă activă naturală – zeolite, clinoptilolite sau alte medii sintetice. Prin regenerarea masei active se elimină ionul de amoniu reținut și se reface capacitatea acesteia de a reține ionii. Reactivul de regenerare poate fi Ca(OH)₂ și ionul de amoniu îndepărtat devine molecula de amoniu.

5.2. Procede pentru eliminarea fosforului

Apele uzate conțin compuși de fosfor, un element metallic esențial ca nutrient pentru dezvoltarea plantelor și animalelor. Substanțele fertilizante, detergenții și multe alimente conțin cantități mari de fosfor. Apele uzate conțin circa 10...12 mg/l de fosfor. Îndepărtarea fosforului se poate realiza prin reacții chimice sau biochimice. Prin treapta biologică secundară se reușește eliminarea a circa 10...30% din cantitatea de fosfor conținută în influent.

5.2.1. Procede biologice de îndepărtare a fosforului

Metodele biochimice se bazează pe incorporarea ortofosfatului, a polifosfatului și a fosforului legat organic în celule. În funcție de condițiile specifice mediului cantitatea de fosfor din apele uzate este de circa 1/7...1/3, iar cea conținută în celule este de 1/5 din cea a azotului.

Metoda biologică constă în expunerea microorganismelor la condiții alternative aerobe și anaerobe. Prin această metodă bacteriile sunt stresate și consumă o cantitate mai mare de fosfor. Fosforul este utilizat pentru întreținerea celulelor, sinteza unui material celular nou și la transportul de energie.

Procedeu de îndepărtare a fosforului în curentul principal. Tehnologia apelează la un proces combinat de îndepărtare a carbonului și a fosforului. Se prevăd două bazine unul aerob, iar celălalt anaerob în care nămolul activ realizează procesul biologic de oxidare a compușilor de carbon și eliminare a celor de fosfor. Dacă se dorește și efectuarea operației de nitrificare se impune majorarea timpilor de retenție în treapta aerobă. În condiții anaerobe fosforul din apa uzată și din masa celulelor recirculate este reținut ca fosfor solubil. În treapta aerobă acesta este prelucrat. Eficiența de îndepărtare a fosforului depinde de raportul CBO/P din influent. Dacă $CBO/P > 10/1$ se impune a realiza o concentrație subunitară a fosforului solubil în efluent. În situația în care $CBO/P < 10/1$ se vor adăuga săruri metabolice pentru obținerea concentrațiilor reduse de fosfor.

Tehnologia este simplă comparativ cu alte procese (fig. 5.8). Nămolul are un conținut mare de fosfor de 3...5% și deci prezintă importanță ca material fertilizant în agricultură. Prin această tehnologie se poate realiza și nitrificarea. Dezavantajele procesului sunt legate de imposibilitatea obținerii unui grad înalt de eliminare a azotului și fosforului, de incertitudinea obținerii performanțelor de epurare în special pe vreme rece și de valorile mari ale rapoartelor CBO/P necesare în tehnologie.

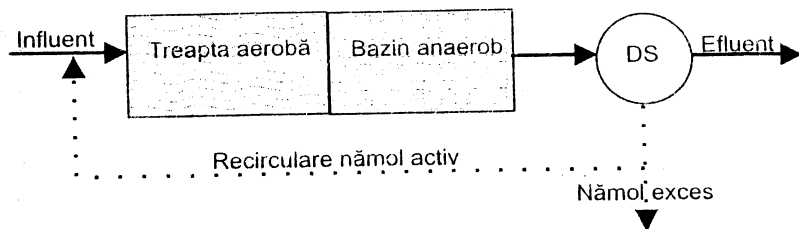


Fig. 5.8. Schema procesului combinat de îndepărtare a fosforului în curentul principal al apei uzate.

Tabelul 5.4

Valori tipice pentru proiectarea proceselor de eliminare a fosforului

Parametru	Unitate	Proces combinat	Stripare	Reactor secvențial
Hrană/biomasă	$\frac{kg\ CBO_5}{kg\ ssv \cdot zi}$	0,2...0,7	0,1...0,5	0,15...0,5
Timp retenție biomasă ssv	Zile	2...25	10...30	---
Timp de retenție hidraulic anaerob	Ore	0,5...1,5	8...12	1,8...3,0
Timp de retenție hidraulic aerob	Ore	1...3	4...10	1,0...4,0
Concentrație biomasă	Gr/l	2...4	0,6...5,0	2...3
Recirculare nămol activ	% influent	25...40	20...50	---
Recirculare internă	% influent	---	10...20	---

Proces cu prelucrarea fosforului prin stripare. În acest proces o parte din nămolul activ este dirijată către un bazin de stripare anaerobă a fosforului dimensionat la un timp de retenție de 8...12 ore (fig. 5.9). Fosforul este îndepărtat prin supernatant, iar nămolul, sărac în fosfor, este reîntors în bazinul de aerare. Supernatantul este tratat cu var sau alt reactiv de coagulare într-un bazin independent; precipitatul format este separat într-un decantor terțiar. Prin acest procedeu se reușește scăderea fosforului în efluent sub 1,5 ppm înainte de filtrare. Această tehnologie este flexibilă și îndepărtarea fosforului este independentă de

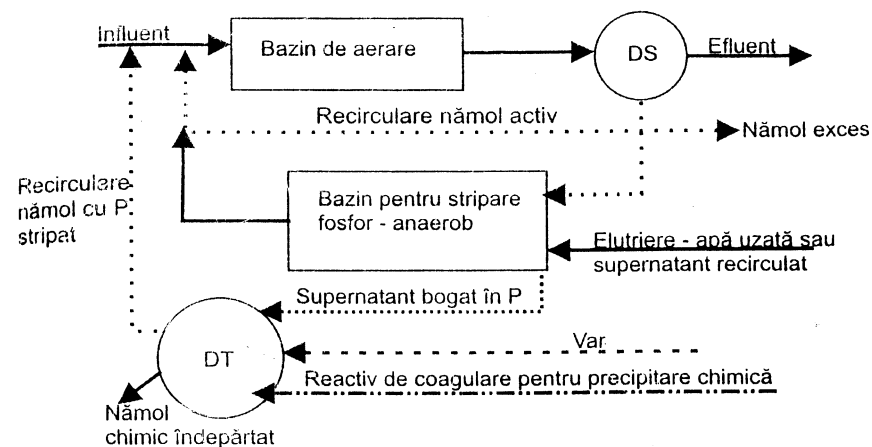


Fig. 5.9. Procedeu de îndepărtare fosfor prin elutriere.

raportul CBO/P. Dezavantajul procedurii constă în faptul că necesită reactivi chimici de coagulare-floculare, iar curățarea varului din instalație este o problemă pentru operatori. Procedul impune o concentrație a oxigenului dizolvat mai ridicată.

Procedeu discontinuu cu reactor secvențial. În această tehnologie se folosesc mai multe bazine cu ciclul defazat în timp. Fiecare bazin funcționează pe mai multe faze între alimentare și descărcare. Se poate stabili orice succesiune ale fazelor astfel încât să se reușească oxidarea produșilor de carbon, nitrificarea, denitrificarea și eliminarea fosforului. Procedul este flexibil pentru îndepărtarea azotului și fosforului, este simplu la operare. El este indicat pentru debite mici.

5.2.2. Eliminarea fosforului prin reacții chimice cu săruri metalice sau polimeri

Pentru îndepărtarea fosforului organic, a polifosfaților și a ortofosfatului se folosesc sărurile de aluminiu sau de fier. Prin aceste reacții se poate elimina și o

cantitate de azot. Introducerea reactivilor se poate face în bazinul de sedimentare primară sau în decantorul secundar.

Introducerea reactivilor în decantorul primar.

Sărurile de aluminiu – alum sau de fier – clorura ferică vor reacționa cu ortofosfatul solubil pentru a forma precipitatul care se îndepărtează prin nămolul primar. Doza este de 1...3 ioni metalici la un ion de fosfor.

Polimerii impun un pH = 5...7 și necesită barbotare cu aer la sedimentare. Adăugarea de var necesită o doză de circa 65...80% din fosfor. Hidroxidul reacționează cu ortofosfatul și formează un precipitat insolubil. Prin adăugarea de var crește pH-ul la valoarea 11. După precipitare efluentul va fi recarbonat înainte de a intra în treapta biologică. În general, doza de var este de 75...250 mg/l de Ca(OH)_2 la un pH = 8,5...9,5.

Introducerea reactivilor în decantorul secundar.

Reactivii se pot introduce direct în bazinul de aerare, în decantorul secundar sau pe canalul apei către decantor. Introducerea în decantorul secundar se face și pentru instalațiile de epurare cu biofiltru. Sărurile de aluminiu sau fier vor cauza precipitarea hidroxizilor metalici sau a fosfaților. Reactivii pot reacționa și cu particulele coloidale formând precipitate care se depun gravimetric.

Polimerii se introduc în zonele de amestecare intensă sau în decantoarele cu recirculare interioară. Amestecarea se poate face prin echipamente statice sau cu echipamente mecanice. Timpul de amestecare este de 10...30 secunde dacă ea se face cu intensitate corespunzătoare.

5.3. Procedee speciale de epurare

Aceste procedee au drept scop finisarea epurării apelor uzate în sensul reținerii particulelor foarte fine, cu dimensiuni micronice, de ordinul de mărime al moleculelor, atomilor, ionilor.

5.3.1. Filtrarea

Filtrarea are drept scop reținerea suspensiilor fine – dimensiuni peste un micron – existente în apa evacuată din treapta biologică a stației de epurare. Aplicarea acestui procedeu are în vedere: a) stabilirea numărului și a mărimii unităților de filtrare; b) alegerea tipului de filtru; c) configurația și caracteristicile patului filtrant; d) accesoriile filtrului – sistemul de spălare inversă; e) factorii de operare ai sistemului de filtrare; f) necesarul reactivilor.

Numărul și mărimea unităților. Aria suprafeței de filtrare se bazează pe debitul și filtrarea maximă. Numărul unităților de filtrare trebuie să fie minim pentru a se reduce costurile de investiție (construcție, conducte etc.), dar la

scoaterea din funcțiune o oricărei unități, de exemplu pentru spălare, celelalte trebuie să preia integral debitul de apă. Filtrul trebuie să aibă dimensiuni suficiente de mari pentru a cuprinde echipamentele standard de drenaj, spălare, distribuție pe suprafață etc.

Alegerea tipului de filtru. Pentru realizarea operației de filtrare se pot utiliza o multitudine de tipuri de filtre granulare cu funcționare continuă sau discontinuă. Ele pot fi convenționale, superficiale sau cu pat adânc. Funcție de configurație ele pot avea un mediu de filtrare monostrat, dual sau multimediu; pot fi cu mediu stratificat sau nestratificat. Filtrele pot lucra în câmpul forțelor masice gravitaționale sau sub presiune. Tabelul 6.7 prezintă câteva caracteristici ale filtrelor utilizate în practică.

Performanțele filtrelor. Acestea se referă la calitatea efluentului care trebuie să fie sub 2 grade de turbiditate atunci când influentul intră cu 7-9 grade ceea ce corespunde la 16...23 mg/l. Dacă acest parametru nu se poate realiza se impune folosirea reactivilor chimici.

Funcție de procedeu de spălare materialul filtrant se poate pune stratificat sau nestratificat. Dacă apa este fluidul de spălare atunci filtrul va fi stratificat cu particule mici la suprafață. În situația în care se folosește apă și aer pentru spălare și respectiv fluidizare se va face un mediu nestratificat datorită amestecării granulelor mici cu cele mari. În cazul nisipului se recomandă ca apa de spălare să aibă debitul specific de 0,4...0,8 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{min}$, iar aerul între 13 și 26 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{min}$. Pentru antracit apa de spălare variază între 0,25 și 0,60 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{min}$, iar aerul va avea debitul specific de 6...20 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{min}$. Aerul de curățare generează o acțiune mai puternică de spălare decât apa. Aerul se va introduce pe o perioadă de 3...4 minute.

Materiale filtrante. Acestea se caracterizează prin dimensiunea efectivă d_{10} , coeficientul de uniformitate, solubilitatea materialului, duritatea, rezistența la compresiune, curba granulometrică.

Filtrul stratificat cu mediu unic superficial. Filtrul conține un pat cu un singur mediu filtrant cu adâncimea de 0,3 m, în două variante operaționale.

Filtrul cu pat pulsator are nisip ca mediu filtrant. Particulele de nisip sunt menținute în stare de suspensie de un difuzor de aer amplasat la suprafața patului. Periodic sunt generate jeturi de aer introduse prin sistemul de drenaj – spălare inversă. Jeturile antrenează solidele reținute și le redistribuie la partea superioară a patului. În momentul când crește pierderea de sarcină, peste valoarea prescrisă, se va spăla filtrul cu circulație inversă prin sistemul de drenaj.

Filtru cu pod circulant are nisip mediu stratificat amplasat într-o serie de filtre celulare mai mici. Sistemul de spălare inversă este montat pe un pod ce se deplasează continuu pe lungime și care spală hidraulic fiecare celulă. Această metodă de spălare inversă nu necesită intervenția în filtrul total; se reușește spălarea fiecărei celule independent și se reduce debitul de apă curată pentru spălare.

Filtrul nestratificat mono-media. Filtrul are un singur strat filtrant, cu adâncimea de circa 2 m, unde se introduc particule cu dimensiunea medie de 2...3 mm și care oferă o lungă perioadă de exploatare. El se poate utiliza la filtrare sau la denitrificare și prezintă următoarele dezavantaje: a) impune un grad mare

de uniformitate a materialului din pat; b) necesită viteze mari de spălare și deci debite mari; c) costurile sunt ridicate.

Un alt tip de filtru are materiale cu diferite dimensiuni ale granulelor și cu sistem combinat apă-aer de spălare care permite îndepărtarea materialului reținut fără necesitatea fluidizării întregului pat. Particulele se vor aranja în strat formând goluri de diferite dimensiuni funcție de adâncime. Astfel crește potențialul de reținere al particulelor din suspensie în partea inferioară a patului.

Filtrul stratificat multimedia sau dual mediu. Patul filtrant cu două medii poate avea straturi din antracit + nisip, cărbune activ + nisip, granule de rășină + nisip, granule de rășină + antracit. Patul cu mai multe medii poate fi compus din: a) antracit + nisip + granule sau ilmenit; b) cărbune activ + antracit + nisip; c) rășină sferică + antracit + nisip încărcate într-o anumită pondere; d) cărbune activ + nisip + ilmenit (oxid natural de fier + titan în sistem cristalin). Valorile tipice pentru debitele specifice pentru fluidizarea diferitelor straturi sunt de $1,79 \dots 1,96 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ min}$.

5.3.2. Osmoza inversă – hiperfiltrarea

Osmoza este fenomenul de curgere a unui fluid printr-o membrană permeabilă la apă și impermeabilă la săruri care separă două soluții apoase cu concentrații diferite. Apa trece prin membrană, sub acțiunea diferenței de concentrație, până se constituie la echilibru presiunea osmotică care blochează fenomenul de curgere. Osmoza inversă reprezintă fenomenul de concentrare al unei soluții sub acțiunea unei diferențe de presiune superioară valorii de echilibru.

Presiunea osmotică apare în fenomenul fizic de curgere al unui fluid printr-o membrană care desparte două faze lichide de concentrații diferite. Diferența de presiune Δp care se stabilește între cele două părți ale membranei semipermeabile este $\Delta p_{os} = \Delta C R T$ [Pa] (fig. 5.10), unde ΔC este diferența de concentrație în moli/m^3 , $R = 8314 \text{ J/mol K}^0$ – constanta gazelor perfecte, T [K⁰] – temperatura absolută. În cazul apei de mare care conține circa 35 gr NaCl/l, la temperatura de 15°C, apare o presiune osmotică de $\Delta p_{os} = 14,38 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Acest

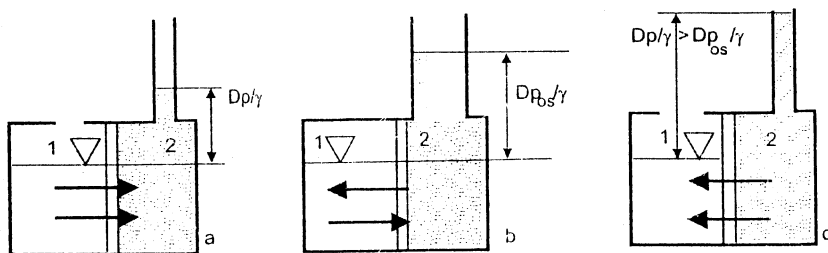


Fig. 5.10. Schema osmozei directe și inverse:
a – osmoza directă; b – echilibrul osmotic; c – osmoza inversă
1 – apă curată; 2 – apă uzată încărcată cu săruri – mediu polifazic.

parametru este utilizat la calculul sistemului de epurare cu osmoză inversă. Presiunea osmotică într-o soluție apoasă este o măsură a energiei libere a soluției. Soluțiile cu multă sare au o presiune osmotică ridicată.

Osmoza inversă sau hiperfiltrarea permite reținerea particulelor cu dimensiuni atomice și cele caracteristice ionilor între $1 \cdot 10^{-6}$ și $1 \cdot 10^{-3}$ micrometri.

Factorii care influențează mecanismul de curgere prin membrana semipermeabilă sunt: presiunea, concentrația, natura substanțelor dizolvate, temperatura. În cadrul procesului de osmoză directă apare la suprafața membranei un fenomen de concentrare a soluției până la un nivel care creează o barieră în trecerea apei. Aceasta opune rezistență maximă, generând apariția diferenței de presiune $\Delta p_{osmotic}$ care trebuie învinsă în osmoza inversă. Acest fenomen este denumit polarizarea de concentrație a membranei.

În osmoza inversă debitul de apă Q este dat de relația

$$Q = K_p \frac{A}{s} (\Delta p - \Delta p_{os}) K_t,$$

în care K_p este coeficientul de permeabilitate al apei prin membrană, A – suprafața activă a membranei, s – grosimea membranei semipermeabile, Δp – diferența de presiune aplicabilă, K_t – coeficientul de temperatură – coeficientul care consideră influența temperaturii asupra viscozității. Debitul de apă este cu atât mai mare cu cât crește temperatura; la o creștere de 15°C apare o majorare de circa 2,5...3,0%.

Instalația pentru osmoză inversă (fig. 5.12) este alcătuită din: a) echipament pentru filtrare destinat îndepărtării solidelor în suspensie, a substanțelor grase etc., în scopul prevenirii colmatării membranei; b) bateriile de osmoză inversă realizate sub forma unor recipiente sub presiune; c) echipamente de pompare de joasă și înaltă presiune precum și turbina de recuperare a energiei de presiune. Apa uzată 1 este preluată de pompa de joasă presiune 2 și dirijată către sistemul de filtrare 3. Apa este preluată de pompa de înaltă presiune 4 și introdusă în celula de osmoză inversă 5. Apa purificată iese prin 7, iar cea concentrată, de înaltă presiune, trece prin turbina de recuperare a energiei de presiune.

Coloana verticală de osmoză inversă (fig. 5.13) este compusă din conducta 1, membranele 2 menținute la distanță de suportul 3. Apa uzată 5 este repartizată în spațiul unei celule formate

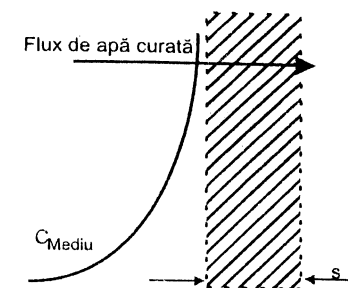


Fig. 5.11. Flux prin membrană.

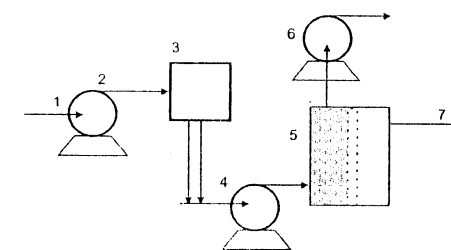


Fig. 5.12. Schema instalației pentru osmoză inversă:

- 1 – apă brută; 2 – pompă alimentare;
- 3 – filtru; 4 – pompă de înaltă presiune;
- 5 – recipient pentru osmoză; 6 – turbină pentru recuperarea energiei hidraulice;
- 7 – apă purificată.

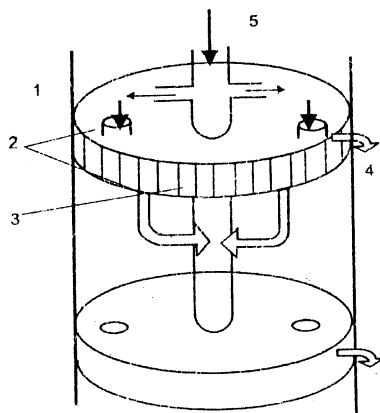


Fig. 5.13. Schema coloanei de osmoză:
1 – coloană; 2 – discuri; 3 – membrane;
4 – apă purificată; 5 – apă brută.

înalt de desalinizare 98,5% și membrana subțire permite un debit rezonabil de fluid. Când sunt separate din apă macromoleculele organice, de exemplu proteine, mecanismul este ca cel de filtrare; în acest caz procesul este denumit ultrafiltrare.

din două membrane. Sub acțiunea presiunii ridicate apa trece prin membrană și este evacuată prin 4.

Membrana trebuie să reziste la diferențe mari de presiune 200...1000 bari. Ca materiale pentru execuția membranei se folosesc: a) acetatul de celuloză, fabricat după metoda Loeb-Sourirajan, destinată desalinizării apei de mare; b) nylon – la epurarea apei din industria celulozei și hârtiei și la concentrarea sucurilor naturale de fructe.

Membrana din acetat este preparată astfel încât să existe un film subțire de 0,2...1,0 microni de polimer foarte dens. Filmul dens permite trecerea numai prin difuzie. Natura diacetatului de celuloză este astfel încât apa este destructurată în film și nu permite trecerea sării prin ea.

Aceasta conduce la realizarea unui grad

6 DEZINFECȚIA APELOR UZATE

Bacteriile, virusii, protozoarele sau paraziții existenți în apele deversate pot declanșa boli infecțioase deosebit de periculoase pentru sănătate (bolile de origine hidrică – germenii holerei, febrei tifoide sau cei ai hepatitei virale). Maladiile infecțioase, transmise în special prin materiile fecale, pot conduce la apariția de epidemii diareice, hidrice. Agenții patogeni sunt factori poluanți care se disting, de cei chimici, prin următoarele: a) nu apar sub forma unei soluții, ci există ca particule discrete; b) elementele patogene se găsesc depuse sau adsorbite pe substanțele în suspensie și deci riscul de apariție a unei infecții nu depinde de concentrația lor medie în apă; c) unele elemente patogene se multiplică atunci când mediul este favorabil – alimente, băuturi – și deci crește riscul contaminării; d) relația doză/effect nu este cumulativă în cazul elementelor patogene. În general, în apele uzate urbane sunt $10^7...10^9$ bacterii coliforme totale/100 ml și $10^6...10^8$ bacterii coliforme fecale/100 ml. Procesele fizice pot elimina 60...70%, iar o parte din ceea ce a rămas poate fi distrusă prin procedeele biologice și chimice.

Dezinfecția este operația prin care se urmărește neutralizarea și distrugerea germenilor patogeni, a virusurilor, a paraziților pentru a împiedica orice contaminare la deversarea apelor uzate sau epurate în mediul înconjurător. În principiu, epurarea biologică este capabilă să producă apă de calitate microbiană bună; dezinfecția finală trebuie să constituie o ultimă barieră de siguranță. Prin acțiunea oxidantă acest procedeu conduce la îmbunătățirea gustului, a mirosului și elimină unele materii minerale dizolvate. Cu cât oxidantul este mai puternic cu atât este mai bună dezinfecția. Ea se poate realiza prin metode fizice – termice, electrice, lumină solară, expunere la radiații ultraviolete, microunde, ultrasunete, iradiere cu raze gamma sau chimice – cu oxidanți chimici: halogenii și compușii lor activi, ozon, permanganat de potasiu, apă oxigenată sau tratare cu ioni metalici (argint). Metodele chimice cu reactivi oxidanți au o largă aplicabilitate datorită eficienței ridicate și economicității procesului.

Factorii care influențează dezinfecția sunt: a) tipul și natura microorganismelor; b) natura și cantitatea de dezinfecțant sub forma sa activă; c) starea psihologică a microorganismelor și a biofilmului; d) rezistența microorganismelor la dezinfecțant; e) doza de tratare cu dezinfecțant precizată prin concentrația

reactivului și timpul de contact; f) factorii inhibitori ai procesului: pH-ul amestecului polifazic, temperatură, mediul ionic etc.; h) interferența fizică și chimică a compușilor din apă cu dezinfectantul (de exemplu, compușii organici dizolvați, turbiditatea, materiile anorganice); i) diferența dintre speciile microbiene.

În apele uzate există o multitudine de germeni de natură diferită care se pot clasifica în următoarele categorii: bacterii, viruși și paraziți. **Bacteriile**, la rândul lor se divid în: a) grupul bacteriilor care trăiesc în intestinalele animalelor cu sânge cald: bacteria holerei, tifoidă și *paratyphoid salmonella*, *escherichia coli* (cauzează gastroenterite); b) grupul de bacterii *leptospiris*; c) grupul bacteriilor ce cauzează boli de piele: *pseudomonas aeruginosa*, *staphylococcus aureo*, specii de *streptococci* sau *aeomonas*. **Virușii** sunt prezenți în apele uzate în circa 30 specii clasificate în: a) *enterovirus* (cel al poliomeleitei, al meningitei etc.); b) hepatita A, hepatita B; c) *adenovirus*; d) *reovirus*. **Paraziții** cuprind mai multe specii grupate în fungi (pot fi patogeni și cauza infecții ale pielii), *protozoa* (agentul dezinferiei, *giardia intestinalis* etc.), *helminths* (se întâlnesc în climatul tropical). Așadar, există o mare varietate de germeni care au o comportare diferită la tratarea cu agentul dezinfectant.

Dezinfecția trebuie să distrugă microbii și protozoarele: *entamoeba*, *histolytica*, *giardia lambia*, *noegleria*, *fowleri* – paraziți intestinali – *giardia*, *acanthamoeba*. Acești paraziți generează boli intestinale și pot cauza chiar moartea persoanelor.

Metodele de dezinfecție a apei sunt: a) fizice – căldură, electricitate, radiații ultraviolete; b) chimice – clor, ozon, permanganat de potasiu; c) biologice – membrana filtrelor lente; d) oligodinamice.

Doza de tratare cu dezinfectant (clor, ozon, tratare cu ultraviolete etc.) se exprimă prin produsul dintre intensitatea și timpul de expunere.

Dezinfecția se desfășoară după o lege de ordinul I

$$N = N_0 \exp(-Kt) \quad (6.1)$$

unde N , N_0 reprezintă numărul de germeni dintr-un volum de 100 ml. Constanta vitezei de inactivare K este precizată prin legea lui Watson $K = C^n t$, în care C [mg/l] este concentrația dezinfectantului, iar t [s] – timpul de expunere necesar pentru inactivarea unui anumit procent din populația bacteriană, n – coeficient de diluție.

6.1. Metode fizice pentru dezinfecție

Fierberea. Pentru distrugerea germenilor și a obține o apă perfect dezinfectată este necesar ca apa să fiarbă circa un minut, la presiunea atmosferică de la nivelul mării. La altă altitudine se adaugă câte un minut pentru fiecare 1000 m. Fierberea apei este un procedeu sigur, dar costisitor.

Dezinfecția cu ultraviolete. Mecanismul primar de acțiune a radiației ultraviolete, cu lungimea de undă de 265...310...500 nm, în uciderea micro-

organismelor, este distrugerea acizilor nucleici celulari în special acidul dezoxiribonucleic. Lampa cu vapori de mercur de presiune scăzută emite circa 92% din lumina ei pe lungimea de undă de 254 nm – valoare optimă pentru acțiunea germicidă. Doza se referă la intensitate și timp și se recomandă mai multe lămpi distanțate la 12,5...50 mm. Coeficientul de absorbție a radiației ultraviolete este de $0,4 \text{ cm}^{-1}$, iar transmitanța 67%.

Legea distrugerii germenilor microbieni este

$$N = N_0 \exp(-KJt) \quad (6.2)$$

unde N , N_0 reprezintă numărul de germeni dintr-un volum de 100 ml, K [$\text{cm}^2/\mu\text{W s}$] este constanta vitezei de inactivare, J [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$] – intensitatea specifică a energiei pentru cazul factorilor fizici, t [s] – timpul de expunere. Doza de expunere D [$\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$] rezultă ca produs al intensității radiației UV J [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$] și timpul t [s] sau $D = J t$. Constanta vitezei K reprezintă panta dreptei $\ln N/N_0 = f(D)$ sau $\ln N/N_0 = f(J t)$. Astfel, de exemplu, în cazul radiațiilor ultraviolete se recomandă pentru constanta vitezei formula $K = 1,45 \cdot 10^{-5} J_m^{1,3}$. Valoarea intensității medii $J_m = 9800 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ depinde de raportul dintre puterea actuală și cea a lămpii, precum și a transmitanței lămpii de cuarț care este de circa 67%.

Dacă în apă apar procese de floclare sau de biofloclare radiația UV nu este capabilă să penetreze aceste particule și efectul dozei este mai redus. Așadar, procesul de dezinfecție cu UV este destinat microorganismelor izolate în timp ce bacteriile din flocoane sunt protejate. Pentru a lua în considerare acest efect se modifică relația (7.2) sub forma $N = (N_0^* + N_p) \exp(-KJt) + N_p$, unde N_0^* reprezintă densitatea numerică inițială a neagregatelor, N_p – densitatea microorganismelor asociate în particule care nu este afectată de radiația UV. În tot acest proces intervine un coeficient de adsorbție al radiației, notat cu α , ale cărui valori depind de apă. Astfel, pentru apă brută $\alpha = 0,466 \text{ cm}^{-1}$, apă filtrată $\alpha = 0,404 \text{ cm}^{-1}$. Uzual se recomandă valoarea $\alpha = 0,372 \text{ cm}^{-1}$ pentru apa brută și $\alpha = 0,358 \text{ cm}^{-1}$ în cazul apei filtrate.

Procedeul prezintă următoarele avantaje: a) în urma tratării nu apar produși chimici toxici reziduali; b) radiația ultravioletă are proprietăți antivirucide; c) procedeul are o fiabilitate ridicată; d) este simplu la operare; e) costurile sunt apropiate de cele ale clorinării. Dezavantajul metodei este că tratamentul nu este remanent (remanentă – persistența în timp a anumitor caracteristici – de exemplu în acest caz puterea biocidă).

6.2. Metode chimice pentru dezinfecție

În mod obișnuit în dezinfecția chimică se folosesc: clorul gazos, derivatele clorului (hipocloritul de sodiu – apă de Javel, dioxidul de clor, hipocloritul de calciu-pulbere, cloramina minerală și organică), ozonul.

În procesele de dezinfecție ale apelor intervin următorii parametri fundamentali: a) *cantitatea de dezinfectant* – care este eficientă sub forma sa activă (clor rezidual liber > 0,5 mg/l); b) *timpul de contact* dintre agentul dezinfectant și apa uzată supusă procesului (mai mare de 30 minute în cazul clorului); c) *puterea letală* a dezinfectantului – eficiența lui proprie; d) *susceptibilitatea microorganismelor* la distrugere sau inactivare – puterea lor de rezistență la acțiunea agenților chimici de dezinfecție; e) *factorii inhibitori* ai procesului – în special cei fizico-chimici ai apei supuse procesului de dezinfecție cum sunt pH (mai mic de 8 – pentru clor), temperatura, mediul ionic; f) *concentrația compușilor organici*, a amoniului, fierului, manganului și mai ales sulfurile care reacționează cu clorul și generează reacții chimice speciale; g) *turbiditate*, care nu poate să depășească valoarea medie de un grad.

Modelarea matematică a cineticii procesului de distrugere al celulelor vii se face prin legea lui Chick scrisă sub forma proporționalității dintre viteza de distrugere și numărul de microorganisme rămase în viață $\frac{dN}{dt} = -KCN$. Difuzia

dezinfectantului prin peretele celulei vii, care limitează concentrația substanței active în interiorul microorganismului, este proporțională cu timpul de contact. Integrată între limitele (N_0 , N_t); (0 , t) se obține $N_t = N_0 \exp(-Kt)$, unde N_0 , N_t reprezintă numărul de microorganisme prezente în apă la momentul inițial și, respectiv, la timpul t oarecare, K – coeficient specific de letalitate cu valori dependente de tipul bacteriilor și de dezinfectant, C – concentrația dezinfectantului sub forma sa activă, t – timpul de inactivare. Acest din urmă parametru este deosebit de important, deoarece scăderea numărului de microorganisme active de la 10% la 1% necesită practic o dublare a timpului de contact.

Green și Stumpf au arătat că în procesul de dezinfecție clorul reacționează cu enzimele metabolice ale celulelor; distrugerea enzimelor provoacă moartea celulelor vii. Viteza de reacție, numărul de celule vii distruse în unitatea de timp, este dată de legea lui Chick.

6.2.1. Dezinfecția cu clor și produșii lui

Clorul este furnizat sub formă: a) *lichidă* – cu greutatea de 1,5 ori mai mare decât cea a apei; el se păstrează în butelii de oțel la presiunea de 6...8 bari, în cantitate de 25...45 kg; sub această formă este de preferat pentru tratarea apei; b) *gazoasă* – lichefiat prin comprimare la 5...10...30 bari și răcire. Conținutul de clor în gazul lichefiat sub presiune este de 99%. Clorul este un gaz extrem de toxic și coroziv la a cărui utilizare se impun reguli de securitate foarte stricte.

Clorul este un dezinfectant și oxidant puternic care asigură un standard ridicat de igienă la un preț de cost relativ scăzut. Dezavantajele folosirii clorului sunt: a) clorul se combină cu fenolii existenți în apele de suprafață – se formează clorfenolul cu gust și miros neplăcut; b) efectul oxidant nu este întotdeauna satisfăcător în special atunci când sunt concentrații mari de substanțe organice sau acizi humici; c) clorul remanent în apă scade în timp și deci trebuie reinjectat în

diverse puncte ale rețelei; d) efectul lui oxidant nu se simte asupra fierului sau manganului conținut în apă; e) oxidarea substanțelor organice și a acizilor humici conduc la formarea produșilor trihalometani care sunt cancerigeni; **reducerea** acestor produși organoclorati în apă se poate face prin schimbarea pH-ului; f) în apă poate să apară o culoare galbenă datorită clorului; g) creșterea consumului de clor când în apă sunt compuși de amoniu; h) o problemă deosebită este interzicerea transportului de clor în cisterne sau containere pe șosele.

Clorul gazos intră în hidroliză cu apa conducând la formarea acidului hipocloros (HOCl) $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HOCl} + \text{H}^+ + \text{Cl}^-$, care la rândul lui se disociază sub forma ionului de hipoclorit $\text{HOCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OCl}^-$. Acidul hipocloros este de circa 80 de ori mai activ ca dezinfectant decât ionul de hipoclorit. Aceste reacții sunt dependente de valoarea pH-ului apei; astfel, la $\text{pH} < 5$ se găsește mai mult Cl_2 și HOCl , în timp ce pentru $\text{pH} > 5$ predominante sunt formele HOCl și OCl^- .

Actualmente se recomandă folosirea dioxidului de clor care prezintă avantaje în raport cu tratarea cu clor: a) nu formează clorfenoli și trihalometani; b) nu reacționează cu amoniu și compușii săi; c) are capacități de oxidare a fierului și manganului; d) capacitate mare de oxidare, de distrugere a germenilor și virușilor și menținerea acestei capacități pe o perioadă mai mare de timp.

Dioxidul de clor este un gaz instabil care se prepară la locul de utilizare prin oxidarea unei soluții de clorit de sodiu (NaClO_2) cu ajutorul clorului sau a acidului clorhidric, conform reacției $2 \text{NaClO}_2 + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2 \text{ClO}_2 + 2 \text{NaCl}$. Instalația este dotată cu: a) pompe dozatoare care trimit soluțiile sub presiune în camere de reacție; b) camera de reacție; c) sistemul de monitorizare care are în vedere: 1. dozarea soluțiilor proporțional cu debitul de apă ce trebuie tratat – comanda pompelor de face direct de la un semnal dat de un debitmetru; 2. senzori amonte și aval de dioxid de clor care corectează dozarea pompelor; 3. controlul dozării dioxidului de clor la introducerea în apă prin injecție la doza de 0,1...0,4 mg/l pentru apa potabilă.

Hipocloritul de sodiu este o soluție lichidă galbenă, corozivă, cu un conținut de clor de maximum 15%. Soluția nu este stabilă în timp, ea pierzând 2...4% pe lună, procent care poate crește dacă se majorează temperatura. Apa de Javel se vinde în stare lichidă cu o concentrație de 152 gr/l care permite obținerea a circa 7,5 litri de soluție cu 20 gr/l.

Hipocloritul de calciu este un praf solid alb, coroziv, alcalin (conține sodă) cu o concentrație de clor de 60...70%. Substanța pulverulentă poate pierde 2,0...2,5% pe an. Pulberea este iritantă și poate genera incendii spontane. Ea trebuie stocată departe de orice sursă de căldură, acizi sau materii organice oxidabile.

Cercetările moderne au arătat că, în general, dezinfecția cu clor și derivații lui conduc la apariția unor subproduși cancerigeni care prezintă riscuri pe termen lung îndeosebi la apa potabilă.

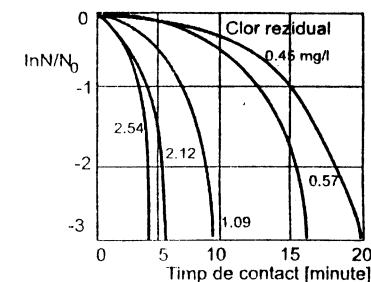


Fig. 6.1. Variația clorului rezidual.

Doza de clor pentru realizarea efectului bactericid depinde de: tipul și numărul microorganismelor, turbiditatea, temperatura și pH-ul apei, conținutul de amoniu, concentrația în substanțe organice. Efectul bacteriostatic are în vedere cantitatea de clor introdusă în apă, factorii care pot produce o post-proliferație bacteriană în special cei legați de calitatea apei (carbon organic dizolvat biodegradabil, amoniu, temperatură etc.).

Pentru distrugere este necesar clor rezidual în apă de 2,0...5,1 mg/l la 23°C în 20 minute. Pentru a distruge 60...100 germeni/ml în 15 minute la pH = 7, la temperatura de 10°C, este necesară o concentrație de clor rezidual de 5 mg/l, la 20°C doar 2 mgCl/l, iar la 30°C un singur mgCl/l. Această concentrație scade cu creșterea timpului de contact și se majorează cu pH-ul și numărul de bacili din apă. Astfel, clorul rezidual poate fi 2,0 mgCl/l pentru pH = 5, 2,5 mgCl/l în cazul pH = 7 și respectiv 7 mgCl/l dacă pH = 9.

Instalații pentru introducerea clorului și a compușilor lui în apă

Clorul gazos se introduce în apa din conducta de transport cu aparate de clorinare. Aparatele de clorinare sub presiune se execută cu contor volumic, manometric sau cu rotametre pentru controlul debitului de gaz introdus – dozare gazoasă. Dispozitivele de clorinare cu vacuum au avantajul că împiedică pierderile de clor. Ele se bazează pe efectul de sucțiune al unui ejector – tubul Venturi. La punerea în funcțiune a unui astfel de dispozitiv se va avea în vedere asigurarea debitului și presiunii de apă solicitate de ejector, precum și montarea corectă a robinetului de reținere. Scopul robinetului de reținere, cu element de închidere de tip bilă, este ca la probele de punere în funcțiune, până la stabilirea regimului

permanent de lucru al ejectorului, să nu intre apa sub presiune în aparat.

Menținerea unei concentrații a clorului peste cea necesară procesului de dezinfectie, concentrație reziduală, este necesară pentru asigurarea stării de salubritate a efluentului. Lipsa clorului liber din apă poate indica apariția unei surse de infectare și ineficiența procesului de dezinfectie.

Figura 6.2 prezintă schema unei instalații de clorinare dotată cu butelie de clor. Clorul din butelia 14 (capacitate 40 l) trece prin dispozitivele de destindere a clorului gazos 10, cel de dozare 9, rotametru 1 în aparatul de realizare a amestecului apă-clor 5. Filtrul de clor 2, manometrele 11, 12, robinetul de reținere a clorului 3, cele de reglaj ale apei 8 și, respectiv, clorului 9 sunt destinate asigurării introducerii dozate a gazului.

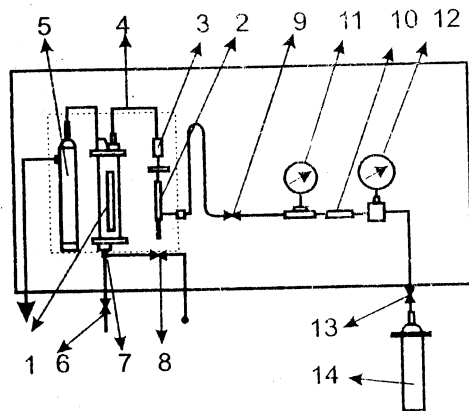


Fig. 6.2. Instalație de clorinare:

- 1 – rotametr; 2 – filtru; 3 – robinet;
- 4 – conductă; 5 – dispozitiv de amestecare;
- 6 – apă; 7 – evacuare; 8, 9 – robinet reglaj apă, respectiv clor; 10 – dispozitiv destindere gaz; 11, 12 – manometr; 13 – robinet;
- 14 – butelie de clor.

Apa se introduce prin 6, iar amestecul iese din conducta 5. Instalația lucrează la o presiune de lucru de 0,5...1,5 bari, pentru un debit de clor de 15...70 gr/oră.

Apa de Javel sau hipocloritul de sodiu trebuie să fie dizolvat înainte de utilizare. Soluția poate fi injectată ca atare sau după diluție astfel încât prin reglajul debitului să se poată controla doza; solubilitatea maximă este de 25 gr/l la 20°C. Deoarece este o substanță puțin solubilă, apare necesitatea de a se prevedea un interval suficient pentru amestecare. În situația în care apa folosită pentru dizolvare este bogată în calciu se va forma carbonat de calciu precipitabil care poate perturba funcționarea echipamentelor de pompare. Pentru ca operația de precipitare să nu apară în conductă soluția diluată se prepară în vase de reacție la un interval de 24 ore înainte de utilizare. Dacă apare o urgență se poate introduce hexametfosfat de sodiu în recipientul de amestec. Introducerea soluției în apă se face prin injecție cu pompe dozatoare.

Hipocloritul de sodiu se poate obține din soluție de clorură de sodiu în câmp electric prin electroclorare. Operația se desfășoară într-un rezervor din material plastic rezistent la coroziunea hipocloritului de sodiu în care sunt amplasați electrozi din titan. Procedul prezintă interes economic atunci când soluția este apă de mare. Consumul specific de energie electrică este de 4,0...4,5 kWh/kg clor echivalent.

Reglarea aparatelor de injecție are în vedere concentrația clorului rezidual impusă la extremitatea conductei de descărcare și debitul de apă de tratat.

Dioxidul de clor se produce la locul de utilizare. Dioxidul de clor, rezultat din reacția clorului de sodiu cu acidul clorhidric, se prepară în instalații cu trei dozări; în această instalație nu se introduce clor gazos. Dioxidul de clor mai poate rezulta din reacția clorului de sodiu cu clorul gazos. Dozarea se realizează gravitațional sau mecanizat, cu pompe dozatoare. Avantajul metodei de dezinfectie cu compuși este că se evită folosirea clorului gazos care prezintă pericole mari la manipulare.

Instalația este dotată cu: a) pompă dozatoare – trimite soluțiile sub presiune în camere de reacție; b) camere de reacție; c) sistemul de supraveghere și control – care are în vedere dozarea soluției proporțional, cu debitul de apă care trebuie tratat; d) senzori amonte și aval de dioxid de clor – care corectează dozarea pompei. Doza de clor pentru apă potabilă este de 0,1...0,4 mg/l.

6.2.2. Dezinfectia cu ozon

Dezinfectia cu ozon se face în scopuri bactericide și virulicide. Ozonul este un gaz albastru cu masa moleculară 48 gr/mol, densitatea relativă la aer 1,66, sau valoare absolută la zero grade 2,143 kg/m³. Cele mai importante aplicații ale utilizării ozonului sunt: a) dezinfectia bacteriană și virală a apei și a aerului; b) potabilizarea apei prin decolorare, deodorizare, deferizare, demanganizare, eliminarea materialelor ce conțin humus și substanțe organice; c) tratarea apelor uzate ce conțin cianuri, sulfuri, reactanți, fenoli, pesticide; d) epurarea parțială a apelor cu recircularea și reutilizarea lor; e) deodorizarea aerului în mediul

înconjurător al stațiilor de epurare; f) tratarea apelor de piscină; g) tratarea apei de mare la crescătorii de stridii.

Avantajele tratării cu ozon sunt: a) dezinfecția rapidă și inactivarea virușilor; b) microflocularea – formarea de substanțe organice precipitabile; c) nu necesită substanțe chimice auxiliare procesului în scopul realizării precipitării, floculării, coagulării etc. d) eliminarea anumitor substanțe chimice rezistente la tratarea biologică și persistente, precum și a fierului, manganului, cianurilor, sulfatilor, fenolului etc.; e) nu conduce la compuși chimici secundari cancerigeni; f) prezența oxigenului rezidual. Dezavantajele sunt: 1. consumul ridicat de ozon pentru tratare; 2. necesită etape și instalații de tratare ulterioară; 3. costuri ridicate de investiție și exploatare; 4. control dificil – transportul ozonului determină eficiența utilizării.

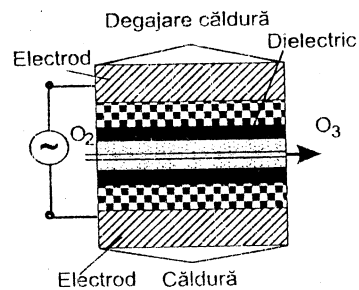


Fig. 6.3. Formarea ozonului.

Ozonul, cu formula chimică O_3 , este obținut prin trecerea aerului uscat sau a oxigenului printre electrozi racordați la o sursă de curent (fig. 6.3). Echipamentul pentru ozonizare are următoarele unități: a) unitatea pentru prepararea aerului; b) generatorul de ozon; c) sursa de energie pentru alimentare; d) reactorul de oxidare/dezinfecție.

Unitatea pentru prepararea aerului. Aerul purificat este comprimat, la presiunea de 7...10 bari, și apoi răcit pentru condensarea vaporilor și separarea picăturilor din apă. Ulterior vaporii de apă rămași și eventualele picături de ulei sunt reținute într-un filtru în care se introduce alumină activată sau gel de silice. Acest filtru este cu cel puțin două coloane de adsorbție dintre care una este în funcționare, iar cealaltă în regenerare. Regenerarea se realizează prin evacuarea apei, fixată în coloană, prin trecerea unui curent de aer uscat în sens invers la un debit de 12...25% din cel de lucru.

În situația în care uscarea se realizează cu regenerare prin procese termice, pierderea de presiune este redusă (circa 0,7 bari) și deci presiunea necesară în instalație este mică. Procesele de uscarea la joasă presiune se realizează în două etape; în prima etapă aerul trece printr-un agregat frigorific care-l răcește și unde se condensează o mare parte din vaporii conținuți. La ieșire aerul este în vecinătatea condițiilor de saturare corespunzătoare temperaturii de 2...5°C. Din prima treaptă aerul intră într-un uscător identic cu cel de mai sus. Pentru regenerare se utilizează aer cald de joasă presiune.

Generatorul de ozon. Aerul trece prin ozonizator care poate fi tubular sau cu plăci din inox amplasate pe verticală. Procesul de formare a ozonului este automat. Datorită degajării căldurii este necesar ca în exteriorul tuburilor să circule apă de răcire. Tuburile metalice exterioare conțin, la interior, cilindri din sticlă calibrată, metalizată la centru, pentru a forma un electrod de mare voltaj. Între diametrul interior al tubului metalic și exterior al celui din sticlă se formează un spațiu prin care circulă aerul uscat. Electrozii sunt conectați la o sursă de înaltă tensiune, 10...20 kV, care produce câmpul electrostatic și descărcările necesare

formării ozonului. El are un consum specific de 20...30 Wh/gr ozon produs, asigurând o concentrație de 10...20 gr ozon/m³ aer.

Sursa de alimentare. De regulă această sursă este de curent continuu obținut prin redresarea celui alternativ trifazat. Sursa de putere este dotată cu redresor, sistemul de control și reglaj, echipamentele de protecție. Consumul de energie este de circa 24% pentru comprimarea aerului, 70% producția de ozon și 6% pentru distrugerea ozonului rezidual.

Reactorul de tratare cu ozon. Ozonul este insuflat prin dispozitive de dispersie într-un bazin închis, dimensionat la un timp de contact de 30 minute. Pentru tratarea cu ozon a apei potabile slab încărcate se folosește instalația din figura 6.4, a. Aceasta este alcătuită dintr-o cameră de contact 2, pentru 4...6 minute, în care se introduce aerul ozonizat prin dispersie în bule.

Camera are două compartimente, cu închidere hidraulică, 1 de admisie și 3 de evacuare. Figura 6.4, b prezintă schema unei instalații cu două camere de contact în serie. Prima cameră 2 este destinată să asigure necesarul chimic de oxigen, iar a doua 4 corespunde acțiunii de dezinfecție.

Camera are două compartimente, cu închidere hidraulică, 1 de admisie și 3 de evacuare. Figura 6.4, b prezintă schema unei instalații cu două camere de contact în serie. Prima cameră 2 este destinată să asigure necesarul chimic de oxigen, iar a doua 4 corespunde acțiunii de dezinfecție.

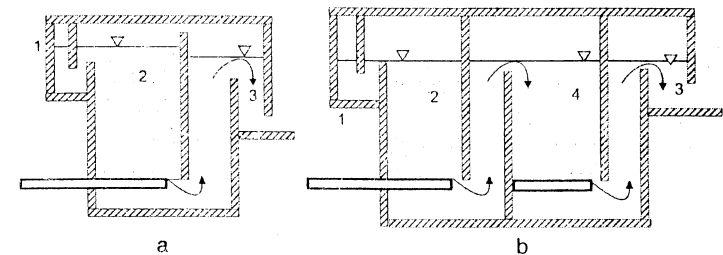


Fig. 6.4. Camere de contact cu ozon simplă și în serie:

a – cameră simplă de contact; b – cameră de contact în serie
1 – admisie apă; 2 – cameră de ozonizare prin transfer;
3 – evacuare; 4 – cameră secundară de ozonizare.

Pentru deferezarea și demanganizarea apei, prin acțiunea oxidantă a ozonului, se utilizează o instalație cu două camere de contact, prezentată schematic în figura 6.5. Instalația are o eficiență ridicată datorită recirculării aerului ozonat rezidual. Soluția este adoptată și pentru tratarea cu ozon a apelor uzate.

Figura 6.6, a prezintă introducerea ozonului cu ajutorul unui injector care utilizează presiunea apei de circa 0,2 bari. Figura 6.6, b prezintă schema unei instalații în care ozonul este introdus în apă prin dispersia în bule. Dizolvarea și omogenizarea sunt forțate de un amestecător mecanic cu flux axial descendent.

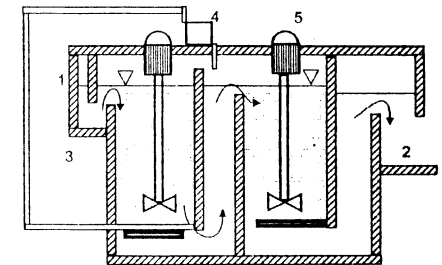


Fig. 6.5. Camere de contact cu recircularea aerului ozonat:

1 – admisie apă; 2 – evacuare apă;
3 – introducere ozon; 4 – compresor;
5 – amestecător.

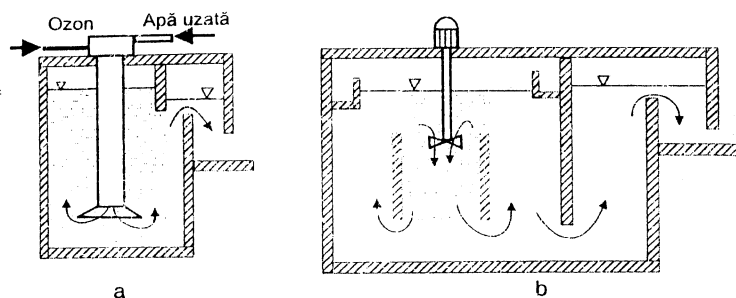


Fig. 6.6. Schema instalațiilor de ozonizare cu introducere prin ejector și dispersie în apă:
a – introducerea ozonului cu injector; b – dispersia ozonului și forțarea amestecului cu echipament mecanic.

Aerul ozonizat se poate introduce în apă și cu un injector, sub presiune, pe conducta hidraulică de transport. Instalația este prevăzută cu pompă, aleasă pentru presiunea necesară injectorului și cu rezervor de capăt.

Ozonul este un gaz instabil care se descompune în apă cu o viteză dependentă de pH-ul apei, temperatură, natura și concentrația sărurilor dizolvate, materiale în suspensie. În apa uzată este deosebit de dificil de precizat viteza de descompunere, deoarece sunt multe substanțe care intră în reacții de oxidare datorită puterii mari oxidante a ozonului. Activitatea germinicidă a ozonului este bună dacă acest dezinfectant rămâne rezidual între 0,2...0,5 mg/l la un timp de contact de 6 minute (4 minute pentru apa curată). Pentru realizarea acestei concentrații reziduale în apă (0,4...0,5 ppm) se recomandă aplicarea unei doze de: a) 15...30 mg/l pentru efluentul primar; b) 5...15 mg/l în cazul efluentului secundar; c) 5...10 mg/l pentru efluentul terțiar după precipitarea chimică și filtrare.

6.2.3. Dezinfecții diverse

În tehnica tratării și epurării apelor se folosesc și alte sisteme de dezinfecție, cu eficiență scăzută și utilizare limitată la cazurile speciale. În general se folosesc ca reactivi: a) permanganat de potasiu – utilizat la stațiile de tratare a apelor; b) cloramina – se folosește ca dezinfectant la stațiile foarte mici datorită costurilor relativ ridicate; c) brom – dezinfectant pentru piscine; d) amestec de halogeni (clor, brom) – folosit la piscine și recomandat în ultimii ani și pentru apele uzate; e) argint – folosit, uneori, la piscine; f) fluor – utilizat cu precauție la stațiile de tratare.

7 INSTALAȚII MONOBLOC PENTRU EPURAREA APELOR UZATE

Aceste instalații trebuie să aibă o concepție și construcție specială compactă pentru a realiza toate operațiile impuse de tehnologia de purificare. Ele se proiectează astfel încât să poată fi transportate pe un trailer până la locul de amplasare. În situația în care debitul depășește posibilitatea instalației se vor pune mai multe în paralel și se conectează la rețea. Instalațiile de acest tip trebuie să fie simple, ușor de construit, montat și fără a necesita o supraveghere specială din partea unui operator. Astfel de stații se recomandă gospodăriilor individuale, dificil de racordat la rețeaua de canalizare, sediilor de firme, taberelor, cabanelor, unităților militare, șantiierelor de construcții, hotelurilor, zonelor de agrement etc.

Microstațiile de epurare modulate trebuie astfel proiectate încât să fie cât mai ușoare, iar dimensiunile de gabarit ale elementelor ce pot fi transportate individual să nu depășească gabaritul maxim ce poate fi transportat pe drumurile naționale: lățimi maxime: $B_{max} = 2600$ mm, înălțimi maxime $H_{max} = 2800$ mm și lungimi maxime $L_{max} = 25000$ mm. Orice depășire a acestor gabarite necesită aprobări speciale, care se dau în funcție de problemele legate de perturbarea traficului pe șosele și de eventualitatea dărâmării unor poduri și a ridicării unor cabluri electrice. Microstația trebuie să fie cât mai compactă astfel încât decantoarele și celelalte obiective ale stației să ocupe un volum minim. Ele se construiesc după principiul general al stațiilor destinate debitelor mici de apă, cu încărcări reduse de materie organică și suspensii transportate. De cele mai multe ori ele nu respectă treptele și etapele generale ale unei stații de epurare, dar caută să mențină randamentul de tratare în limite rezonabile. Există astăzi o mare varietate de stații de epurare monobloc, diferența dintre ele constând în tehnologia de epurare adoptată și deci implicit calitatea efluentului, materialele din care sunt confecționate, gradul de automatizare, numărul de locuitori pe care îi poate deservi. În continuare se prezintă câteva variante de microstații de epurare.

Varianta 1 – Treaptă mecanică, biologică și chimică. Această variantă reprezintă o stație de epurare a apelor uzate completă, ce cuprinde treaptă fizică (mecanică), biologică și chimică. Treapta mecanică conține: a) grătar; b) bazin de egalizare-uniformizare; c) deznisipator; d) bazin flotație naturală și artificială; e) decantor primar. În funcție de necesități se poate prevedea și o stație de

pompăre a apei, dar în mod obișnuit circulația apei în stația de epurare se face gravitațional.

Grătarul este o construcție relativ compactă care ocupă un spațiu mic. La debite mici există variante constructive cu dimensiuni foarte reduse pentru grătar, cum ar fi grătarul coș.

Bazinul de egalizare-uniformizare este un bazin de volum foarte mare, necesar compensării variației debitului de apă uzată și a concentrației substanțelor poluante din apă. Realizarea microstației de epurare exclude varianta realizării și utilizării unui bazin de egalizare-uniformizare, deși microstația funcționează la debite variabile și concentrații variabile. Acest lucru presupune realizarea unui lanț de control a calității apei uzate și de determinare a debitului. În varianta 1 apa evacuată din bazinul de egalizare-uniformizare este pompată către deznisipator.

Deznisipatorul este un decantor cu secțiunea transversală având o geometrie specifică, în care apa uzată circulă cu viteze de 0,2...0,3 m/s. Viteza apei destul de ridicată permite sedimentarea pentru particulele grele și relativ mari. Acest lucru se poate realiza și într-un decantor cu viteze de curgere a apei mult mai reduse. Singurul dezavantaj pentru această variantă este faptul că nu se poate recupera nisipul și pietrișul care se amestecă cu nămolul primar.

Treapta de flotație este compusă din două bazine – bazinul de flotație naturală și cel de flotație artificială. În bazinul de flotație naturală se separă corpurile mai ușoare decât apa, care se adună la suprafața liberă, iar în treapta de flotație forțată se barbotează aer de la o suflantă. Pentru ca procesul de flotație artificială să aibă randamente bune trebuie ca apa să stea în bazinul de flotație minim 2...3 ore.

Decantorul primar este un reactor în care apa circulă cu viteze mici, 5...15 mm/s și în care are loc procesul de separare a fazelor dispersate în mediul apos.

Treapta biologică este compusă dintr-un bazin de aerare și un decantor secundar. În bazinul de aerare apa este amestecată cu nămolul activ. Procesul biochimic, care are loc în bazinul de aerare, este foarte lent și pentru obținerea unor randamente satisfăcătoare de epurare este necesar un timp de 6...8 ore. Volumul este foarte mare și deci nu se poate înscrie bazinul de aerare în gabaritul considerat al microstației.

Treapta chimică este compusă dintr-un bazin de reacție și un decantor terțiar. În apă se poate introduce un reactiv de precipitare-coagulare, cum ar fi sulfat de aluminiu $Al(SO_4)_3$, clorură ferică $FeCl_3$, sulfat feros $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, sulfat feric $Fe_2(SO_4)_3$. În decantorul terțiar se separă nămolul rezultat din suspensiile din apă uzată formate prin precipitare și coagulare, iar în apă continuă reacțiile chimice de precipitare-coagulare.

Concluzii asupra variantei 1: a) bazinul de egalizare-uniformizare nu se poate utiliza; b) nu este necesară stație de pompăre; c) deznisipatorul și decantorul primar pot fi realizate în aceeași construcție cu rol dublu; d) treapta de flotație artificială nu poate fi utilizată; e) treapta de epurare biologică nu poate fi utilizată.

Varianta 2 – Treaptă fizică și biologică. Microstația de epurare este formată din bazine separate, containere din oțel sau din fibre de sticlă. Soluția tehnică cuprinde un bazin de egalizare în care apa este adusă pe o conductă care vine din sistemul de canalizare. Toate bazinele care deservesc microstația de

epurare sunt îngropate aproape total în sol. Verificarea acestora se face prin căi de acces situate la suprafața solului. În bazinul de egalizare, care reprezintă treapta fizică, particulele solide de dimensiuni mai mari se depun pe fundul bazinului. Trecerea în bazinul următor a apei se face printr-un grătar cu scopul de a reține particulele care nu s-au depus gravitațional.

Treapta de epurare biologică cu nămol activ este alcătuită dintr-un bazin de aerare și un decantor. Procesul de oxigenare se realizează prin introducerea de aer cu sisteme de tip spirală verticală, 3...12 bucăți în funcție de capacitatea microstației, antrenate de un motor cu puterea 0,2...1,5 kW. Nămolul decantat este returnat în bazinul de aerare.

Treapta de epurare chimică, îmbunătățește randamentul de epurare și realizează o reducere de aproape 95% a substanțelor poluante prezente în apa uzată. În treapta chimică se urmărește o eliminare a fosforului din apa uzată. Eliminarea compușilor pe bază de azot se realizează prin tehnologia de nitrificare/denitrificare într-un bazin adițional instalației descrise.

Nămolul rezultat din procesul de epurare se reține într-un bazin de colectare. Stația de epurare mai este dotată cu instalații de filtrare și compostare a nămolului.

Microstația poate deservi până la 320 de locuințe în funcție de tipul acesteia. Debitul maxim este de $Q_{max} = 1,5...85 \text{ m}^3/\text{h}$; Mărimea bazinului de oxidare $1,5...26,5 \text{ m}^3$, iar numărul de pompe 2 – 4 cu puterea motorului electric de 0,2...1,5 kW. Varianta descrisă are o construcție compactă, cu control automatizat al întregului proces, o exploatare ușoară și un randament ridicat de epurare.

Varianta 3 – Treaptă fizică de flotație. Microstația de epurare este compactă și ușor de exploatat. Apa uzată este deversată într-un bazin de unde este pompată într-o cuvă de aerare. Pe traseul apei este introdus un reactiv chimic de coagulare și un polimer pentru floculare. Tot acest amestec este injectat într-un bazin de flotație forțată unde bulele de aer se realizează prin echipamente mecanice. La suprafața acestui bazin se formează un strat de spumă care este îndepărtat cu ajutorul unui lanț cu raclete într-un container special. Pe fundul decantorului se depun particulele grele, nămolul care este îndepărtat în exterior cu pompe de nămol. Apa curată este evacuată din decantor pe la mijlocul bazinului prin sifonare pe sub un perete semiscufundat. Instalația poate prelucra un debit între 0,5 și 4,0 m^3/h .

Microstația poate deservi o gamă largă de obiective și instalații orășenești (hoteluri, restaurante, centre comerciale, abatoare, parcuri de distracții) și mici întreprinderi. Mai poate trata ape care conțin uleiuri, grăsimi, substanțe coloidale și suspensii.

Varianta 4 – Treapta mecanică și chimică. Soluția tehnică reprezintă o stație de epurare ce cuprinde bazin de egalizare-uniformizare, bazin de reacție chimică, bazin de flotație artificială și un decantor-flotator.

Bazinul de egalizare-uniformizare este un bazin de volum mare, necesar compensării variației debitului de apă uzată și a concentrației substanțelor poluante din apă. Restricțiile impuse de gabarit nu permit dimensionarea bazinului decât pentru o oră. Construcția bazinului de egalizare-uniformizare este puțin diferită de

variantele clasice pentru că la partea inferioară se introduce aer. Echipamentul de oxigenare este prevăzut cu dispozitive de dispersie – membrane elastomer.

Bazinul de reacție chimică se dimensionează în funcție de tipul reacțiilor și de reactivul folosit, precum și de timpul de retenție a apei în acest bazin. Reacțiile chimice sunt de neutralizare, precipitare, coagulare. Acestea se desfășoară într-un timp scurt. În apă se poate introduce un reactiv de precipitare-coagulare cum ar fi: sulfat de aluminiu $Al_2(SO_4)_3$, clorură ferică $FeCl_3$, sulfat ferros $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, polielectrolit organic. În bazinul de reacție chimic apa va staționa 30 de secunde. Dozajul reactivului este realizat cu o instalație specială. Pentru realizarea amestecării, cu $\delta = 300 \text{ W/m}^3$, se montează în bazin amestecătoare mecanice simple. Din bazinul de reacție apa va trece în următorul bazin printr-un orificiu situat la partea inferioară la o distanță de 50 mm față de fundul bazinului.

Bazinul de flotație artificială este situat lângă cel de reacție chimic. În treapta de flotație artificială se barbotează aer. Pe bulele foarte fine de aer introduse în apă, aderă suspensiile foarte fine, picăturile de ulei care se ridică apoi la suprafața liberă formând un strat de spumă. Aerul introdus în apă este furnizat de un compresor care la capătul conductei de refulare este prevăzut cu un sistem de oxigenare cu bule fine ce conține membrane elastomer fin perforate.

Decantorul-flotator are o construcție specială fiind prevăzut cu un sistem de lanțuri cu raclete care pe la partea superioară împinge spuma rezultată în treapta de flotație forțată spre un jgheab cochilă de unde este evacuată într-un bazin special. La partea inferioară a decantorului echipamentul raclează nămolul de pe fundul bazinului, îl ridică pe un plan înclinat până la un canal de evacuare. De aici, nămolul este transportat pentru a fi deshidratat și prelucrat din punct de vedere ecologic, dar și economic.

După decantor, pe conducta de apă care restituie emisarului lichidul clarificat se face o injecție de clor în scopul distrugerii germenilor patogeni.

Concluzii asupra variantei 4. Datorită simplității această schemă va avea randamente mai reduse. Microstația are o construcție compactă, o funcționare sigură, nu necesită supraveghere și prezintă o fiabilitate ridicată.

Varianta 5 – Instalație compactă de epurare mecano-biologică de tip porolamelbloc. Această instalație este folosită pentru a deservi hoteluri, moteluri, cabane, fabrici mici etc. Instalația este o construcție metalică protejată anticoroziv sau din alte materiale (poliester armat cu fibră din sticlă, oțel inoxidabil) sub forma unui bazin alcătuit din: compartiment de epurare mecanică (grătar, separator de grăsimi și decantor primar de mare eficiență de tip modular), compartiment de epurare biologică (bazin de aerare echipat cu sistem de aerare pneumatică cu bule fine – difuzori poroși și decantor secundar lamelar), sursa de aer comprimat (suflantă sau compresor) conducte, robinete, instalație de aer-lift etc.

Avantajele instalației constau în faptul că într-un bazin compartimentat și echipat corespunzător realizează o bună îndepărtare a poluanților din apele uzate; instalația este executată modular – se poate extinde capacitatea de epurare prin adăugarea unor noi module; permite reducerea costurilor de investiții și a celor de exploatare cu minim 30% față de sistemele clasice

Performanțele sunt: a) eficiența de îndepărtare a materiei organice 94...98 %; b) încărcarea organică a bazinului de aerare recomandată 0,6...0,9 kg CBO_5/m^3 s.u. zi; c) suprafața ocupată 8 m^2 ; d) energie consumată 2,2 kW/h;

e) consum specific de energie 0,3 kW/m^3 apă epurată; f) volum util (bazin de aerare) 6,2 m^3 ; g) volumul decantorului secundar: 21,5 m^3

Varianta 6 – Instalație de epurare biologică de tip aerare mecanică-decantare. Instalația compactă de epurare biologică de tip aerare mecanică-decantare este destinată epurării apelor uzate menajere sau industriale similare pentru debite mici (până la 5,4 m^3/h) provenite de la localități izolate, unități turistice și mici unități agroindustriale. Instalația este executată sub forma unei construcții metalice protejate anticoroziv. Poate fi executată și din alte materiale rezistente la coroziune (poliester armat cu fibre din sticlă, oțel inoxidabil). Instalația compactă are un bazin compartimentat destinat decantării primare de tip vertical, altul de aerare echipat cu aerator mecanic cu ax orizontal tip perie, un compartiment de decantare secundară de mare eficiență de tip lamelar, conducte, robinete, grătar, jgheaburi etc.

Performanțe: a) eficiența de îndepărtare a poluanților din apă 60...95 %; b) încărcarea organică a nămolului recomandată 0,5...0,9 kg CBO_5/m^3 s.u. zi; c) decantorul primar $V = 3,4 \text{ m}^3$; d) decantor secundar echipat cu module lamelare $V = 2,7 \text{ m}^3$, $S = 1,95 \text{ m}^2$; e) bazin de aerare $V = 10 \text{ m}^3$, $S = 2,9 \text{ m}^2$.

Apa uzată brută intră în decantorul primar după ce trece printr-un grătar cu bare rare, fiind condusă la partea inferioară a decantorului primar de tip vertical cu ajutorul unui perete de dirijare. La suprafața apei se ridică grăsimile care sunt îndepărtate periodic prin deversare peste jgheabul de colectare și evacuare a grăsimilor. Depunerea nămolului primar se face în bașa colectoare situată la partea inferioară a decantorului primar de unde se evacuează periodic la platforma de deshidratare a nămolului.

Apa decantată primar, deversată peste un deversor cu perete subțire în bazinul de aerare adiacent, este condusă la partea inferioară a bazinului de aerare. Amestecul de apă uzată și nămol activ este aerat cu ajutorul aeratorului mecanic orizontal de tip perie. Acest amestec este trecut apoi în decantorul secundar prin deversare peste un perete scufundat de dirijare și apoi este condus la partea inferioară a modulelor lamelare din decantorul secundar. În decantorul secundar se separă nămolul activ în bașa colectoare a acestuia, având formă piramidală, iar apa este condusă prin modulele lamelare și apoi pe orizontală către jgheabul de colectare a apei decantate.

Varianta 7 – Instalație de epurare cu peliculă biologică fixată. Instalația compactă de epurare cu biodiscuri este destinată înlocuirii unor stații de epurare mecano-biologice de capacitate mică și mijlocie, în vederea epurării apelor uzate de tip menajer-orășenești rezultate de la unități turistice, așezări umane izolate sau de la unități agroindustriale mici. Ea se compune din: a) decantor primar de tip jgheab, decantor cu etaj prevăzut la capete cu jgheaburi de admisie și evacuare a apei, volum util $V_U = 10,8 \text{ m}^3$; b) treapta biologică formată din patru trepte de epurare echipate cu câte un pachet de biodiscuri tip plane subțiri cu diametrul $D = 2 \text{ m}$ și lungimea $l = 1,642 \text{ m}$; c) motoreductor de antrenare cu puterea de 1,1 kW; $n = 1000 \text{ rot/min}$, reductor în două trepte ce permite realizarea turației de lucru a biodiscurilor $n = 3,5 \text{ rot/min}$; d) decantor secundar (aceleși tip cu cel primar) cu volumul de 14,4 m^3 d) bazinul de fermentare în comun a nămolurilor din

decanorul primar și secundar, precum și a materialului biologic acumulat din cele patru compartimente ale biodiscurilor – volum = 63 m³. Instalația este dimensionată pentru debite între 0,5 și 4 l/s și are o eficiență de reducere de 90...93%.

Avantajele ei sunt: a) eficiențe foarte bune de epurare față de cele clasice; b) costuri de investiție cu circa 25% mai mici decât cele pentru stațiile de aceeași capacitate; c) spații reduse pentru amplasare; d) exploatare simplă; e) flexibilitate în funcționare; f) poate asigura orice grad de nitrificare; g) aerarea și contactul peliculei biologice cu apa uzată pot fi controlate cu ușurință.

Varianta 8 – Instalație de epurare cu suport mobil aerat. Instalația monobloc este alcătuită din trei bazine, două fiind dotate cu suport mobil aerat, iar al treilea fiind un compartiment destinat separării nămolului – clarificării apei. Tehnologia se bazează pe dezvoltarea și fixarea filmului biologic pe un suport mobil care reprezintă piese din material plastic, de formă cilindrică, cu densitatea apropiată de cea a apei, astfel încât plutesc în bazinul de aerare, datorită aerului insuflat. Prin forma lor, oferă o mare suprafață de fixare a filmului biologic.

8 CONTROLUL AUTOMAT AL PROCESELOR INDUSTRIALE

8.1. Comandă și reglare automată

În sistemele industriale există multe condiții tehnice care trebuie îndeplinite pentru ca procesul să realizeze ceea ce este impus prin tehnologie. Astfel, anumiți parametri ca temperatura, turația sau nivelul sunt mărimi fizice, denumite *mărimi de ieșire*, ce trebuie menținute la niște valori dorite, prestabilite indiferent de influențele (perturbațiile) exterioare.

În relația operator uman–proces (instalație tehnologică, parte fixată, sistem supus automatizării) se disting două funcții interdependente între ele – informarea asupra procesului și comanda (fig. 8.1). Această dublă relație se numește **dirijare** sau **conducere**.

Atât funcția de informare, cât și cea de acționare-comandă prezintă un aspect calitativ și un aspect cantitativ.

În cazul **funcției de informare** a operatorului uman asupra modului cum funcționează procesul, aspectul calitativ este realizat prin funcția de **semnalizare**, iar aspectul cantitativ, prin cea de **măsură**.

Funcția de acționare, sub aspect calitativ, se exprimă prin funcția de **comandă**, iar sub aspect cantitativ, prin funcția de **reglare**.

Având în vedere că subiectul acestei lucrări se circumscrie funcției de acționare-comandă, se dorește precizarea, într-un limbaj tehnic accesibil, a celor două aspecte ale acestei funcții:

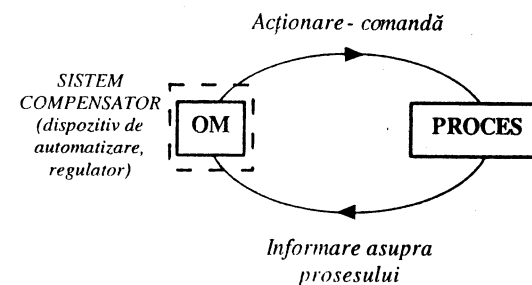


Fig. 8.1. Relația operator uman – proces.

- **Comanda** constă în influențarea unei mărimi de ieșire de către una sau mai multe mărimi pe baza specificației dependenței fenomenologice intrare-ieșire.
- **Reglarea** este o acțiune prin care o mărime, ce se dorește controlată (reglată) și care reprezintă mărimea de ieșire din instalație, este comparată permanent cu o altă mărime, reprezentând mărimea de valoare dorită (sau de referință). Rezultatul acestei comparații va conduce la aducerea ieșirii la referința prescrisă.

Atâta timp cât această conducere se efectuează de către om, ea se numește **neautomată** (impropriu „manuală”). Dacă aceste funcții se desfășoară fără intervenția omului, conducerea va fi **automată**, iar sistemul care descrie la nivel de model elementul ce realizează aceste funcții, **sistem compensator** sau **dispozitiv automat**.

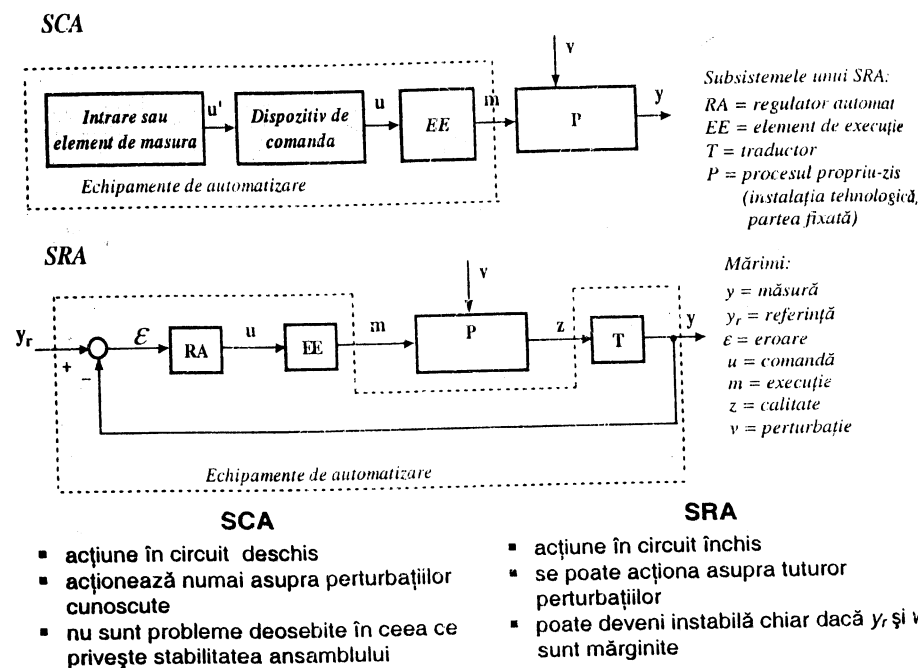


Fig. 8.2. Comparație între un sistem de comandă automată (SCA) și un sistem de reglare automată (SRA).

Ansamblul format din sistemul compensator și proces se numește **sistem automat sau sistem de reglare automată**.

O structură de comandă automată și o structură de reglare automată SRA este prezentată în figura 8.2.

Automatica este acea parte a științelor tehnice, care se ocupă cu teoria și practica conceperii și realizării mijloacelor destinate conducerii proceselor tehnice,

fără intervenția directă a factorului uman, acestuia revenindu-i doar rolul de a supraveghea funcționalitatea aceluia proces și, eventual, intervenția în caz de avarii sau accidente. Aplicarea automatizării la un proces dat constituie operația de **automatizare**.

Automatizarea legată în mod organic de informatică constituie cea mai înaltă treaptă de dezvoltare a tehnologiilor de conducere a proceselor (tehnice), fiind un factor dinamizant al altor ramuri ale științelor tehnice.

Prin automatizarea proceselor se poate realiza atingerea obiectivelor operaționale în condiții mai bune, mai repede și mai ieftin.

Tehnica reglării automate constituie o componentă de bază a automatizării proceselor industriale, care se definește prin abordarea tehnică și practică a conceptelor ce guvernează sistemele de reglare automată (SRA).

Esența funcționalității acestor SRA este de a compara mărimile de proces (nivel, temperaturi, debite, presiuni, concentrație etc.) cu valorile prescrise (dorite, de referință, impuse) și de a le menține la aceste valori prin rejecția sau atenuarea semnificativă a perturbațiilor. În buclele de reglare și control pot exista diferite instrumente și echipamente (traductoare, transmițere, controlere, valve, pompe etc.), dar întotdeauna trebuie realizate trei activități: măsurare, comparare și ajustare.

Tehnica reglării automate implică utilizarea anumitor termeni specifici, cum ar fi:

- **variabila de proces** – este acea mărime de proces care poate modifica procesul într-un anumit mod (presiune, debit, temperatură, încărcare organică, concentrație de suspensii etc.);
- **punct de referință** – valoarea variabilei de proces care se dorește a fi menținută (de exemplu concentrația oxigenului dizolvat în bazinul de aerare la valoarea de 3 mg/l);
- **variabila măsurată** – mărimea de proces a cărei valoare trebuie menținută la punctul de referință; ea poate să nu coincidă cu variabila de proces;
- **variabila manipulată** – mărimea care trebuie modificată pentru a menține variabila măsurată la punctul de referință;
- **eroarea** – diferența dintre variabila măsurată și punctul de referință; poate fi pozitivă sau negativă.

Obiectivul oricărui proces de reglare și control este de a menține eroarea cât mai mică sau de a o elimina complet. Orice eroare are trei componente majore: mărimea, durata și viteza de modificare.

- **mărimea erorii** – valoarea efectivă a diferenței dintre variabila măsurată și punctul de referință;
- **durata erorii** – durata de timp în care persistă eroarea;
- **viteza de modificare a erorii** – raportul dintre diferența erorilor la două momente de timp consecutive și diferența de timp între momentele de apariție ale celor două erori;
- **deviația remanentă** – deviație a variabilei de proces față de punctul de referință, care se menține constantă;
- **perturbație** – modificare nedorită a unuia dintre factorii care influențează variabila de proces;
- **algoritm de control** – reprezintă expresia matematică a funcției de control.

Componentele unei bucle de reglare sunt:

- senzorul (elementul primar de control)
- traductorul
- convertorul
- transmițerul
- semnalul
- indicatorul
- înregistratorul
- regulatorul automat/controlerul
- elementul de corecție (elementul final de control)
- element de execuție

Senzorul este primul element dintr-o buclă de reglare, care măsoară modificările variabilei de proces și raportează aceste modificări. El este un instrument care își schimbă proprietățile odată cu modificarea condițiilor din proces, care pot fi apoi măsurate. Senzorii utilizați în epurarea apelor uzate sunt prezentați în cap. 9.

Traductorul este un instrument care transformă semnalul mecanic într-un semnal electric.

Convertorul este un aparat care convertește un tip de semnal în altul. De exemplu, transformă intensitatea unui curent în tensiune, semnalul analogic în semnal digital etc.

Transmițerul este un aparat care transformă semnalul citit de la senzor la traductor într-un semnal standard și transmite acel semnal la un monitor sau un controler.

Există trei tipuri de **semnale** cu ajutorul cărora se transmit măsurătorile variabilei de proces de la instrumentul de măsură la sistemul centralizat de control:

- pneumatice
- analoge
- digitale

Semnalele pneumatice sunt semnale produse de modificarea presiunii într-o conductă de semnal corespunzător modificării măsurate a variabilei de proces. Sunt mai puțin utilizate, mai ales datorită dezvoltării și prețului scăzut al utilizării legăturilor pentru semnalele electrice.

Semnalele analogice se caracterizează prin variații continue ale unui parametru caracteristic și sunt de regulă semnale unificate. Prin semnal unificat se înțelege adoptarea ca semnal a aceleiași mărimi fizice, cu același domeniu de variație, indiferent unde este plasat elementul de automatizare într-un sistem de conducere și reglare automată. Ca semnale unificate se utilizează:

- curentul continuu (pentru sistemele de reglare a proceselor lent variabile), cu domeniul de variație $I_{cc} = [2...10]$ mA sau $I_{cc} = [4...20]$ mA
- tensiunea continuă (pentru sistemele de reglare a proceselor rapide), cu domeniul de variație $V_{cc} = [0...10]$ V sau $V_{cc} = [-10...+10]$ V
- presiunea aerului instrumental (aer fără impurități și cu umiditate minimă standardizată) produs în instalații speciale, $p \in [0,2...1]$ daN/cm² sau $p \in [0,2...1]$ bar

Semnalele numerice (digitale) se caracterizează prin variații discrete care permit reprezentarea într-un anumit cod a unui număr de valori din domeniul de

variație al semnalului analogic de la intrarea traductorului. Cele mai utilizate coduri sunt:

- binar natural cu 8, 10, 12, 16, 32, 64 biți
- binar codificat zecimal cu 2, 3 sau 4 decade

Metodologia utilizată pentru combinarea semnalelor digitale se numește **protocol**. Acesta poate fi deschis, atunci când poate fi utilizat de oricine care realizează un aparat de control, sau poate fi particular, deținut de o firmă specializată și poate fi utilizat doar cu permisiunea acesteia. Protocoale deschise sunt HART® (*highway addressable remote transducer*), FOUNDATION™ Fieldbus, Profibus, DeviceNet și Modbus®.

Indicatoarele sunt aparate care permit citirea datelor de către om, afișând informații despre proces. Ele pot fi simple, care doar afișează datele, sau complexe, care permit modificarea anumitor parametri de către operator.

Înregistratoarele sunt aparate care înregistrează datele de ieșire de la instrumentele de măsurare. Ele pot înregistra și lista datele ca citiri la anumite momente de timp sau pot realiza grafice sau hărți.

Regulatele automate/Controlerlele sunt aparate care primesc datele de la instrumentele de măsurare, compară aceste date cu valoarea de referință programată și dacă este necesar semnalizează un element de control pentru a realiza acțiunea corectivă.

Regulatele automate/controlerlele locale sunt de trei tipuri: pneumatice, electronice sau programabile.

Regulatele automate/controlerlele pot executa funcții matematice complexe pentru a compara datele de intrare cu valoarea de referință și pot face simple adunări sau scăderi pentru a realiza comparații. Deci, ele primesc date de intrare, realizează funcții matematice și produc un semnal de ieșire. Exemple de controlere:

- PLC (*Programmable logic controllers*) – sunt de obicei calculatoare conectate la echipamente de intrare/ieșire (I/O). Calculatoarele sunt programate să răspundă datelor de intrare prin transmiterea unor semnale de ieșire astfel încât să se mențină valoarea de referință
- DCS (*Distributed Control Systems*) – sunt controlere care pe lângă realizarea funcțiilor de control permit citiri ale stării procesului, mențin baza de date și interfața avansată om-mașină.

Elemente de corecție (elemente finale de control) sunt elementele sistemului de control care modifică fizic variabila manipulată. Pot fi vane, pompe, bobine etc. În procesul de control, viteza de răspuns a elementului de corecție este foarte importantă. Cele mai multe îmbunătățiri ale acestora au fost făcute pentru a micșora acest timp.

Elementul de execuție este partea elementului final de control care produce modificări fizice în elementul final de control când i se semnalizează acest lucru (un exemplu ar fi elementul de execuție al vanei care comandă închiderea sau deschiderea acesteia în urma semnalului de control transmis de controler)

Schema unui sistem modern de achiziție a datelor și control utilizând calculatorul este prezentată în figura 8.3. Variabila măsurată cu ajutorul senzorului/traductorului este convertită într-o mărime electrică. Semnalul electric de la traductor este condiționat pentru a fi adus la o formă potrivită conversiei

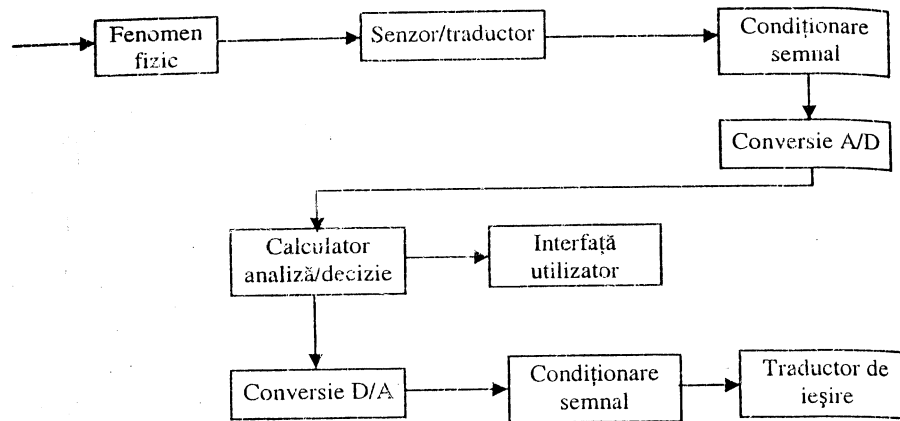


Fig. 8.3. Schema unui sistem de achiziție a datelor și control.

analog-digitale. Această condiționare poate consta în filtrare, amplificare, liniarizare etc. Prin conversie analog-digitală (A/D) datele sunt aduse într-o formă ce poate fi prelucrată de calculator pentru analiză, luarea deciziilor, generarea de rapoarte și interfața cu utilizatorul. Convertorul Analogic Digital reprezintă un bloc sau un circuit care poate accepta o mărime analogică (curent, tensiune) la intrare, furnizând la ieșire un număr care constituie o aproximare (mai mult sau mai puțin exactă) a valorii analogice a semnalului de la intrare.

Spre deosebire de o mărime analogică ale cărei valori se pot găsi în orice punct din domeniul său de variație, mărimea numerică (sau digitală) posedă numai o variație în trepte. Astfel, întreg domeniul de variație este divizat într-un număr finit de trepte elementare de mărime determinată de rezoluția sistemului. În acest mod, diferența între cele mai apropiate valori numerice nu poate fi făcută mai mică decât această treaptă elementară, ceea ce face ca, principial, reprezentarea informației sub forma numerică să fie legată de introducerea unei erori, numită „eroare de cuantificare“.

Cu toate că un sistem pur analogic este capabil (cel puțin în mod teoretic) de o acuratețe mai bună decât un sistem hibrid (analog/numeric) această acuratețe este rar folosită în mod complet. Acest lucru se datorează formei analogice a semnalului care nu permite o citire, înregistrare sau interpretare de mare exactitate. Pe de altă parte, datele sub formă numerică reprezintă deja o formă în care se face manipularea, prelucrarea sau memorarea lor, teoretic fără nici o eroare sau practic, cu erori extrem de mici. Odată transformate în formă numerică, datele pot fi prelucrate matematic, sortate, analizate sau folosite pentru diverse funcții de control mult mai precis, rapid și flexibil decât sub formă analogică. În plus, dacă după achiziția lor este nevoie de un volum mare de prelucrare, forma numerică prezintă din nou avantaj, deoarece posibilitatea de acumulare a unor erori prin manipulări succesive este extrem de mică. De asemenea, forma numerică prezintă un avantaj considerabil în cazul păstrării datelor pentru durate mari, prin posibilitatea stocării lor în memorii nevolatile de mare capacitate.

Orice mărime electrică având o formă analogică trebuie transformată, în prealabil, într-o formă numerică, pentru a putea fi prelucrată sub o formă sau alta de un astfel de sistem de prelucrare.

De cele mai multe ori, datele obținute în urma achiziției și prelucrării numerice trebuie să fie utilizate tot sub formă analogică pentru a realiza controlul sau reglarea anumitor parametri. Această cerință impune transformarea formei lor numerice în formă analogică, proces care se realizează cu convertorul numeric/analogic. Este necesară de asemenea și condiționarea semnalului.

Utilizarea calculatorului ca bază pentru achiziția datelor implică folosirea plăcilor de achiziție ce pot fi montate direct pe unul dintre sloturile calculatorului. Între placa de achiziție și traductoare există plăcile terminale, care permit legarea firelor de la traductoare. Plăcile terminale se află de obicei în afara calculatorului, iar legarea lor la placa de achiziție se face printr-o panglică de conectare.

Sistemele moderne de achiziție a datelor utilizează tehnica eșantionării datelor (*sampled-data technique*) pentru a realiza convertirea domeniilor de semnale analoge și digitale. Aceasta se bazează pe faptul că, deși datele sunt culese pe baza unor reguli, ele nu sunt culese în mod continuu, existând goluri între date succesive în timp. Mărimea datelor lipsă nu este cunoscută și nu poate fi previzionată, dar în anumite condiții se poate considera că ele se află pe o dreaptă între punctele cu date cunoscute. Analiza Fourier arată că semnalele, altele decât cele pur sinusoidale, constau dintr-o multitudine de frecvențe. Teorema lui Nyquist precizează că viteza minimă necesară de culegere a datelor trebuie să fie mai mare decât dublul celei mai mari frecvențe conținută de semnalul de intrare. În ceea ce privește viteza maximă de culegere a datelor nu există o limită, ea fiind determinată doar de caracteristicile convertorului A/D. De aceea, măsurile care trebuie luate au în vedere ca semnalul de intrare să nu aibă componente care să încalce teorema lui Nyquist, prin montarea unui filtru înaintea convertorului A/D.

Semnalele care intră în sistemul de achiziție și control pot conține zgomote nedorite, care pot sau nu să influențeze negativ în funcție de raportul semnal/zgomot și de aplicația respectivă. Pentru a obține o mare acuratețe zgomotele trebuie minimizezate. Semnalele digitale nu sunt influențate de zgomote datorită naturii lor discrete, spre deosebire de cele analoge care sunt direct influențate de perturbații.

8.2. Scheme folosite în automatizări

Activitatea conceptuală a unei instalații automatizate sau a unor echipamente destinate automatizării se concretizează încă din faza de proiectare în scheme ce fac parte integrantă din documentația de execuție a instalației respective. Prin **schemă** se înțelege o reprezentare grafică a diverselor elemente ale unei instalații cu menționarea legăturilor de transmitere a informațiilor dintre ele.

Principalele tipuri de scheme folosite în automatizări sunt:

1. Scheme funcționale

- scheme tehnologice cu automatizări** în care sunt reprezentate elementele instalației automatizate împreună cu legăturile lor funcționale, și pe care sunt figurate elementele și circuitele instalației de automatizare;
- scheme bloc** care cuprind elemente ale instalației de automatizare împreună cu legăturile funcționale dintre ele, astfel încât din acestea să rezulte principiul de funcționare al instalației de automatizare;
- scheme de alimentare** care cuprind alimentarea cu energie electrică a instalației de automatizare;
- scheme desfășurate** care reprezintă legăturile dintre aparate sau dintre elementele componente ale acestora și care permit înțelegerea și urmărirea funcționării efective a circuitelor electrice;
- diagrame funcționale** (de secvențe) care cuprind stările de funcționare succesive ale instalației, cu menționarea eventualelor temporizări între operații succesive.

2. Scheme de montare

- scheme sau tabele de conexiuni interioare** pe baza cărora se execută legăturile dintre aparate, precum și legăturile dintre aparate și șirurile de cleme din interiorul echipamentelor (tablourilor, pupitre de comandă etc.);
- scheme sau tabele de conexiuni exterioare** pe baza cărora se execută legăturile dintre echipamentele de automatizare sau dintre echipamente și aparatele locale (traductoare, butoane de comandă, acționări etc.).

3. Planurile de montare sunt acele scheme care fac parte din „Proiectul tehnic constructiv” al fiecărui echipament de automatizare și servesc la execuția acestuia (echipări de panouri, inscripții pe etichete etc.) sau alte detalii de montaj pentru trasee de cabluri, amplasări de echipamente, montări de aparate locale etc.

4. Documentele generale cuprind informații necesare procurării echipamentelor și materialelor cu care se execută instalația de automatizare proiectată. În această categorie intră: specificațiile de echipamente sau aparate locale, fișele tehnice, jurnalele de cabluri și conducte etc.

În abordarea conceptuală și practică a conducerii SEAU se va merge pe respectarea a două principii de bază:

- Abordarea întregii problematici prin prisma teoriei sistemelor;
- Folosirea preceptelor analizei de sistem pentru stabilirea strategiei metodei tehnicilor și instrumentelor de concepere și abordare a sistemelor/lui informatic dedicat unui proces/sistem obiect;

8.3. Elemente de teoria sistemelor

Noțiunile de bază în teoria sistemelor sunt **sistemul și procesul**. Un **sistem** este un ansamblu care poate interacționa cu mediul înconjurător cel puțin pe două căi, dintre care una trebuie să fie cea a unui transfer de energie. Unui astfel de sistem i se poate delimita un *interior*, conținând un număr oarecare de corpuri macroscopice cu o structură (fizică) continuă, și un *exterior*. **Starea** unui astfel de sistem se descrie printr-un set de parametri (fizici) ce caracterizează *situația din interior și interacțiunile cu exteriorul*. Într-un limbaj tehnic aplicativ prin noțiunea de sistem (tehnic) se înțelege un ansamblu de elemente componente fizico-tehnice, care acționează unele asupra altora într-un mod bine determinat.

Procesul industrial, ca ansamblu de fenomene de natură complexă, concepute, de regulă, de către om cu o destinație funcțională precisă, explicitează transformările masice și/sau de energie și de informații.

Se asociază unui proces industrial o reprezentare de tipul celei din figura 8.4, în care s-au notat prin E_i fluxurile de informații (introduse) transmise procesului, respectiv prin E_e fluxurile de informații extrase din proces.

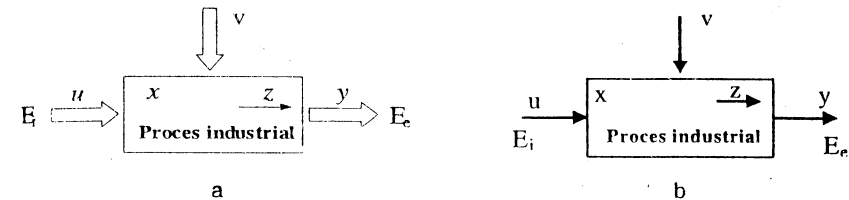


Fig. 8.4. Reprezentarea unui proces industrial sub formă de schemă bloc:

- Sistem cu mai multe intrări și mai multe ieșiri (MIMO);
- Sistem cu o intrare și o ieșire (SISO).

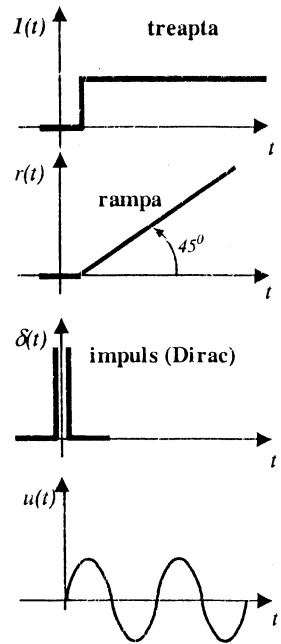
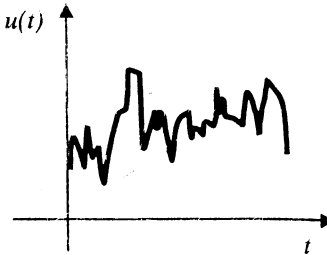
Mărimile fizice ce caracterizează fenomenele din sistemul tehnic se denumesc **semnale**. Variația lor în timp conține pentru beneficiarul instalației o anumită semnificație, deci ele sunt purtătoare de informații.

În aplicațiile industriale semnalele servesc pentru influențarea lui E_i și E_e . O clasificare a semnalelor este dată în tabelul 8.1, iar o clasificare a lor după amplitudine și timp, în tabelul 8.2.

De o importanță deosebită în abordarea sistemică a unui proces, atât în faza de analiză, cât și în faza de proiectare, este stabilirea relațiilor funcționale între mărimile de intrare și cele de ieșire, relații ce permit descrierea comportării sistemului în regim dinamic și staționar. Pentru procese (sisteme) fizice realizabile aceste relaționări se pot obține prin legi fizice sau de altă natură sau prin măsurători. Pe baza acestor elemente se determină **modelul matematic** al procesului. Acesta poate fi reprezentat de ecuații algebrice, diferențiale, liniare sau cu derivate parțiale, logice sau cu diferențe finite. Tipologia sistemelor – liniare/nelineare, deterministe/stohastice, continue/discrete în timp, cu parametri concentrați/parametri distribuiți, invariante/variabile în timp – determină forma sub care se va exprima modelul matematic.

Tabelul 8.1

Semnale test utilizate frecvent în automată

Deterministe	Stohastice
<ul style="list-style-type: none"> pot fi descrise analitic $x=f(t)$ caracterizează fenomenele reproductibile prin relații analitice 	<ul style="list-style-type: none"> nu pot fi descrise analitic caracterizează fenomenele aleatoare descrise prin legi probabilistice
 <p>● <i>neperiodice</i></p> <p>● <i>periodic armonic</i></p>	

Dacă pentru un sistem dinamic Σ și un set de întrebări B legate de comportarea acestuia se găsește o reprezentare M care să poată să răspundă acestor întrebări, atunci M este un model.

Modelul este o reprezentare a aspectelor esențiale ale unui sistem existent (sau ale unui sistem ce urmează a fi construit), care prezintă cunoștințele asupra acestui sistem sub o formă utilizabilă.

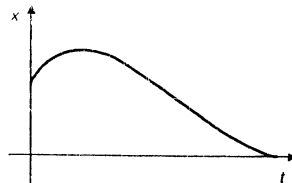
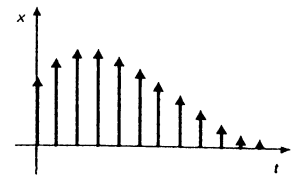
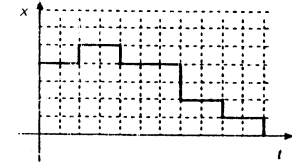
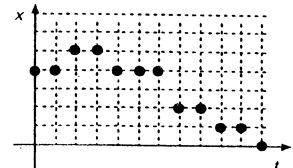
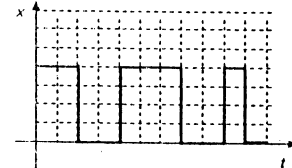
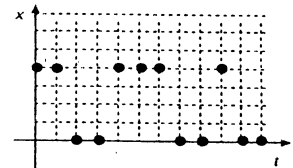
Legat de noțiunile de model și modelare se precizează următoarele:

a) Esența modelării unui proces (sistem) constă în determinarea principalelor relații dintre variabilele dependente și variabilele independente atașate aceluși proces. O modelare eficientă presupune satisfacerea cerințelor de: universabilitate, număr limitat de parametri și identificarea corectă a acestora;

b) Determinarea modelului matematic al unui proces se poate face pe cale analitică (în mod frecvent această modelare se folosește în faza de proiectare a procesului) sau experimental (când procesul este deja în funcțiune);

Tabelul 8.2

Tipuri de semnale

Timp (t)	Tipuri de semnale	
Amplitudine (x)	Timp continuu	Timp discret
Amplitudine continuă	<p>A. Sisteme continue</p> 	<p>B. Sisteme cu eșantionare</p> 
Amplitudine discretă	<p>C. Sisteme tip releu</p> 	<p>D. Sisteme de reglare numerice</p> 
Amplitudine binară	<p>E. Sisteme de comutare binare</p> 	<p>F. Sisteme de comandă digitale</p> 

c) Modelarea matematică presupune adoptarea unor ipoteze asupra procesului (tehnic) considerat, ipoteze ce au în vedere utilizarea ulterioară a modelului determinat;

d) Realizarea unui model implică de multe ori un compromis între simplitate și acuratețe (precizie). Informațiile asupra unui proces pot crea tentația folosirii unor modele matematice complexe. De multe ori un model simplu poate oglindi realitatea mai fidel decât unul mai complicat;

e) Un model corespunde scopurilor propuse dacă diferența dintre rezultatele obținute pe cale analitică și cele obținute experimental sunt mai mici decât erorile impuse;

f) Realizarea unui model abstract pentru un sistem real complex nu este o problemă simplă. Problema se rezolvă prin descompunerea sistemului în subsisteme, cu punerea în evidență a interacțiunilor dintre subprocesse.

În figura 8.5 se prezintă realizarea tehnică a unui produs SISO, unde $x \in \mathbb{R}^n$ este **vectorul de stare**, $u \in \mathbb{R}$ este **comanda**, $v \in \mathbb{R}$ **perturbația**, $y \in \mathbb{R}$

mărimea măsurată, $z \in \mathbb{R}$ mărimea de calitate, iar matricile $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $b, c, d, e \in \mathbb{R}^n$, și prin m s-a notat mărimea de execuție.

Se poate constata că principalele subsisteme componente ale unui proces sunt: **EE** – elementul de execuție, **P** – procesul propriu-zis, **T** – traductor; **EA(M)** – element de acționare – motor; **OR** – organ de reglare; **ES** – element sensibil; **C/A** – convertor/adaptor.

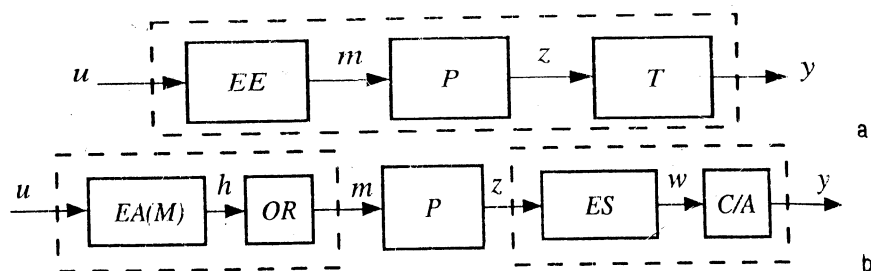


Fig. 8.5. Realizarea tehnică a sistemului dinamic.

8.4. Sisteme dinamice. Clasificări

Într-o formulare generală, un proces se poate exprima prin următoarele relații:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(t, x, u, v) \\ y &= g(t, z) \\ z &= h(t, x) \end{aligned} \quad (8.1)$$

cu $f: \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$, $g: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^p$ și $h: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^q$, în care se admite existența globală a soluției ecuației diferențiale, iar g și h sunt funcții continue.

Reprezentarea matematică (8.1) se numește **sistem dinamic neted sau continuu**, având drept soluție:

$$x(t) = \varphi(t, t_0, x_0, u(\cdot)) \quad (8.2)$$

cu $x_0 = x(t_0)$ și $u(\cdot) = u_{[t_0, t]}$ evoluția lui u de la t_0 la t .

Ipotezele de liniaritate și invarianță temporală simplifică scrierea relației (8.2) sub forma:

$$x(t) = \Phi_t x_0 + \Gamma_t u \quad (8.3)$$

unde primul termen evidențiază *evoluția liberă*, iar cel de-al doilea, *evoluția forțată* până la momentul t al sistemului dat.

Traectoria de stare a unui sistem se definește prin mulțimea următoare:

$$\{\varphi(t, t_0, x_0, u(\cdot)) / t \in \mathbb{R}\} \quad (8.4)$$

Conceptul de sistem dinamic reflectă o manieră de trecere de la ecuațiile fizicii matematice la așa-numitele ecuații de evoluție (8.4), care evidențiază schimbările temporale.

Numim **sistem dinamic discret** sistemul descris prin:

$$\begin{aligned} x(t+1) &= f(t, x(t), u(t)), \quad t \in \mathbb{Z} \\ y(t) &= g(t, x(t)) \end{aligned} \quad (8.5)$$

Sistemele la care variabila de timp t nu apare explicit se numesc **invariabile în timp**, în caz contrar se numesc **variabile în timp**.

8.5. Principii generale de proiectare și analiză a sistemelor de conducere informatizate

8.5.1. Considerații generale

Privit prin prisma teoriei sistemelor, componentele **analizei de sistem**, după Daenzer, sunt prezentate în figura 8.6.

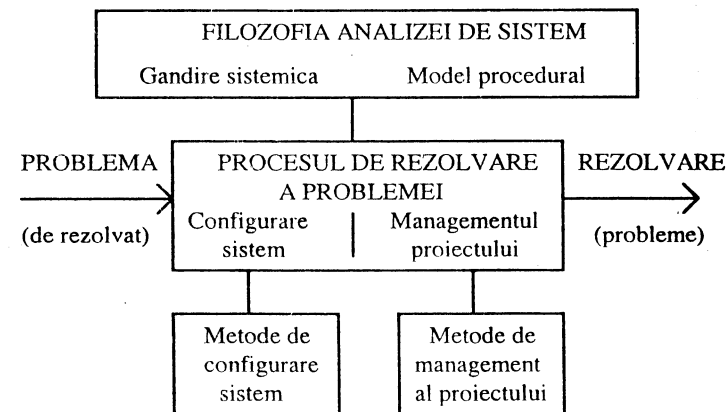


Fig. 8.6. Componentele analizei de sistem.

Se poate constata că **analiza de sistem** este o construcție de metode, tehnici și instrumente destinate tratării problemelor de complexitate ridicată, care

implicit încubă folosirea sistemelor informatice. Analiza de sistem este implicată în ciclul de viață al sistemelor, în particular al celor informatice, deci în proiectarea, planificarea și realizarea lor, inclusiv organizarea și exploatarea acestora. În cadrul acestor activități sunt cuprinse și relațiile sau serviciile sistemului cu mediul exterior.

În analiza de sistem se folosesc următoarele noțiuni de bază:

- **Model** – reprezentarea matematică a dependenței dintre mai multe mărimi. Dacă dependența corespunde unui proces fizic realizabil, se spune că a fost elaborat un **model sistemic**. La un model sistemic există o relație de cauzalitate între mărimi. Această relație împarte mărimile ce caracterizează un model în două clase: mărimi de intrare (cauza) și mărimi de ieșire (efect).

- **Produs informatic** – denumire generică care se referă la sistemul informatic, o aplicație informatică sau produsul program.

- **Aplicație informatică** – utilizarea calculatorului în rezolvarea unui grup omogen de probleme ale unui utilizator individual printre care se disting:

- aplicații de gestiune;
- aplicații științifice;
- aplicații de birotică.

- **Sistem informatic** – ansamblu constituit din următoarele subsisteme (figura 8.7):

- *echipamente (hardware)*, care pot fi: unul sau mai multe calculatoare, memorii, periferice;
- *programe de calculator (software)* compus din: soft de bază, soft de gestionare a bazelor de date, soft de aplicație;
- *personal de exploatare (manware)*, utilizatori de specialitate pentru întreținere;
- *organizarea activităților (orgware)* de pregătire a mediului de achiziție a datelor, de supraveghere a exploatarei și întreținerii sistemului.

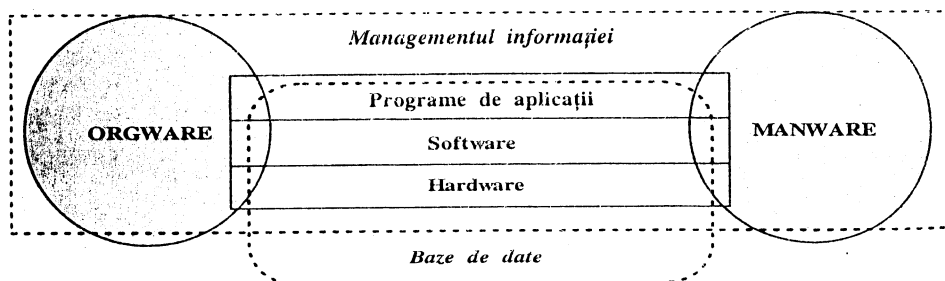


Fig. 8.7. Componentele sistemului informatic [Schwarze].

În figura 8.8 se pune în evidență deosebirea dintre noțiunile de sistem informatic și sistem informațional.

- **Produs program**: sistem complet și documentat de programe, livrabil unui grup de utilizatori, care reprezintă:

- implementarea uneia sau mai multor aplicații informatice la utilizatorii din grup;
- suportul de realizare și exploatare a produselor program aplicative de uz general sau dedicat.

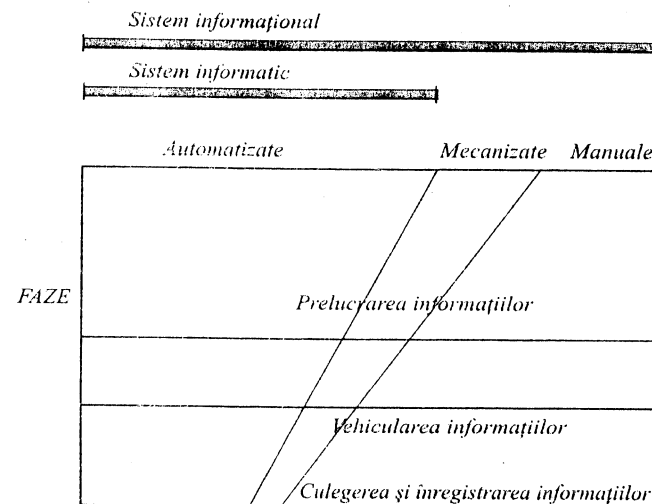


Fig. 8.8. Raportul dintre sistemul informațional și sistemul informatic [Nicolescu].

- **Produs program dedicat** – sistem complet și documentat de programe care rezolvă un grup omogen de probleme ale unui utilizator individual (implementează o aplicație informatică).

- **Ciclul de realizare al unui produs informatic** – partea din ciclul de viață al unui produs informatic în cadrul căreia se realizează respectivul produs.

- **Ciclul de viață al unui produs informatic** – perioada de timp între momentul apariției cererii prin care se solicită realizarea unui produs informatic și momentul scoaterii lui din exploatare.

- **Calculator de proces** – echipament numeric de calcul care poate realiza conducerea unui proces în timp real și care pe lângă interfețele clasice dispune de o interfață industrială prin care se realizează o legătură bilaterală cu procesul condus, precum și de o consolă a operatorului de proces ce permite dialogul operator-calculator.

- **Timp real** – mod de organizare a prelucrărilor prin care calculatorul trebuie să furnizeze, pe baza datelor primite de la un proces, informații necesare de comandă și control într-un interval de timp compatibil cu cel necesar pentru regimul tranzitoriu din proces.

- **Hardware (echipament)** – echipament fizic folosit pentru prelucrarea datelor, spre deosebire de programe, proceduri, reguli și documentația asociată acestora.

▪ **Software** – produs intelectual constând din programe, reguli și documentația asociată pentru funcționarea unui sistem de prelucrare a datelor (noțiunea de software nu include și suportii fizici utilizați pentru a-l manipula).

▪ **Software critic** – componenta software a unui produs informatic a cărui funcționare eronată produce efecte negative foarte mari în mediul utilizator.

▪ **Software de operare (sistem de operare)** – software care controlează execuția programelor și poate să asigure funcțiuni ca: alocarea resurselor, planificarea resurselor, controlul intrărilor, al ieșirilor și gestiunea datelor.

▪ **Software suport** – software care constituie suport pentru realizarea și exploatarea produsului informatic și care va fi încorporat în componentele software ale produsului final; cuprinde: software-ul de bază, software-ul de gestionare a colecțiilor de date, software-ul de comunicație.

▪ **Datele** reprezintă ansamblul descrierilor unui fenomen sau proces.

▪ **Informațiile** reprezintă acele date care aduc un spor de cunoaștere adresantului.

▪ **Fluxurile informaționale** reprezintă totalitatea informațiilor care parcurg circuitele informaționale.

Deficiențele caracteristice în general tuturor sistemelor informaționale sunt: *filtrajul; distorsiunea; redundanța; supraîncărcarea.*

Filtrajul reprezintă modificarea intenționată în cadrul sistemului a conținutului unor informații, de-a lungul fluxului informațional pe care îl parcurg.

Distorsiunea constă în modificarea neintenționată a conținutului informațiilor în timpul parcurgerii de către acestea a circuitelor informaționale.

Redundanța este înregistrarea repetată a acelorași informații sau a unor informații cu conținut asemănător pe suporturi fizice diferite.

Supraîncărcarea reprezintă volumul prea mare de informații a căror analiză nu intră în totalitate în competența nivelului respectiv.

În stabilirea cadrului metodologic și normativ de realizare a produselor informatice, mai precis a sistemelor informatice, nu este lipsită de importanță o privire generală asupra *clasificării* acestor sisteme. O astfel de clasificare trebuie să corespundă unui scop, să definească mulțimea obiectelor supuse clasificării și să stabilească criteriile de clasificare în raport cu care sunt stabilite clasele de sisteme informatice. Mulțimea obiectelor supuse clasificării este constituită din mulțimea sistemelor informatice, sisteme ce nu trebuie privite de sine stătător, ci împreună cu sistemul obiect ce reprezintă o anumită structură socio-economică sau tehnică.

Scopul clasificării este, în special, de domeniu conceptual, fiind însă un mijloc eficient de planificare și urmărire a realizării sistemelor informatice.

În ceea ce privește criteriile, sistemele informatice se pot clasifica după:

– nivelul sistemului obiect pe care se grefează sistemul informatic: sisteme destinate unităților socio-economice de bază, companii, teritoriale sau funcționale generale;

– domeniul de utilizare;

– stadiul atins în evoluția sa de sistemul informatic.

Legat de cel de-al treilea criteriu de clasificare este de menționat faptul că se impune o abordare evolutivă a unui sistem informatic, tranziția de la un stadiu inferior către unul superior marcând atât aspecte cantitative, cât și calitative.

O abordare evolutivă în realizarea unui sistem informatic prezintă o serie de avantaje, cum ar fi: dezvoltare treptată a sistemului, familiarizarea utilizatorului, alocarea generală a resurselor umane și materiale etc.

Trecerea de la un stadiu la altul superior nu se poate face decât având în vedere o serie de **criterii**: extinderea ariei sistemului obiect, justificare economică, grad de integrare și distribuire, modul de organizare a datelor.

În realizarea produselor informatice, în condițiile unei eficiențe ridicate a activităților legate de acest proces, este necesar să se respecte principiile de mai jos.

1. *Delimitarea precisă a sistemului obiect/procesului.* Este necesar încă din prima etapă de proiectare a unui sistem informatic să se traseze frontiera ce delimitează exteriorul de interiorul sistemului obiect.

2. *Fundamentarea pe criterii de eficiență economică a proiectării și realizării sistemelor informatice sau a produselor program.* Trebuie, în permanență, să se aibă în vedere cât se cheltuiește pentru proiectarea, construirea și implementarea unui produs informatic și cât se cheltuiește cu întreținerea acestuia. În raport cu beneficiile obținute din exploatarea produsului informatic trebuie ca investițiile antrenate în procesul de realizare să se amortizeze într-un timp cât mai scurt. În acest fel, există posibilitatea introducerii, la un moment dat, a unui nou sistem, mai performant decât cel anterior și care să fie „la modă” (să nu fie uzat moral).

3. *Participarea beneficiarului la realizarea sistemului informatic sau produsului program.* Această participare trebuie să se facă, în special, în faza de punere în funcțiune. Nu este recomandabil ca beneficiarul să participe la etapele de proiect de detaliu, elaborare, integrare și testare. Participarea beneficiarului este benefică în momentele mai sus amintite, deoarece acesta se obișnuiește cu noul sistem, se adaptează cu el și, din punct de vedere psihologic, efectul de respingere este mult redus.

4. *Adaptarea sistemului și strategia prin care se face acest lucru se face după o estimare cât se poate de riguroasă a resurselor tehnice (echipamente și produse-program generalizabile), umane (personalul de specialitate de la beneficiar) și financiare, în condițiile existenței unor restricții impuse.* Aceste restricții pot fi:

4.1. de tip informațional: o serie de acte normative, legi sau reglementări, care se repercutează asupra datelor prelucrate, a algoritmilor și chiar a bazelor de date aferente sistemului informatic propus;

4.2. de ordin temporal: durata în care o serie de echipamente pot fi procurate sau durata de realizare a unor programe.

4.3. cu caracter evolutiv: situația sistemului informatic aflat într-o tranziție de la un stadiu informatic la un stadiu superior celui precedent din punctul de vedere al performanțelor și al obiectivelor.

5. *Adaptarea unor metode, tehnici și instrumente, care să asigure o înaltă productivitate a etapelor de proiectare și implementare din ciclul de viață al unui produs informatic.* În condițiile în care se dorește realizarea unui sistem informatic care să asigure anumite cerințe, este necesar ca atât proiectarea, cât și implementarea lui să se facă într-un timp cât mai scurt, deci un ciclu de realizare mic, cu o economie însemnată de resurse umane și financiare. Realizarea acestui deziderat impune, pe lângă o serie de măsuri organizatorice, folosirea cu

precădere a soluțiilor tipizate. Practic, se pot aplica următoarele trei soluții de tipizare în realizarea unor sisteme informatice:

- proiecte de sisteme informatice și de produse program aferente pentru grupe tipologice de unități economico-sociale (de exemplu: gestionarea unei bănci de date, modul de afișare a unor mărimi etc.);
- produse program generalizabile (proiecte de programe aplicabile unui domeniu larg de aplicații);
- realizarea de sisteme informatice din elemente tipizate.

În ceea ce privește **cerințele** ce trebuie acoperite de un nou sistem informatic, acestea pot fi catalogate în:

- cerințe de performanță și calitate: fiabilitate, realizarea unor viteze mari de prelucrare a informațiilor sau în comunicația proces-calculator;
- cerințe informaționale: rolul sistemelor informatice, (achiziție, prelucrare, editare date etc.), facilități oferite de sistemul nou propus (interpretarea autorizată și în timp real a rezultatelor, editare on-line sau off-line a unor protocoale, interfața convențională cu utilizatorul, protecția la erori etc.), cerințe de interfață ale sistemului de calcul în raport cu mediul (procesul) sau cu utilizatorul;
- cerințe și restricții cu caracter tehnic și organizatoric în instalare și exploatare: respectarea unor standarde pentru echipamente, asigurarea unei continuități în alimentarea cu energie electrică și a unei frecvențe constante etc.

În activitățile legate de realizarea unui sistem informatic se pot adopta diverse **strategii** funcție de complexitatea proiectului, de resursele antrenate cu acest prilej și de obiectivele urmărite (de exemplu: scurtarea ciclului de realizare, optimizarea utilizării resurselor, grad înalt de integrare, furnizarea rapidă a unor prime rezultate la utilizator), obiective care în majoritatea soluțiilor sunt contradictorii.

Practica realizării acestor sisteme arată că dezvoltarea în etape sau stadii (versiuni) succesive a unui sistem, cu alte cuvinte, o *dezvoltare evolutivă a sistemului informatic*, este posibilă și chiar de dorit, ea permițând o „maturizare” gradată pe măsură ce sunt identificate cerințele și restricțiile reale și se dezvoltă și baza materială.

În situația în care se pune problema unei tranziții de la un stadiu inferior la un stadiu superior a unui sistem informatic, este necesar să se adopte o modalitate aparte de parcurgere a etapelor de realizare. Se fac, în acest sens, următoarele precizări și recomandări:

a) este necesar ca încă din faza de proiect de ansamblu să se definească stadiile de evoluție a sistemului, delimitându-se aria de cuprindere, resursele și duratele necesare realizării, precum și modalitatea de conversie. Trecerea de la un stadiu la altul se face în aceste condiții prin reluarea ciclului de realizare de la etape de proiectare de detaliu, urmată de elaborare programe etc. Reluarea ciclului presupune și o reevaluare a proiectului de ansamblu, ceea ce implică acțiuni corective asupra stadiilor următoare de evoluție și a resurselor implicate;

b) dacă tranziția de la un stadiu inferior la altul superior se face cu modificarea concepției întregului sistem - se modifică legăturile între componentele funcționale, echipamente, modul de organizare și administrare a datelor - ciclul trebuie reluat din etapa de temă de realizare, avându-se în vedere procedurile de conversie necesare în special în ceea ce privește bazele de date;

c) în toate situațiile în care apare problema acestei tranziții este necesar ca eșalonarea în timp a stadiilor și etapelor să se facă ținând cont de termenele finale stabilite inițial.

8.5.2. Modelarea sistemelor informatice sau a produselor program

O noțiune esențială în definirea unui produs informatic (sistem sau aplicația informatică, produs program) este noțiunea de **sistem obiect**. Pe acest sistem obiect se greșează produsul informatic. Sistemul obiect reprezintă o parte a realității care generează date și care posedă calități ce permit prelucrarea și atribuirea de semnificație acestor date, transformându-le în acest fel în informații.

Plecând de la această noțiune se prezintă câteva aspecte legate de conținutul procesului de concepere, proces ce pune în evidență câteva tipuri elementare de activități de modelare (fig. 8.9).

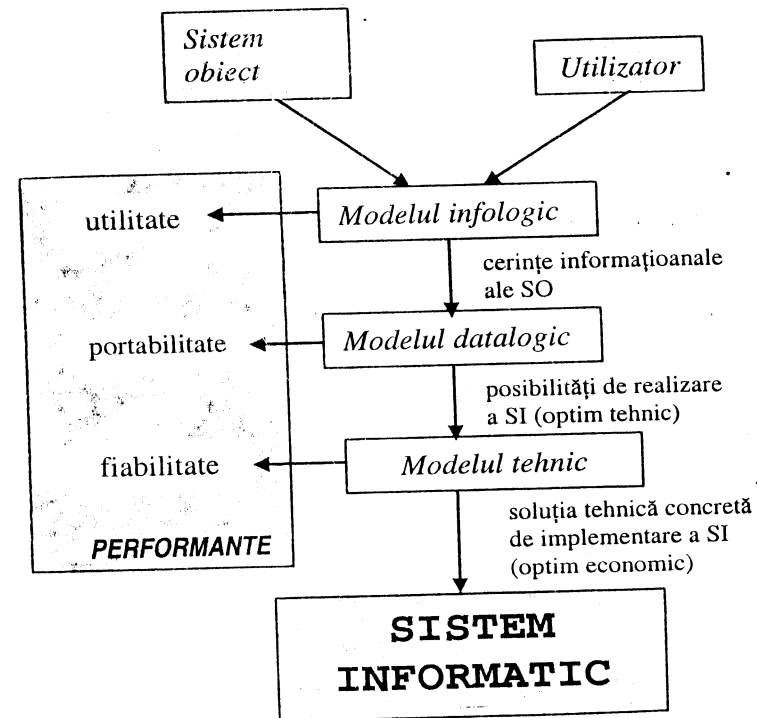


Fig. 8.9. Tipurile elementare de activități de modelare.

Modelul infologic este rezultatul obținut prin modelarea structurii și dinamicii sistemului obiect în scopul punerii în evidență a corelației dintre obiectivele, cerințele informaționale și unii invarianti ai sistemului obiect.

Invariantii sistemului obiect au un rol deosebit în conceperea unui produs informatic și provin din:

- partea informațională a procesului de producție (graful procesului, grafurile care reprezintă structura produselor rezultate din proces).

- procesele decizionale (graful de structura organizatorică a unității de producție).

- activitatea de gestiune (relațiile furnizor-unitate sau unitate-beneficiari, relațiile financiare plăți-încasări).

În definiția modelului infologic termenul de dinamică are sensul de funcționare a sistemului ca un sens de evoluție în timp.

Modelarea infologică are drept obiectiv principal punerea în evidență a cerințelor informaționale ale sistemului obiect, cerințe care trebuie îndeplinite de viitorul produs informatic. În felul acesta se pune în evidență utilitatea produsului informatic.

Modelarea datalogică reprezintă următorul pas firesc în logica procesului de concepere a unui produs informatic, determinată de stabilirea unor mijloace adecvate, mai performante, în raport cu cele existente, pentru satisfacerea cerințelor informaționale ale sistemului obiect.

Modelul datalogic este rezultatul obținut prin modelarea structurii și a dinamicii unui sistem informatic sau produs program cu scopul atingerii, cu rezultate mai performante, a cerințelor informaționale ale sistemului obiect, fără a se lua în considerare însă mijloacele și condițiile practice de construire a sistemului sau produs program.

Spre deosebire de modelul infologic, care este orientat spre utilizator, modelul datalogic este orientat spre o mașină abstractă care să satisfacă cerințele utilizatorului. Modelul datalogic permite obținerea unei imagini a sistemului informatic sau a produsului program foarte apropiată de imaginea fizică.

Deci, la conceperea modelului datalogic, nu sunt luate în considerare tipurile de echipamente, de prelucrare și afișare a datelor, resursele financiare, umane și de timp etc. Acest model este însă necesar pentru a se crea posibilitățile de implementare a produsului informatic pe diferite tipuri de echipamente, deci este o problemă de portabilitate a produsului realizat. Având în vedere evoluțiile pe care le pot avea unele sisteme informatice sau produse-program, trebuie să se asigure o portabilitate atât pentru sisteme informatice unicate sau produse-program independente, cât și pentru sisteme informatice tipizate sau produse-program generalizabile.

Modelul tehnic (fizic) este rezultatul obținut prin modelarea structurii și a dinamicii unui sistem informatic sau produs-program în scopul atingerii, cu rezultate mai performante, a cerințelor informaționale ale sistemului obiect, ținând seama de mijloacele și condițiile practice de construire a sistemului informatic sau produsului program.

Se poate constata că modelarea datalogică, în principiu, poate fi omisă, dar acest lucru poate afecta portabilitatea. Acest procedeu se poate aplica, deși nu este recomandabil, pentru produse-program simple, de tipul aplicațiilor independente, destinate unor cicluri de viață scurtă. În acest fel se poate reduce ciclul de realizare a unor astfel de produse-program.

Trebuie să se sublinieze diferența dintre modelul datalogic și cel tehnic. Modelul datalogic indică mijloacele potențiale de satisfacere optimă a cerințelor utilizatorului, dând contur imaginii unei mașini abstracte. Modelul tehnic nominalizează mijloacele concrete de satisfacere a cerințelor utilizatorului, punând în evidență mașina reală.

Combinarea tipurilor elementare de modelare cu abordarea top-down conduce la două tipuri complexe de modelare: de ansamblu și de detaliu. De exemplu, pentru un sistem informatic cu complexitate apriorică dată, apare necesitatea de abordare conceptuală și practică pe subsisteme și eșalonat. În acest fel, în cadrul modelării de ansamblu se poate realiza secvențial sau concurrent o modelare pe tipuri elementare de modele, urmând ca într-o abordare de detaliu, pentru fiecare subsistem constituent să se realizeze, de data aceasta în detaliu, modelele infologic, datalogic și tehnic.

În cazul produselor-program, dată fiind complexitatea mai redusă a acestora în raport cu sistemele informatice, se poate omite modelarea de ansamblu, trecându-se direct la modelarea de detaliu.

8.5.3. Generalități privind aplicarea metodelor de realizare și obținere a unui produs informatic

Sistemul total (STO) este un ansamblu constituit din următoarele subsisteme:

- **sistemul procesual (SP)** reprezintă procesul supus analizei de sistem în scopul proiectării și realizării unui sistem informatic;
- **sistemul de aprovizionare (SA)** are rolul de a primi starea și de a furniza resursele necesare funcționării SP;
- **sistemul de transport (ST)** asigură circulația surselor sau resurselor dinspre exterior spre interiorul sistemului, respectiv dinspre interior spre exterior;
- **sistemul suport (SS)** asigură funcționarea subsistemelor menționate mai înainte SP, SA și ST;
- **sistemul de menținere (SM)** asigură menținerea în funcțiune a STO;
- **sistemul de conducere (SC)** coordonează funcționarea tuturor celorlalte cinci subsisteme menționate anterior.

Un STO este caracterizat prin utilitate și prin performanța sa.

Utilitatea se concretizează prin ceea ce realizează sistemul, iar **performanța**, prin modul în care utilitatea este îndeplinită.

Pe un plan concret, utilitatea este un ansamblu de cerințe și restricții impuse funcționării sistemului de utilizator în scopul realizării unor rezultate bine determinate. În același sens, performanța este un ansamblu de cerințe și restricții impuse de o funcționare optimă a sistemului, în condițiile satisfacerii utilității.

Aceste două aspecte, utilitate și performanță, pot fi corelate prin **funcția de eficiență-cost** a unui STO, funcție ce poate fi maximizată în anumite condiții concrete, de exemplu: resurse limitate, resurse și costuri limitate, sistem suport impus sau limitat etc. Această funcție este un raport între resursele exprimate valoric necesare pentru a realiza o utilitate și performanța STO și, respectiv, costurile totale ale STO (inclusiv cele de exploatare-întreținere).

Este neîndoiește faptul că un sistem informatic, datorită complexității sale, este un sistem total care, în cele mai multe cazuri, are un caracter decizional. Acest lucru nu vine în contradicție cu caracterul său de entitate de sine stătătoare, cu caracterul său individual care reflectă și este caracterizat de independența în raport cu celelalte sisteme.

Individualitatea și independența relativă a unui sistem informatic trebuie privită în sensul cunoscut al individualității și independenței unui subsistem. În acest sens, considerarea unui sistem informatic drept un sistem total, bine individualizat, este naturală, așa cum rezultă din tabelul 8.3.

Tabelul 8.3

TIP COMPONENTA (STO)	COMPONENTA ECHIVALENTA (SI)
SISTEM PROCESUAL (SP)	sistem software de aplicații
SISTEM DE APROVIZIONARE (SA)	sistem de gestiune de date
SISTEM DE TRANSPORT (ST)	ansamblu de proceduri manuale și/sau mecanizate de intrare-ieșire
SISTEM SUPORT (SS)	sistemul hardware și o parte a sistemului software de baza (sistemul de operare)
SISTEM DE MENȚINERE (SM)	activitatea de menținere de (so) + (sa) și activitatea service pentru (ss)
SISTEM DE CONDUCERE (SC)	componente ale sistemului de operare (monitor central, monitor de înlănțuirii, precum și proceduri de proiectare și realizare pentru conducerea (sp)

În cadrul dualismului complex-individualitate, sistemul informatic trebuie să îndeplinească anumite caracteristici, performanțe de bază:

- **fiabilitatea** este capacitatea sistemului informatic de a îndeplini anumite funcții sau cereri fără erori pe o perioadă de timp determinată;
- **flexibilitatea** este definită prin capacitatea sistemului informatic de a se adapta la orice modificare impusă de beneficiar în sensul exploatării acestuia;
- **timpul de răspuns** este definit ca intervalul de timp real, din momentul unei excitații exogene și cel al realizării complete a funcțiilor utilitare ale sistemului informatic pentru setul respectiv de date; el poate fi echivalent, în majoritatea situațiilor, cu durata regimului tranzitoriu;
- **portabilitatea** este o proprietate ce permite ca ansamblul SP + SA + ST + SC + SM să fie implementat pe diverse tipuri de SS.

O problemă deosebit de importantă în realizarea sistemelor informatice este cea a integrării acestora în sistemul obiect. Această problemă reflectă și se reduce, în ultimă instanță, la realizarea acestuia.

Apar cel puțin patru situații în care un parametru ce definește performanța unui sistem informatic se transformă în utilitate:

a. Sistemele informatice destinate conducerii proceselor industriale trebuie să lucreze în timp real; drept urmare, timpul de răspuns devine o cerință utilitară;

b. Pentru anumite sisteme informatice cu destinație specială (din domeniul militar sau cosmic, sisteme energetice naționale) se impune, pentru prevenirea avariilor ce conduc implicit la catastrofe, o înaltă fiabilitate; în felul acesta fiabilitatea este și o performanță și o utilitate;

c. În cazul sistemelor informatice generalizate (sisteme cu aplicabilitate pentru o clasă de sisteme) trebuie remarcat faptul că poate exista o gamă largă de echipamente și, drept urmare, portabilitatea în cazul acestor sisteme informatice este o condiție de utilitate și performanță;

d. Sistemele obiect mari necesită sisteme informatice mari deoarece acestea implică o gamă largă de prelucrări de date, având în vedere domeniul mare de cerințe și restricții. Realizarea acestui deziderat implică antrenarea unor importante resurse, deci investiții mari. Este absolut necesar din punct de vedere economic ca aceste investiții să fie recuperate (amortizate în timp). Evident, acest lucru nu se poate face decât pe perioada de funcționare, deci pe durata de viață a sistemului respectiv. O analiză de sistem oricât de perfectă ar fi, nu poate prevedea absolut întreaga problematică la care trebuie să facă față sistemul informatic propus.

Este necesar ca sistemul informatic să se adapteze la cerințele ce pot apărea pe parcursul duratei lui de funcționare. Acest lucru face ca durata de viață a produsului informatic, a sistemului informatic, să se mărească și să crească astfel posibilitățile de recuperare a cheltuielilor făcute cu instalarea și punerea în funcțiune a lui. Acest lucru presupune că sistemul informatic dispune de o flexibilitate corespunzătoare. În astfel de situații flexibilitatea devine o cerință utilitară.

O problemă interesantă este cea a **integrării** interne a sistemului informatic. Integrarea internă presupune determinarea unei structuri corespunzătoare pentru cele șase componente ce constituie subsistemele unui sistem total. Dintre acestea, SP, SA și SC joacă un rol principal în conceperea, proiectarea și realizarea (sau alegerea) celorlalte trei: ST, SM și SS. Este de reținut faptul că pentru un produs program, în timp ce structura datelor pentru SA poate fi privită relativ independent, structurile SP (software de aplicații) și SC (sistemul director) sunt întrepătrunse și formează un tot unitar.

8.5.4. Strategii de concepere și realizare a unui sistem informatic sau produs-program

Înainte de a se constitui o tehnologie de concepere sau realizare a unui produs informatic concret este necesar să se desfășoare o serie de activități preliminare:

- este necesar să se delimiteze sistemul obiect – un cadru adecvat pentru stabilirea problemelor de soluționat;
- se va face o identificare a caracteristicilor generale ale sistemului obiect pe care se va „grefta” produsul informatic; în fond, produsul informatic este o acțiune de informatizare a unui domeniu de activitate sau a unor probleme sistem

obiect; pentru ca aceasta „grefă“ să nu fie respinsă este necesar ca produsul informatic să aibă caracteristici adecvate caracteristicilor sistemului obiect.

În tabelul 8.4 sunt date o serie de elemente relaționale între caracteristicile sistemului obiect și caracteristicile produsului informatic.

Trebuie să se evalueze personalul disponibil pentru realizarea produsului informatic atât la cel ce elaborează acest produs, cât și la utilizator. Realizarea sistemelor informatice presupune existența și utilizarea unei tehnologii.

Tehnologia de realizare a unui sistem informatic este constituită dintr-un ansamblu de procese (activități), metode, tehnici și instrumente, ansamblu utilizat pentru obținerea unui astfel de sistem.

Principalele componente ale unei tehnologii de realizare sunt:

– **procesul tehnologic** cadru de realizare și întreținere este un ansamblu ordonat de activități/subactivități/operații, desfășurate în vederea obținerii unui sistem informatic;

– **metoda de realizare** este un ansamblu de concepte și reguli prin aplicarea cărora se poate realiza și conduce un sistem informatic;

– **tehnologia de realizare** este un ansamblu de reguli, compatibil cu una sau mai multe metode, care concurează la desfășurarea unor activități/subactivități/ operații din cadrul unui proces de realizare;

– **instrumentul de realizare** este un produs program constituit pe baza unei/ unor metode și/ sau tehnici, prin intermediul căreia unele activități ale unui proces de realizare pot fi asistate/ efectuate de calculator;

– **principii de selectare** și asamblare de elemente furnizate de cadrul tehnologic, într-o tehnologie concretă.

Tabelul 8.4

Relații între caracteristicile sistemului obiect și cele ale produsului informatic

Caracteristici sistem obiect	Caracteristici produs informatic
Noutatea domeniului problemelor supuse informatizării în raport cu domeniul/probleme deja informatizate	Originalitatea produsului informatic, exprimată prin: – originalitatea soluției (arhitectura, algoritm) – originalitatea facilităților oferite
Complexitatea domeniului/problemelor abordate	Complexitatea produsului informatic: – aria funcțională; – complexitatea legăturilor logice între funcțiuni; – gradul de integrare al componentelor; – dimensiunea programelor
Caracterul restrictiv al domeniului/problemelor	Caracterul critic al software-ului: – performanță și calitate software; – fiabilitate suport software

Construirea unei tehnologii concrete de realizare presupune următoarele elemente:

- stabilirea unei strategii de realizare a produsului informatic;
- structurarea procesului tehnologic pe etape sau faze;

– definirea obligatorie la nivelul fiecărei etape a unor elemente **esențiale**: obiectul etapei, condițiile de intrare în etapă, activitățile de conducere și execuție, criteriile de verificare, validare și testare, graful de înlănțuire a activităților, produsele intermediare, condițiile de ieșire din etapă;

– stabilirea condițiilor de trecere de la o etapă la alta;

– evaluarea efortului de realizare pe etape;

– specificarea pe etape a metodelor, tehnicilor și instrumentului tehnologic

utilizat.

Practica curentă impune stabilirea unei strategii adecvate, luarea în considerare și a altor factori decât cei prezentați înaintea, factori ce sunt de natură practică.

8.5.4.1. Strategii de concepere a produselor informatice

Dacă se privește acest proces de concepere prin prisma celui care elaborează produsul informatic și estimează utilitatea sa, se pot distinge următoarele tipuri de strategii de concepere: strategia ameliorativă, strategia inovatoare și respectiv cea adaptivă.

Strategia ameliorativă pornește de la premiza că noul sistem informatic sau noul produs-program nu introduce schimbări esențiale în structura și dinamica sistemului obiect, adică în funcționalitatea acestuia. Întrucât noul produs informatic fiind mai puțin flexibil – își propune numai satisfacerea unor cerințe informaționale imediate nu poate să se adapteze unor eventuale schimbări în sistemul obiect, devenind deci un produs perimat, uzat moral. Datorită acestui fapt strategia poate fi adaptată doar pentru produse informatice de complexitate redusă și utilizabile un timp scurt.

Utilitatea unor produse informatice realizate după această strategie constă în realizarea mai performantă a obiectivelor sistemului obiect, mai ales prin eliberarea de activități rutiniere a factorilor de decizie.

Din cele menționate, rezultă că ciclul de viață a produsului informatic este foarte scurt. Este cazul unor aplicații informatice sau produse-program independente.

Dezavantajele acestei strategii sunt legate de: flexibilitate redusă (neadaptări la schimbări ce pot apărea în sistemul obiect) și deci o durată de viață redusă.

Strategia inovatoare. Această strategie presupune că introducerea unui nou sistem informatic sau produs program conduce și la posibilitatea de apariție a unor schimbări structurale și în dinamica acestuia, semnificative în sistemul obiect. Deși au o flexibilitate redusă, teoretic, aceste strategii sunt mai longevive deoarece satisfac cerințele informaționale și de perspectivă ale sistemului obiect, cerințe pe care de altfel le și provoacă, în majoritatea cazurilor.

Această strategie prezintă o serie de **avantaje**, cum ar fi: realizarea unei variante îmbunătățite de sistem obiect în care sistemul informatic sau produsul program se integrează perfect, aceste aplicații informatice prezentând o longevitate ridicată.

Strategiile inovatoare prezintă și o serie de **dezavantaje**: necesită personal de înaltă calificare și creativ, cu multă experiență; se prelungește ciclul de realizare

nepermis de mult; implică costuri de realizare mai mari; aplicația informatică are o flexibilitate redusă; schimbările în cadrul sistemului obiect întâmpină obstacole serioase, mai ales de natură psihologică.

Dezavantajele menționate mai sus fac ca aceste strategii să fie nerealiste și mult mai puțin utilizate.

Strategia adaptivă. Introducerea unui sistem informatic sau produs-program nu trebuie să producă perturbații importante în cadrul sistemului obiect prin schimbări drastice. Noua aplicație informatică trebuie să răspundă atât cerințelor informaționale actuale imediate, cât și celor de perspectivă ale sistemului obiect, acest lucru realizându-se printr-o adaptare flexibilă.

Strategia adaptivă se caracterizează prin aceea că noua aplicație informatică trebuie să se adapteze foarte ușor la schimbările posibile, nefundamentale însă, ale sistemului obiect, deci la cerințele informaționale în evoluție. Ea s-a dezvoltat pe baza experienței câștigate în aplicarea strategiei inovatoare, în special, pe baza eșecurilor de aplicare a acestora din urmă.

Dacă strategia inovatoare urmărește să producă, odată cu introducerea noii aplicații informatice, și modificări în sistemul obiect, strategia adaptivă își propune să faciliteze doar anumite schimbări ale sistemului obiect, să se adapteze ușor la aceste schimbări și la altele ce se pot ivi pe parcurs.

Strategiile adaptive prezintă deci o serie de *avantaje* evidente, cum ar fi: realizarea de aplicații informatice cu flexibilitate ridicată, deci cu longevitate mare, fapt ce conduce la amortizarea integrală a investiției și la obținerea de beneficii; aplicația informațională prezintă un grad ridicat de integrare internă prin date, ceea ce conduce la performanțe ridicate în exploatare; nu necesită personal de înaltă calificare, în special informaticieni cu bogată experiență în exploatarea unor sisteme obiect de tipul celui studiat; utilizatorul se familiarizează cu noua aplicație informatică ca urmare a intrării eșalonate în funcțiune a acestuia; integrarea și acceptarea ușoară a aplicației în (și de către) sistemul obiect.

Strategiile adaptive își dovedesc aplicabilitatea, în special, la conceperea unor sisteme informatice. Dintre puținele *dezavantaje* ale strategiei adaptive se menționează cea care constă în necesitatea ca baza de date a aplicației să fie realizată de un grup restrâns de specialiști cu înalt profesionalism, cu capacitate mare de analiză și sinteză.

8.5.4.2. Strategii de realizare a unui produs informatic

Pe baza identificării și specificării cerințelor informaționale, de performanță și de calitate ale produsului informatic, având în vedere o posibilă soluție tehnică de aplicat, există două strategii de realizare a unui produs informatic:

- strategia clasică;
- strategia prototipizării.

Strategia clasică

Realizarea produselor informatice conform acestei strategii impune respectarea următoarelor principii:

- identificarea și specificarea tuturor cerințelor informatice, de performanță și de calitate ale produsului informatic;

- delimitarea clară și precisă a domeniului de aplicabilitate a produsului informatic, deci a problemelor ce pot fi soluționate;
- existența unei experiențe, din partea proiectantului în realizarea de produse informatice similare, atât în ceea ce privește cunoașterea sistemului obiect, cât și a soluțiilor tehnice posibile de utilizat.

Fiecare etapă de proiectare are ca obiect realizarea unui produs (tema de realizare, specificația de definiție etc) cu o structură și conținut bine definit. Etapele se termină cu o fază de control care presupune verificarea și validarea produsului intermediar elaborat în cadrul fiecărei etape.

De reținut este faptul că, de regulă, soluția obținută la nivelul unei etape, prin produsul acesteia, este „înghețată”, eventualele modificări ce pot fi solicitate la nivelul unei etape netrebuind să afecteze decât, cel mult, produsul (produsele) intermediar elaborat în etapa anterioară.

În procesul de elaborare a unei aplicații sau produs este de dorit să fie implicat și utilizatorul. Această implicare nu se face în etapele de prioritate de detaliu, de elaborare programe, de integrare și testare.

Utilizarea strategiei clasice permite realizarea produsului informatic în două moduri (figura 8.10):

- **integral:** constă în identificarea și specificarea cerințelor informaționale, a celor de performanță și de calitate la nivelul produsului informatic; se proiectează arhitectura produsului informatic și apoi toate componentele sale sunt elaborate și testate în paralel, iar integrarea lor se face într-o singură etapă. Se menționează că etapele procesului tehnologic de realizare sunt parcurse secvențial, iar eventualele întoarceri se fac numai la etapa anterioară;
- **prin incrementare funcțională:** totul decurge similar până în faza în care componentele sunt elaborate și testate, care aici se face gradat în timp; integrarea se face treptat pe măsură ce o nouă componentă este finalizată; produsul informatic este realizat deci printr-un proces tehnologic care presupune parcurgerea iterativă a etapelor de proiectare de detaliu, realizarea de programe, integrare și testare, cu eventuale reîntoarceri numai la etapa anterioară.

Utilizarea unuia dintre aceste două moduri de realizare a produsului informatic se face pe baza unor criterii specificate în tabelul 8.5.

Strategia clasică prezintă o serie de *avantaje*:

- posibilitatea unei planificări și urmăriri riguroase a activităților care vor fi executate pe parcursul procesului de realizare;
- integrarea ușoară a componentelor produsului informatic datorită unei proiectări riguroase a interfețelor (atât interne, cât și către utilizator) și a produsului propriu-zis.

Dintre *dezavantajele* strategiei clasice se menționează:

- utilizatorul nu poate evalua concret ce facilități oferă noul produs informatic decât după ce acesta este realizat și testat sau, eventual, treptat, pe măsură ce acesta este realizat (pe componente); ca urmare, și performanțele și calitățile noului produs nu pot fi determinate decât în fazele de testare.

- întrucât utilizatorul nu poate formula de la început toate cerințele, efortul de întreținere a produsului informatic este foarte mare.
- dacă costurile de realizare a produselor informatice nu sunt mari, cele de întreținere sunt importante datorită dificultăților în depistarea erorilor.

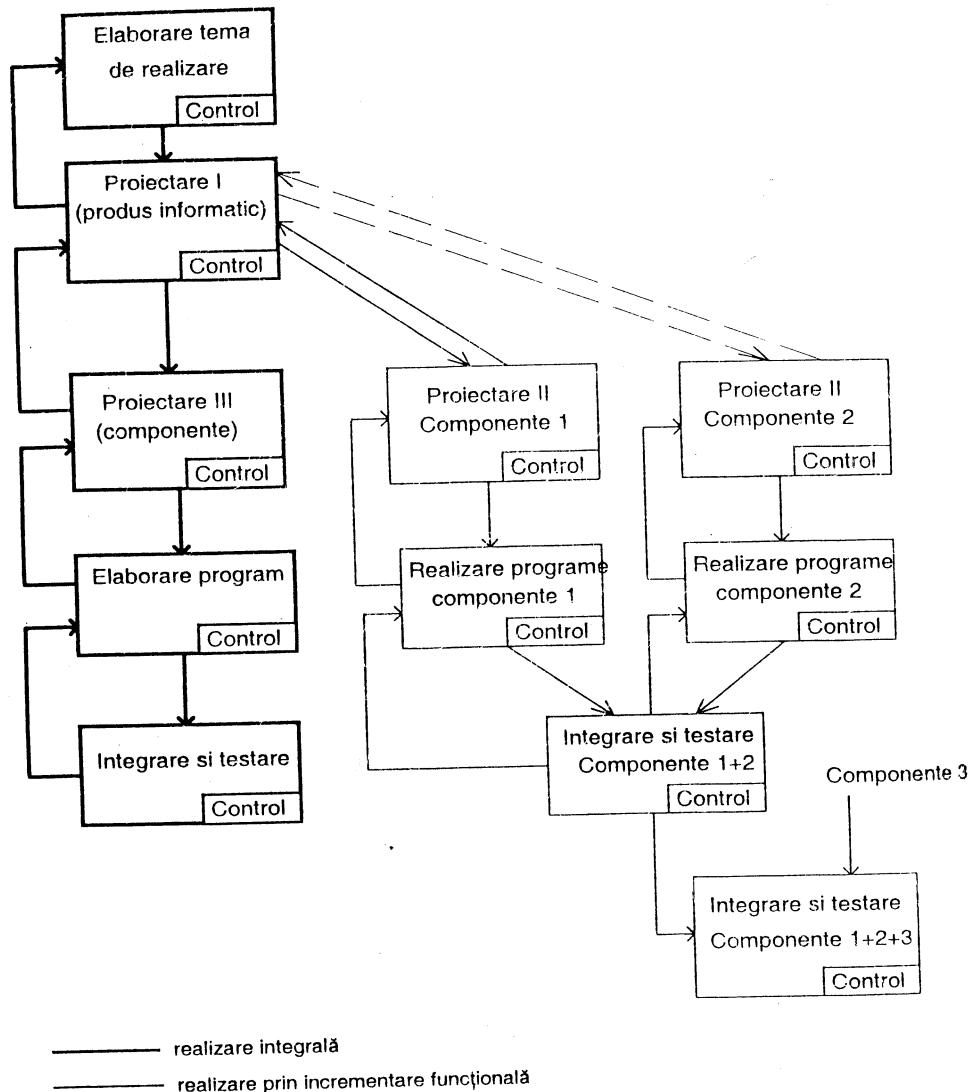


Fig. 8.10. Strategia clasică.

Tabelul 8.5

Criterii de stabilire a modului de realizare a produsului informatic (P.I.)	Realizare integrală a produsului informatic	Realizare P.I. prin incrementare funcțională
Complexitatea p.i.	mică / medie	mare
Dimensiunea p.i.	mică / medie	mare
Număr personal de specialitate	mare / mediu	mediu / mic
Existența / instalarea la utilizator a tuturor echipamentelor din configurația specificată	da	nu / parțial
Resursele umane ale utilizatorului pentru a relua în exploatare p.i.	mari	mici / medii
Existența unor instrumente de asistare a procesului de realizare	da	nu / în mică măsură

P.I. = produs informatic

Strategia clasică impune un cadru ordonat și disciplinat de lucru pentru echipele de analiști de sistem. Aceste echipe se recomandă a fi ordonate după metoda „programatorului șef” sau după „metoda chirurgicală”.

Strategia prototipizării

Este o strategie de structurare a procesului de realizare a unui produs informatic, care presupune respectarea următoarelor principii:

- desfășurarea procesului de realizare prin construirea uneia sau mai multor prototipuri parțiale, care sunt de fapt modele ale viitorului produs informatic, extinse doar la un set semnificativ de funcțiuni/facilități ale acestuia; de obicei se iau în considerație funcțiuni/facilități critice (care se caracterizează prin aceea că dacă nu sunt realizate corect afectează puternic funcționalitatea întregului produs informatic);
- realizarea prototipului produsului final în urma experimentării și/sau dezvoltării prototipurilor parțiale;
- definitivarea produsului informatic final în urma experimentării prototipului.

Este de menționat că, în funcție de complexitatea produsului informatic, pot exista unul sau mai multe prototipuri parțiale, disjuncte funcțional, pentru același produs informatic. În general prototipul parțial sau echipamentul (dispozitivul) pilot trebuie să fie un model al comportării produsului final. Acest produs trebuie să fie realizat rapid, fără cheltuieli mari, pentru a fi dat cât mai repede în exploatarea utilizatorului. Exploatarea prototipului parțial de către utilizator permite precizarea cerințelor sau stabilirea soluțiilor reale și complete pentru produsul informatic final.

Utilizatorii prototipului parțial pot fi:

- utilizatorii finali ai produsului informatic, care în acest fel își pot preciza și definitiva cerințele față de produsul informatic;
- cei care elaborează produsul informatic pentru a alege soluțiile cele mai eficiente pentru realizarea acestuia.

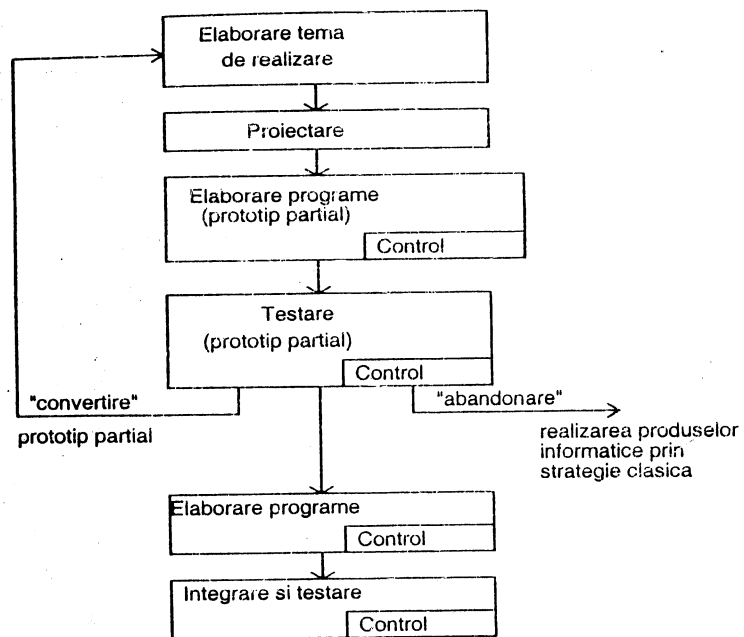


Fig. 8.11. Strategia prototipizării.

Realizarea de prototipuri parțiale se recomandă în următoarele două situații:

- pentru precizarea și definirea cerințelor față de produsul informatic.
- pentru alegerea soluției de elaborare a produsului informatic.

După realizare, produsul informatic este pus în funcțiune (integral sau componentă cu componentă), experimentat, iar după acceptare omologarea lui intră în exploatare/utilizare curentă.

Principalele *obiective* ale acestei strategii sunt:

– diminuarea numărului de modificări din categoria celor cauzate de proaste definiții sau înțelegeri a cerințelor sau soluțiilor necesare de operat după livrarea produsului informatic;

– folosirea prototipului parțial pentru ca utilizatorul să obțină experiență în folosirea tehnicii de calcul și în stabilirea totodată a unor cerințe de utilizare mai elaborate (mai rafinate).

Odată folosit ca experiență, prototipul parțial poate fi abandonat sau convertit în produsul informatic dorit sau în prototipul final.

Organigrama generală a strategiei prototipizării este dată în figura 8.11.

8.5.5. Metode de realizare a produsului informatic

8.5.5.1. Metoda „TOP-DOWN“ (descendentă)

Realizarea produselor informatice este abordată pornind de la produsul considerat în ansamblul său către fiecare componentă în parte.

Produsul informatic sau componentele sale sunt descompuse pe niveluri de structurare de sus în jos din treaptă în treaptă, din aproape în aproape. Metoda top-down este folosită atât la proiectarea produselor informatice, cât și la elaborarea strategiilor de testare (specificația de testare). În ceea ce privește testarea, metoda top-down implică utilizarea de module fictive pentru a simula efectul rutinelor aflate pe un nivel imediat inferior nivelului testat. Testarea prin această metodă permite o minimizare a efortului de testare a sistemului, precum și posibilitatea localizării erorilor.

Principial, strategia top-down presupune parcurgerea următoarelor etape principale:

- analiza *obiectivelor generale și specifice sistemului obiect*, a restricțiilor și a relațiilor cu mediul;
- *identificarea activităților principale* desfășurate în cadrul sistemului obiect și a legăturilor dintre acestea;
- *identificarea, pe fiecare nivel de conducere, a principalelor decizii și acțiuni*, a timpilor de informații necesare pentru fiecare decizie și acțiune la nivelul fiecărei activități sau grupuri de activități (funcțiuni);
- *definirea modelului de ansamblu* al sistemului informatic;
- *descompunerea pe subsisteme* sau module funcționale, definirea deciziilor și a cerințelor de informații și definirea interfețelor dintre aceste componente;
- *stabilirea priorităților* în ceea ce privește baza de date a subsistemelor.

Metoda prezintă o serie de *avantaje*: există posibilitatea de definire a obiectivelor generale ale sistemului informatic și a celor specifice subsistemelor de o manieră care să conducă la o planificare a resurselor și la un control riguros al proiectului; produsul informatic prezintă un înalt grad de integrare, ceea ce asigură o creștere a utilității sistemului, cât și la performanțe superioare în exploatare; se evită într-o mare măsură re-proiectările succesive (de genul celor determinate de strategia evolutivă) datorită definirii din primele etape a obiectivelor, funcțiilor și a interfețelor.

Există și o serie de *dezavantaje*: definirea modelului de ansamblu presupune o cunoaștere exactă a sistemului obiect, atât din punct de vedere static, cât și dinamic, precum și pentru subsistemele constituente și a relațiilor dintre ele: descompunerea în subsisteme este etapa cea mai dificilă; metoda presupune o creștere a timpului de realizare, după care utilizatorul va putea beneficia de produsul informatic.

8.5.5.2. Metoda „BOTTOM-UP” (evolutivă sau ascendentă)

Metoda se aplică la proiectarea și elaborarea programelor, precum și la integrarea și testarea produsului informatic. Această metodă induce o ordine de abordare a produselor informatice pornind de la componente de nivel inferior spre cele de nivel superior, ajungând în final la întregul produs informatic. Componentele de pe nivelul de bază sunt agregate succesiv de jos în sus. Realizarea unui nivel de agregare implică și o integrare a componentelor/modulelor de nivel inferior, agregarea fiind considerată terminată când se obține o unică componentă la acel nivel. Obținerea întregului produs informatic se obține printr-o procedură iterativă.

Această metodă asistă proiectarea dublată de precizarea strategiei de testare a produsului informatic. Strategia de testare în această situație este o strategie ascendentă. Ea constă în testarea modulelor și a subsistemelor prin simulare iterativă.

Strategia bottom-up este parcursă, principial, în următoarele etape:

- se realizează aplicații, cu fișiere independente, legate de anumite activități;
- integrarea fișierelor între care există legături logice într-o bază unică de date; aceasta trebuie să aibă un sistem adecvat de gestiune a bazei de date care să realizeze gestionarea și controlul centralizat al datelor; se pot realiza noi facilități pentru interogarea bazei de date;
- conceperea și adăugarea unor module sau proceduri noi de decizie și planificare, necesar nivelului conducerii tactice (se iau în considerare numai informațiile din baza de date concepută mai sus);
- diversificarea modelelor de decizie și planificare incluse în sistem și extinderea bazei de date care să cuprindă și informațiile necesare noilor modele concepute;
- abordarea nivelului conducerii strategice, atât prin conceperea de module sau proceduri de decizie și planificare, destinate acestui nivel, cât și prin refolosirea celor deja existente; noile cerințe informaționale determină extinderea bazei de date sau crearea uneia noi destinată acestui nivel.

Avantajele acestei strategii sunt: dezvoltarea treptată a sistemului în corelație cu cerințele utilizatorului ce pot fi determinate mai ușor și mai precis; extinderile se pot face după o analiză mai atentă, cu luarea în considerare a tuturor implicațiilor; acomodarea mai ușoară a utilizatorului cu noul sistem, cu implicațiile lui, el putând beneficia mai rapid de primele rezultate: crește și gradul de participare al utilizatorului la realizarea produsului; acomodarea corespunzătoare și a echipei de analiști cu problematica unității utilizatoare; se reduce riscul unui sistem de ampoare care la punerea în funcțiune se dovedește neoperativ.

Dintre **dezavantajele** metodei se menționează: gradul de integrare și performanțele mai reduse ca urmare a lipsei inițiale a concepției de ansamblu asupra obiectivelor și funcțiilor sistemului în forma finală; fiecare pas nou, fiecare funcție nouă, conduce la re-proiectarea aplicației deja elaborate la pasul anterior,

ceea ce duce la eforturi și costuri suplimentare; durata mare a ciclului de realizare, face să nu se poată face decât o evaluare globală a duratelor de realizare a întregului sistem și la necorelări sau nesincronizări în echipa de proiectare dacă componenta sa se modifică pe parcurs.

8.5.6. Tehnici de realizare a produsului informatic

Dintre tehnicile de obținere a informațiilor pentru un produs informatic se prezintă o metodă destinată conducerii și urmăririi unui proiect de IT/C – studiul documentar, interviul, chestionarul.

Studiul documentar. Studiul documentar reprezintă, în majoritatea situațiilor, un prim contact pe care îl are realizatorul unui proiect de produs informatic cu sistemul obiect. Această tehnică constă în studierea, cu maximă atenție, de către analistul de sistem a întregii documentații tehnice și tehnologice disponibile aferente sistemului obiect. Totodată se va studia și documentația legată de sistemul informatic existent, de nivelul de automatizare a sistemului obiect. Acest prim contact permite delimitarea domeniului de aplicabilitate al noului produs informatic, fixându-se încă din această fază elementele generatoare de informații (măsurii și semnalizări) și punctele unde vor fi aplicate acțiunile (comenzi, reglări).

Este necesar să se estimeze ce perturbații pot apărea pe canalele de comunicații dintre sistemul de conducere și sistemul obiect, localizându-se aceste surse și stabilindu-se ce măsuri de protecție pot fi luate.

Studiul documentar trebuie completat cu alte modalități, tehnici, ce permit analistului de sistem proiectarea produsului informatic.

Interviul. Interviul reprezintă o tehnică elementară prin care se identifică cerințele unui beneficiar pentru un produs informatic solicitat. Prin această tehnică, printr-un procedeu de analiză, se pot obține informații pentru un spectru larg de sisteme obiect. Aplicarea acestei tehnici implică o delimitare a sistemului obiect, o cunoaștere până la un anumit grad de profunzime a acestuia și, de asemenea, să se cunoască persoanele ce vor fi interviuate.

Tehnica interviului se recomandă a fi aplicată în felul următor:

– *planificarea interviului*, constând în:

- stabilirea persoanelor interviuate care trebuie să fie atât din categoria personalului de decizie, cât și din categoria personalului de execuție;
- precizarea frecvenței contactării acestor persoane, minimul necesar fiind de două întâlniri.

– *pregătirea interviului*, care constă din parcurgerea următoarelor etape:

- întâlnire introductivă de grup;
- programarea interviului: fixarea momentului optim de interviuare și anunțarea acestui moment în prealabil;
- pregătirea individuală a interviului: familiarizarea cu problema (problemele) ce reprezintă obiectul interviului, procurarea de informații referitoare la preocupările celor ce vor fi interviuați, fixarea problemelor ce vor fi discutate;
- coordonarea interviurilor (din partea șefului de proiect).

– desfășurarea propriu-zisă a interviului, moment ce permite culegerea informațiilor dorite.

– întocmirea raportului de analiză.

Interviul, o tehnică nu foarte riguroasă, se folosește în etapa de analiză de ansamblu și de detaliu. Desfășurarea efectivă a interviului, inclusiv construirea întrebărilor și modul de utilizare a datelor obținute, rămâne la latitudinea analistului de sistem. Se poate folosi în configurație cu alte tehnici elementare de analiză.

Chestionarul. Chestionarul este o tehnică elementară de identificare a cerințelor cu caracter informațional ale unui sistem obiect. El permite obținerea unor informații suplimentare asupra obiectului investigat anterior printr-o altă tehnică, cum ar fi interviul sau studiul documentar.

Această tehnică de realizare constă în alcătuirea unui formular cu întrebări, chestionar la care trebuie să răspundă în scris o serie de persoane implicate în realizarea produsului program din partea beneficiarului. În majoritatea situațiilor chestionarul este dublat de o anexă care cuprinde instrucțiunile de completare a acestuia.

Se poate da următoarea etapizare în folosirea tehnicii chestionarului:

– planificarea acțiunii de stabilire a cerințelor informaționale prin tehnica chestionarului se face după o prealabilă delimitare a sistemului obiect anchetat și a fixării unor ipoteze de lucru; se fixează totodată grupul de persoane ce vor fi chestionate și se construiește chestionarul după o prealabilă testare asupra accesibilității terminologiei;

– culegerea informațiilor pe baza chestionarului distribuit;

– valorificarea datelor din chestionarele distribuite, prin sintetizarea informațiilor culese și, dacă este cazul, prin întocmirea unui raport de analiză.

Tehnica aceasta se poate aplica în etapa de elaborare a temei de realizare și în etapa de proiectare.

8.6. Teoria reglării automate

8.6.1. Moduri de reprezentare a unui sistem dinamic

8.6.1.1. Descrierea sistemelor liniare continue în domeniul timp

Reprezentarea prin ecuații diferențiale

Dacă se consideră un sistem liniar cu o mărime de intrare u și o mărime de ieșire y , dependența funcțională $u \rightarrow y$ se poate exprima printr-o ecuație diferențială liniară cu coeficienți constanți ce reflectă structura fizico-tehnică a acestuia.

Sistemele cu parametri distribuiți se vor exprima prin ecuații cu derivate parțiale, în timp ce sistemele cu parametri concentrați conduc la expresii de tipul:

$$\sum_{i=0}^n a_i \cdot \frac{d^i y(t)}{dt^i} = \sum_{j=0}^m b_j \cdot \frac{d^j u(t)}{dt^j} \quad \text{cu } t \in \mathbb{R} \text{ și } m \leq n \quad (8.6)$$

Pentru sistemele cu mai multe intrări și ieșiri, există un set de ecuații ce descriu dependențele funcționale intrare-ieșire. La scrierea ecuației sau ecuațiilor respective se ține seama de legile fizice ce guvernează funcționarea sistemului dinamic de natură electrică, mecanică, sau de altă natură.

Se menționează că în cazul sistemelor liniare este valabil principiul superpoziției efectelor.

Dacă principiul superpoziției nu este satisfăcut, atunci sistemul este neliniar. De exemplu, dependența $u \rightarrow y$ în regim staționar, în general, nu este liniară. Luarea în considerație a unor astfel de neliniarități conduce la complicații matematice, care nu întotdeauna sunt justificabile în rezultatele finale obținute. În majoritatea situațiilor nu interesează decât variații Δy ale mărimii reglate în jurul punctului staționar de funcționare (M_0) ca urmare a unor mici variații Δu a mărimii de comandă (fig. 8.12). Ca urmare, caracteristica statică se liniarizează, de exemplu prin metoda tangentei sau secantei în jurul acestui punct de funcționare.

Dacă în regim staționar se consideră o ecuație neliniară $y = f(x)$, atunci această ecuație admite o dezvoltare Taylor în jurul punctului de funcționare ce permite liniarizarea ecuațiilor diferențiale. Datorită procesului de liniarizare devine, de asemenea, liniară și ecuația diferențială, ușurându-se implicit rezolvarea ei utilizând, de exemplu, transformata Laplace, deoarece condițiile inițiale devin nule.

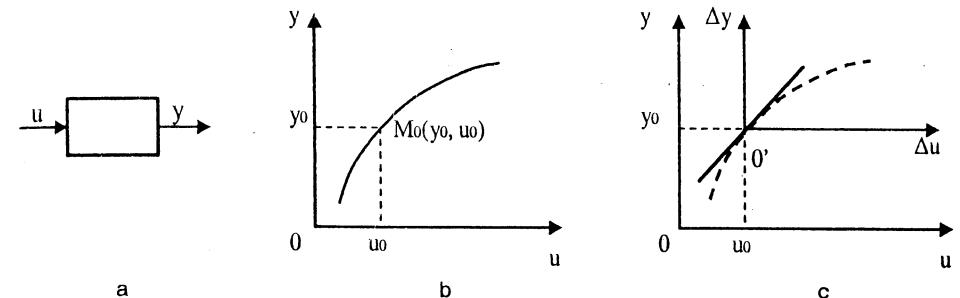


Fig. 8.12. Sistem dinamic cu o intrare și o ieșire: a) schema funcțională; b) caracteristica statică; c) liniarizarea caracteristicii statice prin metoda tangentei

Reprezentarea în spațiul stărilor

O serie de considerații expuse în acest capitol conduc la utilizarea în locul ecuației (sau ecuațiilor) diferențiale de ordin mai mare de ordinul doi, a sistemelor vectorial-matriciale de stare, deci a modelului sistemic al procesului.

Trecerea de la ecuațiile diferențiale de ordin mai mare de doi la un set de ecuații diferențiale de ordin unu se poate realiza în două moduri: calea formală și conceptul de energie a sistemului care sub o formă generală, pentru un sistem SISO este:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + bu + ev \\ y &= c^T x \\ z &= d^T x \end{aligned} \tag{8.7}$$

Reprezentarea prin răspunsul sistemului la semnale test

În tabelul 8.1 se prezentau principalele semnale test utilizate în evaluarea performanțelor locale sau globale ale unui sistem, în particular ale unui sistem de reglare automat. Tabelul 8.6 cuprinde definiția semnalelor de ieșire în funcție de semnalele test aplicate unui sistem la intrare.

Între semnale din tabelul 8.6. se pot constata următoarele condiționări:

$$\delta(t) \quad 1(t) = \int_{\tau=-\infty}^t \delta(\tau) d\tau \quad r(t) = \int_{\tau=-\infty}^t 1(\tau) d\tau \tag{8.8}$$

$$\delta(t) = \frac{d1(t)}{dt}$$

$$h(t) \quad y_f(t) = \int_{\tau=-\infty}^t h(\tau) d\tau \quad y_r(t) = \int_{\tau=-\infty}^t y_f(\tau) d\tau \tag{8.9}$$

$$h(t) = \frac{dy_f(t)}{dt}$$

În situația în care interesează dinamica unui sistem (proces), se poate apela la reprezentarea printr-o ecuație diferențială liniară cu coeficienți liniari, care să realizeze dependențele intrare – ieșire ale acestuia. Pentru o intrare oarecare $u(t)$, ieșirea $y(t)$ poate fi apreciată prin integrala de convoluție dacă se cunoaște răspunsul cauzal la impuls $h(t)$:

$$y(t) = \int_0^t h(t - \tau) u(\tau) d\tau \tag{8.10}$$

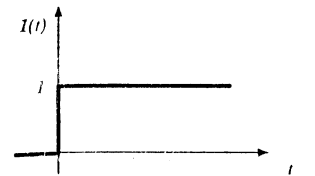
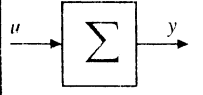
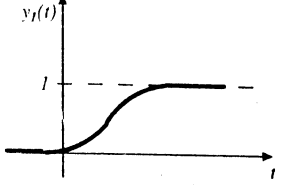
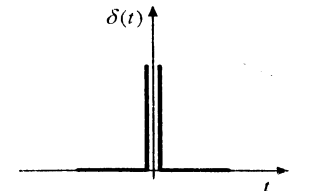
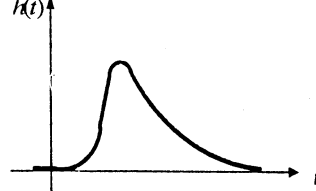
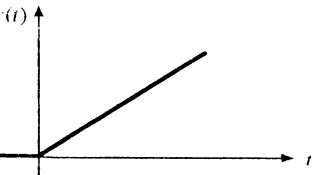
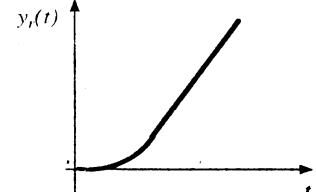
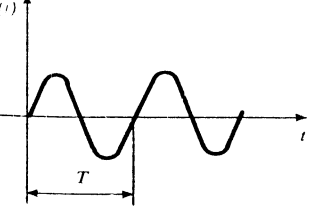
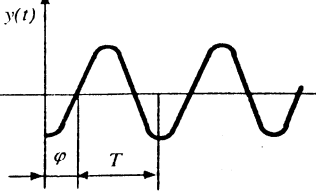
Cunoscând convoluția lui $u(t)$ și $y_f(t)$ se poate determina $h(t)$.

O astfel de procedură de determinare a răspunsului unui sistem reprezintă **metoda integralei de convoluție**.

Se poate concluziona că $h(t)$ și $y_f(t)$ constituie două funcții ce permit o descriere informațională completă a unui sistem dat.

Tabelul 8.6

Definiția răspunsului unui sistem în funcție de semnalele test aplicate la intrare

<p>Funcția treaptă unitară</p> $1(t) = \begin{cases} 1 & \text{pentru } t > 0 \\ 1/2 & \text{pentru } t = 0 \\ 0 & \text{pentru } t < 0 \end{cases}$ 		<p>Răspuns indicial</p> 
<p>Funcția impuls unitar (Dirac)</p> $\delta(t) = \begin{cases} 1/\varepsilon & \text{pentru } 0 \leq t \leq \varepsilon \\ 0 & \text{in rest} \end{cases}$ 		<p>Răspunsul cauzal la impuls</p> 
<p>Funcția rampă unitară</p> $r(t) = \begin{cases} 0 & \text{pentru } t < 0 \\ t & \text{pentru } t > 0 \end{cases}$ 		<p>Răspunsul la funcția rampă unitară</p> 
<p>Semnal periodic armonic</p> 		<p>Răspunsul la semnal periodic armonic</p> 

8.6.1.2. Descrierea sistemelor liniare continue în domeniul frecvenței. Funcția de transfer

În studiul proceselor (tehnice) se apelează de multe ori la utilizarea transformatei Laplace, o transformare de tip integral ce permite o rezolvare mai ușoară a ecuației sau ecuațiilor diferențiale liniare cu coeficienți constanți într-o ecuație sau sistem de ecuații algebrice.

Se definește o transformată Laplace directă, cu $f(t)$ – funcția original, $F(s)$ – funcția imaginară și $s = \sigma + j\omega$ – variabila complexă:

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt = L\{f(t)\} \quad (8.11)$$

și o transformată Laplace inversă

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{a-j\infty}^{a+j\infty} F(s)e^{-st} ds = L^{-1}\{F(s)\} \quad (8.12)$$

În abordarea proceselor (tehnice) funcția original este în mod obișnuit o funcție de tipul $t \in \mathbb{R}$. Variabila complexă s , pe de altă parte, conține frecvența (pulsatia) ω astfel încât se poate spune că funcția imaginară $F(s)$ este o funcție frecvențială. În acest mod transformata Laplace directă, transformă domeniul timp în domeniul frecvență. Acțiunea se petrece invers în cazul transformatei Laplace inverse (fig. 8.13).

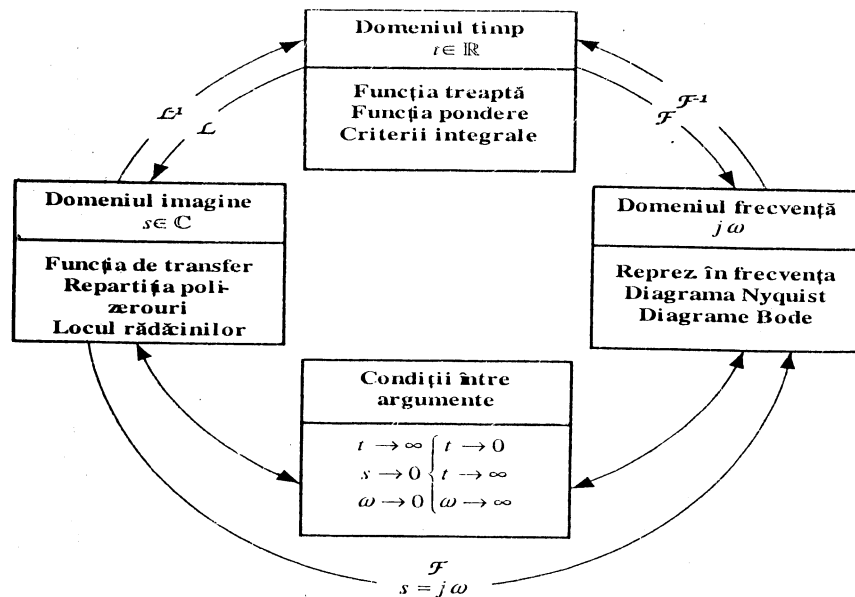


Fig. 8.13. Legătura dintre domeniul timp și domeniul frecvenței.

Procesele (tehnice) sunt studiate și printr-o altă transformată de tip integral, transformata Fourier:

$$F(j\omega) = F\{f(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (8.13)$$

$$f(t) = F^{-1}\{F(j\omega)\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(j\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad (8.14)$$

Făcând o comparație între cele două transformări, se poate observa că transformata Fourier a unei funcții $f(t)$ se obține din imaginea Laplace a acesteia cu $s = j\omega$, $\sigma = 0$.

$F(j\omega)$ fiind funcție complexă se poate scrie:

$$F(j\omega) = \text{Re } F(j\omega) + j \text{Im } F(j\omega) = |F(j\omega)| e^{j \arg F(j\omega)} \quad (8.15)$$

unde $|F(j\omega)|$ este spectrul Fourier (densitatea spectrală a lui $f(t)$), iar $\arg F(j\omega)$ defazajul.

Dacă ecuației diferențiale (8.6) i se aplică transformata Laplace în condiții inițiale nule, se explicitează raportul:

$$H(s) = \frac{y(s)}{u(s)} \text{ pentru } v(s) = 0 \quad (8.16)$$

$$H_v(s) = \frac{y(s)}{v(s)} \text{ pentru } u(s) = 0 \quad (8.17)$$

Astfel, se poate da o definiție operațională pentru **funcția de transfer**, ca fiind raportul dintre transformata Laplace a mării de ieșire și transformata Laplace a mării de intrare a sistemului, în condiții inițiale nule.

8.6.2. Algebra schemelor bloc

Algebra schemelor bloc constă dintr-un ansamblu de reguli de transfigurare sau simplificare a sistemelor cu bucle multiple reprezentate sub forma de scheme bloc.

Principalele reguli de transfigurare a schemelor bloc sunt date în tabelul 8.7.

Tabelul 8.7

Reguli principale ale algebrei schemelor bloc

Nr. crt.	Regula	Schema inițială		Schema echivalentă
		2	3	
1	Legarea în serie (cascadă)			$H_{ech}(s) = \prod_{i=1}^n H_i(s)$
2	Cuplarea în derivație (paralel înainte)			$H_{ech}(s) = \sum_{i=1}^n (\pm) H_i(s)$
3	Cuplarea în buclă (paralel înapoi)			$H_{ech}(s) = \frac{H_1(s)}{1 \pm H_1(s) \cdot H_2(s)}$
4	Deplasarea unui punct de ramificație pe direcția acțiunii (spre ieșire)			

Tabelul 8.7 (continuare)

0	1	2		3
		2	3	
5	Deplasarea unui punct de sumare contrar direcției acțiunii (spre intrare)			
6	Rigidizarea unei reacții elastice			
7	Sumarea unor reacții multiple			$H_{ech}(s) = H_1(s) + H_2(s)$

8.6.3. Sisteme de reglare automată (SRA)

8.6.3.1. Structura unui sistem de reglare automată (SRA)

Un sistem de reglare automată (SRA) poate fi reprezentat prin schema bloc din figura 8.14.

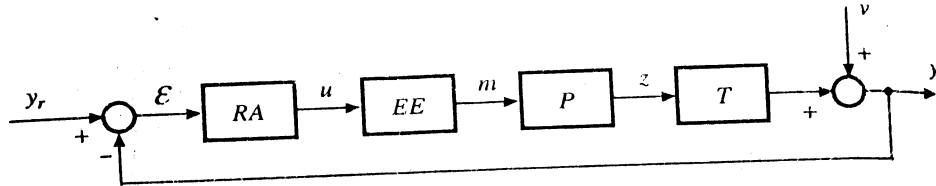


Fig. 8.14. Principalele subsisteme ale unui sistem de reglare automată.

Sistemul de reglare automată (SRA) este un sistem în conexiune inversă care își decide comportamentul față de mărimile externe (exogene) pe baza mărimii de eroare, ε , generate în mod automat, cu scopul expres al anulării acesteia. Acest lucru presupune cunoașterea apriorică a modelului mărimilor externe, deci prezența în sistem a unei copii sub forma modelului intern.

Spre deosebire de SRA care își explicitează funcționalitatea prin anularea mărimii de eroare, **sistemele de conducere** prezintă funcții multiple și mai complexe, inclusiv cea de reglare automată. Aceste funcții sunt organizate într-o anumită ierarhie, în care funcția de reglare se află plasată la primul nivel, lângă proces, pe nivelele superioare aflându-se funcții, precum cele de: identificare, optimizare etc.

SRA se pot clasifica după obiectivul final al funcției de reglare în:

- **sisteme de urmărire** (servosisteme): funcția de reglare are ca efect urmărirea cât mai fidelă de către mărimea de calitate z (sau mărimea reglată y), a unei mărimi externe, y_r , mărimea de referință;
- **sisteme de respingere a perturbațiilor** (sisteme cu referință fixă): funcția de reglare are ca efect final menținerea constantă la o valoare prescrisă a lui z (sau y), independent de perturbația v .

Îndeplinirea funcției de reglare nu se face numai pe seama mărimii de eroare, dar când este posibil, și pe baza măsurării directe a perturbațiilor, dacă acest lucru este posibil. Elaborarea comenzii în această variantă este interesantă, în special, în respingerea perturbațiilor, în așa numita reglare cu acțiune directă (feedforward).

Se definesc următoarele funcții de transfer reprezentative:

- funcția de transfer în circuit deschis

$$H_b(s) = \frac{y(s)}{\varepsilon(s)} = H_c(s) \cdot H(s) \quad (8.18)$$

- funcția de transfer în circuit închis

$$H_0(s) = \frac{y(s)}{y_r(s)} = \frac{H_b(s)}{1 + H_b(s)} \quad (8.19)$$

- funcția de transfer a erorii

$$H_\varepsilon(s) = \frac{\varepsilon(s)}{y_r(s)} = \frac{1}{1 + H_b(s)} \quad (8.20)$$

- funcția de transfer a perturbației

$$H_p(s) = \frac{y(s)}{v(s)} = \frac{1}{1 + H_b(s)} H_v(s) \quad (8.21)$$

8.6.3.2. Analiza SRA

Considerații generale

Se fac ipotezele:

- $v(s) = 0$
- $y_r(s) = \frac{a(s)}{s^p}$, cu mențiunea că \mathcal{E} constă din funcții treaptă, rampă, etc. pe canalul mărimii de referință.

Analiza SRA constă în aprecierea într-o manieră inginerescă a următoarelor performanțe:

- stabilitatea (asimptotică internă) a SRA- (S);
- performanțele regimului dinamic (tranzitoriu);
- precizia SRA- (R);
- performanțele regimului staționar.

Aprecierea acestor performanțe pentru sistemul în circuit închis se face pe baza specificațiilor sistemului în circuit deschis, adică ale lui $H_b(s)$.

Analiza stabilității

Stabilitatea fiind un indice global de calitate care caracterizează în sensul cel mai larg performanțele unui sistem, trebuie testată înainte de a aprecia orice alt indice de calitate.

Analiza stabilității constă în verificarea incluziunii $\sigma \subset \mathbb{C}^-$ pentru sistemele netede.

Aprecierea stabilității se poate face direct prin criteriul Routh-Hurwitz sau apelând la analiza prin pulsație (frecvență) prin criteriile Nyquist și Bode, pentru a menționa cele mai utilizate criterii.

Performanțele regimului dinamic

Performanțele regimului dinamic sunt descrise prin indici sintetici de calitate ce caracterizează răspunsul indicial al sistemului (fig. 8.15).

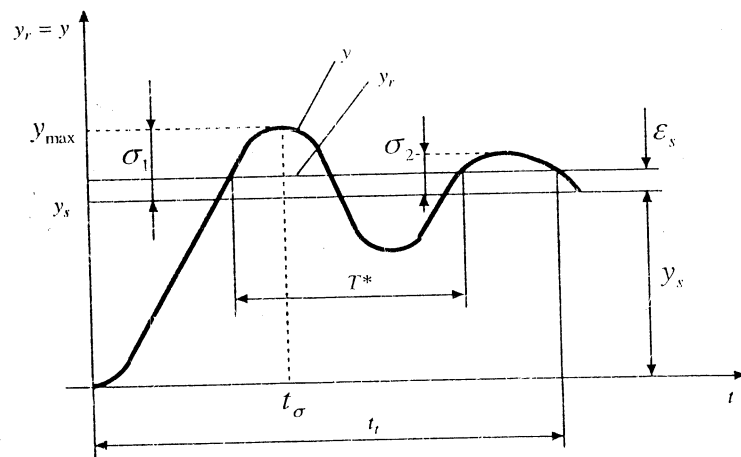


Fig. 8.15. Performanțele regimului dinamic.

Aceste performanțe sunt următoarele:

- **suprareglajul (supraurmărirea) σ** definită prin

$$\sigma \triangleq \frac{y_{\max} - y_s}{y_s} = \sigma_1 \quad (8.22)$$

unde y_s reprezintă valoarea staționară a mărimii de ieșire, iar y_{\max} reprezintă valoarea primului maxim. Relația (8.22) poate fi exprimată și în procente.

- **timpul primului maxim t_σ** , sau de atingere a abaterii maxime a mărimii de ieșire în regim tranzitoriu;

- **durata regimului tranzitoriu t_t** definită prin timpul ce se scurge din momentul aplicării excitației pe canalul de referință și până când ieșirea intră într-o bandă de $\pm(2 \div 5)\% y_s$:

$$|y(t) - y_s| \leq 0,02 y_s \text{ pentru } \forall t \geq t_t \quad (8.23)$$

- **indicele de oscilație ψ** reprezintă variația relativă a amplitudinilor a două depășiri succesive de același semn a valorii de regim staționar.

$$\psi \triangleq \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1} = 1 - \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1 - \delta \quad (8.24)$$

unde δ este decrementul:

- **perioada oscilațiilor T^*** pentru regimul oscilant amortizat;

- **numărul de oscilații N** dacă răspunsul traversează de un număr finit de ori componenta staționară.

Pe lângă acești indici de calitate principali se mai pot defini și alții, cum ar fi:

- **timpul de stabilire:** momentul în care se atinge pentru prima dată valoarea staționară a ieșirii.
- **timpul de creștere:** valoarea subtangentei dusă la $y(t)$ la $0,5 y_s$, tangenta fiind limitată de axa t și de y_s .

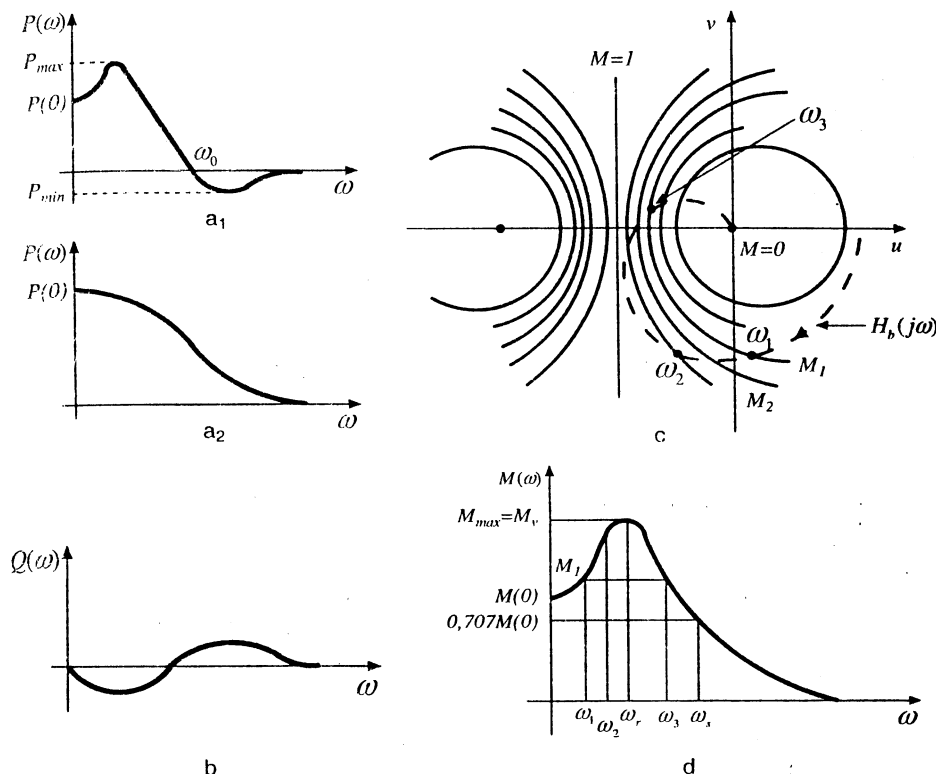


Fig. 8.16. Caracteristicile de frecvență:

a₁), a₂) $P = P(\omega)$; b) $Q = Q(\omega)$;

c) modalitatea de construire a diagramei $M = M(\omega)$; d) $M = M(\omega)$.

Pe baza caracteristicilor de frecvență (fig. 8.16) se pot analiza și o serie de performanțe în frecvență a unui SRA:

- **banda de trecere (lărgimea de bandă) ω_b** este intervalul de frecvențe (pulsatii) pentru care amplitudinea $|H_0(j\omega)| = M(\omega) > 0,707$ (sau altfel spus amplificarea nu scade sub $0,707 \rightarrow -3\text{dB}$);

- **pulsatie de rezonanță** ω_r pulsatie la care $M = M_{max}$;
- **valoarea maximă sau de vârf** $M_v = M_{max}$ a lui M ;
- **factorul de rezonanță** $Q_r = \frac{M_v}{M(0)}$;
- **rezerva de amplitudine** m_{dB} și de fază γ ;
- **pulsatie de tăiere** ω_i ;
- **panta caracteristicii** $[H_b(j\omega)]_{dB}$ în zona de tăiere: pentru un sistem stabil se recomandă ca panta să fie de -20 dB/dec pe un interval de o decadă în jurul lui ω_i ;
- **panta asimptotei de joasă și înaltă frecvență**.

Considerațiile de mai sus permit evaluarea performanțelor regimului tranzitoriu direct din $H_b(j\omega)$ (din reprezentările acesteia).

Aceste evaluări pentru sistemele netede sunt trecute sintetic, fără demonstrație, în tabelul 8.8.

Tabelul 8.8

Aprecierea indicilor de performanță a unui SRA din reprezentările lui $H_b(j\omega)$

Nr. crt.	Indice de performanță	Relația de evaluare
1.	Suprareglajul σ	a) Dacă $P = P(\omega)$ este strict monoton descrescătoare (fig. 5.8, a_2) $\sigma \leq 0,18$ b) Dacă $P = P(\omega)$ prezintă un maxim (fig. 8.16, a_1) $\sigma \leq \frac{1,18P_{max} + 0,28P_{min} - P(0)}{P(0)}$
2.	Indicele de oscilație ψ	$\psi = 1 - e^{-2\pi(M_v - \sqrt{M_v^2 - 1})}$ Obs: Relația este dedusă pentru un element de întârziere de ordinul 2, dar practica arată că pentru $M_v > 1,5$ relația devine cvasivalabilă pentru orice element
3.	Durata regimului tranzitoriu t_t	$t_t = \frac{8+10}{\omega_0}$ sau $\frac{\pi}{\omega_0} < t_t < \frac{4\pi}{\omega_0}$ ω_0 - pulsația de tăiere a filtrului „trece jos” ideal
4.	Perioada de oscilație T	$T = \frac{2\pi}{\omega_r} \sqrt{\frac{1 - 2M_v + 2\sqrt{M_v^2 - 1}}{1 - M_v + \sqrt{M_v^2 - 1}}}$ Vezi observația de la pct. 2
5.	Numărul de oscilații N	$2N = \partial [\chi_A(s)]$
6.	Eroarea staționară ϵ_s	$\epsilon_s = 1 - P(0)$

Precizia SRA

Un SRA se numește **precis** relativ la mărimea de referință

$$y_r(s) = \frac{1}{s^\rho}, \quad \rho \geq 1 \quad (8.25)$$

dacă pentru y_r de tipul menționat mai sus și pentru $v(t) = 0$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \epsilon(t) = 0$$

Dacă un sistem are funcția de transfer în circuit deschis

$$H_b(s) = \frac{K}{s^q} G(s)$$

cu $G(0) = 1$ și q - tipul funcției de transfer, atunci evaluând relația (8.24) se obține:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \epsilon(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \epsilon(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s y_r(s) H_\epsilon(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{s^\rho} \cdot \frac{1}{1 + \frac{K}{s^q} G(s)} =$$

$$= \lim_{s \rightarrow 0} s^{q-\rho+1} \cdot \frac{1}{s^q + KG(s)}$$

Pentru ca această limită să tindă către zero este necesar ca $q - \rho + 1 \geq 1$ sau $q \geq \rho$.

Un sistem neted de reglare automată este precis la o referință

$$y_r(s) = \frac{1}{s^\rho}, \quad \rho \geq 1 \text{ dacă și numai dacă funcția de transfer a sistemului în circuit}$$

deschis $H_b(s)$ este de un tip cel puțin egal sau mai mare decât ρ sau, ceea ce este echivalent, dacă și numai dacă funcția de transfer a erorii $H_\epsilon(s)$ are în origine un zero cu ordinul de multiplicitate $\geq \rho$.

Rezultă că pentru ca un SRA să fie precis, el trebuie să încorporeze o copie a modelului mărimilor exogene (externe) sub forma **modelului intern**.

Fenomenul de reglare conține două elemente obligatorii: **conexiunea inversă și modelul intern**.

Performanțele regimului staționar al erorii

Calitatea regimului staționar este apreciată prin **eroarea staționară**:

$$\epsilon_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \epsilon(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \epsilon(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s y_r(s) H_\epsilon(s) \quad (8.27)$$

Presupunând că sistemul este precis la $y_r(s) = \frac{1}{s^p}$, interesează să se evalueze relația (8.26.) pentru $y_r(s) = \frac{1}{s^{p+1}}$:

$$\epsilon_s = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{s^{p+1}} \frac{1}{1 + \frac{K}{s^p} G(s)} = \frac{1}{K} \quad (8.28)$$

Situația este ilustrată în figura 8.17. Se observă că ϵ_s coincide cu componentă permanentă a erorii.

Eroarea staționară este invers proporțională cu factorul de amplificarea a sistemului în circuit deschis, atunci când sistemul nu mai este precis.

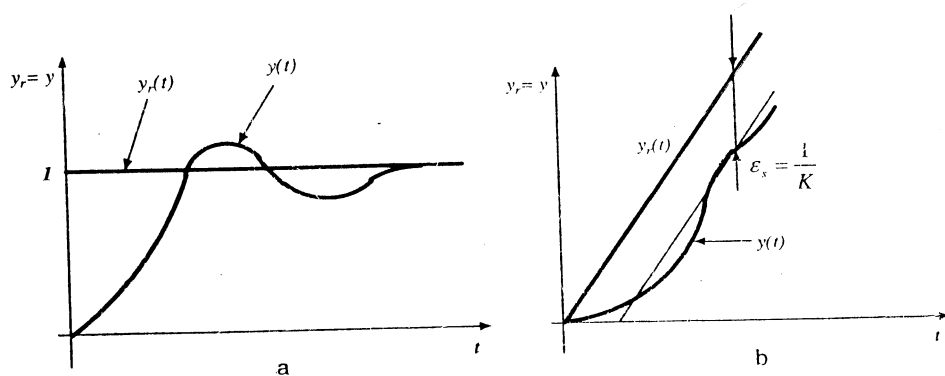


Fig. 8.17. Evaluarea ϵ_s la un $y_r(s) = \frac{1}{s^{p+1}}$ dacă SRA este precis la $y_r(s) = \frac{1}{s^p}$.

Condiția de satisfacere a performanței staționare pe baza relației (8.27) este în contradicție cu îndeplinirea condiției de stabilitate.

Se definesc următorii coeficienți ai erorii staționare:

- coeficientul erorii de poziție $K_p \triangleq \lim_{s \rightarrow 0} H_b(s)$
- coeficientul erorii de viteză $K_v \triangleq \lim_{s \rightarrow 0} sH_b(s)$
- coeficientul erorii de accelerație $K_a \triangleq \lim_{s \rightarrow 0} s^2 H_b(s)$

În tabelul 8.9. se dă o evaluare a erorii staționare pentru principalele tipuri de $H_b(s)$ și intrări standard.

Tabelul 8.9

Eroarea staționară a unui SRA la principalele intrări standard în funcție de tipul lui $H_b(s)$

Tip q	$y_r(s)$	$\frac{1}{s}$	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{1}{s^3}$
0		$1/(1 + K_p)$	∞	∞
1		0	$1/K_v$	∞
2		0	0	$1/K_a$

8.6.3.3. Structuri de sisteme de reglare automată

Structura unui SRA poate fi judecată prin prisma mai multor criterii. Se prezintă principalele criterii de clasificare a structurilor unui SRA, cu exemplificare pentru reglarea nivelului într-un rezervor deschis.

- După cum este realizat circuitul de reglare:
 - structură în circuit (buclă) deschis(ă).
 - structură în circuit (buclă) închis(ă).
- După evoluția mărimii de referință (vezi fig. 8.18)

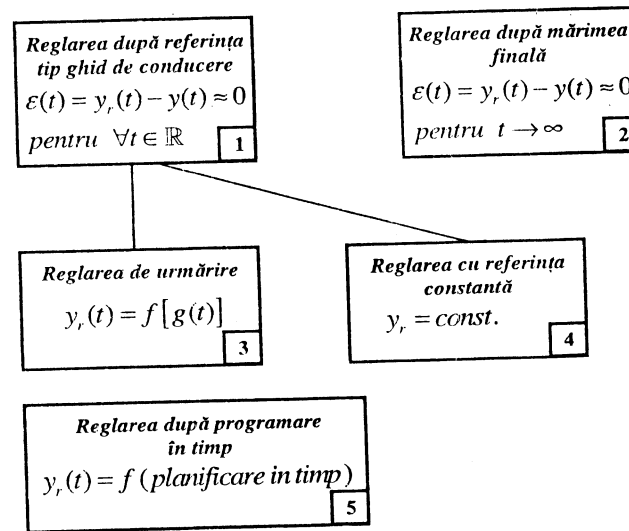


Fig. 8.18. Clasificarea SRA după evoluția mărimii de referință.

■ După modul de prelucrare a semnalului

- Regulator analogic
- Amplificator operațional
- Regulator digital
- Microcalculator

■ Structuri de SRA ce include RA și elementul de acționare al elementului de execuție:

- Regulator cu element de acționare-execuție comandat

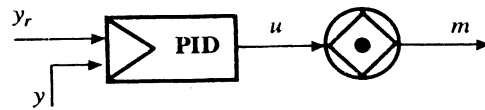


Fig. 8.19. SRA cu RA comandând direct EE.

- Regulator cu element de acționare comandat cu regulator pentru EE

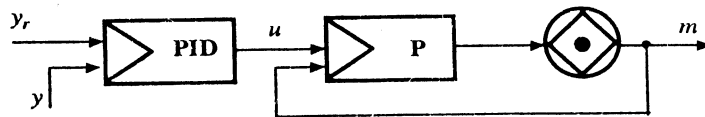


Fig. 8.20. SRA cu RA ce comandă în cascadă regulatorul pentru EE.

- Regulator cu reacție în jurul elementului de execuție

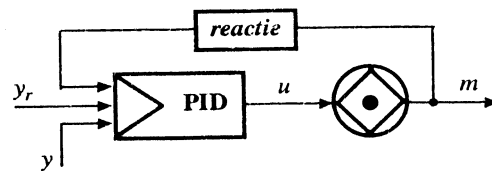


Fig. 8.21. SRA cu RA și EE cu reacție în jurul sistemului.

• Comandă în buclă deschisă (neautomată)

Comanda neautomată, în buclă deschisă (fig. 8.22), impropriu numită comandă manuală, presupune existența unui operator uman care, pe baza indicațiilor aparatului de măsură LT acționează manual asupra ventilului care comandă aerul comprimat al servomotorului cu membrană al vanei de reglare a debitului de intrare Q_i . Operatorul va trebui să mențină nivelul prescris indiferent de sarcina Q_e .

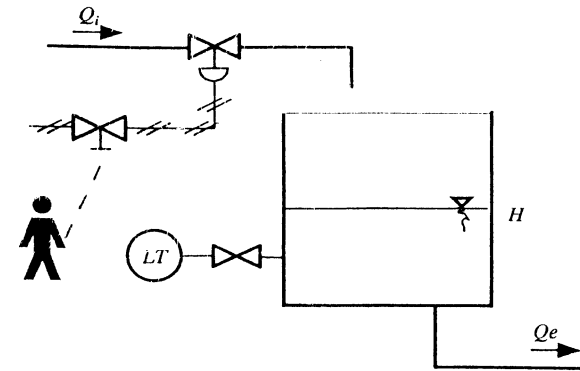


Fig. 8.22. Comanda „Neautomată” a nivelului (reglarea în buclă deschisă).

• Reglarea bipozițională «tot sau nimic» (ON - OFF)

Această reglare de tip releu este cea mai simplă structură de buclă de reglare (fig. 8.23). Nivelul din rezervor este sesizat de un traductor de nivel cu contact, iar servomotorul vanei de admisie a apei în rezervor este acționat pneumatic prin intermediul unui electroventil, acesta fiind acționat de contactul traductorului. Ca urmare, vana va fi complet închisă sau complet deschisă în funcție de semnul erorii, ε_H . Considerând că ventilul de reglaj al nivelului LCV (ventil de comandă a nivelului) este de tipul cu acționare la deschidere (normal închis NI) și că nivelul inițial este cel prestabilit, vana va fi închisă. Dacă nivelul scade, contactul traductorului se închide, electroventilul se alimentează și se produce admisia aerului comprimat în LCV care se va deschide 100%. Nivelul apei în rezervor va crește și în momentul când va fi atins nivelul prestabilit și se va da comanda de închidere a vanei. Această închidere se face cu o întârziere sau

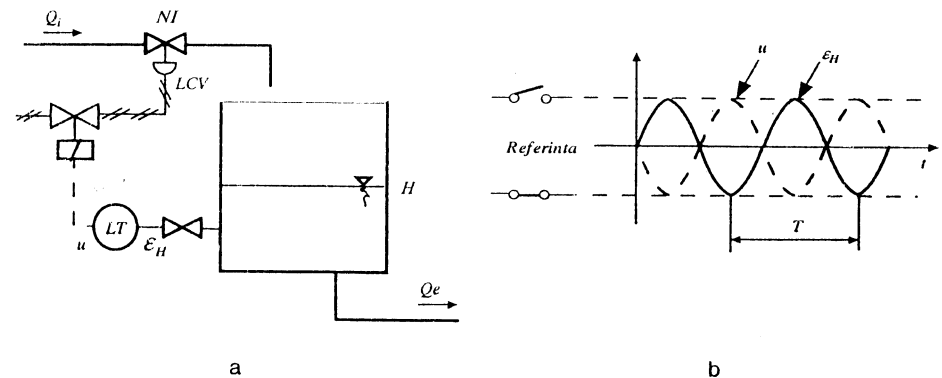


Fig. 8.23. Reglarea «tot sau nimic» a nivelului:
a) schema tehnologică cu automatizări; b) variația comenzii „u” în funcție de eroarea „ ε_H ” a regulatorului.

defazaj de $\frac{1}{2} T$, unde T este perioada ciclului de închidere-deschidere a vanei. Vom avea deci pentru u și ε_H (deci H) o variație armonică, cu un defazaj $\varphi = \varphi_H - \varphi_H = 90^\circ - 270^\circ = -180^\circ < 0$

Deoarece amplitudinea oscilațiilor este constantă, amplificarea va fi egală cu unu.

Se observă din $\varphi = -180^\circ$ și $K = 1$ că suntem la limita de stabilitate a sistemului, deci se confirmă că sistemul este sediul unor oscilații întreținute.

În cazul reglajului «tot sau nimic», parametrul reglat, nivelul, va oscila între două valori, 0% sau 100%. Reglajul la valoarea de referință nu se realizează decât prin existența unei benzi de insensibilitate.

Acest tip de reglaj este nesatisfăcător pentru majoritatea proceselor, deoarece conduce la instabilitate. Poate fi folosit pentru unele procese lente, cum ar fi cele din sistemele electrice de încălzire.

• Reglarea continuă de tip proporțional (fig. 8.24)

Trebuie reamintit de la început că un sistem de reglare automată, deci cu reacție inversă, va acționa întotdeauna după apariția perturbației pentru restabilirea mărimii măsurate la valoarea de referință, eroarea trebuind să apară înaintea emiterii semnalului mărimii de comandă.

Reglarea proporțională este cel mai frecvent mod de reglare și se poate realiza în două variante.

a) Regulator direct (nemijlocit) (fig. 8.24)

Traductorul LT urmărește nivelul apei în rezervor și produce un semnal proporțional cu acesta pentru acționarea ventilului de reglare.

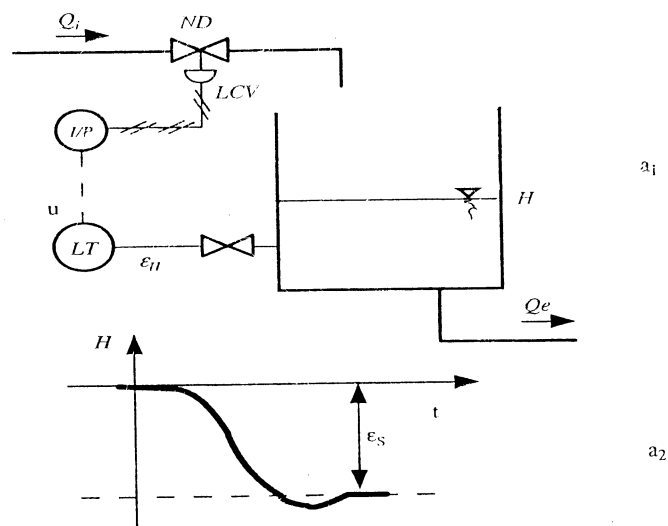


Fig. 8.24. Reglarea de tip P în buclă închisă a nivelului – regulator direct
a1) schema tehnologică cu automatizări; a2) răspunsul SRA.

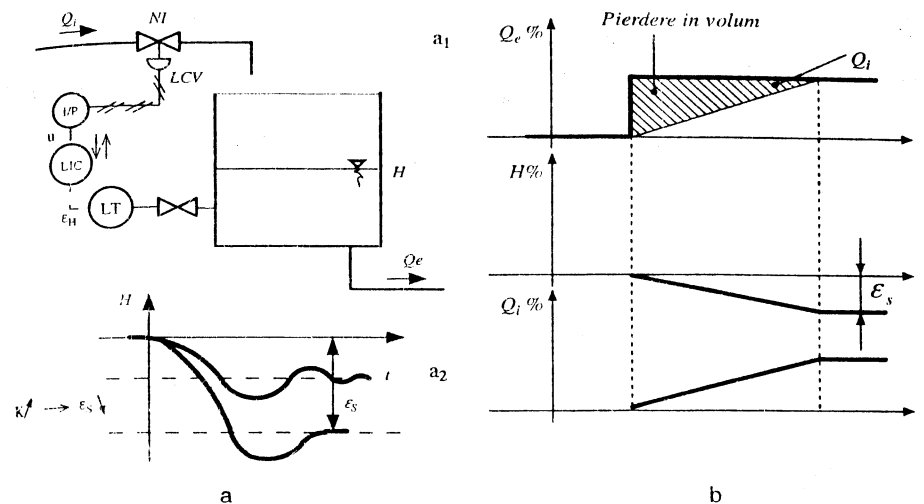


Fig. 8.25. Reglarea de tip P în buclă închisă a nivelului:

- a) reglare indirectă sau prin regulator: a1) schema tehnologică cu automatizări; a2) variația lui H în funcție de valorile factorului de amplificare K al regulatorului; b) răspunsul SRA la o perturbație pe Q_e .

De exemplu, dacă debitul Q_e crește, scade și nivelul apei H în rezervor. Semnalul de la traductorul LT se reduce și dacă ventilul LCV este de tipul normal deschis (ND), acesta se va deschide mai mult măbind debitul de apă introdus în rezervor Q_i . Când se ajunge la echilibrul debitelor de apă la intrarea și la ieșire din rezervor, $Q_i = Q_e$, nivelul se stabilizează și semnalul de la traductor rămâne constant.

Se obține astfel un echilibru masic, dar cu prețul abaterii nivelului de la valoarea inițială. Pentru a readuce H la vechea valoare este necesar să se deschidă mai mult ventilul de reglare, dar acest lucru necesită la rândul său o variație de H . Situația nu ar fi rezolvată nici dacă se mărește H prin adăugarea de lichid de la altă sursă, deoarece în această situație traductorul va sesiza o creștere a lui H , deci semnalul emis de traductorul LT va crește și va comanda închiderea ventilului. Dacă alimentarea suplimentară se suprimă, alimentarea și consumul nu mai sunt egale (datorită închiderii ventilului) și nivelul H al apei în rezervor va scădea din nou.

Se exemplifică numeric în continuare afirmațiile de mai sus. Se presupune inițial că amplificarea sistemului este $K = 1$, de exemplu $K = \frac{\Delta H}{\Delta h} = \frac{5\%}{5\%} = 1$, unde Δh reprezintă modificarea poziției ventilului. Dacă $\Delta Q_e = 5\%$ atunci abaterea de nivel $\Delta H = 5\%$ și drept urmare $\Delta h = 5\%$ pentru a restabili echilibrul masic. Se obține astfel $\varepsilon_s = 5\%$. Dacă $K = 5$ un $\Delta h = 5\%$ conduce la un $\Delta H = 1\%$: deci o creștere $\Delta Q_e = 5\%$ conduce la un $\Delta H \% = 1\%$ și deci $\varepsilon_s = 1\%$.

În concluzie, la o perturbație (modificare) pe Q_e , reglajul proporțional direct va realiza numai o nouă stare de echilibru, o modificare a mărimii de execuție necesitând o schimbare a lui ε .

b) Reglarea indirectă (prin regulator)

Introducerea regulatorului automat de nivel LIC elimină dezavantajele sistemului precedent, în sensul că reglajul se face după mărimea de referință.

Reglatoarele pot fi cu acționare directă ($\uparrow\uparrow$ dacă $\varepsilon \uparrow \Rightarrow u \uparrow$) sau acționare indirectă (reversibilă $\uparrow\downarrow$ dacă $\varepsilon \uparrow \Rightarrow u \downarrow$). Alegerea tipului de acționare a comenzii se face în funcție de tipul ventilului: «normal închis» (NI) sau «normal deschis» (ND). Tipul de vană se alege pe de altă parte din considerente de asigurare a siguranței în funcționare la pierderea presiunii aerului instrumental (de comandă). În majoritatea situațiilor, ca și în cazul exemplului de față, este recomandat să se aleagă un ventil NI.

În figura 8.25, a₁, o scădere a nivelului H conduce la o scădere a semnalului la LIC, dar vanei NI i se va cere o creștere a apei Q_i , ca urmare LIC va fi cu acțiune inversă. Tot cu acțiune inversă va fi LIC și în cazul în care vana de reglare va fi amplasată la ieșirea rezervorului, deci pe debitul de evacuare a apei Q_e . Dacă vana este pe debitul de intrare a apei Q_i și este ND atunci LIC este cu acțiune directă.

Variația lui H și Q_i la un salt în treaptă a lui Q_e este dată în figura 8.25, b. Se poate ajunge la un compromis între valoarea lui ε_s și asigurarea stabilității. Experiența arată că cel mai bun rezultat se obține dacă LIC se acordează la valoarea lui K care conduce la o abatere secundară în regim dinamic (suprareglaj σ) a cărui amplitudine să fie $\frac{1}{4}$ din prima abatere maximă în regim dinamic (suprareglaj σ) (fig. 8.26).

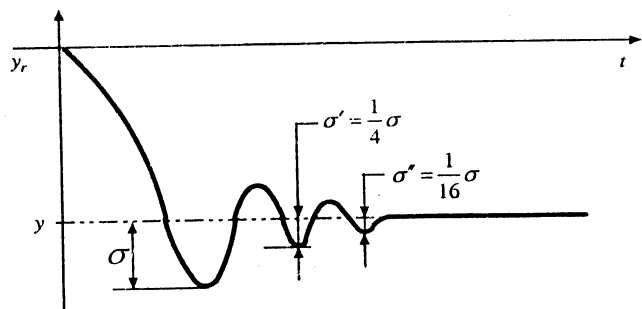


Fig. 8.26. Amortizarea sfert de amplitudine.

În concluzie, reglajul proporțional stabilizează mărimea reglată (de calitate) cu o eroare staționară a cărei valoare este invers proporțională cu factorul de amplificare K al sistemului în buclă închisă. Reglajul se poate îmbunătăți dacă se introduce o componentă derivativă și integrală.

Precizia reglării automate poate, de asemenea, fi îmbunătățită dacă se încearcă menținerea unei balanțe masice între Q_i și Q_e , unul dintre semnale fiind folosit și ca mărime de referință (Q_e).

Se obține astfel așa numita reglare cu compensarea perturbațiilor.

• Reglarea cu compensarea perturbațiilor (figura 8.27)

Perturbațiile sunt reprezentate de Q_e și Q_i .

În cazul ideal, variația debitului de ieșire Q_e va conduce la modificarea debitului de intrare Q_i pentru stabilirea egalității între debite $Q_i = Q_e$.

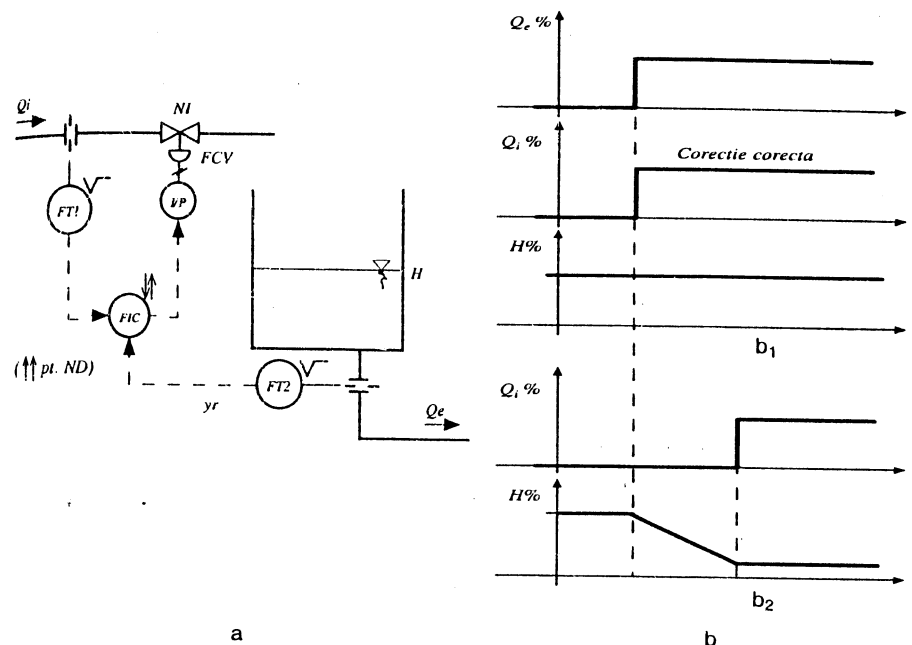


Fig. 8.27. Reglajul cu compensarea perturbațiilor:
a) schema tehnologică cu automatizări;
b) semnale din proces (b₁ – cazul ideal; b₂ – cazul real).

Rolul traductorului de debit FT2 este de a asigura un semnal de corecție a perturbației astfel încât debitul de ieșire Q_e să fie corectat înainte ca procesul să fie perturbat efectiv. În cazul real există o întârziere de la sesizarea modificării debitului Q_e până la modificarea corespunzătoare a debitului Q_i . Acest lucru conduce la o stabilizare a semnalului cu o eroare staționară.

Schema nu este practică deoarece parametrul reglat, H , nu este urmărit decât indirect. Nivelul va fi afectat cu atât mai mult, cu cât, deși mărimea de comandă este determinată exact, apar întârzieri mai mari în executarea lui u : abaterea va fi proporțională cu întârzierea.

• **Reglarea în cascadă** (fig. 8.28)

Reglarea în cascadă își propune menținerea valorii de referință a parametrului reglat și eliminarea perturbațiilor înainte de propagarea lor în sistem. Se utilizează în acest scop două sau mai multe regulatoare conectate în serie (sau în cascadă), fiecare regulator primind informația de la o mărime măsurată și de la eventualul regulator aflat în amonte de el. Realizarea unei astfel de structuri presupune o descompunere a instalației în mai multe subprocese. Aceste subprocese au constante de timp din ce în ce mai mici, pe măsură ce se află mai spre interiorul structurii de reglare.

În figura 8.28 se propune o structură în cascadă cu două regulatoare:

- regulatorul principal (de nivel) **LIC** este cu acțiune inversă, deoarece la o creștere a nivelului H trebuie să-i corespundă o scădere a debitului Q_i ;
- regulatorul secundar (de debit) **FIC** este tot cu acțiune inversă, această acțiune fiind determinată de tipul vanei de reglare.

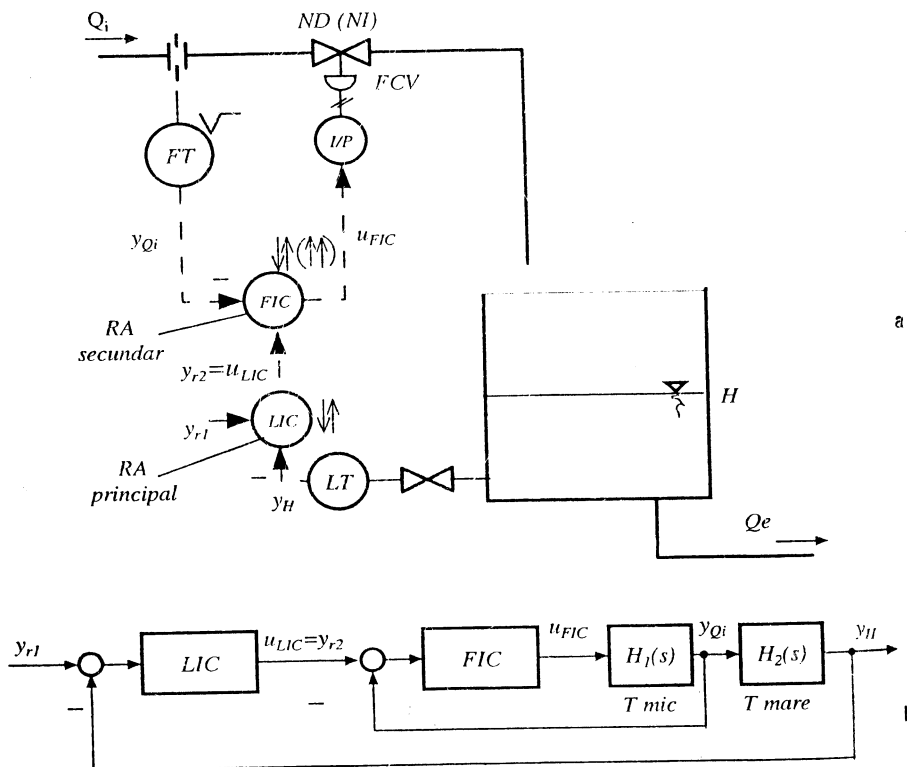


Fig. 8.28. Reglarea automată în cascadă a nivelului (H - Q):
a) schemă tehnologică cu automatizări; b) schema bloc.

Comportarea reglării în cascadă este similară cu cea a unei reglări cu o singură buclă de reglare, în sensul că trebuie să apară mai întâi eroarea și apoi va fi elaborată mărimea de comandă care va încerca să restaureze mărimea măsurată la valoarea de referință.

Funcționarea se poate descrie după următoarea secvență: când debitul de ieșire Q_e crește, nivelul H în rezervor scade și, ca urmare mărimea de comandă la ieșirea regulatorului de nivel LIC (u_{LIC}) crește, adică crește mărimea de referință pentru regulatorul din bucla internă FIC . Acesta din urmă va avea, la rândul lui, la ieșire o mărime de comandă u_{FIC} care va scădea dacă vana FCV este în starea «normal deschisă» sau va crește dacă vana FCV este în starea «normal închisă».

O precizie mai bună se poate obține dacă se introduce un semnal de măsură direct după perturbația de la ieșire.

• **Reglare în cascadă cu compensarea perturbației cu legătură înainte** (fig. 8.29)

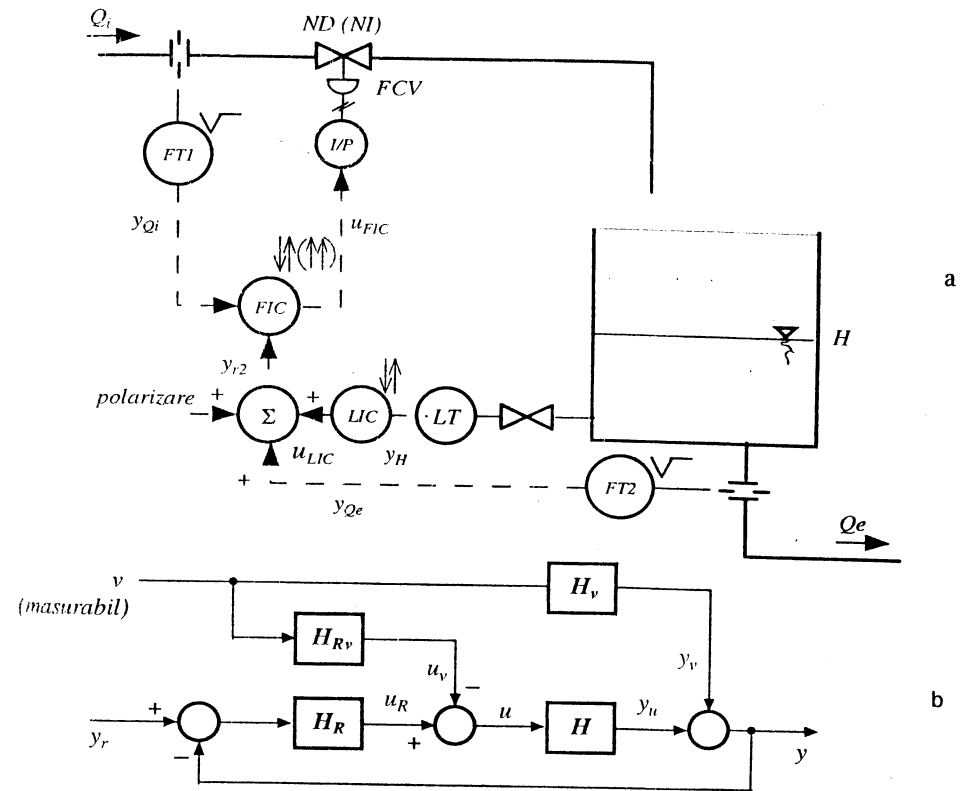


Fig. 8.29. Reglarea automată în cascadă a nivelului, cu compensarea perturbațiilor cu legătură înainte:
a) schema tehnologică cu automatizări; b) schema bloc.

Legătura înainte este necesară pentru a minimiza variațiile parametrului reglat H ca urmare a modificării sarcinii Q_e , deci a unui dezechilibru masic între Q_i și Q_e .

Semnalul de compensare a perturbației Q_i dat de traductorul de debit FT_1 se însumează cu ieșirea regulatorului de nivel LIC și cu cea a semnalului de polarizare. Orice abatere de debit de intrare este rezolvată pe bucla de stabilizare a debitului ce include regulatorul de debit FIC .

Dacă nivelul se află la valoarea de referință, eroarea este zero și regulatorul proporțional va furniza un semnal de 50%. LIC va fi cu acțiune inversă, pentru a furniza un semnal micșorat regulatorului FIC la un nivel mare. Semnalul la traductorul FT_2 al debitului de ieșire Q_e , și comanda regulatorului LIC u_{LIC} se introduc în sumator. La valoarea de referință a nivelului, mărimea de comandă a LIC nu trebuie să modifice referința regulatorului de debit FIC . Pentru a realiza acest lucru, sumatorul va trebui să ignore semnalul de comandă de la LIC , corespunzător nivelului de 50%. Acest lucru se obține folosind semnalul de polarizare (constant) de -50% .

Indiferent de fluctuațiile intrării FIC va regla debitul de intrare Q_i în funcție de y_2 .

• Reglarea numerică directă (DDC) (fig. 8.30)

Reglarea numerică (figura 8.30) constă în înlocuirea regloarelor automate de tip analogic cu o aparatură numerică (calculatoare numerice sau microcontrolere numerice). Acest fapt permite folosirea unor algoritmi evoluți de conducere și comandă a mai multor procese de către un singur echipament.

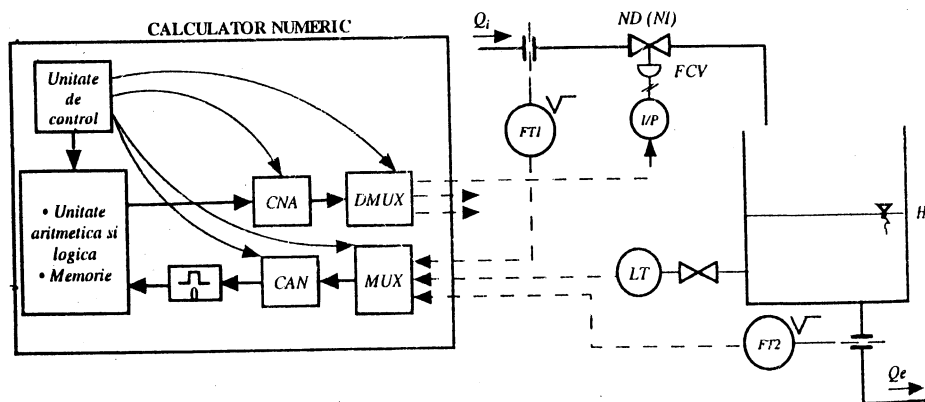


Fig. 8.30. Reglarea numerică directă.

Mărimile măsurate cu traductoare analogice sunt convertite în semnale numerice prin convertorul analog numeric (CAN). Selectarea unui canal unic pe CAN se face cu un multiplexor MUX aflat în subordinea unității de control. Semnalul numeric este trecut apoi printr-un dispozitiv de extrapolare, de obicei de

ordinul zero, care reține valoarea mărimii măsurate între două momente de eșantionare. După prelucrarea semnalelor conform legii de reglare, comanda la ventilul de reglare se transmite prin convertorul numeric analogic (CNA) și prin demultiplexorul $DMUX$.

■ Structură cu RA amonte (înainte)

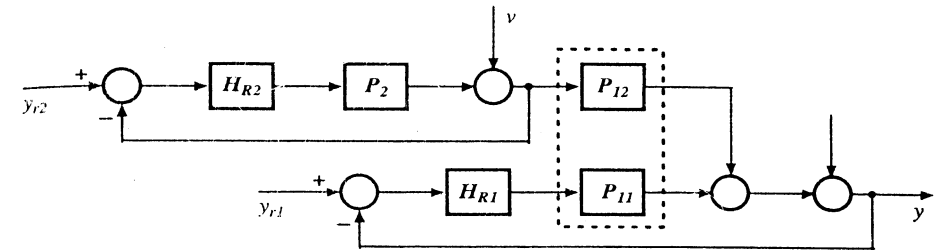


Fig. 8.31. SRA cu RA amonte.

■ Structuri cu mărimi ajutătoare

i) Mărime de reglare ajutătoare

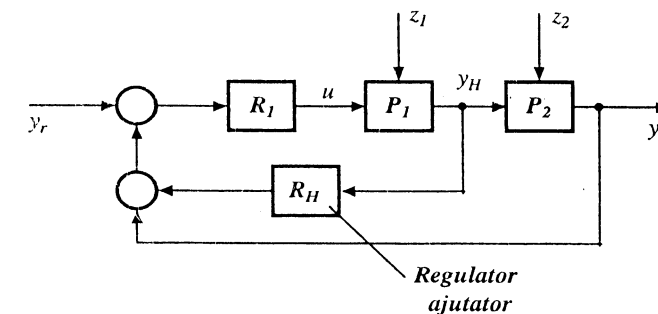


Fig. 8.32. Structură de SRA cu mărime reglată ca mărime ajutătoare.

ii) Mărime de execuție ajutătoare

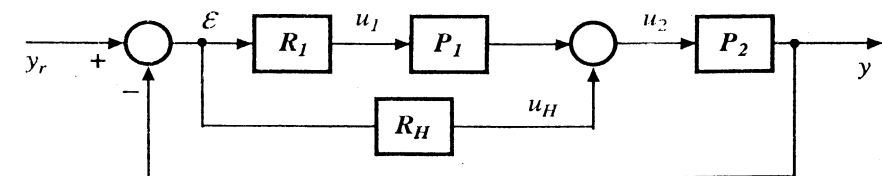


Fig. 8.33. Structură de SRA cu mărime de execuție ca mărime ajutătoare.

■ Conducere cu predicție după referință

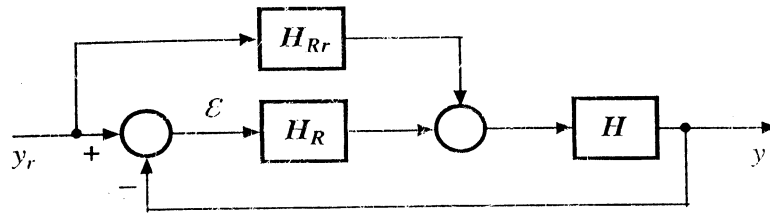


Fig. 8.34. SRA cu predicție după referință.

Din punctul de vedere al constantei de timp, procesele pot fi de două tipuri:

- **procese rapide** caracterizate prin constante de timp sub $10''$;
- **procese lente** caracterizate prin constante de timp peste $10''$.

8.6.3.4. Elementele unui SRA

a) Traductoare

• Rolul și locul traductorului într-un SRA. Clasificări

Traductorul (T) este acel subsistem al unui sistem de reglare automată sau de conducere care are rolul de a stabili o corespondență între mărimea de calitate z (sau mărime de măsurat) și mărimea de ieșire y (sau mărimea măsurată) ce este aptă de a fi prelucrată de sistemele de prelucrare automată a datelor.

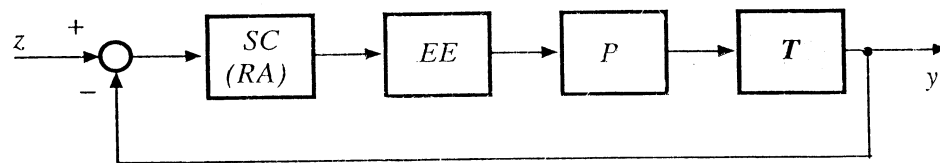


Fig. 8.35. Rolul și locul traductorului într-un SRA.

Acest lucru se realizează prin transformarea/convertirea mărimii fizice de măsurat, de obicei o mărime neelectrică, într-o mărime electrică sau, în aceeași mărime fizică, cu schimbarea parametrilor acesteia (de exemplu o mărime electrică în altă mărime electrică dar cu un alt domeniu de variație). Această transformare nu se realizează întotdeauna direct printr-un singur element fizic, ci se poate face indirect, printr-o serie de transformări succesive de mărimi fizice.

• Caracteristici generale ale traductoarelor

Un traductor este constituit, în general, din două blocuri principale (fig. 8.36):

- elementul sensibil (detector, captor, senzor), specific mărimii măsurate, care transformă mărimea de măsurat, z , într-o mărime intermediară, w ;
- convertorul de ieșire (adaptorul), element ce prelucrează și convertește semnalul dat de elementul sensibil, w , într-o mărime direct utilizabilă în sistemul automat, y ;

În funcție de forma de variație a semnalelor de ieșire adaptoarele pot fi analogice sau numerice.

- elementele de transmisie, sunt elemente auxiliare care realizează conexiuni electrice, mecanice, optice sau de altă natură în situațiile în care tehnologiile de realizare ale traductorului o impun;
- sursa de energie, necesară în cele mai frecvente cazuri pentru a menaja energia semnalului util.

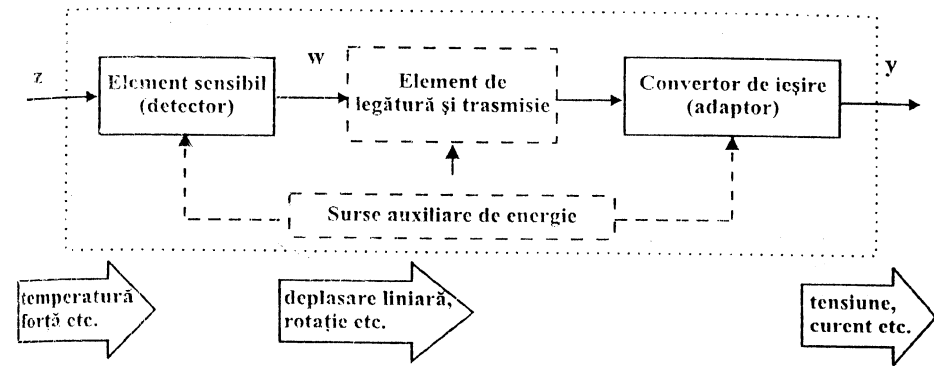


Fig. 8.36. Principalele elemente constituente ale unui traductor.

Elementele pe baza cărora se pot caracteriza și compara diferitele traducătoare sunt următoarele:

- a) natura fizică a mărimii de intrare și de ieșire;
- b) puterea consumată la intrare și cea transmisă sarcinii;
- c) caracteristica statică;
- d) caracteristica dinamică;
- e) nivelul de zgomot.

Caracteristica statică exprimă dependența, în regim staționar, între mărimea de intrare și cea de ieșire: $y = f(z)$. Această caracteristică poate fi liniară sau neliniară, univocă sau neunivocă.

În practică, caracteristicile statice pot prezenta un grad mai mare sau mai mic de neliniaritate, impunându-se liniarizarea acestora printr-o metodă adecvată, în gama de variație a mărimii de intrare și de ieșire (fig. 8.37). Cu cât domeniul de liniaritate este mai mare, cu atât traductorul este mai bun.

Astfel, pe baza caracteristicii statice, se pot defini următoarele mărimi:

- Gradul de liniaritate al unui traductor se exprimă prin „abaterea (eroarea) de neliniaritate”, care se definește prin $\varepsilon_l = \frac{y_l - y}{y_l} \cdot 100$ [%], unde: y_l

este valoarea liniarizată a ieșirii traductorului, iar y valoarea reală. Această mărime se poate exprima și în funcție de z , mărimea de intrare.

• Domeniul de măsurare corespunde intervalului în cadrul căruia se efectuează corect măsurarea: $\Delta z = z_{\max} - z_{\min}$, z_{\max} reprezentând valoarea maximă a mărimii de intrare, iar z_{\min} , valoarea minimă.

• Sensibilitatea este calitatea traductorului de a determina variații mari ale mărimii de ieșire la apariția unor variații reduse la intrare și se exprimă ca raportul dintre variația semnalului de la ieșire și variația mărimii de intrare $S = \frac{\Delta y}{\Delta z}$.

• Pragul de sensibilitate reprezintă variația minimă a mărimii de măsurat care determină o variație a mărimii de ieșire cel puțin egală cu eroarea admisibilă a traductorului.

- Puterea de rezoluție

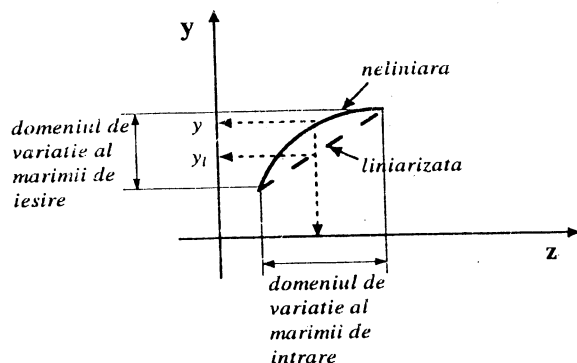


Fig. 8.37. Caracteristică statică neliniară liniarizată.

Dacă se raportează pragul de sensibilitate la domeniul de măsurat, se obține și un prag de sensibilitate relativă, care se numește rezoluție sau putere de rezoluție. Aceasta exprimă proprietatea traductorului de a distinge două valori cât mai apropiate una de alta ale mărimii de măsurat.

• Clasa de precizie a traductorului este raportul dintre eroarea maximă admisibilă care se produce în regim static de funcționare și domeniul de măsurare. Valorile uzuale sunt 0,1% ~ 2%.

Caracteristica dinamică exprimă comportarea în regim dinamic a traductorului. Ea rezultă din ecuația diferențială care exprimă dependența dintre variațiile temporale ale mărimii de intrare și ale mărimii de ieșire.

De cele mai multe ori interesează răspunsul sistemului (traductorului) la o mărime standard la intrare sau caracteristicile de frecvență pe baza acestora, determinându-se o serie de performanțe ale acestuia. Principalele performanțe atașate răspunsului tranzitoriu al traductorului pentru un semnal treapta la intrare sunt:

- viteza de răspuns a traductorului sau durata regimului tranzitoriu t_t ,
- timpul de creștere t_c ,
- suprareglajul (abaterea dinamică maximă).

Nivelul de zgomot al traductorului, care este un element primar de prelucrare a informației, trebuie să fie cât mai redus posibil pentru a nu altera deciziile care se iau prin prelucrarea ulterioară a mărimii furnizate de traductor.

Traductoarele se pot clasifica:

– După principiul de funcționare al elementului sensibil în: **traductoare generatoare și traductoare parametriche.**

Funcționarea **traductoarelor parametriche** se bazează pe modificarea unui anumit parametru caracteristic unui circuit electric sub acțiunea mărimii de măsurat (exemplu: traductoare rezistive, inductive, capacitive etc.). Pentru punerea în evidență a variației parametrului respectiv este necesară introducerea unei energii exterioare.

Funcționarea **traductoarelor generatoare** se bazează pe transformarea directă a energiei mărimii de măsurat într-o energie asociată mărimii de ieșire, de regulă o mărime electrică (exemplu: termocupluri, traductoare piezoelectrice, tahogeneratoare).

– După natura mărimii măsurate traductoarele se clasifică în: traductoare pentru mărimi electrice (tensiune, curent, frecvență, putere, fază etc.) și traductoare pentru mărimi neelectrice (traductoare de poziție și deplasare, traductoare pentru măsurarea forțelor și cuplurilor, a vitezelor și accelerațiilor, traductoare pentru măsurarea temperaturii, presiunii, nivelului etc.).

– După forma mărimii de ieșire există: traductoare analogice, cu impulsuri și traductoare numerice.

Traductoarele analogice realizează dependența între mărimea fizică măsurată z și mărimea rezultată la ieșire y , astfel încât y este o funcție continuă (liniară sau neliniară).

La traductoarele cu impulsuri mărimea de ieșire y este o succesiune de impulsuri modulate în amplitudine, durată sau frecvență în funcție de mărimea de intrare.

Traductoarele numerice prezintă rezultatul măsurării sub forma numerică, obținut în general prin măsurarea unei succesiuni de impulsuri codificate.

Utilizarea unui traductor este precedată de operația de **calibrare inițială** prin care intervalul de variație al semnalului analogic de la ieșirea traductorului (adaptorului) se asociază domeniului necesar al mărimii de intrare în traductor și în consecință fiecărui nivel de semnal la ieșire îi corespunde o valoare bine precizată a mărimii de intrare.

b) Regulatori

- **Rolul și locul regulatorului automat într-un SRA. Clasificări.**

Regulatorul automat (RA) este un subsistem al SRA care are rolul de a elabora legea de comandă pe baza mărimii de eroare cu scopul final de a o anula, cu alte cuvinte, de a îndeplini condiția de reglare (fig. 8.38).

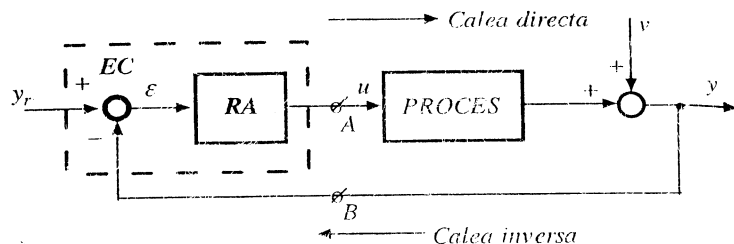


Fig. 8.38. Rolul și locul RA într-un SRA.

Cele mai importante criterii pentru clasificarea reguletoarelor automate sunt date în figura 8.39.

După sursa de energie exterioară solicitată de reguletoare, RA se clasifică în:

- reguletoare directe, atunci când nu este necesară o sursă de energie exterioară, transmiterea semnalului realizându-se pe seama energiei din proces preluată de traductorul de reacție, și
- reguletoare indirecte, care folosesc o sursă de energie exterioară. Reguletoarele indirecte realizează performanțe de reglare superioare celor directe.

După viteza de răspuns a procesului condus există:

- reguletoare pentru procese rapide, folosite pentru reglarea mărimilor din instalații tehnologice care au constante de timp mici (de ordinul secundelor);
- reguletoare pentru procese lente, pentru conducerea instalațiilor tehnologice cu constante mai mari de 10".

După structura constructivă, reguletoarele se clasifică în:

- reguletoare specializate, destinate în exclusivitate reglării unei singure mărimi specifice dintr-o instalație tehnologică, având o construcție specifică;
- reguletoare unificate, la care atât mărimile de intrare cât și mărimea de ieșire u au aceeași natură fizică și aceeași gamă de variație. Semnalele se numesc unificate, putând fi de tipul: 0,2...0,1 daN/cm², 2...10 mA c.c., 1...5 mA c.c., 0...0,5 V c.a., pentru procese lente, și -10...+10 V c.c., -5...+5 mA c.c., pentru procese rapide. Reguletoarele unificate au avantajul tipizării, al interschimbabilității (elementele componente pot fi conectate în mod diferit) și permit reglarea mărimilor de natură fizică diferită.

SRA unificate se bucură de o largă aplicabilitate în practica inginerescă. Într-adevăr, complexitatea și natura proceselor industriale fiind foarte diferite, gama versiunilor de dispozitive de automatizare este foarte largă.

O producție mare și ieftină de elemente de automatizare nu este posibilă decât prin introducerea unor elemente unificate care, interconectate, să permită realizarea unui avantaj larg de structuri de reglare.

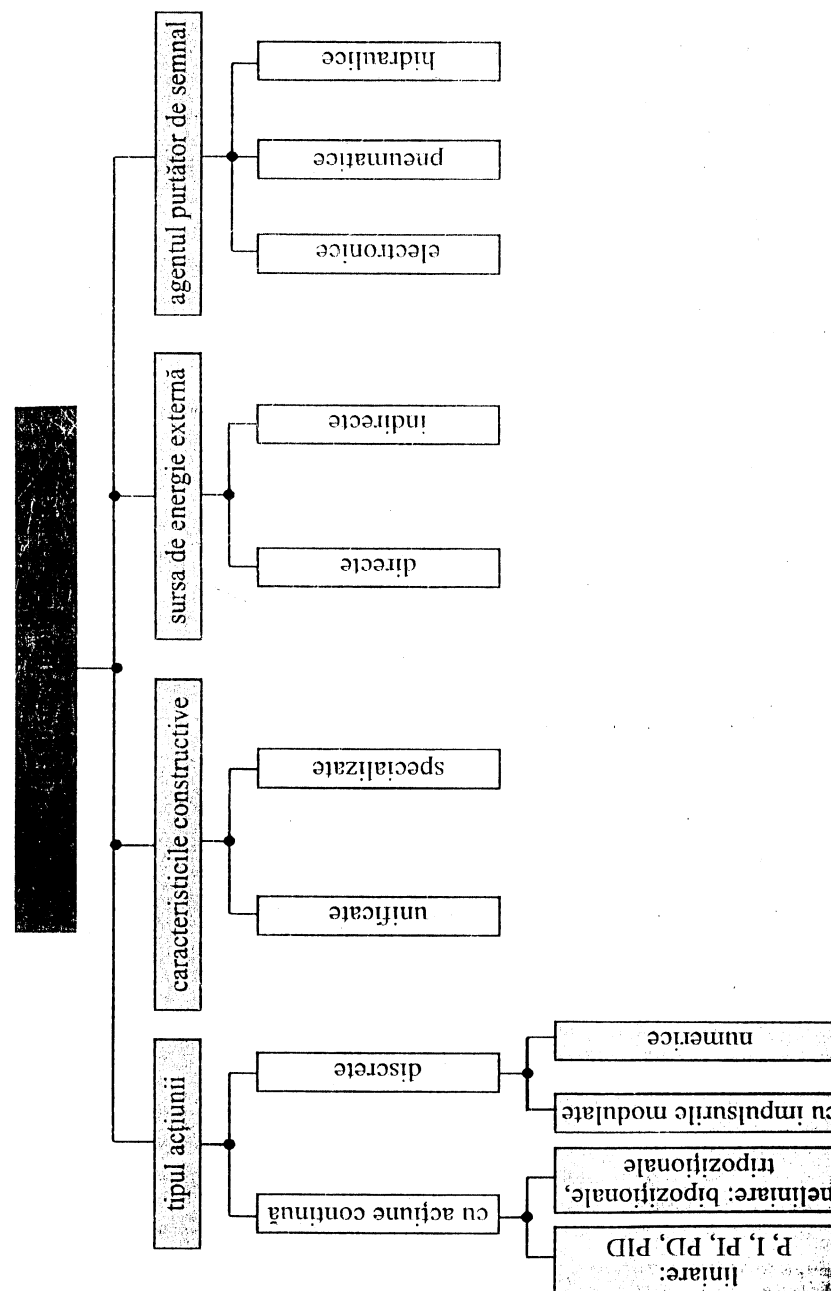


Fig. 8.39. Criterii de clasificare pentru RA.

Utilizarea unor astfel de structuri de reglare permite și o proiectare ușoară și un montaj rapid, proiectantul având doar rolul de a calcula un număr restrâns de parametri și de a alege echipamentul de reglare și de a acorda RA.

După tipul acțiunii realizate, regulatoarele se clasifică în:

- *regulatoare cu acțiune continuă*, la care eroarea ε și comanda u variază continuu în timp. În funcție de legea de dependență între intrare și ieșire, regulatoarele pot fi liniare, sau neliniare. Regulatoarele continue liniare sunt de tipul P , PI , PID etc., și cele neliniare pot fi bipoziționale sau tripoziționale;
- *regulatoare cu acțiune discretă* sunt acele regulatoare automate la care mărimea de ieșire u este formată dintr-o succesiune de impulsuri, mărimea de intrare (eroarea) fiind o mărime continuă. Impulsurile de la ieșirea blocului de reglare discretă pot fi modulate în amplitudine sau durată sau codificate, în acest caz regulatorul discret fiind de tip numeric.

După agentul purtător de energie, există regulatoare:

- *electronice*, la care mărimile de intrare și de ieșire sunt de natură electrică (curenți sau tensiuni);
- *pneumatice*, u și ε sunt presiuni de aer;
- *hidraulice*, la care intrarea ε este o deplasare, iar ieșirea u este presiunea unui lichid.

După sensul mărimii de comandă „ u ”, în raport cu parametrul reglat „ y ”:

- *cu acțiune directă* ($\uparrow\uparrow$): $y \uparrow \rightarrow u \uparrow$;
- *cu acțiune indirectă* ($\uparrow\downarrow$): $y \uparrow \rightarrow u \downarrow$.

• Elementele ce caracterizează un RA

Elementele care caracterizează un regulator automat și pe baza cărora se pot compara între ele diferitele regulatoare, în scopul alegerii celui mai adecvat tip, sunt următoarele:

- natura fizică a mărimii de intrare și ieșire;
- mediul în care vor lucra regulatoarele;
- gradul de complexitate al procesului și performanțele ce se impun mărimii reglate. În general, pentru majoritatea proceselor, legile de reglare P , PI , PD sau PID sunt satisfăcătoare, dar există procese la care se impun, datorită strategiilor complexe de conducere, regulatoare cu structuri speciale, cum ar fi cele de tip extremal, adaptiv etc. Astfel de structuri se realizează, însă, de cele mai multe ori, cu structuri numerice;
- posibilitățile de integrare în sisteme numerice complexe de conducere (calculatoare de proces);
- parametrii legii de reglare : constanta de timp de integrare T_i , constanta de timp de derivare T_D , banda de proporționalitate BP ;
- transferul funcționării «automat-manual» și invers, fără șoc și fără echilibrare prealabilă;

- viteza de răspuns a procesului automatizat (proces rapid sau lent);
- numărul de elemente de execuție ce pot fi comandate simultan, în paralel, de către un regulator;
- tipul elementului de acționare;
- tipul organului de reglare (normal închis sau normal deschis);
- caracteristica statică a organului de reglare;
- realizarea siguranței în funcționare a procesului la întreruperea semnalelor de măsură și de comandă.

• Regulatoare discrete (regulatoare numerice)

Se cunosc două versiuni de regulatoare discrete: *regulatoare cu impulsuri* și *regulatoare numerice*, ultimele fiind cele mai utilizate deoarece ele funcționează pe principiul microsistemelor de calcul, similare calculatoarelor de proces.

▪ Regulatoare în impulsuri

Un regulator funcționând în impulsuri nu primește eroare $\varepsilon(t)$ în mod continuu, ci în mod discret.

Prin eșantionare, se preiau valorile instantanee ale mărimii continue $\varepsilon(t)$ la intervale de timp fixe, T , pe o durată foarte scurtă, ΔT , obținându-se astfel semnalul discret $\varepsilon^*(t)$. Acest semnal constituie intrarea în regulator, care după prelucrarea erorii discrete, conform algoritmului implementat prin structură, produce la ieșire o mărime de comandă $u^*(t)$ tot sub forma de impulsuri, de aceeași frecvență $1/T$ ca cea de intrare. Într-un sistem automat în care toate celelalte biocuri sunt continue, semnalul de comandă $u^*(t)$ al regulatorului în impulsuri este reținut pe durata T , până la sosirea unui nou impuls, prin intermediul unui element de reținere. Dispozitivele de eșantionare a mărimilor de intrare și ieșire sunt de cele mai multe ori incluse constructiv în regulatorul discret.

▪ Regulatoare numerice

Realizarea numerică a unei legi de reglare este justificată în principal de următoarele cauze:

- *posibilitatea de încadrare a regulatorului numeric într-un SRA numeric complex*, în care să se realizeze și funcții de supraveghere, testări de limite, analize și rapoarte periodice, afișări grafice ale unor mărimi calculate sau de proces;
- pentru procese lente, cu constante de timp mari, devine posibilă *conducerea* cu același regulator numeric, în timp divizat a mai multor bucle de reglare;
- posibilitatea de *integrare a regulatorului numeric într-un sistem ierarhizat*, condus prin calculator;
- posibilitatea *modularizării prin program (software) a structurilor de reglare (P, PI, PID, neliniare) și a configurării simple*, prin cuplarea rutinelor menționate, a unor structuri de reglare în cascadă, de raport, multiplă ș.a.

- posibilitatea implementării unor algoritmi de reglare evoluți (ex: conducerea după stare).

Mărimile cu care operează un regulator numeric sunt mărimi eșantionate în durată și eșantionate în amplitudine:

- *Eșantionarea în durată*: se preiau valorile mărimilor la momente discrete de timp.

Condiția este ca frecvența de eșantionare să fie de cel puțin de două ori mai mare ca frecvența maximă conținută în semnalul analogic pentru a nu apărea pierdere de informație utilă. Practic această frecvență se ia de 8–10 ori mai mare decât frecvența proprie a procesului condus.

- *Eșantionarea în amplitudine* constă în înlocuirea mulțimii continue a valorilor semnalului cu o mulțime discretă, finită de valori.

Algoritmii de reglare se pot prezenta în două forme: *algoritmi de poziție și de viteză*. Pentru o lege de comandă *PID* avem următoarele expresii:

- algoritmul de poziție (absolut)

$$u(n) = K_R \left[\varepsilon(n) + \frac{T}{T_I} \sum_{j=0}^n \varepsilon(j) + T_D \frac{\varepsilon(n) - \varepsilon(n-1)}{T} \right] + u_0 \quad (8.29)$$

- algoritmul de viteză (incremental)

$$\begin{aligned} \Delta u(n) &= u(n) - u(n-1) = \\ &= K_R \left\{ \varepsilon(n) - \varepsilon(n-1) + \frac{T}{T_I} \varepsilon(n) + \frac{T_D}{T} [\varepsilon(n) - 2\varepsilon(n-1) + \varepsilon(n-2)] \right\} \end{aligned} \quad (8.30)$$

cu T – perioada de eșantionare;

$$\varepsilon(n) = \varepsilon(nT); \quad u(n) = u(nT) \quad (8.31)$$

u_0 – valoarea inițială a comenzii (polarizare);

K_R – factorul de amplificare;

T_D – constanta de derivare;

T_I – constanta de integrare.

Pe lângă numeroasele și evidentele avantaje, reglajul numeric are și o serie de dezavantaje, cum ar fi:

- sensibilitate la zgomot, ceea ce impune o filtrare numerică sau analogică;
- introduce timp mort datorită procesului de eșantionare, fapt ce se poate evita prin mărirea frecvenței de eșantionare;
- eroarea de discretizare, în special evidența la acțiunea derivativă: se caută să fie evitate astfel de componente în legea de comandă.

Structura simplificată a unui sistem de reglare numeric este dată în figura 8.40.

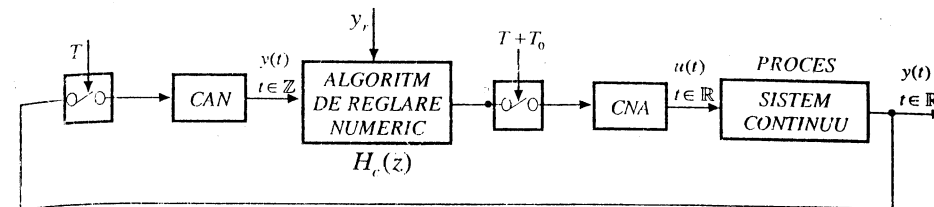


Fig. 8.40. Structura unui sistem de reglare numeric.

Se observă că, sistemul este hibrid din punctul de vedere al informației vehiculate și prelucrate. Interfața cu procesul este constituită pe intrarea sistemului compensator numeric $H_c(z)$ dintr-un element de eșantionare și un element de cuantizare *CAN* (convertor analog numeric).

c) Elemente de execuție

- *Rolul și locul elementului de execuție într-un SRA. Clasificări.*

Elementul de execuție (EE) este acel subsistem al unui SRA prin intermediul căruia sistemul de conducere sau regulatorul automat acționează asupra procesului propriu-zis.

El este constituit din două subsisteme principale:

- *elementul de acționare* (servomotor, motor) *EA*;
- *organul de reglare OR*.

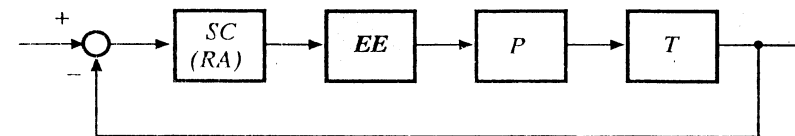


Fig. 8.41. Rolul și locul EE.

După modul în care EE acționează asupra procesului, se deosebesc două posibilități: cu acțiune continuă și cu acțiune discontinuă.

Din punctul de vedere al relației intrare-ieșire, EE pot fi cu acțiune integrală sau proporțională și de această dependență trebuie să se țină seama în stabilirea legii de comandă.

- *Elemente ce caracterizează un EE*

Alegerea unui EE constă, în mod practic, în alegerea organului de reglare și, corelat cu acesta, a elementului de acționare. Alegerea OR are în vedere, în primul rând, caracteristicile constructive legate de tipul OR (electric sau neelectric), tipul variantei constructive (a corpului OR, numărul de scaune, forma opturatorului), precum și temperatura, corozivitate și toxicitatea mediului de lucru.

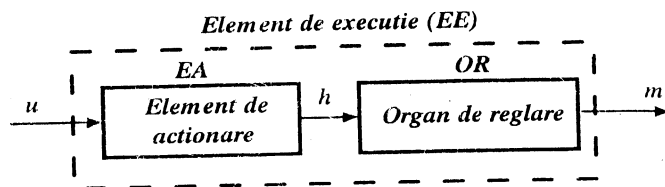


Fig. 8.42. Subsistemele constituente ale unui element de execuție.

Dimensionarea propriu-zisă a *OR* se face pe baza caracteristicii intrinseci, ținând cont de datele inițiale (debitul de fluid, mediul de lucru, căderea de presiune etc.). În alegerea *EE* trebuie să se țină seama de asigurarea unei funcționări sigure, de caracteristicile statice și dinamice, de domeniul de liniaritate, de viteza de răspuns etc.

• Elemente de acționare

După sursa de energie utilizată EA pot fi:

- electrice: motoare electrice rotative (de c.c., c.a. sau cu pas), mutatoare cu tiristoare sau electromagneți;
- pneumatice: cu membrană sau piston;
- hidraulice: cu piston (cu o față activă sau două fețe active).

Elemente de acționare pneumatice. Acest tip de *elemente de acționare* au o mai largă utilizare, în special, cele cu membrană. EA cu membrană pot fi cu *OR* acționate la închidere sau la deschidere (fig. 8.43, *a*₁, *b*) cu simplă sau dublă acțiune. În figura 8.43, *a*₂ se dă caracteristica statică și dinamică a unui EA cu membrană, cu simplă acțiune. Se observă că acesta are o comportare ideală proporțională. Într-adevăr, dacă se scrie ecuația de echilibru a forței dezvoltate de presiunea aerului comprimat cu forța rezistentă din resort se obține:

$$k_1 \cdot h(t) = \alpha \cdot k_2 \cdot S \cdot p_u(t) \quad (8.32)$$

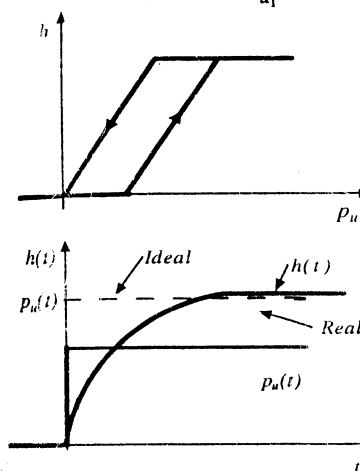
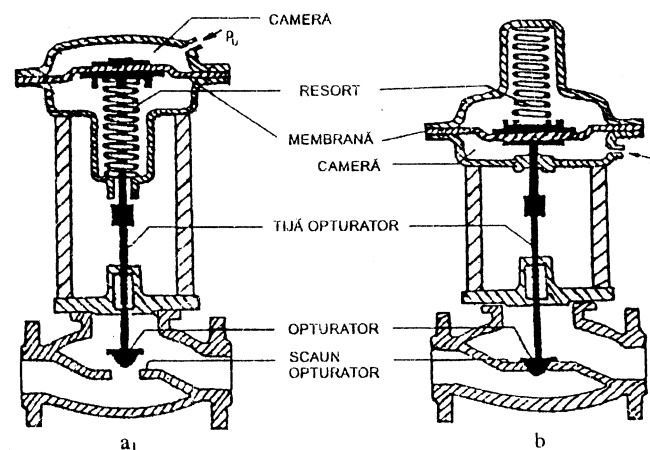
unde, $h(t)$ – deplasarea axului; $p_u(t)$ – presiunea aerului comprimat de comandă; S – suprafața membranei; α – coeficient de micșorare al încărcării, care ține cont de deformarea membranei; k_1 – constanta elastică a resortului; k_2 – coeficient de încărcare membranei ce depinde de raportul dintre diametrul membranei și diametrul plăcii disc;

Se obține astfel:

$$h(t) = \frac{\alpha k_2 S}{k_1} \cdot p_u(t) = K p_u(t) \quad (8.33)$$

Datorită neliniarităților și întârzierilor pe linia pneumatic EA cu membrană au în realitate o comportare cu cea a unui element de întârziere de ordinul întâi.

Deși simple în exploatare, aceste EA au dezavantajul unei caracteristici cu histerezis și acesta este cu atât mai mare cu cât sarcina acționată va fi mai mare.

a_{2,1}

- a*₁ – schema constructivă simplificată
*a*_{2,1} – caracteristica statică
*a*_{2,2} – caracteristica dinamică
b – element de acționare la deschidere

a_{2,2}

Fig. 8.43. Elemente de acționare.

Îmbunătățirea caracteristicii statice și dinamice a EA cu membrană se realizează prin utilizarea unui poziționar a cărui schemă constructivă simplificată este dată în figura 8.44. Poziționarul are rolul de a poziționa axul EA în raport cu mărimea de comandă p_u pneumatic AP (cu factor de amplificare a), traductorul mărimii de intrare și elementul de comparație realizat cu burduful dublu B și traductorul de poziție TP constituit dintr-un sistem de pârghii (realizând un factor de amplificare k). La modificarea lui p_u , de exemplu la creșterea sa, are loc o dilatare a lui E , în cazul prezentat în sus. În acest fel se obturează ieșirea aerului în atmosferă p_n , p_u crește și prin TP se acționează B în sensul comprimării sale. Canalul cu p_u este obturat și elementul de acționare (servomotorul) SM încetează să mai fie deplasat. Dacă mărimea de comandă este de natură electrică este necesară introducerea unui convertor electropneumatic.

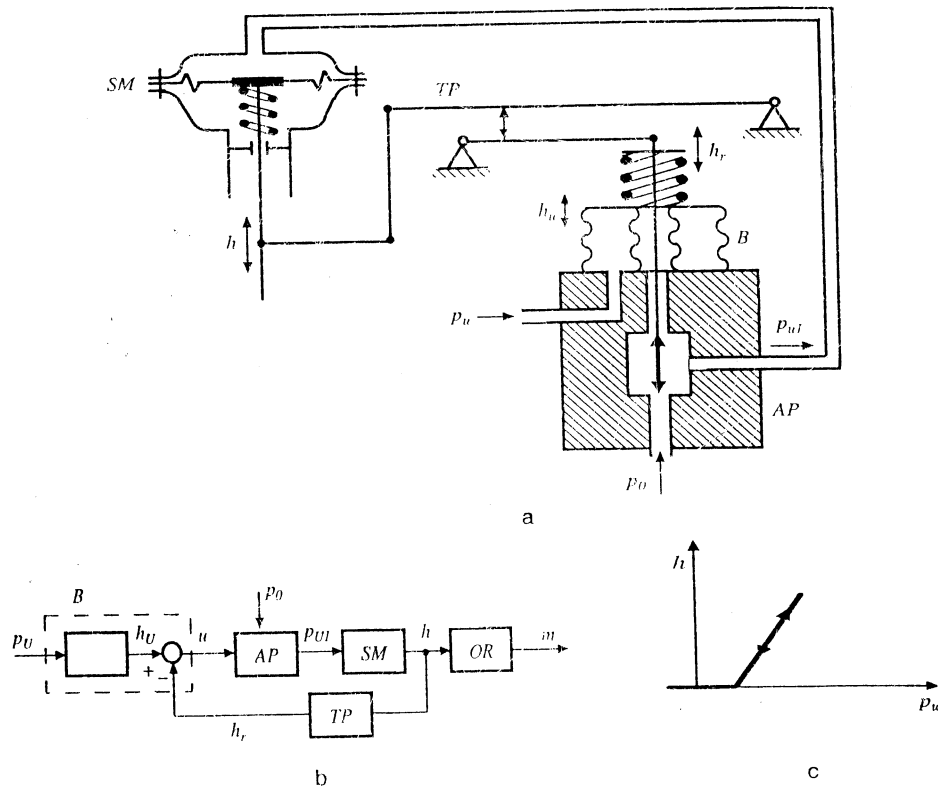


Fig. 8.44. Elemente de acționare pneumatic cu membrană cu poziționar: a) schema constructivă; b) schema bloc; c) caracteristica statică.

Principiul poziționarului de a mări precizia în poziționarea axului SM poate fi pusă în evidență pe schema funcțională bloc din figura 8.44, b. Se observă că funcția de transfer a elementului de acționare va fi:

$$H_{EA}(s) = \frac{aH_{SM}(s)}{1 + k \cdot a \cdot H_{SM}(s)} \quad (8.34)$$

iar dacă \$a\$ este foarte mare (teoretic \$a \to \infty\$, atunci

$$H_{EA}(s) \cong \frac{1}{K} \quad (8.35)$$

ceea ce arată că, prin alegerea corespunzătoare a lui \$k\$, precizia EA poate fi mult îmbunătățită. Totodată se îmbunătățește dinamica acestuia, se compensează neliniaritățile și histeresisul produs de frecarea garniturilor și o îmbunătățire a sensibilității.

Poziționarul este un accesoriu montat pe vană și este prevăzut, de regulă, cu un ventil de ocolire (sau întrerupător) care permite scoaterea lui de pe traseul dintre semnalul de la regulator și EA. Acest lucru este necesară în timpul unor operații de întreținere. Acționarea acestui ventil de ocolire se face după ce s-a verificat dacă poziționarul amplifică sau restrânge domeniul de reglaj sau dacă a fost sau nu folosit cu funcție inversă (inversarea semnalului).

EA cu membrană sunt utilizate pentru curse relativ reduse și dezvoltă forțe mici și variabile.

Elementele de acționare cu piston, o alta clasa de EA pneumatice din punct de vedere constructiv, pot fi realizate cu simplu sau dublu efect și sunt destinate realizării de curse mari și a unor forțe mari și constante (fig. 8.45).

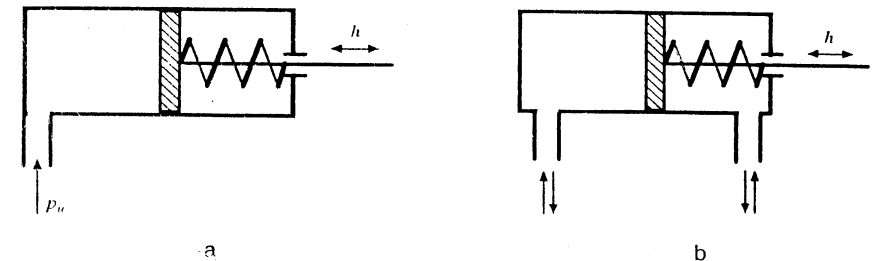


Fig. 8.45. Elemente de acționare pneumatic cu piston: a) cu simplu efect; b) cu dublu efect.

Funcționarea elementelor de acționare cu piston cu simplu efect este asemănătoare cu funcționarea celor cu membrană cu simplu efect, și sunt sisteme cu caracteristica proporțională.

La servomotoarele cu dublu efect, caracteristica dinamică este de tip integral:

$$dV = Q \cdot dt \quad (8.36)$$

$$Q \cdot dt = S \cdot dh \quad (8.37)$$

și dacă

$$S \cdot dh = k \cdot p_u(t) \cdot dt \quad (8.38)$$

$$h(t) = \frac{k}{S} \int p_u(t) dt \quad (8.39)$$

unde: \$V\$ – volumul camerei de lucru; \$S\$ – suprafața pistonului; \$K\$ – coeficient de proporționalitate; \$Q\$ – debitul de fluid.

Anularea componentei integrale se face cu ajutorul poziționarului.

Elemente de acționare electrice sunt utilizate în două variante principale constructive: cu electromagneți (electrovalve) și cu motoare electrice (servomotoare electrice).

Drept servomotoare electrice pot fi folosite motoare de curent alternativ bi- și trifazate și motoare de curent continuu cu comandă pe circuitul rotor.

Din punctul de vedere al caracteristicii dinamice, aceste sisteme sunt de tip integral, cu una sau două constante de întârziere de ordinul unu.

• Organe de reglare

Organele de reglare pot fi:

– *electrice* și sunt destinate modificării în mod continuu sau discontinuu a tensiunii sau curentului electric: contactoare, întreruptoare, autotransformatoare, reostate sau amplificatoare magnetice;

– *neelectrice* (de natură mecanică) și permit variația unor debite de fluid (robinete de reglare), cantități de material solid (alimentatoare cu bandă sau cu șurub melcat) și reglări de direcții. În practică cele mai des întâlnite sunt: robinetele de reglare cu ventil (cu unul sau două scaune, normale, de colț sau cu trei căi) și cele cu clapetă.

Prin caracteristica lor statică și dinamică OR influențează stabilitatea SRA, precum și calitatea procesului de reglare (conducere). De exemplu, prin alegerea corespunzătoare a EA și a OR se pot compensa neliniaritățile celorlalte elemente din bucla de reglare (fig. 8.46).

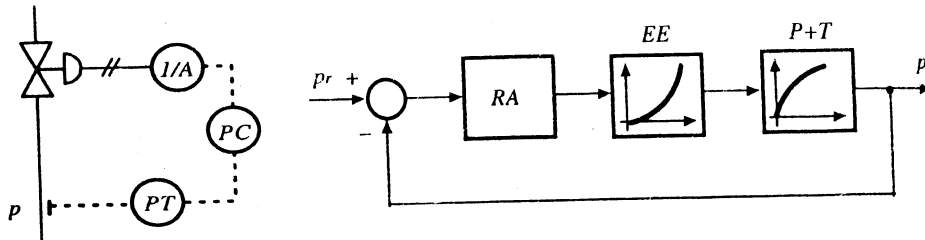


Fig. 8.46. Compensarea neliniarităților prin EE.

În alegerea OR se au în vedere două tipuri de caracteristici statice:

▪ *Caracteristica intrinsecă* se definește pornind de la expresia debitului

Q ce trece prin robinet: $Q = \frac{1}{\sqrt{\xi}} \cdot S_r \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \Delta P_r$, unde: ξ – coeficientul de pierdere

(rezistență) locală de sarcină; ρ – densitatea agentului de reglare; S_r – secțiunea de trecere a robinetului; ΔP_r – pierderea de presiune remanentă prin frecare.

Se notează $K_v = \sqrt{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\xi}} \cdot S_r$ și se obține $Q = K_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_r}{\rho}}$ sau

$$K_v = \frac{c}{\sqrt{\frac{\Delta P_r}{\rho}}}$$

Pentru un robinet de reglare, parametrul K_v se poate exprima în funcție de cursa h a axului acestuia $K_v = K_v(h)$, care reprezintă **caracteristica intrinsecă a robinetului**

K_v nu depinde de restul ansamblului, ci numai de construcția robinetului și se poate exprima numeric prin debitul unui fluid de $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$ care, trecând printr-un robinet de reglare, determină $\Delta P_r = 1 \text{ daN/cm}^2$.

Livrarea robinetelor de reglare se face în funcție de K_v și acestea sunt realizate cu caracteristici intrinseci de diverse tipuri: liniare, parabolice, logaritmice.

▪ *Caracteristica de lucru*, definită prin relația:

$$Q = Q(h) \quad (8.40)$$

ține cont de rezistența hidraulică a conductei pe care are loc o cădere de presiune ΔP_c și căreia i se poate asocia un parametru K_c , coeficient de debit, analog cu K_v

$$Q = K_c \sqrt{\frac{\Delta P_c}{\rho}} \quad (8.41)$$

Factorul de amplificare al vanei este dat de panta caracteristicii. Vana liniară are $k_{OR} = 1$, în timp ce caracteristica parabolică are k_{OR} mic în vecinătatea poziției închis pentru a atinge valori mari în poziția închis. Vana cu închidere rapidă se comportă invers în raport cu vana parabolică.

Pentru sistemele condiționat stabile, factorul de amplificare nu trebuie să depășească o valoare maximă.

Deoarece:

$$K = k_{RA} \cdot k_{EE} \cdot k_P \cdot k_T \quad (8.42)$$

cu

$$k_{EE} = k_{EA} \cdot k_{OR} \quad (8.43)$$

unde: k_0 – factorul de amplificare al regulatorului; k_{EE} – factorul de amplificare al elementului de execuție; k_{OR} – factorul de amplificare al organului de reglare; k_{EA} – factorul de amplificare al elementului de acționare; k_P – factorul de amplificare al procesului; k_T – factorul de amplificare al traductorului, rezultă că k_{OR} trebuie să compenseze pe k_P . În caz contrar, ar trebui să avem o ajustare permanentă a lui k_0 .

Rezultă că vana trebuie să compenseze variațiile amplificării pentru un domeniu larg de regimuri de funcționare. Se exemplifică în continuare modul de alegere a vanei funcție de tipul procesului:

– Dacă prin vană se face o tranzitare a unui debit de fluid de la un sistem cu presiune înaltă constantă la un sistem de joasă presiune, cu nivel redus de

pierderi prin frecare (distincte de cele ale vanei propriu-zise), atunci K este practic constant și se va alege o vană cu caracteristică liniară;

– Dacă sistemul are pierderi ΔP_c mari în raport cu căderea de presiune pe vană, deci amplificarea mai mare la debite mici și mai mici la debite mari, se alege o vană cu caracteristică parabolică;

– Vana cu deschidere rapidă se folosește în situațiile unui reglaj de tip deschis/închis, ca de exemplu, la un sistem de avarie.

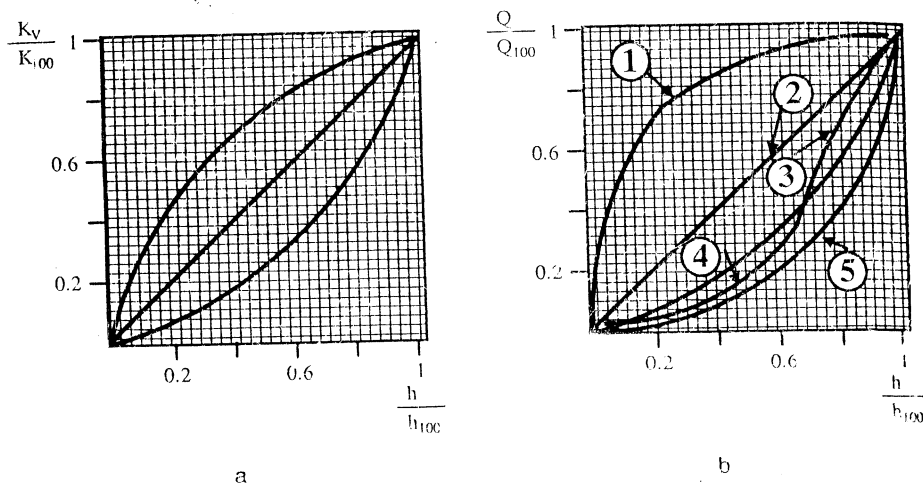


Fig. 8.47. Caracteristicile statice ale organelor de reglare:

a) caracteristica intrinsecă; b) caracteristica de lucru (1 – ventil cu închidere rapidă; 2 – ventil liniar; 3 – ventil cu bilă; 4 – ventil fluture; 5 – ventil parabolic).

Trebuie menționat faptul că, în practică, caracteristicile de lucru instalate sunt totuși mai mult sau mai puțin diferite de cele determinate în condiții de laborator. Aceasta depinde de căderea de presiune aleasă pe vană. În cazul în care căderea de presiune este suficient de mare, caracteristica instalată va fi foarte apropiată de cea naturală, pusă la dispoziție de fabricant. Când căderea de presiune este mică, apare o tendință de deplasare a caracteristicii $Q = Q(h)$ spre stânga, deci spre caracteristica vanei cu deschidere rapidă. Acest lucru conduce la accentuarea instabilității buclei de reglare. Pentru a evita această situație trebuie să se prevadă, încă din faza de proiectare a sistemului de pompare, o cădere de presiune suficientă, în intervalul de 20-30 % din pierderile prin frecare ale sistemului.

8.6.4. Identificarea proceselor

Sinteza sistemelor de reglare automată convenționale și utilizarea calculatoarelor în scopul conducerii unui proces presupune cunoașterea modelului, de cele mai multe ori matematic – forma cea mai completă de exprimare a caracteristicilor funcționale ale unei instalații automatizate – și simularea lui pe calculator în scopul găsirii soluțiilor numerice ale problemei de reglare optimă.

SRA trebuie să satisfacă performanțele cerute în orice moment, atât în regim staționar, cât și în regim tranzitoriu. La elaborarea modelului matematic al unui proces, atenția se concentrează pe regimul dinamic, deoarece caracteristicile statice se pot determina mai ușor sau pot fi deduse din cele dinamice (de exemplu pe baza valorilor finale). Pe de altă parte modelul dinamic poate fi folosit ca un important mijloc de predicție a comportării ulterioare a procesului.

Stabilirea unei descrieri abstracte a unui sistem real în forma unui model matematic sau fizic cât mai reprezentativ, dar suficient de simplu și exact, în scopul determinării performanțelor statice și dinamice a acestuia reprezintă **obiectul identificării**.

În figura 8.48 se prezintă un paralelism între operația de modelare și cea de identificare, cu o reprezentare a etapelor ce sunt parcurse în cadrul unei analize teoretice, respectiv experimentale ce se finalizează cu modelul sistemului studiat.

Se pot face următoarele observații privind modelare și identificarea:

- | <i>Modelare</i> | <i>Identificare</i> |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Structura modelului rezultă din legi naturale. • Se descrie comportarea mărimilor de stare interne și comportării intrare-ieșire. • Parametrii modelului sunt funcții de mărimile sistemului. • Modelul este valabil pentru întreaga clasă a unui tip de proces și pentru diverse regimuri de funcționare. Multe mărimi ale procesului sunt doar inexact cunoscute. • Modelul poate fi construit și pentru un sistem care nu există în realitate. • Principalele procese interne ale sistemului trebuie să fie cunoscute și să poată fi descrise matematic. • Necesită în general un timp de lucru îndelungat. | <ul style="list-style-type: none"> • Structura modelului este presupusă. • Se identifică doar comportarea mărimilor de intrare-ieșire. • Parametrii modelului sunt simple valori numerice, care în general nu au legătură cu mărimile fizice ale sistemului. • Modelul e valabil numai pentru procesul studiat și pentru un anumit regim de funcționare, în schimb el poate descrie comportarea acestuia relativ exact. • Modelul poate fi construit numai pentru un sistem existent în realitate. • Procesele interne ale sistemului nu trebuie neapărat să fie cunoscute. • Pentru că metodele de identificare nu depind de fiecare sistem în parte, un program software de identificare odată stabilit poate fi utilizat pentru mai multe sisteme. • Necesită în general un timp de lucru relativ scurt. |

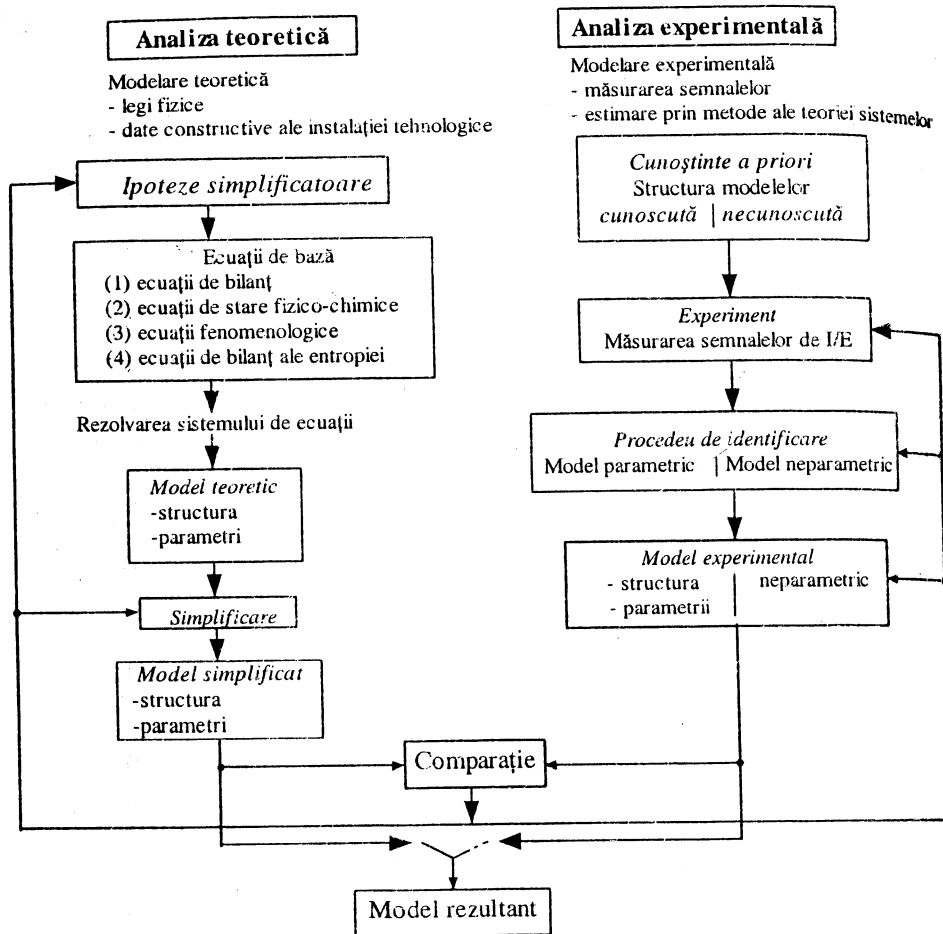


Fig. 8.48. Elaborarea modelului matematic.

Determinarea modelului matematic constituie prima etapa în proiectarea (sinteza) unui sistem de reglare. De aceea, identificarea și sinteza unui SRA trebuie să fie considerate împreună.

Problema identificării se poate pune în două moduri:

a) **Identificarea parametrică**, care constă în determinarea parametrilor unui model matematic a cărui expresie analitică se cunoaște. Dacă modelul este exprimat prin ecuațiile vectorial-matricial de stare se pune problema de evaluare a variabilelor de stare.

b) **Identificarea totală sau globală**: nu se cunoaște nimic sau informația apriorică este insuficientă pentru a permite o reprezentare matematică adecvată („black box“).

8.6.4.1. Metode de identificare

Metodele de identificare se bazează, de regulă, pe îmbinarea cercetării teoretice cu cea experimentală. Problemele practice implică, în general, cunoașterea unor date preliminare asupra sistemului studiat. Aceste date se obțin prin efectuarea unor experimente folosind semnale de probă deterministe sau aleatoare. De cele mai multe ori există însă limitări severe pentru variațiile mărimilor de probă și de aceea se folosesc semnale preluate din timpul funcționării normale.

Identificarea poate fi efectuată adesea ca o operație „on-line” și folosită într-o schemă de auto-optimizare sau adaptivă. Procesul de identificare implică, în general, determinarea extremului unei funcții, criteriu ce se bazează, de regulă, pe un model exprimat fie prin funcții de transfer, fie prin ecuații diferențiale sau cu diferențe. Criteriul de optimizare determină condițiile în care poate fi folosită cu succes o metodă de identificare oarecare.

Pentru obținerea extremului pot fi folosite diverse procedee:

- **Metode directe**, care nu folosesc realizarea fizică a modelului matematic al sistemului și tratează identificarea numai ca o problemă matematică de găsire a extremului. După forma funcționării, aceste metode fie conduc la o relație matematică explicită între parametri necunoscuți, fie fac apel la diverse metode numerice variaționale, a pantei maxime etc.

- **Metode de ajustare** a modelului, care utilizează adesea realizarea fizică a modelului, legată de procedeele folosite la calculatoarele analogice.

O problemă interesantă a aplicării calculatoarelor în conducerea proceselor este **conducerea adaptivă**. Aceasta necesită identificarea „on-line” pentru a calcula tot „on-line” valorile noi ale parametrilor dispozitivului de automatizare.

Este de reținut faptul că, rezolvarea problemelor de identificare în practica ingierească implică folosirea, mai ales, a metodelor experimentale. Referitor la determinarea modelului dinamic, principalele metode experimentale de identificare sunt următoarele:

➤ **Metode de identificare cu semnale de probă ce se pot realiza utilizând:**

a) **Semnale de probă neperiodice și înregistrând (sau măsurând) răspunsul tranzitoriu.**

Dintre semnalele de probă, se poate face apel la semnalul impuls Dirac, mai puțin acceptabil însă pentru instalațiile tehnologice, sau la semnalul treaptă, înregistrându-se și interpretându-se funcția pondere, respectiv răspunsul indicial.

În ceea ce privește răspunsul indicial, interpretarea acestuia cu scopul determinării funcției de transfer se face fie utilizând atlase cu răspunsuri tipice normale, pentru sisteme tip (tabelul 8.6 este un exemplu mult simplificat de un astfel de atlas), sau, cum este exemplul răspunsului indicial din figura 8.49, se arată că dinamica sistemului se poate bine aproxima printr-o constantă de tip mort τ și o constantă de timp principală T .

Dacă mărimea de intrare are o variație Δu , iar mărimea de ieșire s-a stabilizat cu o abatere Δy față de vechiul regim staționar, atunci procesul va avea o funcție de transfer

$$H(s) \equiv \frac{K}{Ts+1} e^{-\tau s} \quad (8.44)$$

cu

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} \quad \text{factorul de amplificare pentru proces} \quad (8.45)$$

T – constanta de timp a procesului, reprezintă valoarea subtangentei dusă în punctul de inflexiune.

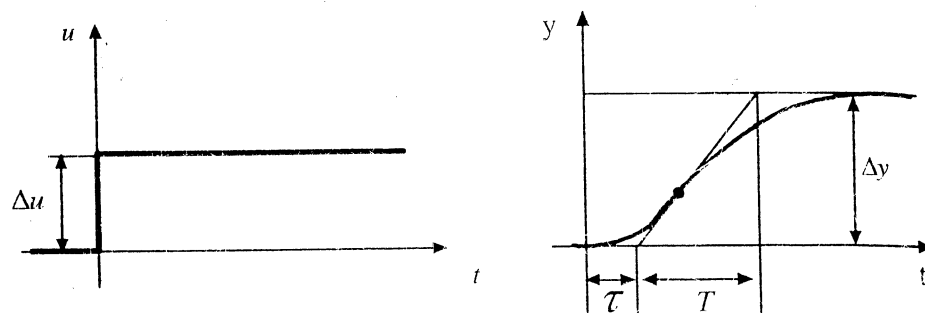


Fig. 8.49. Răspunsul indicial al unui sistem și determinarea grafică a lui τ și T .

b) *Semnale de probă periodice și înregistrarea răspunsului în frecvență, deci a caracteristicilor de frecvență.*

Dintre caracteristicile de frecvență, se preferă caracteristicile semi-logaritmice de frecvență amplitudine – pulsație și fază – frecvență.

Caracteristica amplitudine – pulsație ridicată experimental este liniarizată prin caracteristica asimptotică, determinându-se astfel tipul funcției de transfer, constantele de timp și factorul de amplificare. Aceste elemente vor fi corelate cu caracteristica fază – pulsație.

c) *Semnale de probă aleatoare și calcularea funcțiilor de densitate spectrală.*

În toate cele trei situații de mai sus regulatorul trebuie deconectat.

- **Metode de identificare folosind mărimile de funcționare normală:** sunt calculate funcțiile de corelație sau funcțiile de densitate spectrală din care apoi se determină funcția de transfer.
- **Metode de identificare folosind modele ajustabile cu criterii determinate sau statice de ajustare.**

Identificarea experimentală constituie o metodă de bază în evaluarea parametrilor sau a modelului matematic al procesului. O sinteză a metodelor experimentale în identificare este data în tabelul 8.8.

Metode experimentale de identificare

Tabelul 8.8

Determinarea caracteristicilor statice	Metode discrete	Metode bazate pe modificarea forțată a mărimilor de intrare și măsurarea mărimii de ieșire în regim staționar
	Metoda regresiei multiple (metoda pasiva)	Metoda ce folosește variațiile aleatoare ale lui u și y în regim normal de funcționare
	Metoda experimentului multifactorial ortogonal	Metoda folosește modificarea forțată a lui u după un plan de programare a experimentului
Determinarea caracteristicilor dinamice	Metode de identificare cu semnal de probă (metode active)	Metode ce folosesc semnale de probă neperiodice și măsurarea răspunsului tranzitoriu
		Metode ce folosesc semnale de probă periodice și măsurarea răspunsului în frecvență
		Metode ce folosesc semnale de probă aleatoare și măsurarea funcțiilor de densitate spectrală
	Metode de identificare folosind mărimile din funcționarea normală (metode pasive)	Metode bazate pe măsurarea funcțiilor de corelație ale mărimilor care intervin în funcționarea normală
		Metode bazate pe măsurarea funcțiilor de densitate spectrală ale mărimilor din funcționarea normală
	Metode de identificare folosind modele ajustabile	Metode ce folosesc criterii determinate de ajustare a modelului
Metode ce folosesc criterii statistice de ajustare a modelului (aproximare stohastică)		

Dintre acestea, metodele folosind semnale de probă, dar mai ales cele ce folosesc mărimile din funcționarea normală, își găsesc aplicații în practica automatizării proceselor (fig. 8.50 și fig. 8.51).

8.6.5. Sinteza sistemelor de reglare automată

Sinteza (proiectarea) unui SRA este centrată, în special, pe proiectarea compensatorului după eroare (a regulatorului automat), care atașat unui proces (existent, deci deja proiectat și realizat) trebuie să permită obținerea unor performanțe în regim tranzitoriu și staționar acceptabile pentru mărimea sau mărimile reglate (de ieșire).

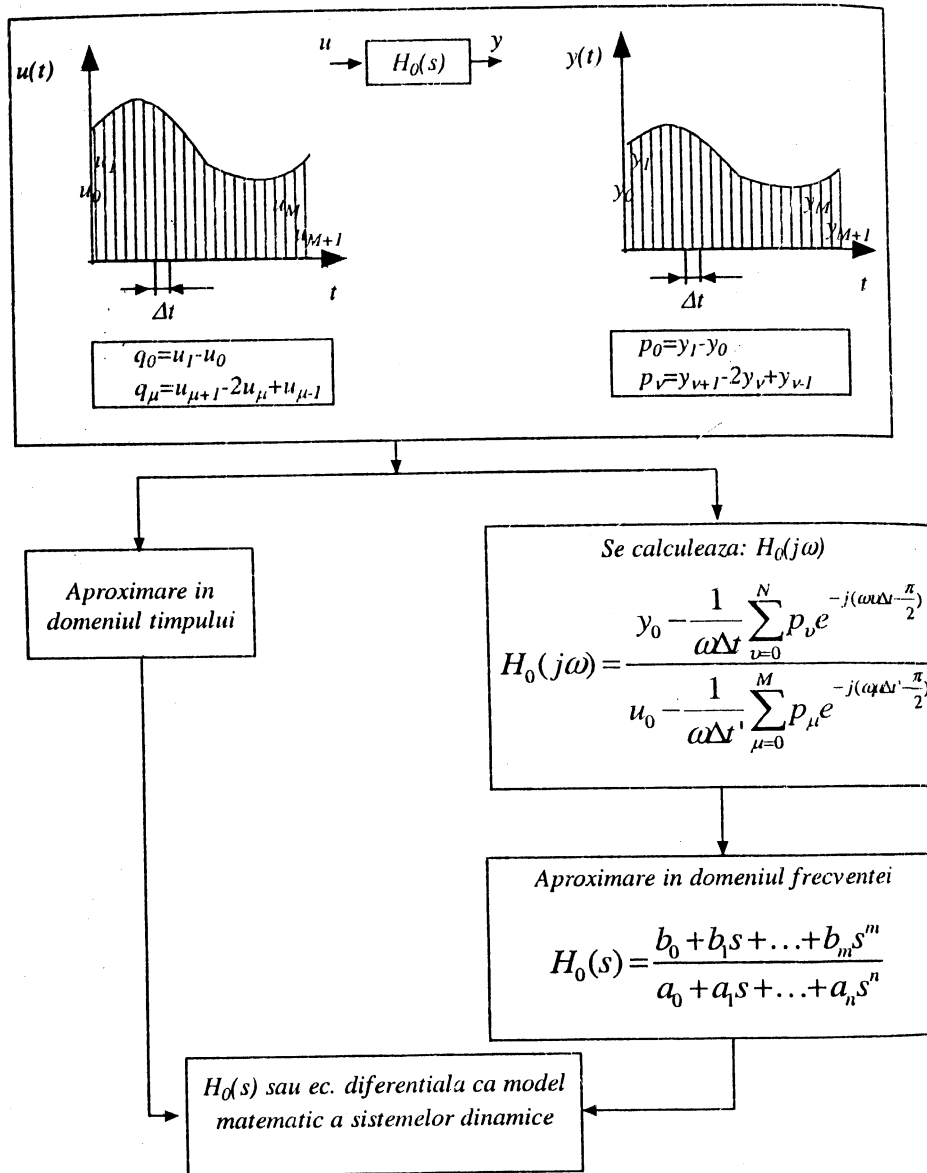


Fig. 8.50. Identificare unui sistem dinamic prin utilizarea semnalelor de intrare/ieșire deterministe.

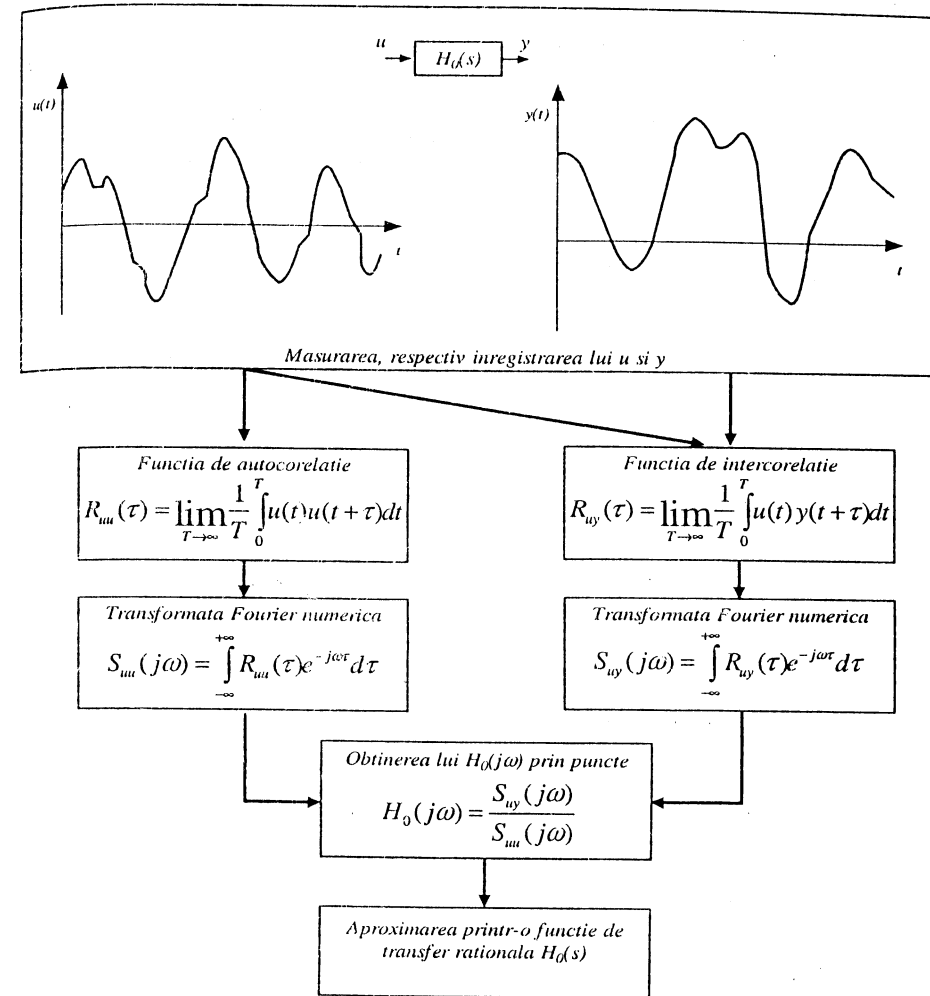


Fig. 8.51. Identificare printr-o analiză de corelație.

Sunt situații când la proiectarea unui SRA se aduc modificări sau se procedează la adaptări în proces pentru a se realiza o compatibilitate cu performanțele cerute.

Proiectarea compensatorului (regulatorului) constă, principal, în parcurgerea a două etape principale:

- **proiectarea algoritmică, analitică**, a compensatorului (regulatorului), care constă în determinarea funcției de transfer a acestuia, deci a legii de comandă, în conformitate cu o serie de indici de performanță ce trebuie îndepliniți;

- proiectarea dimensional-constructivă, care constă în determinarea construcției (fizice) compensatorului (regulatorului).

În proiectarea SRA se poate constata că firmele constructoare de echipamente și aparatură de automatizare pot furniza beneficiarului sistemul compensator sub forma unor blocuri de reglare standard, numite **reglatoarele automate (RA)**. Aceste RA pot realiza *legi de reglare (comandă) standard* de tip: *P, PI, PD, PID*.

În aceste condiții problema sintezei unui SRA se transformă într-o **alegere și acordare a RA**.

• Problema sintezei SRA

Fie un sistem (proces) specificat prin funcția de transfer $H_c(s)$, sistem pe care se va denumi și parte fixată (proces, instalație tehnologică, proces supus automatizării).

Sinteza convențională a unui SRA constă în determinarea unui compensator $H_c(s)$, conectat cu procesul în buclă închisă (fig. 8.52), astfel încât, pe lângă satisfacerea desideratelor (*S*) și (*R*) ale problemei reglării, să fie îndeplinită și următoarea listă (minimală) de performanțe ale regimului dinamic și ale celui staționar: a) $\sigma \leq \sigma_d$; b) $t_t \leq t_{t,d}$; c) $\varepsilon_s \leq \varepsilon_{s,d}$; unde indicele *d* corespunde unei performanțe dorite (impuse) de beneficiarul instalației respective.

Se observă astfel următoarele:

- Condiția (*S*) arată că sistemul rezultat în buclă închisă trebuie să fie stabil (intern asimptotic stabil);
- Condiția (*R*) dacă este îndeplinită obligă răspunsul indicial să tindă asimptotic ($t \rightarrow \infty$) spre valoarea treptei.

În consecință, sistemul fiind sigur precis la $y_r(s) = \frac{1}{s}$, condiția ca

$\varepsilon_0 \leq \varepsilon_{0,d}$ se referă la eroarea staționară la rampă, deci la eroarea de viteză $\varepsilon_v \leq \varepsilon_{v,d}$ această condiție nu este întotdeauna precizată.

Există mai multe procedee prin care se realizează sinteza convențională: sinteza prin metoda locului geometric al rădăcinilor; sinteza în frecvență; sinteza exactă (metoda poli – zerouri); metode speciale.

• Alegerea și acordarea regulatorului automat

În practica inginerescă, de cele mai multe ori se dispune de un regulator standard (tipizat), sinteza SRA fiind centrată în acest caz pe *alegerea și acordarea* acestui regulator.

a) **Alegerea regulatorului automat** constă în stabilirea tipului de regulator (specializat sau unificat, continuu sau discret), precum și a legii de comandă. Alegerea tipului de regulator ține seama de principiul de funcționare (mecanic, electric, electronic), de condițiile de funcționare (mediu, regimuri speciale), de puterea și de caracteristicile statice ale elementelor, cât și de ansamblul de performanțe de regim ce trebuie îndeplinite. Totodată, este necesară cunoașterea completă a caracteristicilor procesului ce urmează a fi reglat.

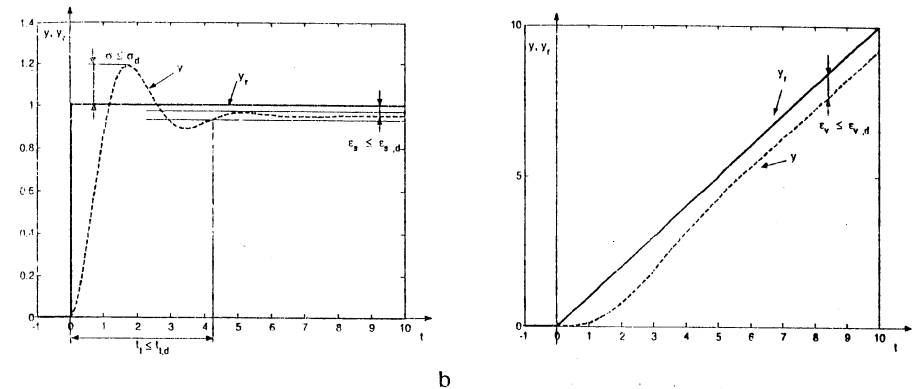
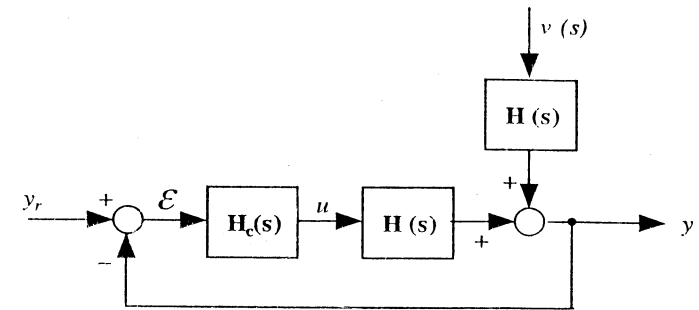


Fig. 8.52. Sinteza unui SRA:

a) Schema funcțională bloc; b) Performanțe dorite.

În practică, de multe ori, aceste caracteristici sunt ridicate experimental. În acest scop se consideră elementul de execuție, instalația tehnologică și traductorul de reacție ca formând partea fixă a SRA, acestui subsistem aplicându-i-se un semnal de comandă tip treaptă, urmărindu-se evoluția în timp a mărimii de ieșire.

Prin această metodă de identificare experimentală se apreciază parametrii de bază ai părții fixate: factorul de amplificare K , constanta de timp T și timpul mort τ . Pentru un răspuns real $y(t)$, ca cel prezentat în figura 8.53, K_{PF} este egal cu valoarea staționară y_s a mărimii de ieșire a părții fixate (deoarece treapta de comandă $u(t)$ era unitară).

La alegerea regulatorului se poate recurge la una din următoarele căi:

- Alegerea tipului de regulator și a legii de comandă pe baza experienței obținute în practica industrială. De exemplu, pentru reglarea temperaturii se poate alege un regulator continuu de tip *PI* sau *PID* etc.
- Pe baza raportului τ / T_{PF} , unde τ este timpul mort, iar T_{PF} – constanta de timp dominantă.

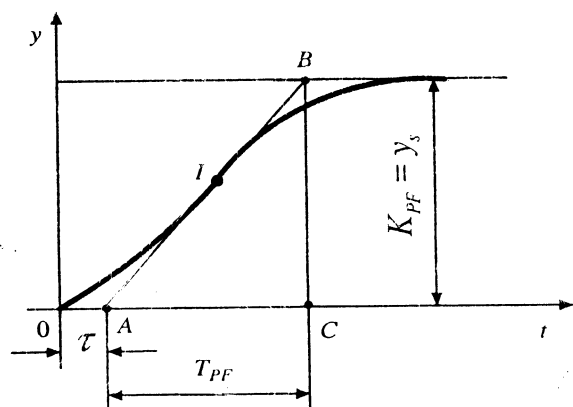


Fig. 8.53. Identificarea caracteristicilor PF din răspunsul sistemului.

În tabelul 8.9 sunt prezentate criteriile de alegere a tipului de regulator în funcție de valoarea raportului τ / T_{PF} pentru instalațiile ce pot fi approximate prin elemente de întârziere de ordinul întâi cu timp mort.

Alegerea tipului de regulator

Tabelul 8.9

Valoarea τ / T_{PF}	Tipul de regulator ce se recomandă a fi utilizat
0,2	Bipozițional
< 1,0	RA cu acțiune continuă, cu componentele P, I, D .
> 1,0	RA cu caracteristici speciale sau sisteme de reglare complexe cu regulatoare având componente P, I, D .

Pentru a se evidenția influența tipului de regulator asupra comportării SRA, în figura 8.54 au fost trasate răspunsurile în timp ale mării de ieșire dintr-un SRA, $y(t)$, pentru o variație treaptă a mării de intrare $y_r(t) = 1(t)$, în condițiile în care sunt utilizate regulatoare P, PI, PD și PID .

Comparându-se curbele de răspuns, se pot face următoarele aprecieri:

- regulatorul de tip P reduce apreciabil suprareglajul, conduce la un timp tranzitoriu t_t scurt, dar introduce o eroare staționară ϵ_s mare;
- prin introducerea componentei I , regulatorul de tip PI anulează eroarea staționară la intrarea treaptă, însă duce la un suprareglaj mai mare decât la regulatorul P , și la o valoare mare a timpului t_t ;
- prin introducerea componentei D , regulatorul de tip PD îmbunătățește comportarea dinamică (suprareglaj σ și durata regimului tranzitoriu t_t , mici), însă menține o eroare staționară mare;

- regulatorul de tip PID , combină efectele P, I și D , oferă performanțe superioare, atât în regim staționar, cât și tranzitoriu.

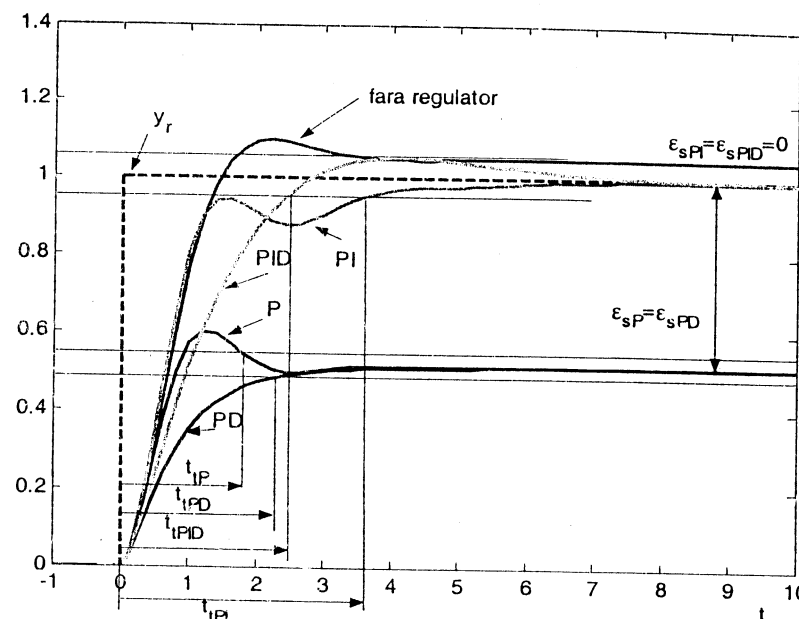


Fig. 8.54. Răspunsurile în timp ale ieșirii unui SRA pentru diverse regulatoare continue, liniare.

Tabelul 8.10 indică, în funcție de parametrul y reglat și de valoarea parametrilor părții fixate, tipul regulatorului adecvat, cât și unele date orientative privind ordinul de mărime al parametrilor K_R, T_I și T_D .

Alegerea tipului de regulator

Tabelul 8.10

Parametrul reglat	Tipul regulatorului	Observații
Nivel	P	τ / T_{PF} mic, pentru K_{PF} mare, RA cu K_R mic.
	PI	pentru perturbații de debit de intrare și de ieșire la IT .
Presiune	P	pentru reglări simple
	PI	RA cu BP mare și T_I mic pentru lichide; BP mic și T_I mare pentru gaze.
	PID	Cazuri speciale; performanțe deosebite.
Temperatura	PI, PID	IT mare și τ / T_{PF} mare
Debit și amestecuri	PI	IT are T_{PF} mic și K_{PF} mare.

Legat de tipul procesului se pot face următoarele recomandări:

- Procesele termice sunt, în general, lente și se pretează la reglaj I și D cu timpi mari.
- Procese de curgere sunt acțiuni rapide: se recomandă I cu timpi mari în schimb reglajul cu componenta D este mai greu de realizat.
- Procese cu nivel de fluid depind de constanta lor de timp (capacitanța) și de aceea trebuie studiate individual.

b) **Acordarea regulatorului automat** reprezintă ajustarea parametrilor RA corespunzător cu cerințele procesului. Dacă această ajustare are în vedere o comportare a procesului în funcție de un anumit criteriu (de exemplu, durata minimă a procesului tranzitoriu, influența minimă a perturbațiilor etc.), acordarea se numește *acordare optimă*.

8.7. Structuri de sisteme de conducere

8.7.1. Calculatorul ca ansamblu al sistemului informațional

În realizarea unor sisteme complexe de comandă și reglare a proceselor prin calculatoare una dintre problemele de bază este reprezentată de realizarea unei configurații adecvate atât sub aspect tehnic cât și sub aspect economic și de siguranța în funcționare.

La proiectarea unor astfel de sisteme trebuie să se analizeze în ce măsură structura și organizarea internă a calculatorului (inclusiv perifericele) sunt influențate de domeniul de sarcini la care a fost afectat. Structura sistemelor de calculatoare de proces este dictată de o serie de criterii, cum ar fi:

- funcțiile pe care trebuie să le îndeplinească sistemul de calcul și modul de rezolvare a acestora;
- siguranță în funcționare;
- asigurarea flexibilității;
- criterii economice etc.

De cele mai multe ori configurația aleasă trebuie să asigure un compromis între satisfacerea mai multor astfel de criterii.

Câteva puncte de vedere în stabilirea configurației sistemelor de conducere a proceselor de calculatoare sunt prezentate în continuare.

8.7.2. Structura cu sistem centralizat și descentralizat

Implementarea unui calculator în automatica unui proces constă în cuplarea acestuia la sistemele tehnice-instrumentale întâlnite, de exemplu, cu

sistemele de reglare, instalațiile de supraveghere, alarmare și semnalizare. Se pune problema delimitării sarcinilor între calculator și celelalte instalații. În principiu, acestea pot prelua toate funcțiile celorlalte sisteme. Există însă o serie de considerații care recomandă împărțirea sarcinilor, cum ar fi: dezvoltarea progresivă a gradului de automatizare, mărirea capacității calculatorului, păstrarea posibilității de intervenție a personalului, siguranța și funcționarea etc.

Calculatorul de proces, ca instalație de prelucrare centrală a datelor unui proces, este pus în alternativă cu dispunerea descentralizată a aparaturii de măsură, comandă, reglare și semnalizare.

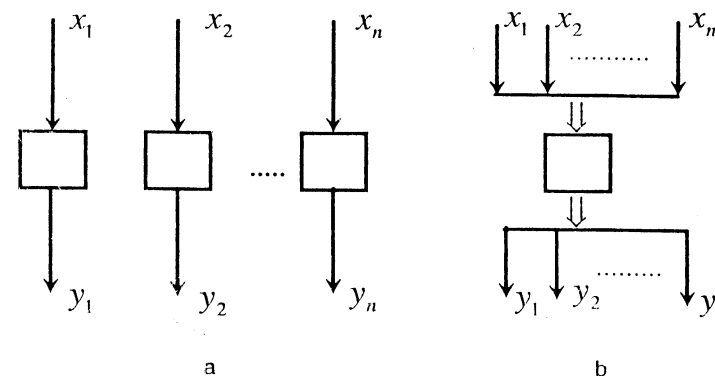


Fig. 8.55. Fluxul de informații în sistemul descentralizat (a) și sistemul centralizat (b).

Comparația dintre aceste două sisteme arată că ambele structuri prezintă atât avantaje, cât și dezavantaje.

Se menționează printre altele:

- siguranța în funcționare la sistemul descentralizat este mai mare, deoarece există o probabilitate de întrerupere a tuturor canalelor mai mică decât în cazul sistemului centralizat;

- posibilitățile de schimbare în instalație sunt practic egale: la sistemul descentralizat schimbările se fac în general în cadrul conexiunilor, iar la cel centralizat prin program, care conduce la cele mai ușoare perturbații în funcționare;

- intrările și ieșirile la sistemul descentralizat sunt continue în timp (I/E sunt canale paralele); la sistemul centralizat apar discontinuități datorită multiplexării canalelor I/E;

- sistemul descentralizat este orientat pe probleme, dar cel centralizat are posibilități multilaterale de intervenție;

- depistarea erorilor se face relativ ușor în ambele cazuri; la sistemul descentralizat, existând canale individuale, se pot depista direct, iar la sistemul centralizat se tipărește la imprimantă eroarea, fie la intervenția automată a sistemului de operare, fie prin programe de testare. Dacă la sistemul descentralizat eroarea perturbă numai canalul respectiv, la sistemul centralizat există posibilitatea întreruperii întregii instalații etc.

Rezultă că va trebui întotdeauna să se distribuie sarcina de prelucrare astfel încât să fie folosite la maximum avantajele ambelor sisteme.

8.7.3. Structura unui sistem cu calculator de proces considerată din punctul de vedere al fiabilității

În practica automatizărilor convenționale, făcând abstracție de câteva excepții, nu s-a acordat o importanță deosebită problemelor de siguranță în funcționare a instalațiilor de automatizare, întrucât nu era necesar, în general, o integrare funcțională mai profundă.

Efectul defectării unui regulator de exemplu, putea fi evitat prin trecerea temporară pe comandă manuală a mărimii de proces afectate.

Cu totul alta este situația în cazul utilizării calculatorului de proces, în special la conectarea sa în buclă închisă. Deoarece toate informațiile de intrare sunt colectate și prelucrate într-o singură instalație, iar informațiile de ieșire sunt redistribuite spre utilizare, înseamnă că întreruperea unei funcții a acestui sistem poate conduce la avarii în întreaga instalație tehnologică. Efectele unei astfel de întreruperi în funcționare, indiferent dacă are drept cauză defecte ale echipamentului sau ale programelor calculatorului, nu mai pot fi urmărite. Sarcina problemelor de fiabilitate în cazul calculatoarelor de proces din instalațiile de automatizare este de a se estima pericolul și urmările unei defectări și aplicarea unor metode de reducere a acestui pericol până la o limită admisă. Aceste probleme trebuie ridicate chiar din faza de proiect în funcție de condițiile de utilizare.

Deosebirile în condițiile de utilizare conduc nu numai la deosebiri de dimensionare, dar și de structură în construcția aparatului de automatizare și a sistemului.

Pentru aprecierea proprietăților de funcționare se folosesc următoarele noțiuni:

- timpul mediu de nefuncționare (defect) MTD, \bar{t}_D este intervalul de timp între momentul defectării și repunerea din nou în funcționare a capacității integrale;
- timpul mediu de funcționare, \bar{t}_F (MTBF) este timpul mediu între sfârșitul timpului de suspendare până la începutul unei noi nefuncționări;
- probabilitate de nefuncționare care se mai numește disponibilitate:

$$p = \frac{\bar{t}_D}{\bar{t}_D + \bar{t}_F}$$

- probabilitate de funcționare care se mai numește disponibilitate:

$$q = \frac{\bar{t}_D}{\bar{t}_D + \bar{t}_F}$$

$$p + q = 1$$

În funcție de disponibilitatea individuală cunoscută a subsansamblurilor se poate calcula disponibilitatea întregului sistem.

Considerând un sistem constituit din n subsansambluri de același fel, care se menține în funcționare dacă m din cele n dispozitive funcționează, probabilitatea de nefuncționare a sistemului este:

$$P_S = p^n \sum_{v=(n-m+1)}^n \frac{n!}{v!(n-v)!} \left(\frac{1}{p}-1\right)^{n-v}$$

cu un timp mediu de funcționare $\bar{t}_{F_S} = \frac{\bar{t}_D}{P_S}$.

Pentru un sistem „1 din n ” relația de mai sus devine $P_S = p^n$.

La sistemul „ n din n ” (deci la care defectarea unuia dintre cele n dispozitive conduce la nefuncționarea ansamblului):

$$P_S = p^n \left[n \left(\frac{1}{p}-1\right)^{n-1} + \frac{n(n-1)}{2} \left(\frac{1}{p}-1\right)^{n-2} + \dots \right]$$

și dacă $p \ll 1$

$$P_S = p^n n \left(\frac{1}{p}\right)^{n-1} = n \cdot p$$

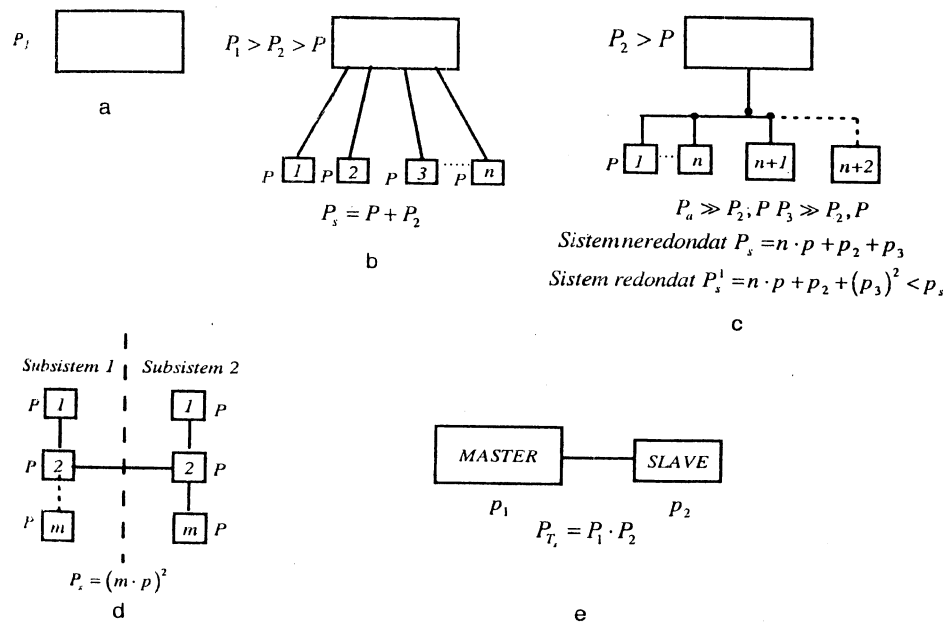


Fig. 8.56. Structuri de calculatoare de proces cu disponibilitate ridicată: a) sistem monocalculator; b) sistem ierarhizat; c) sistem cu redundanță la nivel de echipament; d) sistem de calcul dublu; e) sistem master-slave.

Pe baza relațiilor de mai sus se poate calcula disponibilitatea unui ansamblu pornind de la cunoașterea disponibilității individuale a elementelor componente constructive, știindu-se ca ea depinde de numărul și felul cum sunt dispuse aceste elemente. Ca elemente constructive în sensul fiabilității se consideră nu numai componentele electronice și electromagnetice, butoanele și cheile de comandă, dar și contactele, punctele de lipire, legăturile înfășurărilor, cablurile și multe altele.

Este normal de aceea ca un calculator, care conține zeci de mii de astfel de componente, să aibă satisfăcute condiții foarte restrictive asupra fiabilității componentelor. Din punctul de vedere al urmărilor avariilor, dispozitivele unui calculator de proces se pot clasifica în trei grupe:

- Partea descentralizată a calculatorului de proces în care se încadrează componentele canalelor de semnalizare de la I/E calculatorului. Defectele sunt limitate la canalul afectat, funcționarea generală a instalației de automatizare nefiind mult prejudiciată.
- Partea centrală a calculatorului de proces cu unitatea centrală și părțile centrale ale sistemului de I/E al procesului.
- Dispozitivele periferice de prelucrare a datelor. Defectele nu se răsfrâng asupra instalației, deoarece acestea nu sunt folosite pentru comanda propriu-zisă a procesului.

Din relațiile de mai sus se observă că, pentru a crește siguranța în funcționare (creșterea lui q), se poate merge pe două direcții: creșterea lui \bar{t}_F sau micșorarea lui \bar{t}_D .

- Micșorarea lui \bar{t}_D se face micșorând timpii corespunzători componentelor acestuia: intervalul de timp de diagnosticare a erorii, timpul de reparație și timpul de repunere în funcțiune.
- Pentru creșterea lui \bar{t}_F există diverse posibilități:
 - O cale este de a reține sisteme cu configurații de aparate cât mai puține și cu \bar{t}_F individuale care să fie proporționale cu numărul în sistem.
 - O altă cale este de a descompune sistemul în subsisteme ce sunt legate între ele în procesul de transmitere a datelor, obținându-se un sistem ierarhizat. Fiecare subsistem are o siguranță mai mare decât sistemul global ce ar fi fost realizat cu un calculator.
 - \bar{t}_F poate crește și prin introducerea unei redondanțe la nivelul de elemente de circuit, echipamente sau sisteme. Pentru calculatorul de proces redondanța la nivel de elemente de circuit nu oferă nici un avantaj în raport cu cea la nivel de echipament din cauza realizării unor circuite de verificare a funcționării lor mai dificile. Redondanța la nivelul de echipament este un mijloc eficace de creștere a siguranței în funcționare a sistemului. De exemplu, la configurația în care un echipament sau dispozitiv are disponibilitate scăzută, probabilitatea de nefuncționare va fi mare. Dacă echipamentul este dublat de unul similar, care poate prelua funcțiile lui în caz de deranjament, având aceeași disponibilitate scăzută, se observă că probabilitatea de nefuncționare se va micșora.

Creșterea disponibilității prin redondanța la nivel de sistem se poate face cel mai simplu prin realizarea de sisteme de calcul duble pentru care probabilitatea de nefuncționare va fi:

$$P_S = (mp)^2 \quad \text{cu} \quad \bar{t}_{FFS} = \frac{\bar{t}_{FD}}{P_S}$$

O structură specială, care prezintă proprietăți atât ale sistemelor ierarhizate, cât și a sistemelor de calcul duble, este configurația „master-slave”. În funcționarea normală „masterul” nu intervine pe partea afectată „slave”-ului, care este în general un minicalculator.

În cazul unei perturbații de funcționare la „slave”, „masterul” preia sarcinile acestuia, $P_{TS} = P_1 \cdot P_2$.

Întrucât caracteristicile de fiabilitate a componentelor unui sistem de conducere cu calculator de proces și ale automatizării convenționale trebuie să fie considerate ca fixe și dinainte stabilite, va rezulta că măsurile structurale sunt cele care concură la influențarea fiabilității totale a sistemului. Acest lucru implică o alegere optimă a structurii echipamentului de calcul din punctul de vedere al fiabilității, prin introducerea redondanței, așa cum s-a menționat anterior.

• Sisteme mono și multicalculator

Dacă există o justificare tehnico-economică pentru introducerea de calculator de proces la diverse nivele de automatizare atunci trebuie cercetat dacă sarcinile pot fi centralizate într-un singur calculator de proces sau dacă devine mai necesar instalarea mai multor calculatoare de proces dispuse centralizat sau descentralizat. Justificarea tehnică este legată de exactitatea și viteza de transmitere a valorilor măsurate și comandate, precum și de posibilitatea perturbării semnalelor pe liniile de transmisie. La justificarea economică se are în vedere spațiile ocupate, numărul personalului, situația pieselor de schimb etc.

În principiu, se vor lua în considerare următoarele situații:

- **Sistem monocalculator**, care actualmente este forma cea mai larg răspândită a utilizării calculatorului de proces.

Acestui sistem i se pot încredința în totalitate sarcinile de automatizare numai în instalații mici, cu procese necritice. Întrucât întreruperea funcționării sale afectează întreaga instalație supusă automatizării (deci fiabilitatea pe ansamblu mai redusă), în cazul utilizării într-o instalație de dimensiuni sau importanță mare, se va avea în vedere introducerea unui sistem de rezervă convențional („back-up-system”), care să garanteze cel puțin siguranța părților vitale ale procesului și pe cât posibil și funcționarea limitată (normală) a instalației tehnologice (fig. 8.56).

Sistemul „back-up” convențional este format în general din elemente de măsură, comandă și reglaj, completate cu dispozitive de telecomandă, care toate în ansamblu reprezintă o automatizare de minim a procesului. În cazul întreruperii funcționării calculatorului de proces central se face comutarea automată pe sistemul de rezervă. Procesul în acest caz va fi comandat manual prin dispozitivele de telecomandă menționate sau cu reglatoare de rezervă.

▪ Sisteme multicalculator

Dacă durata de funcționare fără defect a unui sistem monocalculator (care este considerabil mai mică decât cea a unității centrale) va fi considerată ca insuficientă și dacă nu există o justificare tehnico-economică și de siguranță în utilizarea unui sistem „back-up” convențional, atunci există posibilitatea construirii unei structuri redondante formată din mai multe calculatoare de proces, după cum urmează:

Sistem în paralel

Sistemul poate fi folosit pe două direcții:

O direcție constă în realizarea unei redondanțe pentru funcțiile centralizate ale calculatorului de proces, în care scop se dublează unitatea centrală. În acest caz prelucrarea sarcinilor prevăzute pentru comanda procesului se face de către o unitate centrală, cea de-a doua fiind în rezervă, dar va fi informată în permanență despre starea procesului și modul cum acesta se desfășoară. Ea își va testa periodic prin programe de control propria sa stare de funcționare, dar și pe a unității aflate în funcționare. Calculele de o importanță deosebită pot fi efectuate sincron în ambele calculatoare, iar emiterea semnalului de comandă obținut se va face în caz de coincidență a ambelor rezultate. În cazul unor rezultate diferite intră în funcțiune programele de diagnosticare pentru identificarea erorii. Sistemul neperturbat va prelua apoi singur sarcinile de proces. În realizarea unei astfel de structuri apar greutăți deosebite în special la sincronizarea celor două programe.

O a doua direcție constă în realizarea de sisteme formate din două calculatoare cuplate la același proces. Fiecare calculator își are echipamentul său de cuplare la proces, programe identice de prelucrare, programe de control reciproc a capacității de funcționare.

Informațiile necesare prelucrării sunt transmise de la proces în paralel la cele două calculatoare, dar de regulă, numai un calculator se află în funcțiune. Calculatorul aflat în rezervă, va prelua ușor sarcinile de proces în cazul defectării celui aflat în funcționare, întrucât el dispune în permanență de informații actuale asupra procesului.

Există posibilitatea ca în cazul defectării numai unor subansamble, funcțiile acestora să fie preluate de subansambluri similare din calculatorul aflat în rezervă. Avantajul structurii rezidă în funcționarea unui singur calculator, astfel că sarcinile pe partea de software sunt mult ușurate. Fiabilitatea este evident mult sporită. Principalul dezavantaj constă în investiția considerabilă cerută de instalarea a două calculatoare de proces, cu întreaga interfață aferentă. Pentru a contracara acest lucru de multe ori se introduce ca sistem redondant un calculator de capacitate mică, ce va prelua în caz de defect sarcini de proces simplificate.

8.7.4. Ierarhii de calculatoare

După cum s-a arătat anterior, în conducerea proceselor rezultă o configurație ierarhică a prelucrării datelor pe diverse nivele, funcție de sarcinile de automatizare cerute. Corespunzător volumului de calcule necesare se impune de obicei atribuirea unui sistem de conducere cu calculator propriu fiecărui nivel.

Calculatoarele din nivelul inferior sunt afectate proceselor, în timp ce echipamentele de calcul din nivelele superioare recepționează și transmit spre calculatorul central cantități relative reduse de date. Cerințele cele mai severe, din punctul de vedere al fiabilității, sunt puse la calculatorul din nivelul cel mai inferior, deoarece el lucrează în timp real.

Structurile ierarhice de calculator de proces se pot realiza în două moduri:

– Un mod constă în realizarea unei structuri formate din mai multe calculatoare dedicate fiecărui proces, care sunt coordonate de un alt calculator de proces, de capacitate medie sau mare, toate echipamentele fiind plasate centralizat.

– Al doilea mod este similar ca destinație cu primul, cu deosebirea că în acest caz calculatoarele de proces destinate comenzii nemijlocite a proceselor sunt amplasate chiar în apropierea proceselor, descentralizat, în timp ce calculatorul de proces coordonator este plasat într-un loc central.

8.7.5. Structura unui sistem cu calculator de proces considerată din punctul de vedere al interconexiunii cu procesul

Fiabilitatea cerută unui calculator de proces depinde în mare măsură de interconectarea acestuia cu procesul, interconectare care, la rândul ei, este dependentă de funcțiile pe care vrem să i le atribuim. Sintetic, aceste funcții prezentate în paragraful anterior:

- funcția de informare: calculatorul în buclă deschisă furnizează date operatorului;
- funcția de „ghid de conducere”: livrează consemnele de lucru operatorului (bucla se închide prin operator);
- funcția de „conducere automată” în buclă închisă (este exclusă intervenția manuală în funcționare normală).

Ca urmare, se pot distinge următoarele moduri de interconexiune ale calculatorului de proces:

i) Conexiune „off-line”, în care calculatorul lucrează independent de circuitul de reglare, furnizând date operatorului („open-loop”, „data logging”); informația este introdusă și extrasă manual de operatorul uman.

ii) Conectarea în circuit închis sau funcționarea cuplată cu procesul pe ambele părți („on-line closed-loop”) implică eliminarea operatorului uman din circuitul de comandă, mărimile de conducere calculate de calculator fiind aplicate procesului fie direct, fie prin intermediul aparatului de automatizare existente. Se deosebesc mai multe structuri, în funcție de scopul urmărit:

- a) Comanda procesului (reglajul comandat de calculator, conducere în circuit închis de urmărire sau calculator de ghidaj a automaticii convenționale – *Supervisory Computer Control* – SCC) care constă în intervenția calculatorului de proces asupra mărimilor de referință a reglatoarelor automate. Apare o structură hibridă, mixtă, care se

caracterizează printr-o organizare ierarhică, în care calculatorului i se rezervă funcțiile de coordonare a automaticii clasice din nivelele inferioare. Acest sistem este folosit la majoritatea proceselor industriale. Considerente economice impun echiparea proceselor cu aparatura de automatizare clasică la care ulterior, după câștigarea unei experiențe suficiente și o cunoaștere temeinică a procesului se introduce supraordonat calculatorul de proces.

- b) Reglarea numerică a procesului constă în preluarea de către calculator a funcțiilor reglatoarelor automate convenționale. Mărimile de intrare din proces vor fi prelucrate conform unui algoritm de reglare dacă în calculator se redă prin program structura funcțională a unui regulator clasic (algoritmul cel mai complicat fiind de tipul PID). Sunt utilizați și algoritmi mai sofisticăți cum ar fi algoritmi de reglare adaptive sau strategii optimale. Realizarea unor astfel de algoritmi presupune identificarea sistemului și găsirea modelului matematic. Descrierea matematică a procesului trebuie să fie adecvată condițiilor în care sistemul trebuie să funcționeze.

În utilizarea calculatorului de proces pentru reglarea numerică a procesului se deosebesc două structuri:

– Calculatorul conduce procesul după o strategie optimală sau după un model matematic. În această structură calculatorul de proces, pe baza măsurării variabilelor semnificative ale procesului, și, dacă este prevăzut, a unui criteriu de optimizare, calculează regimul de funcționare și un set de comutări ce trebuie efectuate în automatismul convențional pentru a o adapta pentru realizarea performanței optime;

– Reglarea numerică directă multiplă (*Direct Digital Control* – DDC) în care calculatorul de proces primește informațiile necesare asupra procesului și livrează la ieșire mărimile de comandă calculate conform algoritmului ales nu prin intermediul automatismului convențional, ci direct elementelor de execuție.

Se poate constata că în tehnica DDC o avarie a calculatorului are efecte asupra întregului sistem. Pentru a contracara acest lucru se introduce un sistem de rezervă.

Alegerea modului de conexiune a calculatorului la proces și a structurii corespunzătoare satisfacerii unei anumite fiabilități sunt dictate de tipul procesului: proces stabil sau critic; proces lent sau rapid.

9 MONITORIZAREA PARAMETRILOR DE PROCES ÎN STAȚIILE DE EPURARE A APELOR UZATE

Legislația, constrângerile impuse de mediu, costurile operării stației de epurare impun o funcționare eficientă a acesteia, ceea ce presupune obținerea de informații actualizate despre parametrii proceselor de epurare. Aceste informații necesită, din partea operatorilor, decizii corecte și în timp scurt referitoare la controlul procesului. O mică schimbare a unui parametru într-un proces determină schimbări nu numai în procesul respectiv, dar și în procesele din aval și/sau amonte.

Monitorizarea parametrilor în procesele de epurare reprezintă o activitate esențială în SEAU, ea fiind strâns legată de monitorizarea mediului în general. Scopul ei este de a urmări gradul de conformare cu legislația, prin monitorizarea parametrilor de calitate a apei la ieșirea din SEAU și de a urmări funcționarea proceselor de epurare și eficiența acestora, prin monitorizarea parametrilor proceselor de epurare.

Monitorizarea parametrilor proceselor de epurare este elementul de bază pentru optimizarea proceselor de epurare. Ea conduce la minimizarea pierderilor, planificarea mentenanței și reparațiilor și micșorarea pierderilor prin economia de energie.

Indicatorii de calitate ai apei au caracter de variabile continue și deci pot lua orice valori numerice între anumite limite. Din acest punct de vedere, culegerea de date trebuie considerată ca o operație statistică de selecție în vederea estimării unor valori tipice, ca de exemplu media aritmetică, dispersia datelor etc.

Culegerea datelor de calitate a apei este un proces mai complex care include două aspecte importante: a) determinarea prin măsurători efective, cu mijloace de măsură manuale sau automate, a indicatorilor de calitate; b) înregistrarea datelor obținute în scopul prelucrării, stocării și valorificării.

9.1. Realizarea sistemului de monitorizare

Sistemul de monitorizare este acea componentă a sistemului informațional care realizează achiziția, transmiterea, stocarea și prelucrarea datelor. El este un sistem deosebit de complex, care se integrează într-un cadru organizatoric bine conturat, în care lucrează personal specializat.

Elementele unui sistem de monitorizare se pot grupa în următoarele componente:

- Baza tehnică sau **hardware-ul**;
- Sistemul de programe sau **software-ul**;
- Baza informațională;
- Resursele umane și cadrul organizatoric.

Baza tehnică sau **hardware-ul** reprezintă totalitatea mijloacelor de culegere, transmitere și prelucrare a datelor, în care locul central îl deține calculatorul electronic (fig. 9.1).

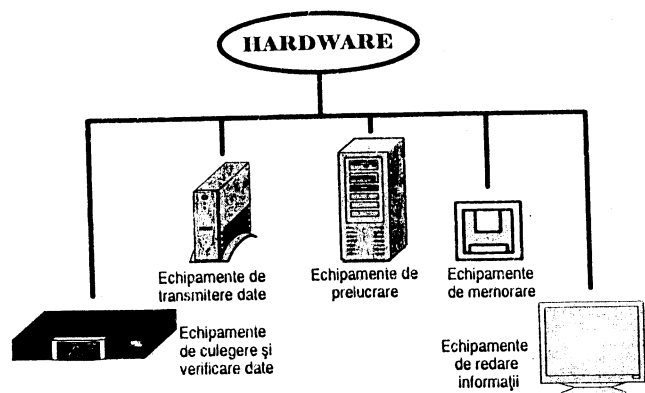


Fig. 9.1. Componentele hardware ale unui sistem de monitorizare.

Sistemul de programe sau software-ul cuprinde totalitatea programelor utilizate ce se implementează în calculator. Ele constituie baza operațională a calculatorului. Se împarte în două mari categorii:

- Software de bază;
- Software aplicativ.

Software-ul de bază reprezintă, în primul rând, programele sistemului de operare, pachetele de programe de firmă etc.

Software-ul aplicativ reprezintă totalitatea programelor scrise pentru necesitățile concrete de monitorizare și conducere a procesului respectiv.

Baza informațională cuprinde ansamblul datelor supuse prelucrării. Toate celelalte componente sunt simple elemente pasive, ele capătă valoare numai în măsura în care baza informațională există și este de bună calitate.

Resursele umane și cadrul organizatoric cuprinde personalul de specialitate în primul rând analiști, programatori, operatori și alte categorii de personal. Aceștia își desfășoară activitatea într-un cadru organizatoric bine definit: oficiu de calcul, centru de calcul cu legături informaționale și funcționale.

Realizarea sistemului de monitorizare presupune acțiuni conjugate prin care să se asigure în final ca toate aceste componente să funcționeze sincron, în concordanță cu obiectivele stabilite pentru întregul sistem informatic.

În stațiile de epurare a apelor uzate trebuie colectate un număr mare de date corespunzătoare multitudinii de parametri cu natură diferită care trebuie monitorizați, în general 10–12 probe/oră. Valorile probelor sunt deseori o medie a valorilor în perioada de colectare pe parcursul căreia unii senzori oferă valori măsurate continuu, iar alții doar o valoare. Prin stocarea acestor date într-o bază de date se va dispune de o imagine clară a funcționării instalațiilor și echipamentelor, precum și a stației de epurare în ansamblul ei. În etapa de control automat al procesului tehnologic baza de date, formată prin monitorizare, va oferi calculatorului de proces o experiență utilă în adoptarea deciziei operative. Totodată ea va pune la dispoziție evoluția parametrilor pe o lungă perioadă de timp.

Organizarea informației în fișiere și baze de date trebuie să cuprindă întreg fluxul informației respective, de la generarea ei, până la valorificare, respectiv revalorificare. Volumul și structura informației ce intră (se generează), frecvența acestor intrări (generări) de informație, determină principalele caracteristici tehnice și de exploatare ale sistemelor de prelucrare a datelor.

Informația, ca obiect al prelucrării, reprezintă elementul cel mai dinamic și mai complex al sistemelor de monitorizare și control. Ei trebuie să i se acorde o atenție prioritară atât în etapa de analiză și proiectare a sistemelor informatice, cât și în procesul de prelucrare și valorificare a datelor.

Una dintre sarcinile principale ale realizării sistemelor informatice eficiente, este aceea de a asigura o structură, un volum și o cantitate corespunzătoare a informației, necesare și suficiente la diferite niveluri și puncte de decizie, cu un timp de răspuns și cost cât mai redus.

Prin volumul de date prelucrate, prin viteza de analiză a datelor primare și afișarea celor prelucrate, prin volumul ridicat de date stocate (minim, maxim, valoare medie), calculatorul nu poate fi eliminat din schema și activitatea de monitorizare.

Sistemul de monitorizare a parametrilor de proces poate avea diverse obiective și poate fi realizat pe niveluri diferite.

Principiile de bază care se recomandă a fi respectate la realizarea sistemului de monitorizare sunt:

1. Principiul angajamentului și responsabilității

Succesul monitorizării depinde de suportul conducerii de vârf și de definierea clară a responsabilităților.

2. Principiul integrării

Monitorizarea trebuie privită ca parte integrantă a proiectării, construcției operării și mentenanței SEAU. Ea trebuie luată în considerare încă din faza de concepție.

3. Principiul exhaustivității

Monitorizarea cuprinde toate intrările diferitelor procese până la controlul și descărcările în emisar (ieșiri).

4. Principiul simplității, fiabilității și fezabilității

Programul de monitorizare trebuie să fie fezabil în contextul SEAU. El trebuie să culegă date fiabile cu costuri cât mai reduse. Este important ca măsurile de evaluare să fie simple, cu ținte precise, al căror cost poate fi estimat și utilizat pentru demonstrarea dezvoltării durabile a mediului.

5. Principiul sustenabilității

Un proces de monitorizare corect proiectat și implementat conduce la importante economii, fără investiții foarte mari. Sustenabilitatea este atinsă atunci când costul activităților de monitorizare este acoperit din câștigurile rezultate din monitorizare.

6. Principiul continuității

Un sistem și un program de monitorizare va fi mai eficient și mai ușor de acceptat dacă se bazează pe ceea ce deja există în SEAU. Deci nu se pornește de la zero, se utilizează ceea ce există.

7. Principiul evoluției și îmbunătățirii continue

Sistemul de monitorizare și programul asociat trebuie actualizate permanent ținând seama de modificările legislației de mediu, modificările proceselor de epurare sau de experiența obținută.

8. Principiul informării și conștientizării tuturor

Informațiile culese trebuie să circule liber și complet și să fie puse la dispoziția tuturor din interiorul SEAU, de la diferite niveluri ale conducerii până la operatori, precum și autorităților. În S.U.A. aceste informații sunt puse și la dispoziția cetățeanului.

9. Principiul cooperării cu autoritățile

Este bine ca între SEAU și autorități să existe o înțelegere privind planul de monitorizare, în special parametrii măsurați și metodele utilizate, dar și o cooperare mutuală bazată pe încredere.

Prin monitorizare se asigură o serie de avantaje pentru operatorii din SEAU:

- crește conștientizarea acestora privind performanțele și eficiența proceselor de epurare
- vor fi pregătiți pentru inspecțiile autorităților
- pun la dispoziția inspectorilor date mai fiabile pentru verificarea probelor singulare, nereprezentative
- crește conștientizarea acestora în ceea ce privește impactul poluanților asupra mediului
- implementarea acțiunilor corective
- identificarea tendințelor privind performanța proceselor de epurare și setarea alarmelor
- îmbunătățirea eficienței proceselor

Pentru realizarea unui sistem de monitorizare trebuie urmărite următoarele elemente principale:

- obiectivele și rezultatele cerute de la sistemul de monitorizare
- organizarea și împărțirea responsabilităților și sarcinilor
- planificarea activităților și stabilirea calendarului de implementare
- proiectarea programului corespunzător de măsurători și recoltare a probelor
- procedurile de prelucrare, stocare și raportare a datelor
- sistemul de urmărire a deciziilor, acțiunilor și dezvoltarea monitorizării
- asigurarea calității și controlului

Pentru a realiza un sistem de monitorizare viabil, real și aplicabil trebuie realizate următoarele activități:

1. Evaluarea capacității de monitorizare existente

Aceasta trebuie să ia în considerare următoarele aspecte:

- existența sistemului de achiziție, prelucrare și raportare a datelor
- personalul disponibil, nivelul de școlarizare și motivația acestuia
- resursele tehnice: echipamentul de monitorizare și de laborator existent și starea acestuia
- resursele financiare, adică bugetul disponibil pentru activitatea de monitorizare

2. Identificarea obiectivelor și scopului

Obiectivele și beneficiile sistemului de monitorizare trebuie clar identificate. Obiectivele trebuie să fie rezonabile și realizabile pentru asigurarea succesului sistemului de monitorizare. Acestea pot fi modeste, ca de exemplu conformarea cu cerințele impuse de legislație, sau ambițioase, ca de exemplu reducerea costurilor. Odată identificate obiectivele, scopul poate fi identificat imediat. În acest sens, cel mai important rol îl au parametrii principali care trebuie măsurați. Identificarea parametrilor cheie necesită cunoașterea proceselor de epurare, desfășurarea lor și echipamentele utilizate.

Se recomandă realizarea unui audit pre-monitorizare pentru a determina locul de amplasare a echipamentelor de măsurare și prelevare probe și necesarul pentru proiectarea planului de monitorizare. Ar trebui să se acorde prioritate parametrilor care determină conformarea cu cerințele impuse de legislația de mediu. Pentru fiecare parametru propus trebuie monitorizate tendințele și variațiile, precum și valoarea la un moment dat.

3. Cadrul organizațional

Trebuie identificate clar următoarele elemente cheie:

- resursele umane

Trebuie nominalizate persoanele care ocupă diferitele poziții în cadrul sistemului de monitorizare. Acestea trebuie să aibă competența, autoritatea și bugetul corespunzător responsabilităților și sarcinilor asociate poziției lor. De asemenea, trebuie să fie angajate, motivate și conștiente de responsabilitățile, sarcinile, poziția în sistemul de monitorizare și în SEAU și în raport cu puterea decizională. Fiecare persoană trebuie să cunoască responsabilitățile și sarcinile celorlalte persoane implicate în sistemul de monitorizare.

■ responsabilitățile și sarcinile

Responsabilitățile unei persoane și sarcinile asociate trebuie clar definite prin documente scrise. Responsabilitățile și sarcinile trebuie împărțite pentru a acoperi toate aspectele monitorizării:

Datorită diferitelor condiții de operare, parametrii de proces și de calitate a apei trebuie monitorizați continuu pentru a asigura operarea eficientă și fiabilă. Astfel, valorile medii zilnice nu sunt suficiente pentru detectarea din timp a erorilor și luarea măsurilor corespunzătoare. Metodele clasice de monitorizare se bazează pe grafice dependente de timp, în care operatorul poate vedea evoluția diferiților parametri. În acest caz este dificil de urmărit mai mulți parametri, de a trage concluziile corespunzătoare și de a acționa. Într-o stație bine echipată numărul datelor măsurate este de ordinul sutelor sau miilor, ori omul este capabil să mănuiască doar câteva date de intrare simultan (7 este numărul deseori menționat în literatura de specialitate). De aceea, se apelează la tehnica on-line de monitorizare a datelor, dispunându-se astăzi de o serie de echipamente de măsurare on-line a parametrilor într-o SEAU.

În măsurarea și prelucrarea parametrilor dintr-o stație de epurare există o serie de dificultăți:

1. Calitatea datelor

Măsurătorile sunt afectate de perturbații din diferite surse atât la colectarea probei, cât și prin procedeele de măsurare. De multe ori datele colectate sunt eronate datorită funcționării necorespunzătoare a senzorilor sau a erorilor de transmitere a datelor. Astfel, apar intervale din care lipsesc date sau acestea sunt eronate, ceea ce face dificilă interpretarea măsurătorilor.

2. Volumul de date

Odată cu creșterea puterii de calcul datorită calculatoarelor a crescut și numărul de date colectate, dar de multe ori și aceasta este depășită, iar sistemul nu face față.

3. Coliniaritatea datelor

Deși un proces conține mai multe variabile, aceasta nu înseamnă că el este dimensional. De obicei, un proces este descris doar de câteva mecanisme principale, astfel că doar câteva variabile sunt necesare pentru descrierea comportării lui. Problema coliniarității datelor face dificilă atât interpretarea umană a datelor, cât și analiza lor statistică, deoarece aceasta se bazează pe un grad mare de libertate între variabile.

4. Date nestaționare

Procesele de epurare se desfășoară în condiții diferite. Variațiile orare, zilnice, săptămânale, sezoniere ale apei uzate influente trebuie considerate ca o stare de fapt și nu ca perturbații. Datorită parametrilor de natură diferită care intervin în procesele de epurare, este dificil de a face distincția între adevăratele perturbații ale procesului și cele date de variațiile influentului.

5. Date cu scări de timp diferite

În procesele de epurare unii parametri au variații lente în timp, de exemplu dinamica nămolului care se desfășoară în intervale de timp de ordinul zilelor, săptămânilor sau chiar lunilor. Alți parametri variază zilnic, cum ar fi debitul și încărcările influentului. Sunt procese care au loc rapid, ca de exemplu oxigenul

dizolvat sau șocurile hidraulice. Perturbările proceselor au și ele caracter dinamic, ele pot apărea la scări de timp diferite. Astfel, unele influențează procesul într-un timp scurt, iar altele într-un timp mai lung. Scara de timp diferită a datelor oferă totuși posibilitatea de a decupla procesele în timp.

6. Neliniaritatea datelor

Procesele de epurare au o comportare neliniară, astfel că datele nu pot fi approximate întotdeauna printr-o funcție liniară. De aceea, neliniaritatea trebuie luată în considerare atunci când se realizează un sistem de monitorizare.

7. Date dinamice

Datele culese în cazul proceselor dinamice nu sunt independente, ele se autocorelează, astfel că interpretarea lor trebuie făcută cu multă precauție.

În evoluția automatizărilor industriale se manifestă tot mai pregnant, utilizarea sistemelor de conducere cu calculatorul, ceea ce permite implementarea unor algoritmi de reglare și de optimizare deosebit de eficienți.

În condițiile în care capacitatea de procesare a datelor de către sistemele de calcul este deosebit de extinsă și nu mai constituie o limitare, necesitatea unei diversități de senzori și traductoare care să asigure obținerea unei informații primare cât mai complete, precise și fiabile devine de o importanță deosebită.

9.2. Senzori și traductoare pentru măsurarea parametrilor în epurarea apelor uzate

În ultimii ani senzorii utilizați în epurarea apelor uzate au cunoscut o dezvoltare importantă în ceea ce privește performanțele și fiabilitatea. Astfel, senzorii și analizoarele on-line și-au găsit aplicabilitate în diferite procese din epurare a apelor uzate: controlul influentului, controlul oxigenului dizolvat, aerarea intermitentă, recircularea internă, îndepărtarea nămolului în exces, dozarea sursei externe de carbon, controlul nămolului recirculat, controlul fazelor în reactoarele secvențiale, controlul precipitării etc. În procesele de epurare a apelor uzate, senzorii sunt utilizați:

- în sisteme de control automat;
 - în sisteme de monitorizare;
 - pentru auditul sistemelor de epurare sau pentru calibrarea modelelor folosite pentru optimizarea sau evaluarea diferitelor procese.
- În funcție de complexitatea lor, se disting două categorii de senzori:
- simpli, fiabili și cu mentenanță scăzută, utilizați în monitorizarea și controlul automat zi de zi;
 - avansați, care necesită mentenanță intensivă, utilizați în audit și pentru calibrarea modelelor.

În funcție de timpul de răspuns și de intervalul de măsurare, senzorii se împart în 6 categorii, prezentate în tabelul 9.1.

Tabelul 9.1

Clasele de senzori	Timp de răspuns	Intervalul de măsurare
	[min]	[min]
Clasa A	1	0
Clasa B0	10	0
Clasa B1	10	5
Clasa C0	20	0
Clasa C1	20	5
Clasa D	30	30

Realismul și corectitudinea datelor măsurate trebuie comparată cu cunoștințele existente despre procesele respective. De aceea este esențial să se cunoască foarte bine procesele de epurare. Rezultatele oricărei măsurători au un anumit grad de incertitudine, dar este important să se estimeze și să se țină seama de aceasta. Trebuie realizată calibrarea și întreținerea senzorilor conform instrucțiunilor. De asemenea, este recomandată realizarea regulată a unor măsurători de referință în laborator, pentru a certifica măsurătorile efectuate de senzori.

Nu este posibil niciodată să se facă o comparație complet echitabilă între două stații de epurare diferite și nici între țări diferite. Sistemul de monitorizare diferă în funcție de dimensiunea stației, posibilitățile financiare, nivelul de cunoștințe al conducerii și obiectivele care se au în vedere.

Frecvența măsurătorilor și reglărilor unui parametru depinde de timpul necesar acestuia să se modifice după apariția unei perturbări. Timpul necesar unui parametru pentru a atinge 63,2% din diferența dintre condițiile inițiale și cele finale după apariția perturbării se numește constantă de timp. Mărimea acestei constante pentru principalii parametri ce caracterizează procesele de epurare este dată în tabelul 9.2. Pentru a realiza controlul automat, acești parametri trebuie măsurati de 10...30 de ori mai des decât constanta de timp corespunzătoare. Deci, pentru acești parametri este necesară aparatură on-line de măsurare.

Tabelul 9.2

Parametru	Constanta de timp	
	Unitate de măsură	Valoare tipică
Presiunea	s	< 1
Debitul în conducte sub presiune	s	1 – 5
Debitul în canale și decantoare	min	5 – 30
Concentrația oxigenului dizolvat	min	10 – 20
Adâncimea stratului de nămol în decantorul secundar	min	30 – 120
Concentrația de amoniu în bazinul de aerare	h	> 1
Concentrația de amoniu în efluent	h	> 1
Timpul de retenție al solidelor (TRS)	zi	> 1
	zi	3 x TRS*

TRS* – timpul aproximativ pentru a ajunge la condiții de operare staționare după ce valoarea TRS a fost modificată.

a. Senzori de temperatură

Măsurarea temperaturii se face de obicei cu un termistor.

b. Senzori/Traductoare de debit

Importanța traductoarelor de debit rezultă din rolul acestora în cadrul unor operații esențiale, cum ar fi reglările de debit, care ocupă un loc central în controlul automat al proceselor de epurare.

Un aspect important al traductoarelor de debit îl constituie marea varietate a condițiilor ce caracterizează mai ales fluidele de măsurat: cu impurități sau curate, vâscoase, monofazice sau polifazice, fluide newtoniene, în regim de curgere laminar sau turbulent, la viteze subsonice sau supersonice, pentru secțiuni de trecere de 1 mm^2 sau mai mulți m^2 etc.

Totodată trebuie amintite condițiile riguroase privind anumite performanțe, precum precizia sau timpul de răspuns.

Datorită aspectelor menționate anterior există o mare varietate de traductoare de debit, atât sub raportul principiilor de funcționare, cât și al tehnologiilor de fabricație. Pentru măsurarea debitului există numeroase metode și mijloace care au fost folosite în trecut, iar altele au fost realizate relativ recent.

Senzorii și traductoarele de debit, numite și debitmetre, se bazează pe următoarele fenomene sau efecte:

- măsurarea căderii de presiune;
- măsurarea presiunii dinamice;
- echilibrarea forțelor;
- antrenarea mecanică;
- conservarea impulsului;
- măsurarea volumelor;
- turbionarea jetului de fluid;
- inducția electromagnetică;
- măsurarea debitului în canale deschise;
- propagarea ultrasunetelor;
- urmărirea trasorilor;
- traductoare combinate și speciale.

În epurarea apelor uzate se utilizează numai anumite tipuri de traductoare de debit, datorită compoziției și caracteristicilor apei uzate.

b.1. Traductor de debit electromagnetic (fig. 9.2, a)

Unele dintre cele mai utilizate debitmetre volumice pentru lichide sunt debitmetrele electromagnetice. Ele sunt construite pentru a măsura debitul fluidelor cu conductibilitate electrică. Măsurarea se bazează pe legea inducției electromagnetice a lui Faraday, conform căreia un conductor ce se deplasează într-un câmp magnetic induce o tensiune electrică (fig. 9.2, b). Valoarea tensiunii induse U este proporțională cu viteza medie de curgere v , atunci când intensitatea câmpului magnetic B este constantă.

În interiorul debitmetrului electromagnetic, fluidul trece printr-un câmp magnetic aplicat perpendicular pe direcția de curgere. Mișcarea fluidului (care trebuie

să aibă o conductivitate electrică peste o anumită valoare considerată minimă), induce o tensiune electrică. Această tensiune este proporțională cu viteza fluidului și, pentru o conductă de diametru D dat, este proporțională cu volumul fluidului ce se deplasează în unitatea de timp prin conductă (debitul). Semnalul în tensiune este preluat de către 2 electrozi, care sunt în contact cu fluidul conductiv, și este trimis la un convertor de semnal (adaptor de semnal) care îl transformă într-un semnal de ieșire standardizat.

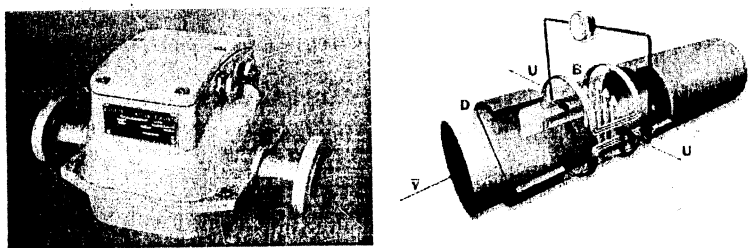


Fig. 9.2. Debitmetru electromagnetic.

Costul debitmetrului este destul de mare, în special pentru diametre mari de conductă, dar căderea de presiune și întreținerea lui sunt scăzute. Are o mare acuratețe, aceasta fiind afectată negativ doar la viteze sub 1 m/s.

b.2. Traductor de debit cu ultrasunete

Determinarea debitului utilizând ultrasunetele este o metodă neinvazivă. Debitmetrele cu ultrasunete măsoară debitul unui fluid utilizând senzori acustici cu frecvența >20 kHz. Deoarece nu au piese în mișcare, întreținerea lor este ușoară. Ele nu au pierderi de presiune și asigură o precizie mai bună față de alte aparate, rezultatele fiind foarte ușor afectate de temperatură, densitate sau conductivitate.

Există trei tipuri de debitmetre cu ultrasunete:

- care utilizează transmiterea undelor ultrasonice (contrapropagarea timpului de parcurs);
- care utilizează reflectarea undelor ultrasonice, sau debitmetre ultrasonice Doppler;
- debitmetre pentru canale deschise.

Debitmetre ultrasonice cu timp de parcurs

Acestea sunt cel mai frecvent utilizate, fiind aplicate pentru fluide curate sau cu impurități. Sunt ușor de instalat, întreținerea este scăzută, nu realizează cădere de presiune și au o bună acuratețe pentru conducte mari. Nu pot fi însă utilizate pentru nămoluri și este necesară montarea pe o porțiune lungă de conductă în linie dreaptă. Ele se bazează pe măsurarea diferenței de timp dintre impulsul ultrasonic transmis în direcția de curgere și a unui impuls ultrasonic transmis în direcția opusă curgerii. Acest interval de timp este măsura vitezei de

propagare a sunetului în fluid. Utilizând timpul absolut de parcurs și distanța dintre transmițătorii ultrasonici se găsește viteza sunetului.

În exemplul din figura 9.3 fasciculul ultrasonic formează un unghi de 45° , cei doi transmițătorii fiind montați în amonte unul față de celălalt. Fiecare transmite și recepționează alternativ energia ultrasonică, diferența dintre timpul de parcurs în aval față de cel în amonte, pentru aceeași cale, fiind proporțională cu viteza medie a curentului. Cunoscând diametrul conductei, deci aria secțiunii transversale, un microprocesor calculează debitul. Pentru acest

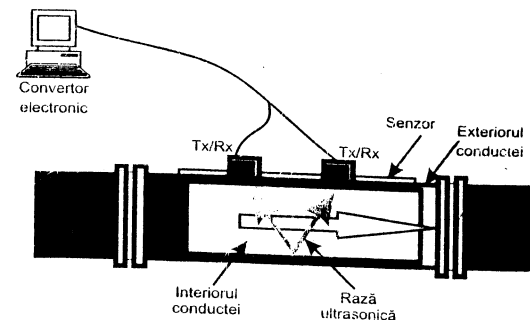


Fig. 9.3. Debitmetru cu ultrasunete cu 2 transmițători/receptori.

tip de debitmetru prezența particulelor solide sau a bulelor de gaz în fluid nu este dorită, deoarece ele reflectă undele sonore care vor interfera cu cele transmise și recepționate de transmițătorii ultrasonici. De asemenea, lichidul trebuie să fie un conducător rezonabil de energie sonică.

În figura 9.4 se prezintă trei metode de montare a traductorilor. Toate măsoară pe aceeași cale, deoarece undele sonore urmează o singură cale și în toate situațiile cei doi traductori sunt conectați printr-un cablu la un convertor care dă un semnal de ieșire 4...20 mA. Selecția uneia dintre configurații față de alta depinde de câțiva factori dați de instalație, cum ar fi dimensiunea conductei, starea pereților interiori ai conductei, spațiul disponibil pentru montarea traductorilor, alinierea conductei și natura fluidului.

În configurația Z traductorii se amplasează de o parte și de alta a conductei, în amonte unul față de celălalt. În general distanța în aval este $\sim D/2$, unde D este diametrul conductei. Convertorul utilizează datele specifice conductei pentru a calcula distanța. Această configurație se utilizează acolo unde spațiul este limitat, fluidul este încărcat cu particule solide, există un pat de mortar pentru alinierea conductei și conducta este veche. Nu se recomandă la conducte mici, la care este afectată precizia.

Pentru cele mai multe instalații este recomandată construcția în V,

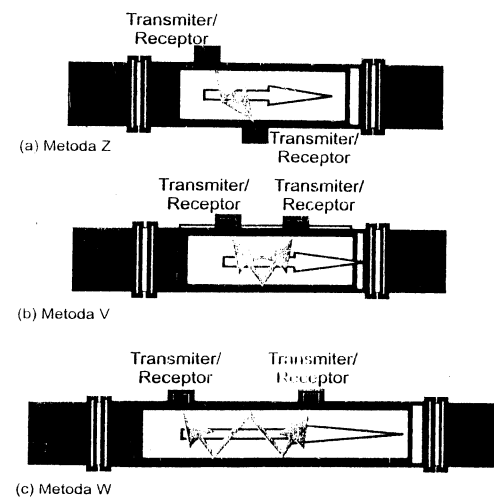


Fig. 9.4. Metode de montare a traductorilor: Z, V și W.

cu traductorii de aceeași parte a conductei. Pe conductă poate fi amplasată o șină care permite translatarea celor doi traductori orizontal de-a lungul conductei și poziționarea lor la distanța calculată.

Metoda W se folosește pentru conducte de diametru $1\frac{1}{2}$ "... $\frac{1}{2}$ ". Principala ei limitare constă în posibila reducere a preciziei datorită formării depozitelor pe pereții conductei. De asemenea, turbiditatea poate fi un inconvenient deoarece semnalul are o distanță mai lungă de parcurs.

Debitmetre ultrasonice cu efect Doppler

Acestea se utilizează pentru nămoluri, lichide cu bule, gaze cu particule solide sau lichide în mișcare turbulentă. Costul este mic, întreținerea scăzută și nu realizează cădere de presiune. Sunt însă sensibile la vibrațiile conductei, iar acuratețea scade la viteze sub 0,9 m/s. Pentru a măsura debitul într-o conductă utilizând efectul Doppler, un traductor transmite un fascicul ultrasonic de ~0.5 MHz

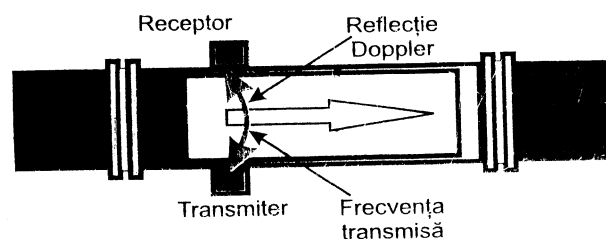


Fig. 9.5. Debitmetru cu efect Doppler.

în curentul de fluid (fig. 9.5). Fluidul care circulă prin conductă trebuie să conțină particule care să reflecte undele sonice, cum ar fi particule solide sau bule de gaz. Mișcarea acestora alterează frecvența fascicului reflectat spre traductorul receptor. Decalajul de frecvență este proporțional cu debitul materialului prin

conductă și de aceea se poate utiliza pentru realizarea unor semnale analoge sau digitale proporționale cu debitul.

Un debitmetru cu efect Doppler înglobează atât transmițătorul, cât și receptorul în aceeași carcasă, atașată pe una din părțile conductei. Particulele din fluid reflectă undele sonice spre receptor, cu un decalaj de frecvență, ca și în cazul în care doi traductori sunt montați de o parte și de alta a conductei.

Recent a fost realizat și un debitmetru clamp-on cu efect Doppler care funcționează cu curent alternativ sau cu acumulatori reîncărcabili. Un set de terminale care furnizează la ieșire un semnal 4...20 mA permit conectarea la un înregistrator sau alt aparat de citire și control.

Debitmetre pentru canale deschise

Debitmetrele cu ultrasunete (fig. 9.6) sunt utilizate cu succes pentru anumite măsurători de debit pe canale deschise prevăzute cu deversoare sau canale cu ștrangularea secțiunii tip Venturi sau Parshall. Traductorul este instalat deasupra canalului, transmițând impulsuri de fascicule pe suprafața liberă a lichidului. Impulsurile sunt reflectate înapoi spre traductor, iar timpul de parcurs este dependent de nivelul lichidului. În esență aceasta este o aplicație a senzorului de nivel ultrasonic. Prin legătura dintre nivelul lichidului în canal sau deversor, acest sistem poate da valoarea debitului volumetric.

Trebuie urmate cu strictețe instrucțiunile de operare date de furnizor, deoarece problemele frecvente sunt, cel puțin parțial, din partea utilizatorului care nu

înțelege câteva probleme esențiale, cum ar fi montarea corespunzătoare a traductorilor. Cuplarea acustică la conductă și alinierea relativă a traductorilor sunt foarte importante.

Pentru a indica corect debitul volumetric atât pentru debitmetrele cu timp de parcurs, cât și pentru cele cu efect Doppler, este important ca întotdeauna conducta să fie plină. Debitmetrul cu efect Doppler va continua să indice viteza fluidului chiar într-o conductă parțial plină dacă traductorii se montează sub nivelul lichidului.

Distanța de montaj față de coturi, robineti, T-uri, pompe etc. trebuie să fie 10-20 diametre amonte și 5 diametre aval.

Pentru debitmetrele cu ultrasunete cu timp de parcurs lichidul nu trebuie să conțină particule solide sau bule de gaz sau aer. Bulele în special atenuază semnalele acustice.

Pe de altă parte debitmetrele cu efect Doppler se bazează pe particulele care reflectă undele sonore. De aceea, pentru a obține măsurători fiabile trebuie să se țină seama de concentrația minimă și dimensiunea minimă a particulelor sau bulelor. Se indică o valoare minimă a concentrației de particule solide sau de bule de 100 mg/l sau ppm. De asemenea, curgerea trebuie să aibă o viteză suficientă pentru menținerea acestora în suspensie. Unii producători dau ca valori tipice 1,8 m/s pentru particule solide și 0,75 m/s pentru bule de dimensiuni mici.

În ultimii ani s-au introdus debitmetre cu efect Doppler care operează la frecvențe > 1 MHz. În acest caz ele pot funcționa pentru lichide virtual curate, deoarece reflectarea undelor ultrasonice se realizează de către vârtejurile din mișcarea turbulentă.

Numărul Reynolds influențează performanțele debitmetrului. Astfel unele debitmetre cu efect Doppler sau cu timp de parcurs necesită numere Reynolds de minim 4000, respectiv 10000.

Debitmetrele clamp-on necesită ca grosimea conductei să fie mică în raport cu distanța pe care energia ultrasonică să o parcurgă prin lichidul de măsurat. De regulă raportul diametru conductă/grosime perete conductă trebuie să fie mai mare de 10:1.

c. Senzori de nivel

În monitorizarea și controlul automat senzorii de nivel au o largă utilizare, nu numai prin faptul că nivelul reprezintă un parametru important pentru desfășurarea anumitor procese, intervenind astfel în numeroase bucle de reglare, ci și pentru posibilitățile pe care le oferă de a obține relativ ușor, măsurarea indirectă a volumului sau masei. În epurarea apelor uzate acestea se utilizează pentru determinarea nivelului de nămol în decantoare, precum și în diferite bazine, cum ar fi cel de amestecare floculant și de clorinare. Diversitatea aplicațiilor, atât sub raportul particularităților fizice, cât și al performanțelor pe care le solicită, au

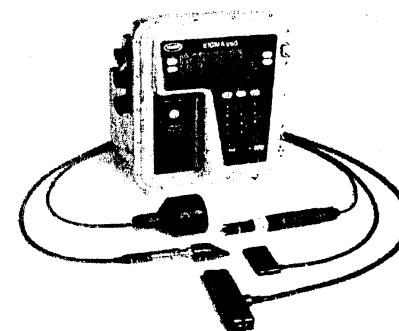


Fig. 9.6. Traductor de debit pentru canal deschis.

condus la o gamă relativ mare de tipuri de senzori de nivel, atât sub aspectul principiilor de funcționare, cât și al realizărilor tehnologice.

Senzorii de nivel pot fi:

- capacitivi;
- cu determinarea hidrostatică a nivelului;
- ultrasonici;
- cu transmitere nucleonică sau radiometrică a nivelului;
- cu microunde dirijate;
- cu radar.

c.1. *Senzorii capacitivi* se utilizează pentru o mare varietate de lichide și solide. Dacă procesul este corect înțeles și nu variază, și dacă se respectă câteva reguli de bază, atunci acești senzori sunt fiabili și ieftini. În trecut, pentru produsele foarte vâscoase și conductive utilizarea acestor senzori punea diverse probleme. Cercetările recente, cum ar fi „admitanța selectivă a fazei” introdusă în interiorul transmițerului, permit compensarea automată. Această tehnologie este disponibilă cu 2 fire 4...20 mA/HART și Profibus PA direct de la transmițer.

c.2. *Senzori cu determinarea hidrostatică a nivelului* se utilizează pentru rezervoare cu orificii de aerisire, dar și pentru rezervoare presurizate. Sunt simpli, dar grosimea și impuritățile pot interfera cu măsurătorile. De asemenea, pot fi afectați de modificarea temperaturii. Utilizarea presiunii pentru determinarea nivelului este limitată, în special datorită variației densității diferitelor produse. Senzorii mai vechi erau umpluți etanș cu soluții chimice și capilare care nu le permiteau măsurarea cu precizie a nivelului. Variațiile temperaturii lichidului de umplere ducea la imprecizia măsurătorilor, iar diafragma era prea subțire și în pantă, astfel că era expusă defecțiunilor mecanice.

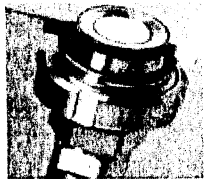


Fig. 9.7. Senzor cu determinarea hidrostatică a nivelului cu safir-ceramică.

Au apărut însă noi realizări în tehnica senzorilor hidrostatici, aceștia fiind mai robuști, mai fiabili și rezistenți chimic. Sunt disponibile celule safir-ceramică cu curățare și conectare igienică la proces. Acestea nu sunt umplute cu lichid, se pot utiliza spre zona radierului rezervoarelor și nu au volum mort. Sunt indicate în special pentru industria farmaceutică și alimentară. În epurarea apelor uzate se poate utiliza pentru determinarea nivelului de nămol la partea inferioară a metantancului.

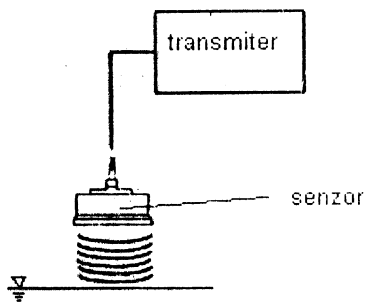


Fig. 9.8. Traductor de nivel cu ultrasunete.

c.3. *Senzorul de nivel cu ultrasunete* (fig. 9.8), utilizat pentru determinarea nivelului stratului de nămol din decantoare, se bazează pe proprietatea undelor ultrasonice de a fi reflectate de suprafața de separație dintre două medii cu densități diferite. Un cristal piezoelectric este integrat într-un cilindru aflat într-un corp de plastic. Undele ultrasonice sunt trans-

mise la o frecvență de 657 kHz și la un unghi de 6° . Parametrul măsurat este timpul necesar undelor transmise să întâlnească particulele solide și să se întoarcă. Senzorii cu ultrasunete sunt ieftini și se pot utiliza pentru nivele sub 1 m până la 70 m și chiar peste. Ei sunt disponibili într-o gamă largă de ieșiri analoge și digitale. Au un cost rezonabil, nu necesită întreținere, dar spuma poate crea probleme și pot fi greu de calibrat.

c.4. *Senzorii de nivel nucleonici sau radiometrici* fac parte din metodele neinvazive de măsurare a nivelului. Ei sunt capabili să măsoare nivelul lichidelor sau solidelor prin pereți de oțel inoxidabil sau alte rezervoare din metal. Tehnica de măsurare se bazează pe absorbția diferențiată a radiației gamma de către izotopii radioactivi, ca de exemplu cesiul Cs137 sau cobaltul Co60. Această sursă de radiație este special ecranată astfel încât radiația este direcționată spre produs doar prin pereții recipientului. Sursa de radiație este montată aproape de nivelul maxim, pe unul din pereții laterali ai rezervorului, iar detectorii radiației sunt montați jos, pe peretele opus. Cantitatea de radiație blocată este proporțională cu nivelul.

Această tehnică de măsurare a nivelului este foarte bună și se aplică în procese foarte variate, cum ar fi petrochimie, chimie, industria cimentului, zonele de coastă etc. Această tehnică poate fi folosită și pentru determinarea nivelului interfețelor sau determinarea densității.

c.5. *Senzorii cu microunde dirijate* sunt o variantă a tehnicii de măsurare cu radar, fiind cunoscută sub numele de „time domain reflectometry” sau TDR. Posibilitățile de măsurare includ măsurarea nivelului pentru lichide și solide, măsurarea nivelului interfeței dintre lichide neconductive dielectrice slabe și lichide conductive. Principiul de măsurare se bazează pe impulsuri extrem de scurte de microunde transmise în jos printr-un cablu extern și reflectate în sus spre suprafața produsului care trebuie măsurat.

c.6. *Senzorii de măsurare a nivelului cu radar* (fig. 9.9) folosesc o tehnică neinvazivă, neafectată de modificarea temperaturii și presiunii procesului, vacuum, variația compoziției de gaze sau vapori, deplasarea aerului între senzor și suprafața de măsurat, densitate, conductivitate și constanta dielectrică a produsului de măsurat. Radarul cu impulsuri măsoară timpul de parcurs și nu are nevoie de procesoare scumpe și consumatoare de energie care să permită funcționarea tehnicii radar alternativă FM - CW. În locul algoritmului Fast Fourier Transform (FF1), ecoul derivat din impulsul radarului este discret și separat în timp. Astfel, radarul cu impuls poate face față mai multor ecouri și false ecouri care apar de obicei în rezervoare. Unele traductoare cu radare FM-CW nu pot face față ecourilor multiple care apar în rezervoare cilindrice orizontale datorită efectului parabolic al părții superioare a rezervorului. Acest lucru nu se întâmplă la radarele cu impuls. Dacă se utilizează circuite bine proiectate și componente electronice de calitate radarul cu impuls poate detecta ecouri într-o gamă largă de aproximativ 80 dB.

Pentru controlul nivelului se poate utiliza și un *senzor cu furcă vibrantă*. Aceasta vibrează la frecvența ei intrinsecă, frecvență care este redusă când este



Fig. 9.9. Senzor cu radar.

acoperită de lichid. Schimbarea frecvenței determină acționarea unui comutator. Un astfel de senzor se poate utiliza în rezervorul de reactivi.

d. Senzori de oxigen dizolvat

Senzorii pentru determinarea concentrației de oxigen dizolvat se bazează fie pe metoda electrochimică, fie pe metoda optică.

d.1. *Senzor optic de oxigen* (fig. 9.10). Senzorul se bazează pe fenomenul fizic al luminescenței. Senzorul situat în capac este acoperit cu un material fluorescent. Principiul optic de măsurare a oxigenului dizolvat se bazează pe fenomenul fizic al luminescenței. Acesta este definit ca proprietatea unor materiale de a emite lumină atunci când sunt excitate cu un alt stimul decât căldura. În cazul senzorului de oxigen dizolvat stimulul este lumina. Dacă este aleasă o combinație corespunzătoare de luminofor și o lumină de excitație cu o anumită lungime de undă, intensitatea luminescenței și timpul până la dispariția acesteia sunt dependente

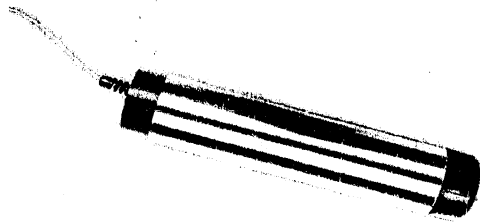


Fig. 9.10. Senzor de oxigen dizolvat.

de concentrația de oxigen din jurul materialului. Senzorul este compus din două elemente: capul senzorului cu strat de luminofor depus pe un material transparent de transfer și corpul sondei cu un led albastru care emite lumina necesară creării luminescenței, ledul roșu care are rol de element de referință, o fotodiodă și o unitate electronică de evaluare. În funcționare, capul senzorului este înșurubat pe corpul senzorului și imersat în apă. Moleculele de oxigen din proba analizată sunt în contact direct cu luminoforul.

Pentru a efectua o măsurătoare, led-ul de excitație emite pulsuri de lumină albastră. Lumina albastră bogată în energie permite efectuarea unor măsurători de înaltă precizie. Pulsația de lumină (50 msec.) trece prin materialul transparent de transport ajungând la luminofor căruia îi transferă o parte din energia sa radiantă. Acest lucru face ca o parte din electronii din stratul de luminofor să sară de la nivelul lor inițial de energie la un nivel superior. În câteva microsecunde, aceștia revin la nivelul lor inițial trecând prin mai multe nivele intermediare emitând energia pe care o pierd sub formă de lumină roșie (fig. 9.11). Atunci când moleculele de oxigen sunt în contact cu luminoforul, apar două efecte.

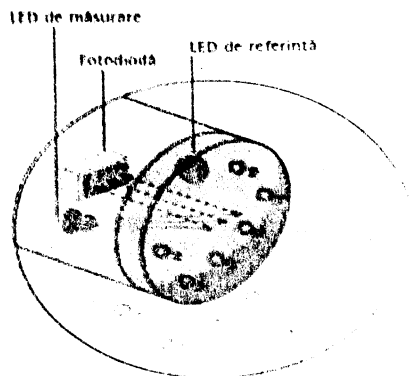


Fig. 9.11. Principiul de măsurare a senzorului de oxigen dizolvat optic.

În primul rând, moleculele de oxigen sunt capabile să absoarbă energia electronilor de nivel înalt și să le permită să

revină la nivelul lor normal fără să emită lumină. Cu cât concentrația de oxigen este mai mare, cu atât este mai mare reducerea intensității luminii roșii emise.

De asemenea, moleculele de oxigen cauzează „șocuri” în luminofor, electronii căzând mai repede de pe nivelul energetic înalt. Durata de viață a luminii roșii emise este astfel scurtată.

Pentru determinarea concentrației de oxigen se evaluează durata de viață a luminii roșii. Deci, măsurătoarea se bazează pe simpla măsurare fizică a timpului.

Spre deosebire de tehnologiile senzorilor de oxigen dizolvat electrochimic, senzorul de oxigen dizolvat fluorescent nu consumă oxigen. Nu necesită recalibrare frecventă sau curățare frecventă (cu excepția cazului când este asociat cu nămoluri nocive), dovedindu-se a fi un senzor cu o durată de viață mai mare și oferind citiri mult mai stabile și mai precise. De asemenea, sistemul este independent de valoarea debitului, astfel încât măsurătorile pot fi efectuate în stații cu debite reduse.

Senzorul poate fi montat pe stâlp sau pe flotor și se leagă la un controler. Întreținerea este foarte scăzută, dar pot interfera cu substanțe chimice fluorescente.

d.2. *Senzor electrochimic de oxigen*. Acest senzor este fie galvanic, fie polarografic. Ambele utilizează un sistem de electrozi unde oxigenul dizolvat reacționează cu catodul pentru a produce un curent. Dacă materialul electrodului este selectat astfel încât diferența de potențial între anod și catod este $-0,5$ V sau mai mare, nu mai este nevoie de aplicarea unei tensiuni exterioare și sistemul se numește galvanic. Dacă este aplicată o tensiune exterioară sistemul se numește polarografic. Sistemele galvanice sunt mai stabile și mai precise la concentrații mici ale oxigenului dizolvat. Ele pot funcționa câteva luni fără înlocuirea electrolitului sau a membranei, în timp ce cele polarografice trebuie încărcate la câteva săptămâni.

Senzorul galvanic este construit sub forma a doi electrozi imersați într-un electrolit (în interiorul senzorului), (fig. 9.12). O membrană permeabilă la oxigen separă catodul și anodul de apa supusă măsurării. Moleculele de oxigen difuzează prin membrană și sunt reduse la ioni hidroxil OH^- la catod. Anodul reacționează cu aceștia, eliberând electroni. Astfel, apare un curent de la catod la anod proporțional cu concentrația oxigenului dizolvat. Deoarece oxigenul care intră în senzor este consumat chimic, presiunea parțială a oxigenului în electrolit este zero. De aceea, există un gradient de presiune parțială prin

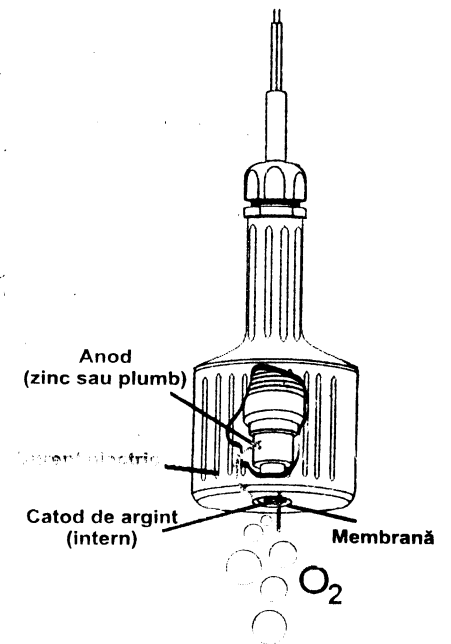


Fig. 9.12. Principiul de funcționare al senzorului galvanic de oxigen dizolvat.

membrană și debitul de oxigen care intră în probă este dependent de presiunea parțială a oxigenului în apa de măsurat. Deoarece presiunea parțială a oxigenului este dependentă de temperatura probei, aceasta trebuie calibrată la temperatura de măsurare sau trebuie realizată o compensare automată pentru variația temperaturii. Aceasta se realizează cu un termistor.

e. Senzor de turbiditate/suspensii solide (fig. 9.13)

Acești senzori se găsesc în mai multe variante, în funcție de concentrația de suspensii solide care se dorește a fi măsurată. Sunt construite fie din material sintetic, fie din oțel nobil.

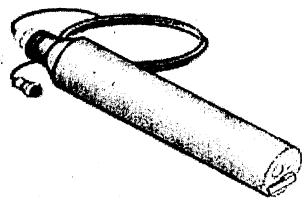


Fig. 9.13. Senzor de turbiditate.

Principiul de măsurare se bazează pe principiul nefelometric (fig. 9.14), adică turbiditatea sau concentrația de suspensii solide se măsoară prin determinarea intensității luminii împrăștiată la un unghi de 90° față de fasciculul de lumină incident care trece prin proba de apă. Unghiul de 90° este considerat a fi cel mai puțin sensibil la dimensiunile variate ale particulelor solide.

Senzorul conține elemente structurale optice și electronice de valoare. Din acest motiv manevrarea acestuia trebuie făcută cu atenție pentru a nu crea șocuri mecanice puternice. El necesită calibrare periodică datorită modificării distribuției mărimii particulelor.

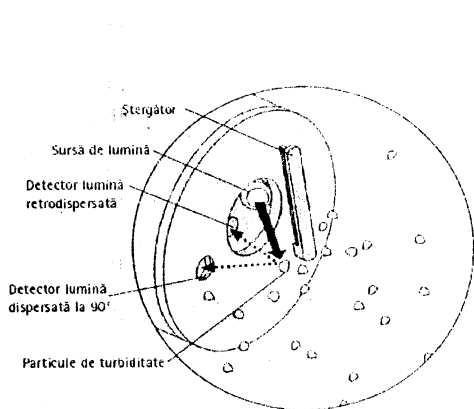


Fig. 9.14. Principiul de funcționare al senzorului de turbiditate.

f. Senzorul de pH

Toate sistemele de determinare a pH-ului se bazează pe principiul celulei electrochimice: dacă doi electrozi sau doi conductori diferiți sunt plasați într-un

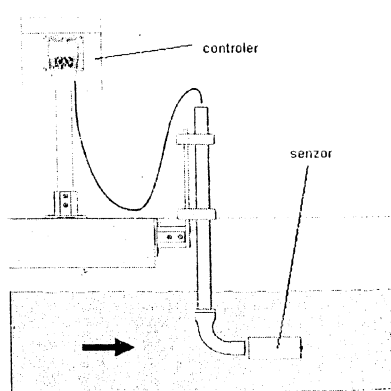


Fig. 9.15. Exemplu de montare și conectare la controler a senzorului de turbiditate.

electrolit (o soluție în care există ioni), între cei doi electrozi va apărea o diferență de potențial. Valoarea potențialului depinde de tipul electrozilor și a electrolitului.

Senzorii pentru măsurarea pH-ului constau din:

- un electrod pentru determinarea pH-ului, care este un electrod a cărui tensiune de ieșire variază în funcție de variația pH-ului;
- un electrod de referință, care este un electrod a cărui tensiune de ieșire este constantă;
- un pHmetru, care este un milivoltmetru cu impedanță mare la intrare și circuite care transformă mV în unități de citire pH.

Primul electrod, al cărui potențial depinde de concentrația ionilor de hidrogen, se numește electrod de măsurare. Electrocul primar, pentru aproximativ toate măsurările de pH, este electrocul de hidrogen. Datorită unor serii de inconveniente de ordin experimental, electrocul de hidrogen este înlocuit în măsurările curente de pH cu alți electrozi indicatori ai activității ionilor de hidrogen: electrocul de sticlă, electrocul de chinhidron, electrocul de antimoniu. Dintre toate acestea, cel mai utilizat este electrocul de sticlă.

Electrozii de referință utilizați de obicei sunt electrocul de calomel saturat sau electrocul de argint-clorură de argint. Dintre aceștia, electrocul de calomel saturat este cel mai utilizat.

Determinarea concentrației ionilor de hidrogen se face prin măsurarea tensiunii termoelectromotoare care apare între cei doi electrozi cufundați în soluția de analizat. Electrocul de sticlă transformă energia chimică (activitatea ionilor de hidrogen) în energie electrică măsurată în mV. Valoarea obținută exprimă corect mărimea măsurată numai dacă sunt satisfăcute condițiile de valabilitate ale ecuației lui Nernst, respectiv numai dacă curentul prin lanțul de măsurare este nul. Acest regim se obține cu bună aproximație dacă se folosesc milivoltmetre

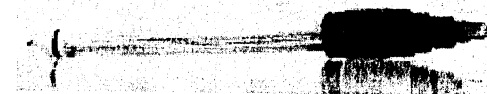


Fig. 9.16. Senzor de pH.

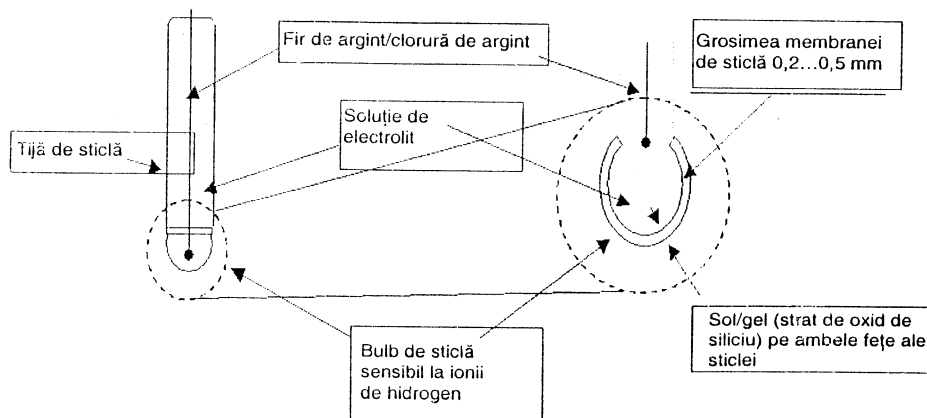


Fig. 9.17. Structura senzorului de măsurare a pH-ului.

electronice cu impedanțe de intrare foarte mare. Electroful de măsurare și electroful de referință cufundați în soluție constituie o pilă electrochimică de rezistență internă care poate ajunge la valori de 10 la 12 W. Pentru măsurarea tensiunii electromotoare este necesar ca impedanța de intrare a milivoltmetrului să fie de ordinul 10...14 W. Un etaj de intrare cu tranzistori cu efect de câmp cu strat de oxid poate asigura în condiții bune o impedanță de intrare de 10 la 14 W. Rezultate bune se obțin cu amplificatoare cu modulatori cu diode varicap sau cu condensator vibrant.

Perechea de electrozi este calibrată pe baza soluțiilor cu o concentrație cunoscută și constantă de ioni de hidrogen. Aceste soluții sunt denumite soluții tampon.

Senzorii de măsurare a pH-ului necesită întreținere periodică pentru curățare și calibrare. Intervalul de timp dintre întrețineri depinde de caracteristicile procesului și de acuratețea și stabilitatea dorite. În timp proprietățile electrice ale celor doi electrozi se modifică. Calibrarea cu o soluție cu pH cunoscut, numită soluție tampon va corecta o parte din aceste modificări, ca și curățarea joncțiunii dintre electrozi. Cum timpul de viață al oricărei baterii este limitat, la fel și timpul de viață al electrofului de pH este finit, chiar dacă lucrează într-un mediu prietenos.

g. Senzorul pentru măsurarea potențialului redox

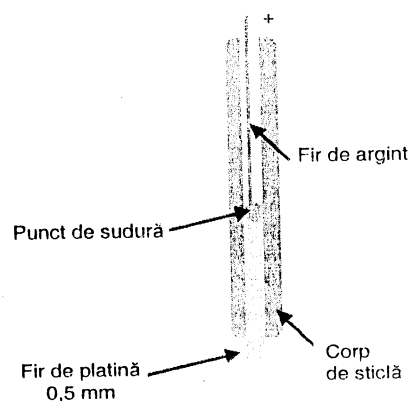


Fig. 9.18. Structura senzorului pentru măsurarea potențialului redox.

Măsurarea potențialului redox este o metodă de determinare a activității totale a microorganismelor, ieșirea în mV permițând controlul automat al reacțiilor chimice.

Senzorul pentru măsurarea potențialului redox este identic cu cel pentru măsurarea pH-ului, cu deosebirea că în locul electrofului de măsură din sticlă se utilizează un electrod realizat dintr-un metal nobil, ca de exemplu aur, argint sau chiar platină. Acestea au avantajul că nu reacționează chimic. Electroful de referință este tot un fir Ag/AgCl, ca și pentru măsurarea pH-ului.

Valoarea pH-ului soluției influențează în multe cazuri potențialul redox.

Deoarece funcționează pe același principiu, s-au realizat senzori combinați care

măsoară atât pH-ul, cât și potențialul redox (fig. 9.19).

Senzorul lucrează corect numai dacă vârful de măsurare este complet imersat în lichid. Vârful de măsurare nu are voie să fie ținut mai mult de 10 minute

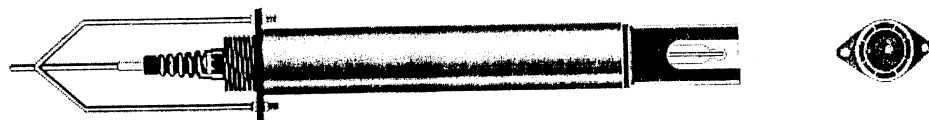


Fig. 9.19. Senzor combinat pentru măsurarea pH-ului și potențialului redox.

în mediu uscat sau să iasă din mediul de măsurat. Pentru montajul senzorului, pentru lucrările de întreținere și pentru transport se utilizează clapeta de transport care se umple cu 3 mol. KCL sau soluție tampon cu pH 4.

h. Senzorul pentru măsurarea conductivității

Senzorii de conductivitate/rezistivitate/concentrația de suspensii solide totale/salinitate pot determina conductivitatea în domeniul 0,056 $\mu\text{S}/\text{cm}$...200000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ei cuprind atât senzorul de conductivitate, cât și un senzor de temperatură.

Pentru determinarea conductivității unei soluții se folosesc celule de forme diferite, alcătuite din doi electrozi de platină, acoperite cu un strat subțire de platină neagră, pentru micșorarea efectelor dăunătoare ale polarizării. Celulele de conductivitate uzuale nu pot avea dimensiuni standard și de aceea este necesară determinarea constantei fiecărei celule de conductibilitate pentru a se stabili abaterile de la dimensiunile standard. Conductivitatea depinde de temperatură, variația temperaturii cauzând probleme la măsurarea conductivității în special când soluțiile testate prezintă variații rapide ale temperaturii sau când variația conductivității este redusă. La măsurarea conductivității lichidelor, se folosesc două tipuri de senzori: inductivi și rezistivi. Cei mai vechi sunt bazați pe senzori fără contact cu electrolitul, iar cei mai noi sunt bazați pe electrozi metalici care sunt în contact direct cu electrolitul. Senzorii rezistivi pot avea 2, 3 sau 4 electrozi, sunt mai sensibili și mai ieftin de construit.

Fiecare senzor este testat individual pentru a se determina constanta celulei și factorul de temperatură. Acestea sunt introduse la configurarea instrumentului de măsură sau la calibrare.

i. Senzori pentru măsurarea concentrației de substanțe organice dizolvate

Concentrația de substanțe organice dizolvate se poate exprima prin consumul biochimic de oxigen (CBO sau BOD în terminologia engleză), consumul chimic de oxigen (CCO sau COD) sau carbonul organic total (COT sau TOC). Dintre acestea, cel mai adesea se determină CBO₅, parametru care nu este de folos în controlul automat al procesului, fiind determinat după 5 zile, în timp ce sistemul trebuie să ia o decizie în timp foarte scurt. Determinarea CCO se face în aproximativ 2,5 ore, dar au fost dezvoltate metode de determinare rapidă, în 15 minute. Determinarea COT are de asemenea avantajul că se face rapid, în 5...10 minute. Se poate determina o relație de dependență a rezultatelor obținute prin testele COT cu rezultatele obținute cu testele CBO, pentru o anumită apă uzată, astfel încât este recomandată pentru procesele de control determinarea COT. Valorile tipice pentru rapoartele CBO₅/COT și CBO₅/CCO pentru ape uzate orașenești sunt prezentate în tabelul 9.3.

Tabelul 9.3

Tipul apei uzate	CBO ₅ /COT	CBO ₅ /CCO
Netratată	1,2 - 1,5	0,5 - 0,65
După decantare primară	0,9 - 1,1	0,4 - 0,55
Efluent final	0,25 - 0,5	0,1 - 0,25

Senzorii pentru determinarea concentrației de substanțe organice dizolvate determină fie coeficientul de absorbție spectrală (SAC – *spectral absorption coefficient*) la 254 nm, fie carbonul organic total. Dintre cele două, cel mai utilizat este primul, prin care se pot determina toți cei trei parametri: CBO, CCO, COT.

Principiul de măsurare (fig. 9.20) se bazează pe absorbția UV de către substanțele organice. Proba de apă este iradiată cu o lumină UV. Aceasta este deviată de fotoreceptori prin intermediul unui sistem optic de oglinzi și lentile. Pentru compensarea absorbției datorită turbidității se utilizează o lumină de referință.

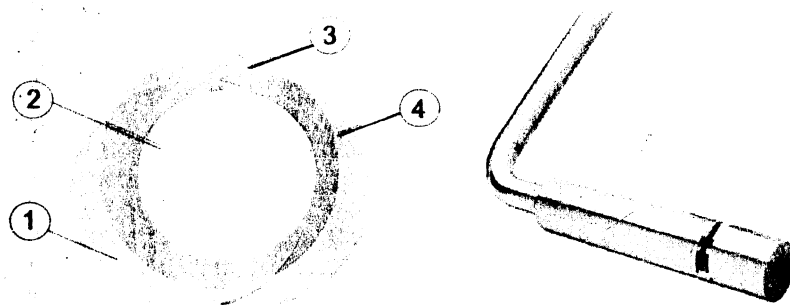


Fig. 9.20. Senzor pentru determinarea concentrației de substanțe organice prin determinarea coeficientului de absorbție spectrală:
1 – CCO; 2 – CBO; 3 – SAC; 4 – COT.

Senzorii pentru determinarea TOC se bazează pe măsurarea CO_2 din apă, obținut în două etape. Prima constă în acidificarea carbonului anorganic din apă și spălarea cu azot sau heliu, astfel încât rămâne doar carbonul organic. Prin combustie sau oxidare umedă se obține CO_2 care este măsurat cu un fotometru cu infraroșii.

j. Senzorul pentru determinarea concentrației de amoniu

Senzorul pentru determinarea concentrației ionilor de amoniu NH_4^+ poate fi utilizat cu sau fără unitate de sedimentare. În cazul în care se utilizează fără unitate de sedimentare, proba trebuie pregătită anterior. Utilizează un sistem de aer-lift integrat în unitatea de sedimentare cu ajutorul căruia apa uzată sau nămolul activ sunt transportate într-un cilindru de sedimentare. Timpul de sedimentare poate fi adaptat în funcție de sedimentabilitatea nămolului, utilizând un PLC. După ce timpul de sedimentare s-a scurs, suspensiile solide și apa sunt separate, iar apă clarificată este trimisă spre analizorul de amoniu. Aici este introdusă într-un vas de amestecare, unde vine în contact cu un reactiv. Metoda se bazează pe faptul că diclor-izocianuratul de sodiu și salicilatul de sodiu formează o culoare albastră în combinație cu amoniul. Absorbția luminii este măsurată de un fotometru la 660 nm. Lumina de măsurat este comparată cu o lumină de referință de 880 nm pentru a înlătura efectul turbidității.

k. Senzorul pentru determinarea concentrației de nitrați

Principiul de măsurare se bazează pe absorbția UV de către nitrați, la lungimi de undă mai mici de 250 nm. De aceea, concentrația acestora se măsoară

direct, fără utilizare de reactivi. Metoda a fost descrisă la senzorii pentru măsurarea concentrației de substanțe organice.

l. Senzorul pentru determinarea concentrației de fosfați

Acest traductor determină concentrația ionilor ortofosfați PO_4^{3-} pe baza principiului fotometric.

m. Senzorul pentru determinarea concentrației de clor

Concentrația clorului liber activ poate fi măsurată când se utilizează agenți de clorinare cum ar fi NaOCl , Ca(OCl)_2 , Cl_2 și clor generat electrolitic. Membrana care acoperă senzorul separă electrozii și electrolitul de mediul de măsură. Între cei doi electrozi, anod și catod, este aplicată o tensiune fixă de polarizare. Clorul din apă difuzează prin membrană. Moleculile de clor care lovesc catodul sunt reduse la ioni de clor, iar la anod argintul este oxidat la AgCl . Curentul maxim de difuzie rezultat este o măsură directă a concentrației clorului liber.

n. Senzori de presiune

Senzorii pentru măsurarea presiunii se bazează pe transformarea acesteia într-un semnal electric. De obicei se utilizează o diafragmă cu mărci tensiometrice care acționează ca un element rezistiv. Sub acțiunea efortului indus de presiune valoarea rezistivă se modifică.

În tehnica de măsurare capacitivă diafragma este una din plăcile unui condensator care își schimbă valoarea sub acțiunea deplasării induse de presiune. Senzorii de presiune care utilizează tehnologia de măsurare cu diafragma măsoară diferența de presiune pe cele două părți ale diafragmei. În funcție de presiunea relevantă, ei măsoară presiunea absolută, relativă sau diferențială.



Fig. 9.21. Senzori de presiune.

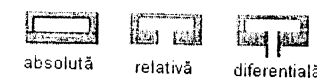


Fig. 9.22. Măsurarea presiunii.

o. Respirimetrul

Respirimetrul măsoară viteza de respirație a nămolului activ, definită ca fiind cantitatea de oxigen consumată pe unitatea de volum și de timp de către microorganismele din nămolul activ. Ea se poate determina pentru diferite combinații: nămol activ în amestecul mixt, nămol activ + probă de apă uzată, nămol activ + probă de referință, nămol activ + apă uzată + probă de referință. Parametrii cheie care pot fi determinați prin

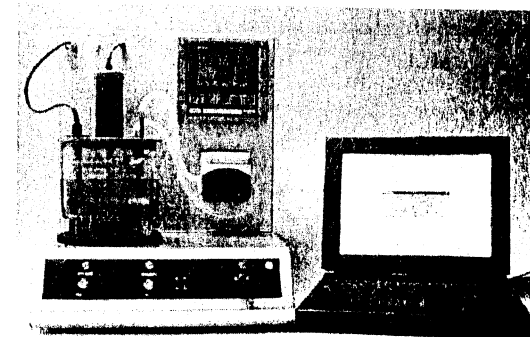


Fig. 9.23. Respirimetrul (Sourcis).

respirometrie sunt: viteza de consum a oxigenului, viteza de consum a substratului, oxigenul consumat în procesul de oxidare a materiilor organice, materia organică biodegradabilă (CCO biodegradabil). Se pot deduce și alți parametri de operare pentru controlul procesului de epurare cu nămol activ: raportul hrană/microorganism, timpul de retenție a nămolului activ, raportul de recirculare a nămolului activ, necesarul de oxigen, viteza de transfer a oxigenului în bazinul de aerare, observarea inhibiției/toxicității prin comparație cu un amestec mixt nămol activ + apă uzată de la o altă stație de epurare. De asemenea, se pot determina parametrii cinetici pentru modelare.

Principiile de operare se bazează pe două criterii: faza în care este măsurat oxigenul și regimul de curgere atât a fazei lichide, cât și a acelei gazoase. Un respirometru reprezintă de fapt un reactor în care diferite componente sunt puse în contact și în care condițiile de experimentare au o mare influență asupra rezultatelor măsurătorii. Pentru a interpreta corect viteza de respirație rezultată din experimentări trebuie specificați cel puțin trei factori: sursa biomasei, tipul substratului și timpul.

p. Senzor pentru determinarea caracteristicilor de sedimentare ale nămolului

Caracteristicile de sedimentare ale nămolului sunt cel mai adesea exprimate prin indicii volumului de nămol, IVN. În ultima perioadă au apărut senzori care măsoară aceste caracteristici. Principala componentă a unui astfel de senzor este un cilindru de sticlă în care se introduce o probă din amestecul mixt. Aceasta este supusă sedimentării în condiții asemănătoare celor din decantorul secundar. Coborârea interfeței stratului de nămol este urmărită folosind transmiterea luminii, măsurată fie cu ajutorul unei diode emițătoare (LED) fixată pe una din părți și a unei fotodiode fixată pe partea opusă, fie cu ajutorul unui cuplu LED fotodiodă mobil.

q. Senzori pentru determinarea alcalinității

Măsurarea conținutului de dioxid de carbon dizolvat, precum și a bicarbonatului din amestec, este necesară deoarece dezechilibrul în metantanc, datorită acumulării de acizi grași volatili, nu poate fi ușor detectat pe baza măsurării pH-ului, în special când alcalinitatea este mare. În astfel de situații alcalinitatea trebuie eliminată înainte ca pH-ul să scadă semnificativ. Alcalinitatea se datorează în principal bicarbonatului. Există două metode de evaluare a alcalinității datorită bicarbonatului.

Prima metodă utilizează titrimetria. Ea constă în titrarea unei probe în prima fază până la 5.1 pH și apoi până la 3.5 pH. Această titrare în două etape permite determinarea conținutului de bicarbonat cu corecția pentru acizii grași volatili prezenți, dar nu poate fi exclusă interferența cu alte baze/acizii siabi organici. A fost realizat un senzor on-line titrimetric pentru monitorizarea simultană a diferiților compuși ca amoniul, bicarbonatul și acizii grași volatili. Titrarea este realizată pe întregul interval de pH 3-11. Timpul de răspuns este de aproximativ 30 min și sensibilitatea este de ordinul ppm.

A doua metodă pentru determinarea on-line a alcalinității se bazează pe măsurarea cantității de dioxid de carbon gazos care se degajă dintr-o probă care este acidifiată.

r. Senzori pentru determinarea concentrației de acizi grași volatili

Monitorizarea concentrației de acizi grași volatili este importantă pentru aprecierea performanțelor metantancului, deoarece acumularea lor poate compromite procesul de descompunere anaerobă datorită scăderii pH-ului. Senzorii pentru determinarea on-line a conținutului de acizi grași volatili constau din:

- Cromatograf de gaze sau cromatograf de lichide de înaltă presiune, cuplate cu o unitate de preparare a probei.

- Spectrometru în domeniul mediu infraroșu cu transformare Fourier (FT-IR) utilizat ca multiparametru cu o unitate de ultrafiltrare cu membrană pentru determinarea CCO, COT, concentrația de acizi grași volatili, concentrația de acid tereftalic și concentrația de acid propionic.

Spectrometria FT-IR se bazează pe faptul că fiecare compus are o formă și o poziție unică a benzii în spectrul de absorbție infraroșu. Compoziția probei se poate determina prin compararea spectrului probei cu spectrele de referință ale compușilor care interesează utilizând legea Beer-Lambert. Dezavantajul major al acestei metode constă în efortul mare depus pentru calibrarea fiecărui component, dar spectrometrul nu necesită adăugarea nici unei substanțe chimice și întreținerea este scăzută

- Tehnica cea mai robustă se bazează pe titrimetrie, metodă care dă informații atât asupra concentrației de bicarbonat, cât și de acizi grași volatili conținuți în probă.

- utilizarea biosenzorilor

O probă din efluentul din metantanc este amestecată cu microorganisme denitrificatoare în prezența nitratului în exces. Cantitatea de acizi grași volatili se măsoară indirect prin acidul echivalent necesar pentru neutralizarea reacției de denitrificare.

9.3. Amplasarea senzorilor pentru monitorizarea parametrilor specifici proceselor de epurare a apei

Scopul sistemului de monitorizare este de a obține date reprezentative, repetabile, fiabile, compatibile și comparabile. Aceste caracteristici depind de măsurile aplicate pentru controlul calității și de calitatea obținerii datelor.

Amplasarea senzorilor pe fluxul de epurare este deosebit de importantă în obținerea datelor corecte, care să poată fi utilizate în procesul de monitorizare și control. Criteriile de alegere a unor secțiuni sau puncte reprezentative pentru măsurare și recoltare a probelor pot diferi de la o situație la alta, dar există o serie de considerații general valabile: a) amplasarea secțiunilor în imediata apropiere a punctelor de măsură a debitelor în scopul corelării datelor calitative cu cele cantitative; b) se aleg numai acele secțiuni în care se constată modificări esențiale ale calității apelor; c) stabilirea unor secțiuni pentru urmărirea modului de asigurare a calității apei necesară unor folosințe și în scopul evidențierii efectelor produse de descărcarea apelor uzate provenite de la surse de poluare mai importante.

O parte din parametri se măsoară numai cu scopul monitorizării, alții atât pentru monitorizare, cât și pentru comanda și reglarea automată a proceselor. Se poate opta fie pentru utilizarea unui senzor independent pentru fiecare parametru, fie pentru utilizarea unei stații de monitorizare.

Alegerea senzorilor se face conform indicațiilor din paragraful 9.2.

Stațiile de monitorizare fixe sau mobile sunt alcătuite din trei sisteme importante: a) sistemul senzorilor; b) sistemul de înregistrare – analog, digital sau mixt; c) sistemul de transmitere la distanță a datelor măsurate. Principalele avantaje ale stațiilor de monitorizare a calității apelor constau în funcționarea continuă, frecvența foarte mare a măsurătorilor efectuate în condiții tehnice și fizice identice, înregistrarea și eventual transmiterea simultană a rezultatelor obținute și posibilitatea de alarmare în cazul producerii unor situații critice. Ca dezavantaje se menționează numărul limitat de parametri care pot fi determinați și costul relativ ridicat al instalației de monitorizare.

Se prezintă în continuare principalii parametri care se măsoară în SEAU pentru fiecare treaptă de epurare.

1. Treapta primară (fizică)

Etapa epurării primare sau fizice realizează reținerea corpurilor mari, egalizarea debitelor, uniformizarea concentrațiilor și separarea gravitațională inițială a suspensiilor. Parametrii monitorizați sunt (fig. 9.24):

- zona de admisie a apei uzate în SEAU:
 - debitul apei uzate
- bazinul de ape pluviale:
 - nivelul și debitul în bazinul de ape pluviale – permite ca, în cazul ploilor abundente și a viiturilor de suprafață, o parte din apă să fie introdusă în stație
- pentru grătar:
 - diferența de nivel a apei pe grătar, pentru a comanda pornirea/oprirea greblei curățitoare
- pentru deznisipatorul aerat:
 - debitul de aer furnizat
 - presiunea aerului furnizat, cu rol de alarmare în caz de suprapresiune
 - pH-ul la ieșire
- stația de pompare:
 - nivelul în stația de pompare – permite comanda pornirii/oprii pompei în funcție de nivel

Stațiile de pompare sunt necesare acolo unde colectorul principal se află sub nivelul stației de epurare, ele având rolul să ridice apele uzate de la nivelul colectorului principal la nivelul obiectelor din SEAU, curgerea mai departe pe flux realizându-se gravitațional.

Se recomandă ca stația de pompare să se amplaseze după grătare și deznisipator astfel încât pompele să fie protejate împotriva uzurii prin abraziune datorită impurităților din apa uzată.

- la ieșirea din bazinul de egalizare uniformizare

Bazinul de egalizare-uniformizare este obligatoriu să existe în orice SEAU și are rolul de a uniformiza debitele și egaliza concentrațiile astfel încât apa uzată

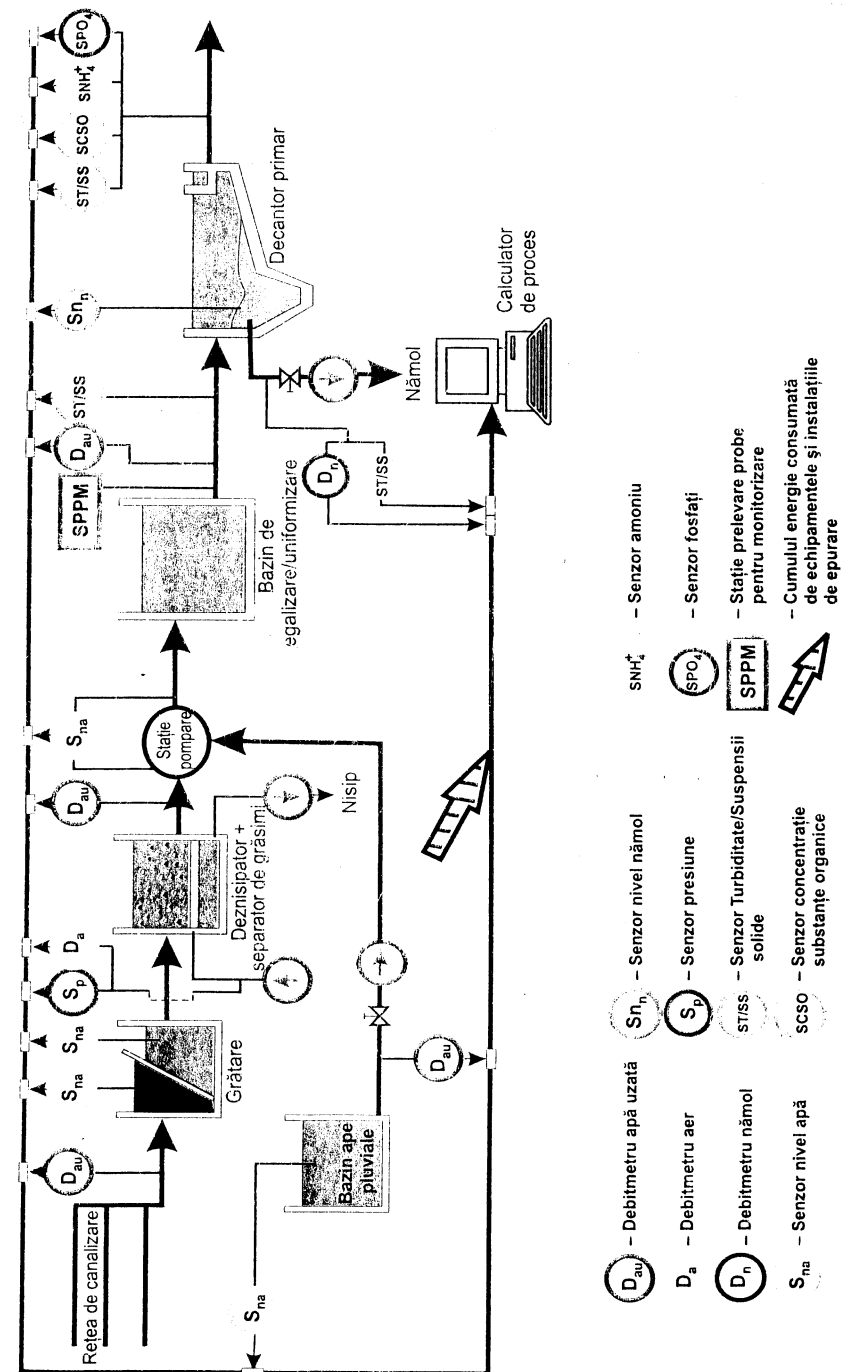


Fig. 9.24. Amplasarea senzorilor utilizați în treapta fizică.

să intre în SEAU cu caracteristici cât mai constante. În funcție de spațiul disponibil bazinul de egalizare/uniformizare se poate amplasa fie înainte fie după stația de pompare. La ieșirea apei uzate din acest bazin se măsoară valorile parametrilor ce caracterizează compoziția și concentrația principalilor poluanți ai apei uzate: suspensii solide, încărcare organică, amoniu etc. Se recomandă utilizarea unei stații de prelevare probe și monitorizare a parametrilor, dar se pot utiliza și senzori pentru determinarea concentrației fiecărui tip de poluant, această variantă fiind însă mai costisitoare. Parametrii care trebuie monitorizați sunt:

- pH-ul
- temperatura
- concentrația de suspensii solide
- încărcarea organică sub forma CBO₅ și CCOCr
- concentrația de amoniu
- concentrația de nitrați
- fosforul total
- oxigenul dizolvat
- H₂S

Toate aceste determinări ale parametrilor la intrarea în stația de epurare permit adoptarea soluțiilor de exploatare optimă în vederea realizării valorilor impuse la ieșire de norme în vigoare.

■ pentru decantorul primar:

- debitul de apă uzată la intrare
- nivelul de nămol depus în decantor, pentru a comanda pornirea/oprirea pompei de evacuare a nămolului
- concentrația de suspensii solide din nămolul evacuat din decantor – permite comanda pornirii/oprirea pompei de evacuare a nămolului astfel încât nămolul trimis spre gospodăria de nămol să aibă concentrație mică de apă;
- debitul de nămol evacuat din decantor
- turbiditatea înainte și după decantorul primar – permite precizarea eficienței de exploatare a acestui bazin și luarea deciziilor în cazul creșterii concentrației suspensiilor solide la ieșire.

La ieșirea din decantorul primar se măsoară parametrii necesari pentru intrarea în treapta biologică:

- concentrația de substanțe organice
- concentrația de amoniu
- concentrația de fosfați

2. Treapta secundară (biologică)

Treapta secundară este destinată epurării biologice a apei uzate încărcate cu materii organice. Procesul utilizat în mod obișnuit este cel aerob, proces dependent de menținerea concentrației de oxigen dizolvat la 1–3 mg/l. Necesarul de aer trebuie să acopere atât respirația microorganismelor, cât și oxidarea substanțelor organice. Pot fi realizate economii considerabile de energie și bani corelând aerarea cu cererea reală de oxigen.

În cadrul procesului de epurare biologică aerobă cu nămol activ, se fac următoarele măsurători (fig. 9.25):

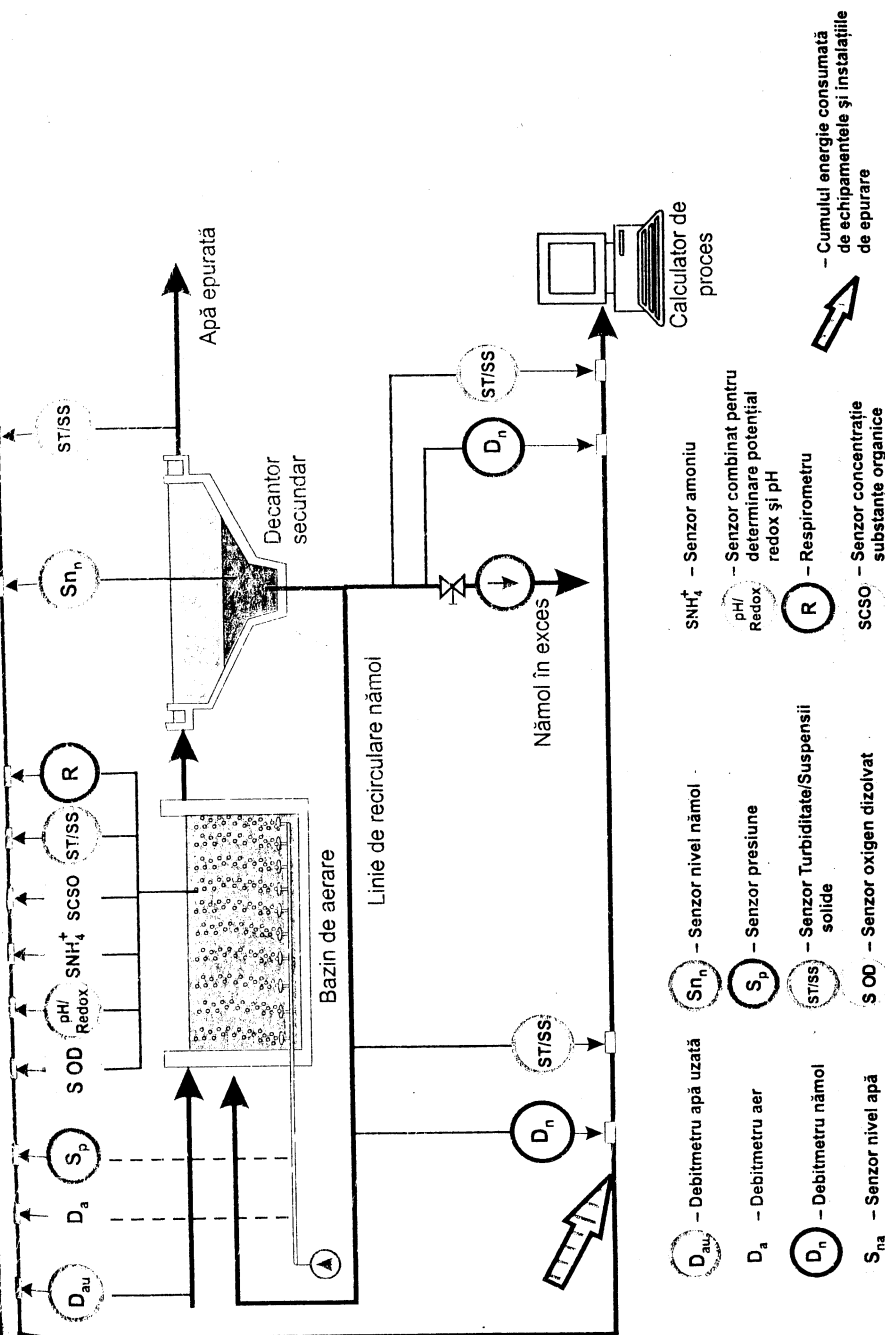


Fig. 9.25. Amplasarea senzorilor utilizați în treapta biologică.

- în bazinul de aerare
 - *parametrii de intrare în treapta secundară, biologică: încărcare organică, amoniu, fosfor total* (dacă nu au fost măsurați la ieșirea din decantorul primar)
 - *concentrația oxigenului dizolvat* – comandă suflanta pentru reducerea/creșterea debitului de aer insuflat
 - *potențialul redox*
 - *pH-ul*
 - *concentrația de amoniu* (în cazul în care se face îndepărtarea compușilor de carbon și azot în treaptă combinată – comandă suflanta pentru reducerea/creșterea debitului de aer insuflat)
 - *concentrația de suspensii din bazinul de aerare* – comandă pompa de recirculare nămol activ
 - *viteza de respirație a nămolului activ*
 - *debitului de aer injectat în sistemul de aerare*
 - *presiunea aerului injectat în sistemul de aerare*
- în decantorul secundar
 - *debitul de nămol recirculat*
 - *concentrația de suspensii în nămolul activ recirculat* – comandă pompa de recirculare nămol activ
 - *înălțimea stratului de nămol din decantor* – comandă pompa de evacuare a nămolului din decantor
 - *concentrația de suspensii solide la ieșirea din decantor*
 - *debitul de apă la ieșirea din decantor*

3. Treapta terțiară de epurare avansată

Această etapă de epurare are rolul de a finisa procesul de epurare convențională prin corectarea calității conform reglementărilor legislative. Astfel, apare necesitatea treptei de nitrificare-denitrificare cu rolul de a se elimina poluanții pe bază de azot și a treptei de îndepărtare a compușilor pe bază de fosfor.

În treapta de nitrificare-denitrificare se fac următoarelor determinări (fig. 9.26):

- în bazinul de nitrificare:
 - *concentrația de oxigen dizolvat* – comandă suflanta, mărind sau reducând debitul de aer insuflat
 - *debitul de aer insuflat*
 - *presiunea aerului insuflat*
 - *pH-ul*
 - *concentrația de amoniu la ieșire* – comandă suflanta, mărind sau reducând debitul de aer insuflat
- în bazinul de denitrificare:
 - *concentrația de nitrați la ieșirea din bazinul de denitrificare* – comandă pompa de recirculare nitrați din bazinul de nitrificare
 - *concentrația de suspensii în bazin* – comandă pompa de recirculare nămol activ
 - *concentrația de oxigen dizolvat* (opțional, doar pentru a avea o indicație a lipsei oxigenului în bazinul de denitrificare)
 - *debitul de nămol recirculat.*

În treapta terțiară pot apărea și o serie de procese chimice la care trebuie făcută o monitorizare specifică a parametrilor în conformitate cu procesul tehnologic supus analizei.

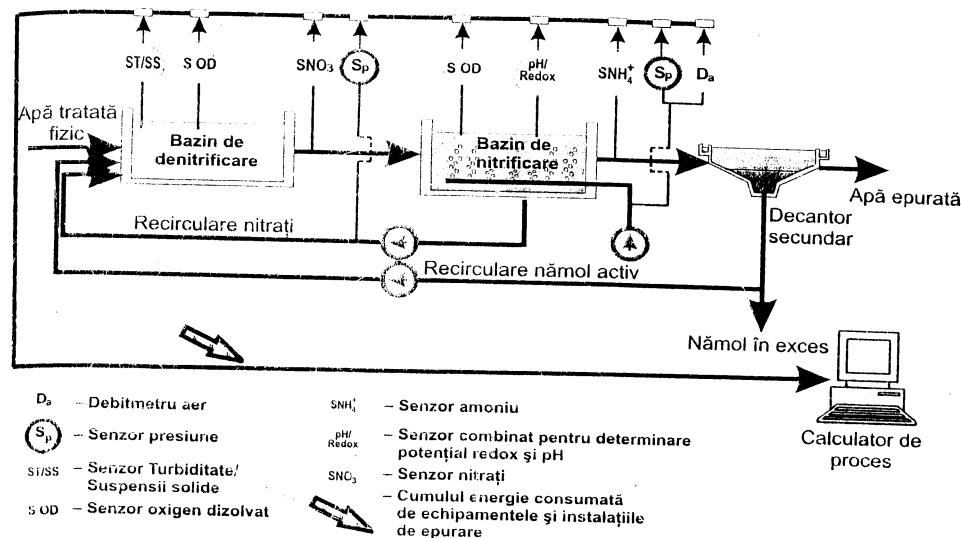


Fig. 9.26. Amplasarea senzorilor utilizați în treapta de nitrificare-denitrificare.

4. Gospodăria de nămol

Tratarea nămolului reprezintă o parte importantă din costurile totale ale epurării apei uzate. Aparatura de monitorizare și control necesară, se limitează la senzori care pot opera în mediul nămolului. Parametrii care necesită monitorizare depind de tehnologia de tratare a nămolurilor, astfel:

- îngroșare (fig. 9.27):
 - *debit de nămol la intrare în îngroșător*
 - *nivel nămol în îngroșător* – comandă pompa de evacuare a nămolului din îngroșător
 - *concentrație suspensii în debitul de nămol evacuat* – comandă pompa de evacuare a nămolului din îngroșător
 - *concentrație suspensii în apa evacuată din îngroșător*
- deshidratarea nămolului prin centrifugare (fig. 9.28)

Monitorizarea are ca scop optimizarea procesului și controlul dozei optime de reactiv pentru condiționarea nămolului.

 - *debit de nămol la intrare în centrifugă* – comandă și reglează debitul de reactiv pentru condiționarea nămolului
 - *concentrație suspensii la intrare* – comandă și reglează debitul de reactiv pentru condiționarea nămolului
 - *pH-ul nămolului la intrarea în centrifugă* – pentru realizarea unei corecții de pH dacă nămolul este excesiv alcalin

- concentrație suspensii în apa evacuată din centrifugă – comandă turația centrifugei
- debitul de reactiv pentru condiționarea nămolului
- turația centrifugei

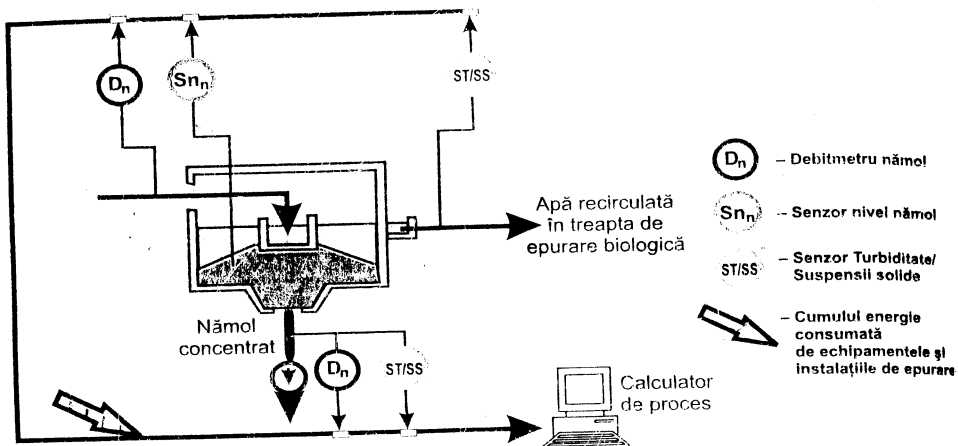


Fig. 9.27. Amplasarea senzorilor utilizați procesul de îngroșare a nămolului.

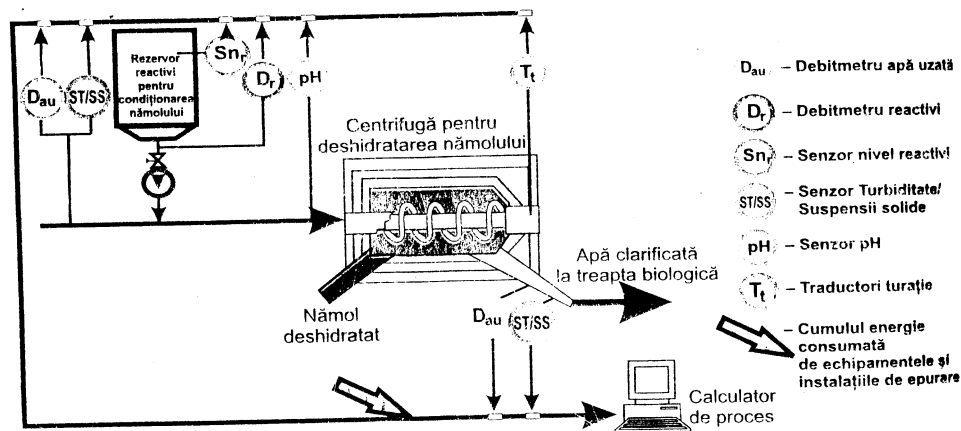


Fig. 9.28. Amplasarea senzorilor utilizați în procesul de deshidratare a nămolurilor prin centrifugare.

- deshidratarea nămolului prin filtrare în filtrul presă (fig. 9.29)
- Monitorizarea are ca scop optimizarea procesului și controlul dozei optime de reactiv pentru condiționarea nămolului.
- debit de nămol la intrare în filtru – comandă și reglează debitul de reactiv pentru condiționarea nămolului

- concentrație suspensii la intrare – comandă și reglează debitul de reactiv pentru condiționarea nămolului
- pH-ul nămolului la intrarea în filtru – pentru realizarea unei corecții de pH dacă nămolul este excesiv alcalin
- concentrație suspensii în apa evacuată din filtru – comandă turația centrifugei
- debitul de reactiv pentru condiționarea nămolului
- presiunea la intrare și la ieșire din filtru

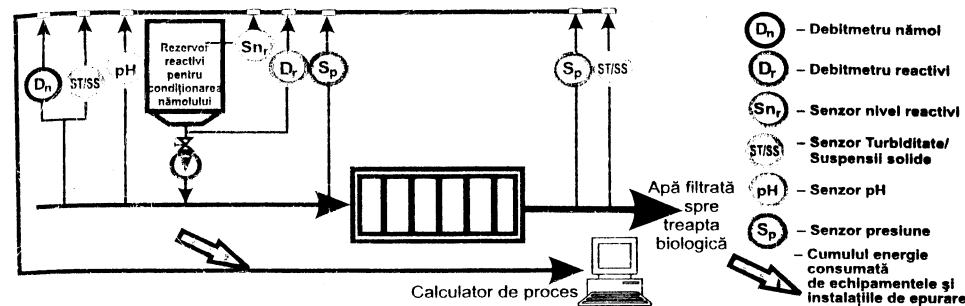


Fig. 9.29. Amplasarea senzorilor utilizați în procesul de deshidratare a nămolurilor prin filtrare.

- stabilizarea anaerobă a nămolurilor în metantanc
- Monitorizarea are rolul de optimizare a procesului pentru obținerea performanțelor maxime cu costuri minime, reducerea cantității de nămol și creșterea producției de biogaz. Se vor măsura (fig. 9.30):

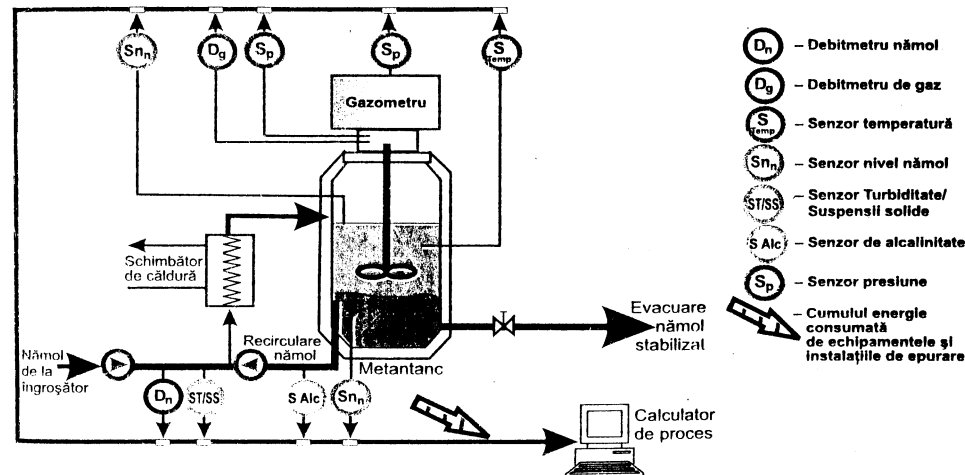


Fig. 9.30. Amplasarea senzorilor utilizați în procesul de stabilizare anaerobă a nămolurilor.

- debitul de nămol la intrare
- concentrația de suspensii la intrare
- temperatura în metantanc, în zona superioară și în zona inferioară
- nivelul nămolului în metantanc, pentru determinarea nivelului maxim
- nivelul nămolului – pentru comanda și reglarea vanei de evacuare a nămolului stabilizat
- debitul de biogaz la ieșirea din metantanc
- presiunea biogazului la ieșirea din metantanc
- presiunea în gazometru
- alcalinitatea

5. Dezinfecția

Operația de dezinfecție a apelor epurate, înainte de a fi deversate în emisar, este astăzi obligatorie la toate stațiile de epurare a apelor uzate. De regulă, se folosește clorul și derivatele sale, dar se poate face dezinfecția și cu radiații ultraviolete. După dezinfecția cu clor urmează declorinarea cu sulfat astfel încât la ieșirea din stație apa să nu mai conțină clor.

Deoarece cererea de clor variază în limite largi se recomandă utilizarea unui *senzor de clor rezidual* care să asigure utilizarea eficientă a clorului. Parametrii măsurați sunt:

- concentrația clorului rezidual la ieșire – comandă pompa de dozare clor
- nivelul în rezervorul de clor
- concentrația clorului rezidual la ieșirea din bazinul de declorinare – comandă pompa de dozare sulfat
- nivelul în rezervorul de sulfat

6. Zona de evacuare a apei din SEAU

Controlul volumului și calității efluentului, are o importanță deosebită în organizarea procesului de epurare a apelor uzate. Pentru efluent se vor măsura aceiași parametri ca și pentru influent, utilizând de regulă o stație de prelevare probe și monitorizare:

- pH-ul
- temperatura
- concentrația de suspensii solide
- încărcarea organică sub forma CBO₅ și CCOCr
- concentrația de amoniu
- concentrația de nitrați
- fosforul total
- oxigenul dizolvat
- H₂S
- debitul

10 CONDUCEREA AUTOMATĂ A PROCESELOR DIN STAȚIILE DE EPURARE A APELOR UZATE

10.1. Considerații generale

Activitatea tehnică reprezintă un proces în care interacționează, ca elemente distincte: omul, sistemele tehnice și factorii de mediu. În mod practic conducerea proceselor reprezintă un ansamblu de acțiuni efectuate manual sau automat care determină o evoluție a procesului după o traiectorie de stare dorită. Deși tehnica conducerii automate a evoluat, în sensul eliminării operatorului uman din acțiunile de comandă și control pe care le-a transferat dispozitivelor tehnice, în ultima perioadă de timp se constată o utilizare din ce în ce mai susținută a experienței operatorului uman încorporată în sisteme inteligente de conducere. Cu toate că omul bine pregătit profesional întrece calculatorul sub aspectul capacității de a raționa, totuși există cel puțin două considerente pentru care se justifică abordarea conducerii semiautomate a proceselor și automatizarea integrală: a) calculatorul constituie un excelent suport tehnic pentru decizie, inclusiv pentru banca de date; b) există în tehnologia proceselor suficiente etape sau faze care nu necesită decizii umane indispensabile.

Problematica generală a automatizării ca ramură a științei conducerii, vizează în primul rând conceperea structurilor și strategiilor optime pentru conducerea proceselor și în al doilea rând implementarea pe un suport hardware corespunzător a acestor strategii. Pentru elaborarea structurilor și strategiilor de conducere este necesară identificarea cât mai exactă a proceselor tehnologice în special pentru construcția modelelor funcționale și structurilor-funcționale pentru procesele supuse automatizării.

Problema analizei implementabilității structurilor și strategiilor de conducere sintetizate pentru modele cantitative cu maximă adecvare la realitate, reprezintă o altă etapă importantă în cadrul elaborării unui sistem de automatizare. Se face precizarea că limitările echipamentelor hardware, cât și precizia modelelor matematice cu care se operează, determină performanțele unei soluții de automatizare. Ultima etapă în cadrul realizării unui sistem de automatizare, o constituie

validarea soluției de automatizare pe proces, prin analiza performanțelor realizate în urma implementării soluției de automatizare.

Adoptarea unei soluții adecvate de automatizare, presupune, pe de o parte cunoașterea cât mai completă a evoluției procesului, a restricțiilor tehnologice în care evoluează, iar, pe de altă parte, proiectarea și alegerea unei soluții, atât ca structură conceptuală, cât și ca echipamente de automatizare, care să permită conducerea procesului după strategii predeterminate cu satisfacerea criteriilor de performanță, impuse întregului sistem de conducere.

Analiza sistemelor de reglare și conducere se impune ca etapă importantă în studiul acestora, pentru evidențierea performanțelor realizate de o soluție de automatizare.

Alegerea și dimensionarea elementelor de execuție și a traductoarelor se face în funcție de particularitățile proceselor, de sursele de energie disponibile, de particularitățile perturbațiilor ce acționează asupra acestuia și de natura fizică a variabilelor măsurate, precum și de performanțele globale impuse sistemului de reglare.

Ca o concluzie, gradul de automatizare și complexitatea echipamentelor destinate conducerii unui proces sunt determinate de complexitatea strategiilor de conducere sintetizate, de cerințele de performanță impuse sistemului de conducere.

Având în vedere complexitatea fenomenelor care se desfășoară în cadrul instalațiilor de epurare a apelor uzate, numărul mare de parametri constructivi și funcționali care intervin și interinfluențele neliniare care se produc pe diferite căi între acești parametri, rezultă, în mod evident, necesitatea reglării și conducerii automate a acestor procese. Într-o accepțiune generală prin conducere automată a instalației de epurare se urmărește menținerea unei stări de echilibru dinamic a procesului de epurare fără intervenția operatorului uman. Se evită astfel o evoluție necontrolată a parametrilor cu instalarea unei stări dezastruoase de „haos tehnic”.

De altfel, o trăsătură generală a tuturor realizărilor tehnice din toate timpurile o constituie necesitatea conducerii acestora, operația de conducere fiind o parte integrantă a oricărui proces tehnologic. Pentru realizarea conducerii se folosesc echipamente și instalații specializate care alcătuiesc dispozitivul de automatizare.

Necesitatea introducerii sistemelor de conducere derivă din incapacitatea proceselor de a-și automenține starea de echilibru dinamic în prezența perturbațiilor. Perturbațiile care îndepărtează procesul de la starea de echilibru necesară menținerii unui optim funcțional pot fi interne sau externe. De asemenea, ele pot avea un caracter trecător, ciclic sau periodic, în marea lor majoritate fiind aleatoare. Existența perturbațiilor și acțiunea lor directă sau indirectă asupra proceselor, în sensul îndepărtării acestora de la starea de echilibru, justifică necesitatea construirii sistemelor de conducere care prin concepția și acțiunea lor tind să mențină sau să readucă procesul în starea de echilibru necesară unei bune funcționări, adică a evoluției acestora în sensul dorit.

În comparație cu alte procese industriale, procesele de epurare a apelor uzate au câteva elemente distincte atât în ceea ce privește caracteristicile procesului, cât și obiectivele operaționale. Acestea necesită considerații specifice în proiectarea sistemului de control. Ele pot fi grupate astfel:

a) Perturbații ale proceselor de epurare

- *Compoziția și debitul influentului* nu sunt constante, ele având variații orare, zădărnice, sezoniere; astfel, variabilele au un caracter aleator, cu șocuri de debit și încărcare greu de anticipat și evaluat;
- Procesele din SEAU au o scară de timp diferită – de la minute, ore până la luni; de aceea, intervenția și modificarea valorilor unui parametru necesită un anumit interval de timp până apare o variație sensibilă în proces;
- Pot apărea evenimente neprevăzute cum ar fi ploi sau descărcări de substanțe toxice;
- Modificarea populațiilor microbiene;
- Operarea necorespunzătoare datorită fie erorilor umane, fie funcționării defectuoase a echipamentelor sau instrumentației de monitorizare și control;
- Șocuri de debit datorită pornirii/opririi pompelor; În general nu se pot face intervenții bruște în sistemul hidraulic din stația de epurare deoarece pot apărea regimuri tranzitorii de tip lovitură de berbec care pot induce fenomene secundare cu efecte greu de stăpânit.

De obicei, pentru atenuarea perturbațiilor, stația de epurare este prevăzută cu un bazin de egalizare-uniformizare. De cele mai multe ori, în exploatarea SEAU sunt interesante valorile medii ale parametrilor, deoarece vârfurile pot deruta operatorul și sistemul de control.

b) Complexitatea proceselor de epurare

- Epurarea apelor uzate implică procese unitare multiple, cu interacțiuni puternice. Controlul unui proces poate afecta performanțele proceselor din aval, dar și din amonte.
- Intervalul mare de variație a constantelor de timp:
 - răspunsul hardware este de ordinul secundelor; turația pompelor și poziția vanelor pot fi modificate în câteva secunde;
 - concentrația oxigenului dizolvat se modifică în câteva minute;
 - debitul nu se propagă instantaneu prin stație; dacă se deschide o pompă debitul efluentului se va modifica în 20–40 minute;
 - concentrația substratului variază de la minute la ore, în funcție de viteza reacțiilor biologice și de timpul hidraulic de retenție;
 - variația populațiilor microbiene are loc într-un interval de câteva zile până la săptămâni;
 - modificările sezoniere, în special temperatura, va influența dinamica stației în ciclul anual.
- În aprecierea funcționării SEAU trebuie analizați mulți parametri, de natură diferită, care au o evoluție independentă;
- Sistemul trebuie să știe să iasă din „haosul tehnic” care se poate instala ușor datorită multitudinii de parametri cu natură diferită: hidraulică, mecanică, biologică, chimică;
- Condițiile din SEAU nu sunt reproductibile; este dificil să se adopte decizii corecte operative după datele vechi existente în banca de date;

- Procesele din SEAU sunt procese cu caracter continuu datorită curgerii neîntrerupte a fluidelor polifazate spre stație.

c) Variabilele care pot fi manipulate

Ținând seama de complexitatea proceselor de epurare a apelor uzate, numai un număr limitat de variabile pot fi manipulate. Acestea pot fi: debitul de aer pentru controlul aerării, debitul nămolului activ recirculat, debitul de nămol evacuat din decantorul primar și secundar, debitul de nitrați recirculați ș.a. Multe dintre aceste variabile au autoritate de control limitată. În general, controlul ar trebui să aibă ca scop realizarea celei mai bune performanțe pe care o variabilă manipulată este capabilă să o dea pentru atingerea obiectivelor operaționale, mai degrabă decât atingerea unei valori prestabilite a obiectivelor operaționale.

d) Senzorii

Până de curând lipsa senzorilor era un obstacol major pentru controlul și automatizarea proceselor de epurare a apelor uzate. În ultimii ani însă, aceștia au cunoscut o dezvoltare importantă, în special pentru măsurarea nutrienților.

e) Obiectivele operaționale

În general, obiectivele stației de epurare a apelor uzate se rezumă la conformarea la standardele de mediu impuse pentru efluent. Acestea sunt diferite de la țară la țară. În cadrul Uniunii Europene criteriile de calitate ale efluentului au devenit mai omogene, dar există diferențe majore în modul în care sunt impuse aceste criterii. Principalele diferențe se referă la intervalul de timp al metodelor de recoltare a probelor (la 2 ore, 24 de ore sau 7 zile), excluderea datelor pentru evenimente extreme și conformarea metodei de evaluare.

Aceste moduri diferite de exprimare a limitelor de descărcare influențează fundamental proiectarea sistemului de control.

Un sistem de monitorizare și control trebuie să asigure realizarea următoarelor obiective: 1. *Reducerea costurilor* prin: a) menținerea permanentă a resurselor în condiții de operare optime; b) maximizarea disponibilității echipamentelor datorită facilităților de mentenanță și diagnosticare; c) rezolvarea tuturor cerințelor de manevră, prin aceasta integrându-se perfect în conceptul de management al companiei; 2. *Menținerea calității*; un sistem de monitorizare și control răspunde în timp real tuturor cerințelor procesului și, în special, în fazele sale cele mai rapide și sofisticate și, de asemenea, reduce timpii de staționare, atât ca frecvență, cât și ca durată; 3. *Operare facilă*; un astfel de sistem poate fi ușor de înțeles și manevrat, asigurând și asistența operatorilor de proces în intenția lor de maximizare a producției; 4. *Protecția mediului*; sistemul este fiabil și sigur și, datorită utilizării componentelor hardware și software testate, este capabil să depășească situații excepționale; 5. *Protecția investiției pe termen lung*; fiind un sistem în arhitectură deschisă, bazat pe standarde internaționale, poate fi dezvoltat pe toată durata ciclului de viață a instalațiilor.

Pe măsură ce procesele de epurare a apelor uzate sunt mai complexe și mai sofisticate, devine mai importantă nu numai măsurarea diferiților parametri, ci și automatizarea „răspunsului” echipamentelor folosite în cadrul procesului. Oricum, costurile suplimentare, complexitatea și întreținerea aferente măsurătorilor

și controlului procesului trebuie foarte bine evaluate pentru a justifica automatizarea și instrumentarul necesar. Un eventual ghid pentru această evaluare trebuie să respecte următoarele condiții:

- trebuie mășurați on-line numai parametrii de importanță semnificativă pentru proces, deoarece costurile traductoarelor și sondelor specifice este ridicat;
- înaintea controlării oricărui parametru din cadrul procesului, trebuie determinate reglementările proprii existente care pot reduce nevoia controlului;
- trebuie ales cel mai simplu mod posibil pentru realizarea satisfăcătoare a sarcinilor de control și decizie;
- este esențial pentru controlul oricărui proces ca parametrul selectat să reprezinte efectiv procesul supus controlului; (de exemplu, reglarea debitului de nămol activ în exces poate fi adaptat în funcție de debitul influentului);
- orice sistem de control, indiferent de gradul de complexitate, trebuie să aibă posibilități de operare manuală-locală; datorită posibilității apariției unei avarii, indiferent de natura ei, în sistemul automat de control, elementul de control final, de exemplu vana, pompa sau alimentatorul trebuie, în mod obligatoriu, să poată fi operat și manual;
- un sistem de control nu trebuie să fie mai „inteligent” decât operatorul care-l utilizează; personalul de operare trebuie să cunoască modul de introducere a datelor inițiale și interpretarea rezultatelor pe care le oferă.

Gradul de control care este eficient din punctul de vedere al costurilor este dependent de dimensiunea stației. Costurile operării chiar pentru stații cu același număr de locuitori diferă în funcție de tipul stației, operarea ei și gradul de automatizare și control. Până acum câțiva ani investițiile în instrumente de control și automatizare erau sub 5% din costurile de investiții ale stației, în timp ce astăzi instalarea acestora, inclusiv echipamentele electrice duce la 10–15% din costul stației. Este dificil să se evalueze raportul costuri/beneficii, în special pentru că informațiile nu sunt întotdeauna obiective. Beneficiile investiției în instrumentația de control și automatizare trebuie cuantificate prin reducerea costurilor operării, substituirea investiției și îmbunătățirea calității efluentului datorită unei operări mai consistente. Realizarea controlului contribuie la creșterea capacității SEAU. Astfel, ca alternativă pentru extinderea fizică a stației se poate opta pentru optimizarea proceselor de epurare, introducând de exemplu un sistem avansat de control de tip SCADA.

Pentru realizarea sistemelor de conducere sunt necesare parcurgerea unor etape fundamentale și anume:

- Modelarea proceselor pe baza ecuațiilor fizico-chimice;
- Identificarea proceselor pe baza datelor experimentale;
- Procesarea semnalelor prin filtrare, predicție și estimare a stărilor;
- Generarea semnalelor de comandă și aplicarea lor procesului condus.

Având în vedere că cele mai multe sisteme reale sunt extrem de complicate, o descriere matematică exactă a dinamicii lor nu este posibilă în sensul descrierii matematice a tuturor parametrilor cu natură diferită ce intervin în

tehnologie. În acest context s-au dezvoltat structuri de conducere evoluat care răspund dezideratelor de performanță impuse în diferite cazuri practice. Dintre acestea se menționează:

- **Control robust** – asigură stabilitatea și performanțele impuse pentru o mulțime de metode care acoperă incertitudinile de modelare și varianta a parametrilor specifici.
- **Control tolerant la defecte** – are capacitatea de a funcționa corect chiar și atunci când apar anumite defecte în sistem, în special la senzori, prin reconfigurarea în timp real a structurii de control. Acest tip de control folosește anumite concepte și tehnici de inteligență artificială.
- **Control inteligent** – este asemănător sistemelor adaptive dar lucrează la variații mult mai mari ale incertitudinilor.
- **Control cu evenimente discrete** – utilizează atât variabile continue, cât și discrete. În aceste sisteme regulatorul execută în primul rând operații de diagnoză și decizie și apoi o reglare tradițională. Sistemele din această categorie sunt hibride, deoarece utilizează pentru reprezentarea stării atât variabile numerice, cât și logice.

Procesele care trebuie conduse sunt în marea lor majoritate procese neliniare, cu parametri distribuiți în care acționează perturbații aleatoare, motiv pentru care este necesară procesarea multor semnale de la senzori. Din acest punct de vedere, în aplicațiile de control al proceselor de epurare efectele economice obținute prin reglare sunt foarte importante.

Necesitatea considerării unor caracteristici dinamice și operaționale în procesele de epurare a apelor uzate este mult mai mare decât pentru cele tehnologice industriale datorită variațiilor largi temporale care apar în compoziție, concentrație și debitul de apă uzată. Analiza statistică a datelor arată că aceste variații largi pot avea efecte importante asupra calității apelor deversate în emisar.

Pentru menținerea calității efluentului la valorile indicatorilor impuși de organele de stat este necesară: a) introducerea unor caracteristici dinamice și operaționale încă din timpul fazei de proiectare; b) dezvoltarea unei strategii de control pentru stațiile în funcțiune; c) necesitatea perfecționării și ridicării calificării personalului operator.

Modelele matematice dinamice de simulare sunt necesare pentru descrierea fenomenului care variază în timp. Ele se obțin pe baza ecuațiilor de bilanț masic și energetic pentru diferitele obiecte folosind dinamica transportului-transferului și relațiile de cinetică chimică, biochimică, biologică și termochimică. În general, modelul de simulare matematică constă dintr-un set de ecuații diferențiale neliniare pentru care este foarte dificilă identificarea unei soluții analitice. Soluțiile acestor ecuații sau evoluția performanțelor procesului în raport cu timpul pot fi obținute prin simulare pe calculator.

Aceste sisteme reprezintă mijloacele economice pentru obținerea performanțelor stațiilor de epurare. Conducerea automată a proceselor din stația de epurare se face în cadrul unui sistem de restricții formulate astfel încât tehnologia adoptată să conducă la consumuri minime de energie, materii prime (reactivi), cu obținerea performanțelor maxime în ceea ce privește calitatea apelor deversate în emisar. Figura 10.1 prezintă schema bloc a unei stații de epurare

controlată de calculatorul de proces. Acesta culege datele de la intrare și ieșire de calitate a apei, precum și cele referitoare la materialele și energia folosită în procesele de epurare. Conducerea proceselor de epurare se realizează în cadrul unui sistem de restricții referitoare la consumurile de energie și reactivi – deci la costuri generale.

Măsurarea rapidă a parametrilor este indispensabilă unei utilizări corecte și totale a tehnicii de automatizare. Exploatarea stației de epurare în condiții în care variabila de intrare în timp nu este constantă conduce la un model dinamic. Cunoașterea acestuia conduce la simularea valorilor asupra variabilelor de intrare și respectiv de ieșire.

Automatizarea se prevede la o serie de echipamente din stația de epurare atât cu scopul de pornire-oprire, cât și pentru optimizarea energetică a funcționării. Astfel, se prevăd instalații de automatizare la: a) pornirea și oprirea greblelor și ale echipamentelor auxiliare destinate transportului și compactării materialelor reținute; b) funcționarea podurilor racloare de la decantoare, îngroșătoare, deznisipatoare cu protejarea echipamentelor la suprasarcini; c) măsurarea nivelurilor din obiectivele stației, precum și precizarea debitelor de apă, nămol, reactivi etc.; d) măsurarea nivelului patului de nămol format în decantoare, îngroșătoare în scopul optimizării funcționării energetice; e) stațiile de pompare la pornirea și oprirea echipamentelor, la ordonarea conectării mașinilor hidraulice și la protejarea instalațiilor cu menținerea parametrilor energetici la un nivel corespunzător; f) optimizarea bioproceselor prin controlul și dirijarea tuturor factorilor de natură diferită fizică – chimică – biologică – mecanică – hidrodinamică care intervin în sistem; g) fermentarea anaerobă a nămolurilor pentru circulația fluidelor polifazate, a fluxurilor termice și energetice; h) controlul și comanda proceselor și a parametrilor de incinerare. Se recomandă automatizarea tuturor proceselor care se repetă de un număr mare de ori pe zi.

În automatizarea proceselor de epurare se pot folosi două scheme: a) un calculator de proces racordat la mai multe aparate de măsură cu ieșiri în sistem unificat; b) fiecare obiect din stație este supravegheat și dirijat de un calculator de proces și ulterior toate aceste unități sunt racordate la un calculator care urmărește, controlează și ia deciziile optime la nivel stație. Ultima schemă, recomandabilă pentru stațiile mari de epurare, prezintă avantajul corelării automatizării individuale cu optimizarea întregii stații.

Controlul și conducerea automată a unei stații de epurare cu ajutorul calculatorului presupune culegerea datelor de calitate a apei de la intrare și respectiv ieșire, precum și cele referitoare la materialele și energia folosită în procesele de epurare. Măsurarea rapidă a parametrilor este indispensabilă unei utilizări corecte și totale a tehnicii de automatizare. În tehnica epurării apelor uzate nu toți parametrii pot fi măsurați în mod continuu – de exemplu CBO_5 .

Dispecerizarea unei stații de epurare presupune unul sau mai multe dispecere zonale sau specializate și un dispecer local (central), realizându-se astfel 3–4 nivele ierarhice, după caz. Se utilizează echipamente locale de achiziție și transmisie de date, automate programabile, computere la dispecerul central și după caz la unele dispecere locale, iar legăturile informaționale de regulă permit prin aria de desfășurare în teren comunicația prin fir.

Procesul tehnologic din stație poate fi urmărit pe un panou sinoptic la care se conectează toată aparatura de automatizare. Schemele sinoptice ale proceselor unitare din SEAU apar pe monitorul calculatorului de proces cu indicarea valorilor specifice de la intrare și ieșire.

Sistemul de automatizare este conceput pe trei nivele ierarhice. **Nivelul 0** – cuprinde aparatura convențională de măsură, control și reglare – în principal toate tipurile de traductoare. **Nivelul 1** – include toate panourile de automatizare locală, la punctele de exploatare, precum și calculatoarele de proces pentru prelucrarea primară a datelor de la dispeceratele de secție. Aceste dispecerate de secție vor concentra toate informațiile referitoare la starea instalațiilor (funcționare corectă, avarie, acțiuni de mentenanță etc.), parametrii tehnologici (debite, niveluri, temperaturi, presiuni, concentrații, consumuri energetice etc.) semnale de avarie rapidă. **Nivelul 2** – realizat prin dispeceratul general, unde calculatoarele de proces concentrează datele referitoare la întreaga exploatare realizând principalele funcții ale sistemului: a) inițializarea sistemului de programe; b) prelucrarea optimă a valorilor recepționate și legătura cu nivelul ierarhic inferior; c) semnalizarea depășirii limitelor admisibile ale parametrilor tehnologici; d) semnalizarea stării de avarie a echipamentelor, cauzele acestora și evidența orelor de funcționare; e) calculul mărimilor derivate și transmiterea comenzilor către elementele de execuție; f) afișarea la cerere a schemelor sinoptice ale fazelor și procesului tehnologic; g) generare, modificare și actualizarea bazei de date.

Dispeceratul energetic are un rol aparte în întreg ansamblul de automatizare a procesului tehnologic datorită ponderii pe care o reprezintă consumurile energetice în structura prețului de cost – peste 70%. Din acest motiv se impune adoptarea unei soluții cu calculator de proces aferent dispeceratului care să fie programat în sensul reducerii consumurilor și a eliminării celor nejustificate. Calculatorul va culege parametrii numerici – referitori la starea întreruptoarelor din camerele de joasă tensiune și cea de funcționare normală a echipamentelor, și parametrii analogici – caracteristici energiei electrice: tensiune, curent, frecvență, putere, fazare etc. Calculatorul de proces va prelua semnalele primite, va contoriza numărul de avarii, energia și puterea consumată și va emite comenzile necesare desfășurării în condiții normale, din punct de vedere energetic, a procesului tehnologic.

Ca pentru orice proces de control, și în epurarea apelor uzate se parcurg anumite etape în proiectarea sistemului de reglare și control:

▪ **formularea problemei controlului** – implică formularea funcțiilor obiectiv de control, selectarea variabilelor manipulate și identificarea restricțiilor de control.

Funcția obiectiv are două componente, una care reflectă cerințele de performanță ale sistemului și alta care specifică costurile operaționale asociate.

Fiecare variabilă ce poate fi manipulată influențează performanțele sistemului într-un anumit mod, are autoritate de control diferită și implicații diferite asupra costului. Nu întotdeauna se poate identifica variabila potrivită care poate fi manipulată astfel încât să se obțină performanțele dorite cu costuri reduse. De aceea, se face un compromis între performanța dorită și costurile acceptabile. Deoarece în procesele de epurare a apelor uzate numărul variabilelor care pot fi manipulate este limitat, se poate pleca invers în formularea problemei controlului,

adică de la variabilele ce pot fi manipulate, identificându-se potențialul și limitările fiecăreia astfel încât să se selecteze în final acelea care corespund scopului.

Restricțiile de control se referă la valorile limită pentru variabila manipulată și limitările hard pentru variabila de proces (de exemplu intensitatea aerării este limitată de capacitatea suflantelor).

▪ **dezvoltarea strategiei de control** – implică translatarea problemei controlului optim într-o strategie de control mai simplă, mai ușor de implementat în practică.

Funcția obiectiv împreună cu restricțiile identificate formează o problemă de control optim restricționat, dificil de implementat în practică. De aceea, problema generală a controlului se translatează într-un număr de probleme de control mai mici și apoi într-o variabilă index de performanță, care controlată la un anumit nivel conduce la o funcție obiectiv aproape optimizată, cu satisfacerea restricțiilor controlului. Valoarea optimă a variabilei index este de asemenea identificată. În acest mod, problema originală de control a fost translatată într-una de referință, în care variabila index este variabila controlată, iar valoarea optimă a variabilei index este valoarea de referință.

Dezvoltarea strategiei de control este dificilă și implică înțelegerea în profunzime a proceselor de epurare. Pentru facilitarea dezvoltării strategiei de control se pot utiliza modelarea și simularea proceselor, identificându-se corelațiile dintre performanțele sistemului și variabilele index potrivite.

▪ **selectarea structurii de control și proiectarea algoritmului** – se realizează pe baza variabilelor controlate și variabilelor manipulate identificate în etapele anterioare.

▪ **acordarea regulatorului și evaluarea performanțelor** – se realizează prin modelare și simulare sub o mare varietate de condiții operaționale, dar acestea nu înlocuiesc experimentele full-scale.

În funcție de modul în care se realizează, în prezent există 4 nivele de control și automatizare:

– nivelul 1 – ajustări manuale bazate pe recoltări de probe manuale și măsurători de laborator

– nivelul 2 – ajustări manuale bazate pe măsurători on-line a senzorilor; se caracterizează prin utilizarea măsurătorilor senzorilor on-line pentru furnizarea informațiilor în sistemul SCADA existent. Măsurătorile on-line pot proveni de la senzori permanenți sau de la stații de monitorizare mobile.

– nivelul 3 – control în buclă închisă simplă implementată în sistemul SCADA, ceea ce implică măsurători on-line

– nivelul 4 – control de supervizare avansat prin intensificarea sistemului de control SCADA standard cu acordarea on-line și raportarea performanțelor (un exemplu este sistemul STAR – Superior Tuning and Reporting); acest control include controlul predictiv pe baza modelelor de la măsurătorile on-line, combinat cu analize statistice pe timp scurt și lung a diferitelor procese și date de operare. Sistemele de control ierarhic, ca de exemplu sistemul de control distribuit (DCS) au devenit normă în procesele industriale de câteva decenii și mai nou și în procesele de epurare a apelor uzate.

În ochii unui automatist o stație de epurare poate fi considerată ca o „cutie neagră” a cărei funcție este de a depolua un efluent. Această „cutie neagră” are un

anumit număr de intrări și ieșiri care se pot schematiza, în cazul unei epurări biologice aerobe, ca în figura 10.1 și printre care se pot distinge:

1. Variabilele de intrare

- debitul de tratat apă uzată (influent) Q ;
- nivelul de poluare a influentului x_e (parametri de calitate - L);
- reactivi chimici folosiți în proces r ;
- energie.

2. Variabilele de ieșire

- nivelul poluării reziduale $x - \eta$ (eficiența epurării E);
- eventual concentrațiile reziduale de azot și fosfor;
- cantitatea de nămol în exces M_b ($Q_{n,ex}$).

Pentru aceste variabile de ieșire se fixează valorile de consemn ale conducerii automate.

3. Perturbațiile. Intervenționează asupra variabilelor de intrare (variația nivelului de poluare sau a debitului de tratat), fie asupra condițiilor de mijloc, în particular pH-ul și temperatura precum și sosirile unor eventuale produși toxici sau inhibitori, carențe momentane etc.; se observă că anumite perturbații sunt de natură mai mult sau mai puțin periodică în timp.

4. Variabilele de acțiune. Sunt acele variabile asupra cărora se poate acționa pentru a menține valorile de consemn (restricții) în ciuda perturbațiilor care acționează asupra sistemului. Aproape în totalitate, în cazul epurărilor biologice aerobe cu nămol activat, variabila de acțiune și procentul de recirculare al nămolului β permit să se varieze concentrația biomasei din bazin, iar în cazul filtrelor bacteriene acesta va fi procentul de recirculare al efluentului de tratat. Altă variabilă de acțiune poate fi viteza de circulație a mediilor polifazate.

5. Restricții. În cazul epurărilor biologice aerobe concentrația de oxigen din bazinul de aerare este un bun exemplu. În cazul efluenților în mod obișnuit cu carențe, care cer un aport de azot și fosfor, concentrațiile acestor două elemente din bazin pot fi de asemenea considerate drept constrângeri (ansamblul acestor constrângeri asupra concentrațiilor este notat C), precum și costurile și consumurile de reactivi și energie (fig. 10.1).

O altă constrângere este constituită de sarcina masică x^* care trebuie să rămână într-o plajă de bună decantabilitate a nămolului, în cazul nămolului activat, și de încărcarea hidraulică Ch ce trebuie să evolueze într-o gamă de valori care să permită epurarea corectă a excedentului de nămol în cazul unui filtru bacterian.

Ansamblul relațiilor existente în regim permanent stabilit între variabilele de intrare și cele de ieșire constituie modelul static al instalației. Dimpotrivă, conducerea stației în condiții reale, adică cu date de intrare care variază în timp, cere cunoașterea unui model dinamic, stabilit în general prin simularea variațiilor tipurilor (funcția de impuls DIRAC, de exemplu) asupra variabilelor de intrare și considerând răspunsul temporal asupra variabilelor de ieșire. Acest model dinamic este constituit din funcțiile de transfer definite între variabilele de intrare și de ieșire prin relația generală: $T_{ij} = \frac{S_i(p)}{E_j(p)}$, în care se notează: $S_i(p) = \mathcal{L}$, $S_i(t) = \text{trans-}$

formata Laplace a evoluției temporale a variabilei de ieșire i ; $E_j(p) = \mathcal{L}$,

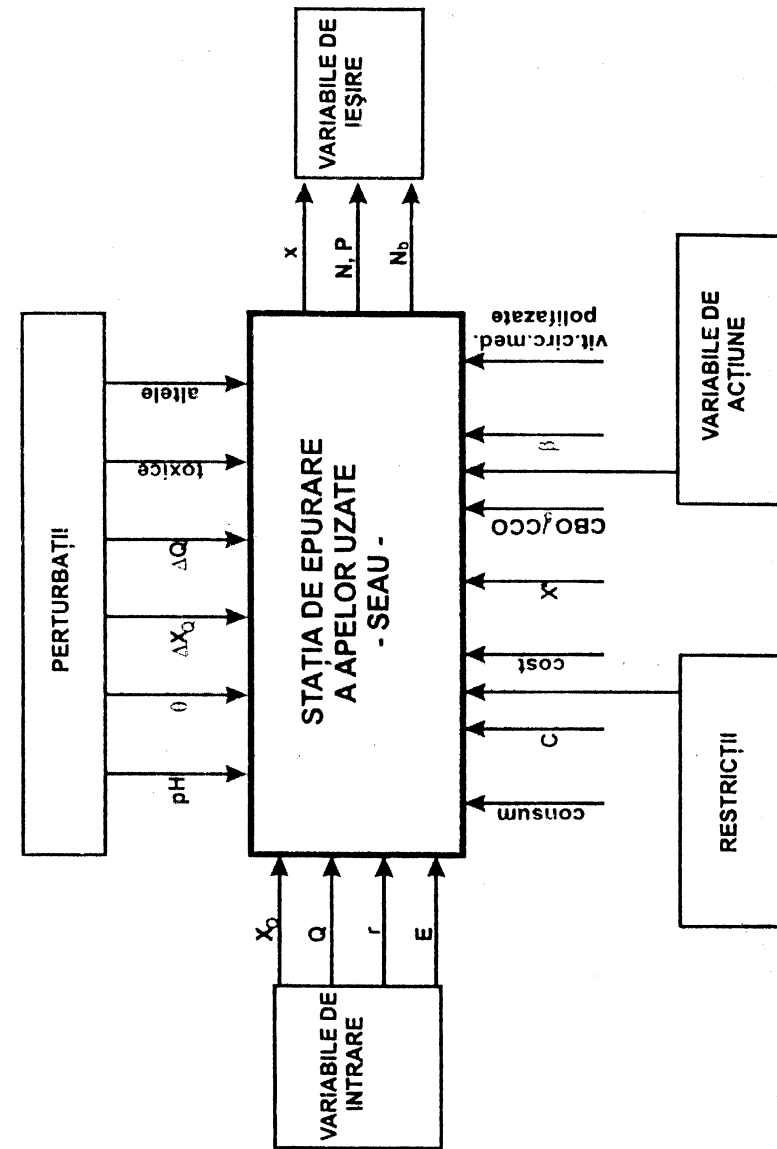


Fig. 10.1. Reprezentarea schematică a dinamicii unei stații de epurare biologică aerobă a apelor uzate.

$E_j(t)$ = transformata Laplace a evoluției temporale a variabilei de intrare j ; $T_{ij}(p)$ = funcția de transfer între variabila de intrare j și variabila de ieșire i .

Această analiză presupune implicit că sistemele de referință sunt liniare (model static constituit din ecuații diferențiale liniare și coeficienți constanți) sau care pot fi liniarizate în vecinătatea punctului lor de funcționare din regim permanent. Prima problemă care se pune, ca în toate tentativele de conducere automată, este aceea a captatorilor care permit urmărirea continuă a evoluției temporale a diferitelor variabile. Cunoașterea modelului dinamic al instalației permite luarea în considerare a conducerii automate fie prin bucle de reglaj care utilizează reglaje clasice, fie înlocuind acești reglatori printr-un computer, dacă se dorește să se introducă algoritmi de comandă mai elaborați.

Etapa următoare este optimizarea funcționării stației care se poate face pe un criteriu economic. Optimizarea tehnologiilor și a exploatării stațiilor de epurare a apelor uzate se poate analiza din cei puțin patru puncte de vedere: a) minimizarea costurilor de exploatare a proceselor și instalațiilor; b) optimizarea energetică a instalațiilor; c) minimizarea consumurilor de reactivi și materiale; d) realizarea performanțelor maxime de purificare a apelor. Este evident că în final ceea ce contează sunt costurile și deci evaluarea cât mai corectă a lor va conduce la un proces de optimizare bine definit și condus.

Pentru fiecare proces unitar sau obiect existent în stația de epurare se va elabora un model teoretic, în cadrul unui sistem de restricții tehnologice și funcționale, ce se va exprima valoric și se va căuta zona în care se va obține un minimum al costurilor. Prin soluția analitică sau cea obținută prin integrări numerice se vor preciza valorile optime ale parametrilor de exploatare. Pe această cale se poate furniza managerului stației o serie de date utile în adoptarea deciziei. Totodată se vor putea întocmi fișele de exploatare ale fiecărui echipament și instalație justificate economic pe baza cărora se va face instruirea operatorilor. În varianta modernă în care stația este condusă și exploatată prin intermediul calculatorului funcțiile elaborate mai sus vor constitui baza optimizării funcționării instalațiilor și echipamentelor cu condiția încadrării performanțelor în cele date de avizul de mediu.

10.2. Strategii de reglare și conducere a stațiilor de epurare

Rolul stației de epurare este de a asigura epurarea unui debit de apă uzată, ale cărui caracteristici se pot schimba zilnic sau orar, datorită influenței unor factori, ca de exemplu clima sau activitatea industrială. Sarcina unei conduceri optime constă în convertirea acestui debit deosebit de variabil din punctul de vedere al caracteristicilor hidraulice, fizico-chimice și biologice care intră în stație (influențat), într-unul stabil care iese din stație (apa epurată), cu un consum minim de energie și care se poate întoarce în mediul ambiant în condiții de siguranță.

Problemele întâlnite în controlul poluării apelor sunt numeroase, variate și de cele mai multe ori unice. Procesul real de epurare este o combinație de procese mecanice, chimice și biologice în pași multipli. Un asemenea proces este unul cu variabile multiple, iar interdependențele variabilelor de control sunt neliniare. În plus, legile privind evacuarea apelor uzate au devenit din ce în ce mai stricte în ultimii ani.

În realizarea unor sisteme complexe de comandă și reglare a proceselor prin calculatoare una dintre problemele de bază este reprezentată de realizarea unei configurații adecvate atât sub aspect tehnic, cât și sub aspect economic și de siguranță în funcționare. La proiectarea unor astfel de sisteme trebuie să se analizeze în ce măsură structura și organizarea internă a calculatorului (inclusiv perifericele) sunt influențate de domeniul de sarcini la care a fost afectat. Structura sistemelor de calculatoare de proces este dictat de o serie de criterii, cum ar fi:

- funcțiile pe care trebuie să le îndeplinească sistemul de calcul și modul de rezolvare a acestora;
- siguranță în funcționare;
- asigurarea flexibilității;
- criteriile economice etc.

De cele mai multe ori configurația aleasă trebuie să asigure un compromis între satisfacerea mai multor astfel de criterii.

Sinteza sistemelor de reglare automată se face în colaborare cu tehnologul de proces, care proiectează și studiază procesul tehnologic considerat. Necunoașterea unor modele matematice sau dificultățile întâmpinate în identificarea unor modele matematice viabile, suficient de precise pentru proces, reprezintă una dintre problemele des întâlnite, premergătoare etapei de proiectare a unei strategii de conducere adecvate.

Problemele care apar la dezvoltarea analitică a unor modele ale procesului se pot rezolva printr-o dezvoltare a unor modele experimentale, pe baza unor măsurători directe efectuate asupra proceselor. Pe baza acestor modele matematice pot fi sintetizate și dezvoltate diverse strategii de reglare.

Reglarea debitului. Reglarea debitului, deși la prima vedere pare o problemă simplă, pune o serie de probleme legate de inerția volumului de fluid aflat în curgere. Comparativ cu celelalte procese din SEAU, inerția proceselor bazate pe variație de debit este relativ mică (în special în situațiile când nu se ia în considerare transportul de fluid pe conducte de lungimi mari, cum ar fi conductele de gaz metan, abur, apă etc.).

Datorită acestor probleme, sistemele de reglare ale debitului prezintă două particularități importante, față de sistemele de reglare ale altor parametri:

- inerția procesului reglat fiind relativ mică, la o modificare a poziției elementului de prescriere, noua valoare a debitului se stabilește în câteva secunde; prin urmare, caracteristicile dinamice ale sistemului sunt determinate în principal de inerția elementului de măsură, regulatorului, liniilor de impuls și ventilului de reglare; în acest proces durata regimului tranzitoriu este mai mică de un minut; dacă se dorește o reglare precisă a debitului, atunci trebuie micșorată durata regimului tranzitoriu până la valori de ordinul secundelor și deci constantele de timp ale elementelor ce intră în componența buclei de reglare trebuie reduse la valoarea minimă posibilă;

- semnalul de măsură al debitului include un înalt nivel de zgomot conținând oscilații cu frecvențe egale sau mai mari decât 1 Hz; în majoritatea cazurilor, zgomotul nu poate fi înlăturat, el fiind introdus de însăși elementul de măsură; frecvențele ridicate rezultă din funcționarea pompelor și compresoarelor, ca urmare a existenței unor variații aleatoare ale fluxului de fluid care rece prin diafragmă sau robinet etc.

Dacă măsurarea debitului se face cu diafragmă, atunci semnalul, proporțional cu diferența de presiune, conține componente auxiliare reprezentând oscilații aleatoare ale presiunii în punctele de cuplare ale liniilor de impuls. Măsurarea oscilațiilor reale ale debitului se poate face cu ajutorul unor debitmetre magnetice, măsurând viteza medie a fluxului și având un timp mic de răspuns.

Orice măsurare de debit este însoțită de perturbații. Dacă se alege o bandă de proporționalitate mai mare, aceste perturbații sunt atenuate și se transmit deci atenuat robinetului de reglare. Se poate întâmpla ca, pentru valori aleatoare ale perturbațiilor, robinetul de reglare să fie acționat într-o asemenea măsură încât să producă variații reale ale debitului.

De aceea, în astfel de cazuri în care reglarea de debit este puternic influențată de perturbații, se preferă introducerea unui regulator nelinier care să nu sesizeze variațiile mici ale debitului cauzate de perturbații și se obține în acest caz o deplasare mai lină a tijeii robinetului de reglare precum și o bună stabilitate a buclei de reglare.

Reglarea pH-ului. Reglarea pH-ului mediului apos se realizează prin operații de neutralizare – corecție de pH. În cazul reglării pH-ului în practică se întâlnesc două situații deosebite. În prima situație reglarea pH-ului se face pentru a se asigura o desfășurare corectă a unor reacții fundamentale (de exemplu, în rezervoarele de fermentație). În aceste procese constanta de timp este de obicei foarte mare, variațiile pH-ului sunt lente și de mică amplitudine, practica consacrand pentru reglarea respectivă utilizarea unor regulatoare bipoziționale.

O altă situație este caracterizată de procesul din figura 10.2, în care trebuie asigurat un anumit pH pentru un debit continuu de fluid.

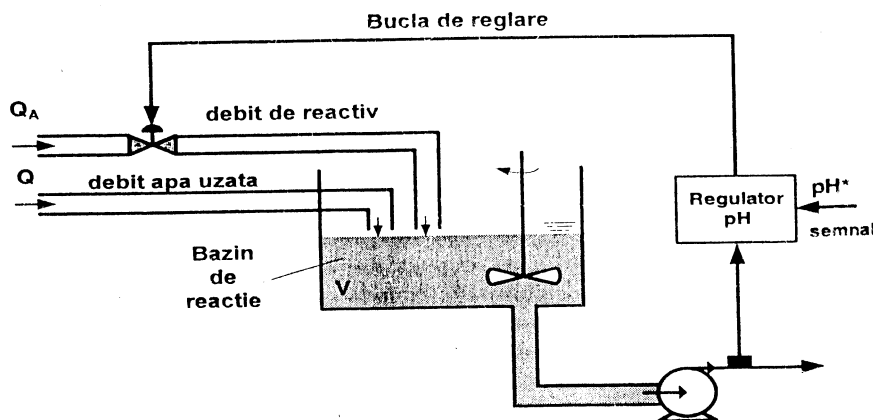


Fig. 10.2. Sistem de reglare automată a pH-ului.

Dacă procesul se găsește în regim staționar, o perturbație (eventual mică) în debitul Q sau Q_A poate produce o modificare importantă în valoarea pH-ului corectat în bazinul de reacție. În asemenea cazuri prezintă o importanță deosebită dimensionarea corectă a volumului V a camerei de reacție în care se face amestecul între debitul Q și Q_A . Prin mărirea volumului V se atenuază efectul perturbațiilor, dar se mărește timpul mort al procesului.

Prin studierea curbei de titrare se poate deduce în ce măsură reglarea procesului este dificilă sau simplă. Dacă această curbă de titrare are o pantă mare în jurul punctului de reglare, atunci procesul este puternic influențat de perturbații în valoarea lui Q sau Q_A și pentru a evita abateri mari de la valoarea prescrisă pentru pH s-ar putea să fie necesare sisteme de reglare speciale, de exemplu în cascadă sau cu anticipare. Dacă panta curbei variază mult în apropierea valorii de referință inițiale, atunci amplificarea procesului K_{IT} poate să varieze la rândul ei, mult odată cu modificarea referinței. Acest fapt trebuie luat în considerare la stabilirea amplificării K_P a regulatorului.

În cazul în care se reglează pH-ul apelor uzate, sistemul de reglare trebuie să facă față unor perturbații importante în valoarea lui Q , precum și unor concentrații uneori în raport de 5:1, ceea ce modifică atât amplificarea procesului K_{IT} , cât și constantele de timp și timpul mort al procesului. Din această cauză proiectarea sistemelor de reglare respective trebuie făcută cu deosebită grijă.

O metodă pentru a mări stabilitatea sistemelor de reglare a pH-ului constă în prevederea unui bazin de reacție de volum V mai mare, pentru același debit Q de substanță neutralizată. Volumul minim al reactorului este determinat de debitul Q de substanță neutralizată, astfel ca lichidul să stea suficient în reactor pentru a avea loc reacția de neutralizare. Creșterea volumului V are drept efect o atenuare a oscilațiilor pH-ului, și deci posibilitatea prevederii unei valori mai mari pentru K_P . Dacă se dublează volumul rezervorului și se păstrează debitul de ieșire, atunci se dublează constanta de timp dominantă V/Q a procesului, ceea ce reduce avantajul obținut prin mărirea constantei de timp dominante V/Q . Totodată trebuie precizat că o astfel de soluție este costisitoare. Din această cauză studierea sistemelor de reglare pentru pH este complexă și poate duce la necesitatea realizării de sisteme de reglare în cascadă sau cu anticipare. Regulatorul în asemenea sisteme este de tip PID sau PI, iar acordarea lui se face utilizând formulele Ziegler-Nichols, bazate de obicei pe metoda limitei de stabilitate a sistemului.

Pentru a se descrie corect desfășurarea procesului de neutralizare ar trebui să se țină seama și de timpii morți care apar într-un asemenea sistem de reglare și care depind de volumul rezervorului, V , de viteza de circulație a lichidelor, de amplasarea și funcționarea elementului de măsură. Inerțiile mari ale proceselor de transfer de masă, la care se adaugă timpii morți de transport, conduc la sisteme de reglare automată foarte lente în timp. În afara inerțiilor mari sistemele de reglare automată a compoziției sunt dificil de implementat datorită analizorului. Un analizor, fie acesta un pH-metru, un conductometru, un densimetru sau un cromatograf, reprezintă un aparat cu o construcție foarte complicată și relativ greu de întreținut în raport cu un termocuplu sau un traductor de nivel.

Reglarea nivelului. În stațiile de epurare ale apelor uzate SEAU obiectele sunt dimensionate și construite cu dispozitive de menținere constantă a nivelului prin deversoare amplasate la capătul bazinului. Ceea ce interesează, în special în

cazul decantoarelor, este nivelul păturii de nămol formată în zona de fund a bazinului de sedimentare. La o cotă prestabilită se pornesc pompele de evacuare a nămolului pentru îndepărtarea acestuia din decantor.

Sistemele de reglare automată a nivelului pot fi grupate în două categorii:

- sisteme în care nivelul reprezintă parametrul principal al procesului tehnologic și în care destinația sistemului de reglare constă în stabilirea unui nivel prescris în instalație (de obicei constant), independent de sarcină;
- sisteme în care parametrul principal este debitul de lichid, nefiind necesară o reglare precisă a nivelului (de exemplu, se impun doar condiții restrictive pentru ca să nu depășească o anumită limită sau să nu se scadă sub o anumită limită).

În vederea stabilirii structurii și parametrilor sistemului de reglare, este necesară determinarea caracteristicilor dinamice ale instalației tehnologice.

Se consideră o instalație tehnologică reprezentată de un decantor primar pentru care se cere reglarea nivelului și are aspectul din figura 10.3.

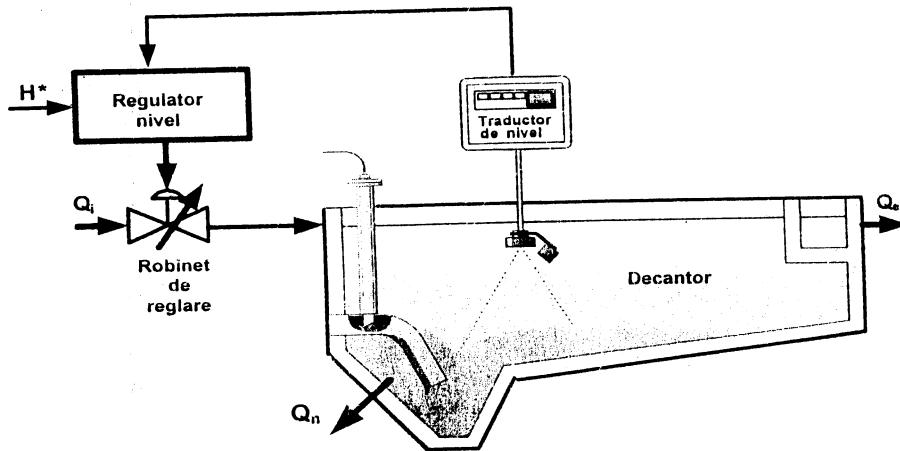


Fig. 10.3. Schema tehnologică de reglare nivel a unui decantor primar.

Modelul matematic al instalației se poate determina pe două căi:

- în cazuri simple se pot determina coeficienții funcției de transfer, analitic sau experimental;
- în cazuri complicate are loc o stabilire calitativă a formei modelului, urmând ca determinarea coeficienților să se facă experimental.

În cazul reglării nivelului pot apărea mai multe situații:

- evacuarea de lichid din vas se face prin cădere liberă, instalația comportându-se ca un element aperiodic de ordinul I;
- evacuarea din lichid se face cu o pompă de debit constant și în acest caz instalația se comportă ca un element integrator;

- în rezervor presiunea este variabilă datorită evacuării de lichid în unul dintre cele două moduri de mai sus. În acest caz presiunea din recipient este o perturbație esențială a procesului.

Totuși, aproximarea unui rezervor de lichid cu un element capacitiv, sau printr-o capacitate plus rezistență nu este totdeauna corectă. În general existența undelor într-un rezervor, indiferent de mărimea acestuia, permite să se tragă concluzia că orice lichid care prezintă suprafață deschisă este capabil să întrețină oscilații. În timp ce valoarea medie a nivelului răspunde la variațiile de debit, după caracteristicile unui element integrator sau element aperiodic de ordinul I, nivelul (valoarea instantanee) răspunde la variațiile de debit în mod rezonant.

În continuare se exemplifică primele două situații care pot apărea în cazul reglării nivelului, la o stație de epurare a apelor uzate, pe baza unor scheme de calcul analizate în continuare.

Cazul 1. Evacuarea cu pompă cu debit constant

Determinarea modelului matematic pentru o pompă cu debit constant (fig. 10.4), respectiv a funcției de transfer se poate realiza pe baza bilanțului de material.

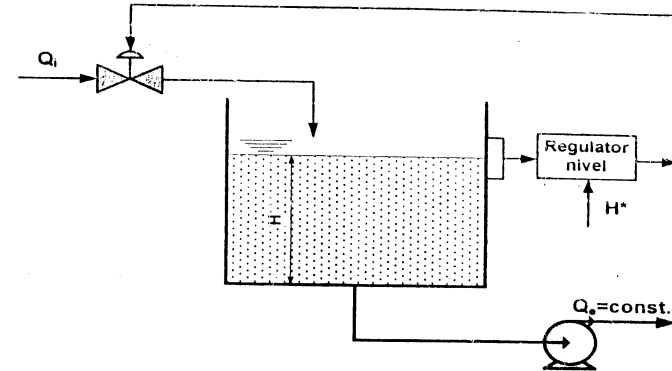


Fig. 10.4. Sistem de reglare a nivelului unui rezervor de lichid evacuat cu o pompă cu debit constant.

În regim staționar se poate scrie relația:

$$Q_{i0} = Q_{e0} \quad (10.1)$$

iar în regim dinamic:

$$Q_i - Q_e = A \frac{dH}{dt} \quad (10.2)$$

unde: Q_i – debitul de alimentare;

$Q_{e0} = Q_e$ – debitul de evacuare (constant);

A – aria secțiunii transversale a recipientului;

H – nivelul de lichid.

Notând cu $\Delta H = H_i - H_{i0}$ și ținând cont de relația (10.1), rezultă:

$$\Delta Q = A \frac{dH}{dt} = A \frac{d(\Delta H)}{dt} \quad (10.3)$$

sau notând cu: $x = \frac{dH}{H_0}$, $u = \frac{\Delta Q}{Q_{i0}}$ rezultă:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{Q_{i0}}{AH_0} \cdot u, \text{ din care prin integrare rezultă } x = \frac{Q_{i0}}{AH_0} \int u dt.$$

Din relația (10.3) se poate obține funcția de transfer:

$$H(s) = \frac{\Delta H(s)}{\Delta Q(s)} = \frac{1}{As} \text{ sau } H(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{Q_{i0}}{AH_0 s} \quad (10.4)$$

Cazul 2. Evacuarea lichidului prin cădere liberă

În regim dinamic, pentru un proces de evacuare a lichidului prin cădere liberă (fig. 10.5), ecuația bilanțului de material are forma:

$$Q_i(t) - Q_e(t) = A \frac{dH}{dt} \quad (10.5)$$

mărimile având aceeași semnificație ca în relația (10.2).

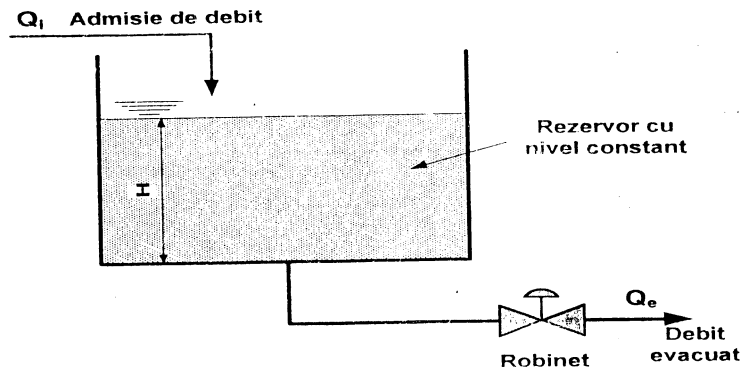


Fig. 10.5. Schema de reglare a lichidului prin cădere liberă.

Debitul de evacuare Q_e se exprimă conform relației lui Bernoulli aplicată la curgerea prin orificii:

$$Q_e = \mu S \sqrt{2\rho \Delta h} = \mu S \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}} \quad (10.6)$$

unde: μ – coeficient de debit; Δp – căderea de presiune pe ventilul de reglare, având expresia: $\Delta p = \rho g H$, în ipoteza că presiunea la ieșire este egală cu

presiunea atmosferică. În acest caz schema bloc a rezervorului de lichid devine cea corespunzătoare figurii 10.6.

În schema bloc apare un element integrator, iar pe reacție un bloc neliniar a cărui ieșire este dată de relația (10.6). Modificarea nivelului are loc printr-o variație atât a debitului Q_i , cât și a debitului Q_e (care, la rândul său, se poate modifica prin ajustarea secțiunii S a robinetului de reglare).

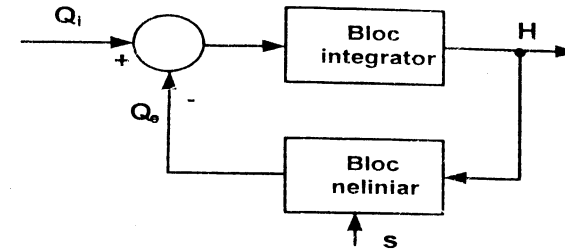


Fig. 10.6 Schema bloc a rezervorului de lichid în cazul evacuării lichidului prin cădere liberă.

Deoarece relația (10.6) este neliniară, pentru obținerea funcției de transfer, aceasta se liniarizează în jurul valorii de regim staționar

$$Q_e = Q_{e0} + \left(\frac{\partial Q_e}{\partial S} \right) \Delta S_{H=H_0=ct} + \left(\frac{\partial Q_e}{\partial H} \right) \Delta H_{S=S_0=ct}$$

sau

$$\Delta Q_e = Q_e - Q_{e0} = \mu \sqrt{gH_0} \Delta S + \frac{\mu S g}{2\sqrt{gH_0}} \Delta H \quad (10.7)$$

Utilizând valoarea debitului Q_{e0} dată de relația (10.6) în condițiile aplicării ei pentru regimul staționar se obține:

$$\Delta Q_e = \frac{Q_{e0}}{S_0} \Delta S + \frac{Q_{e0}}{2H_0} \Delta H \quad (10.8)$$

Se presupune de asemenea o variație a debitului de alimentare în jurul valorii de regim staționar $Q_i = Q_{i0} + Q_i$.

Prin înlocuirea în relația (10.8) rezultă expresia

$$\Delta Q_e - \frac{Q_{e0}}{S_0} \Delta S = A \frac{d(\Delta H)}{dt} + \frac{Q_{e0}}{2H_0} \Delta H.$$

După cum se observă nivelul de lichid în vas se modifică fie prin ajustarea debitului de alimentare, fie prin variația secțiunii de trecere a în robinetul de pe conducta de evacuare.

Dacă se consideră variația ΔH a nivelului în jurul valorii de regim staționar $H = H_0 + \Delta H$ rezultă

$$\frac{2AH_0}{Q_{e0}} \frac{d(\Delta H(t))}{dt} + \Delta H(t) = \frac{2H_0}{Q_{e0}} \Delta Q_i(t) - \frac{2H_0}{S_0} \Delta S(t) \quad (10.9)$$

sau prin aplicarea transformatei Laplace, în condiții inițiale nule, se obține

$$(1 + Ts)\Delta H(s) = K_F \Delta Q_i(s) - K_S \Delta S(s) \quad (10.10)$$

căreia îi corespunde schema bloc din figura 10.7, unde $T = \frac{2AH_0}{Q_{e0}}$ reprezintă

constanta de timp a procesului, iar $K_F = \frac{2H_0}{Q_{e0}}$, $K_S = \frac{2H_0}{S_0}$ reprezintă coeficienții

de transfer pe cele două căi.

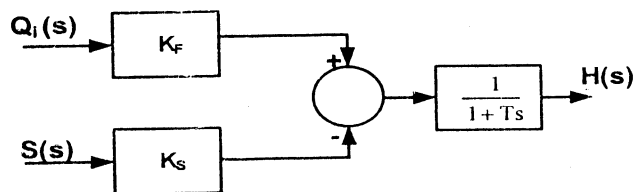


Fig. 10.7. Schema bloc a sistemului de reglare a nivelului considerând ca mărimi de intrare debitul de alimentare și secțiunea de trecere a ventilului de pe conducta de evacuare.

Constanta de timp a procesului depinde de valorile din regimul staționar ale nivelului de lichid H_0 și de debitul de evacuare Q_{e0} . Prin urmare, odată cu schimbarea regimului staționar se modifică și constanta de timp a procesului și deci vor trebui modificate și parametrii regulatorului, de la un regim la altul. Acest lucru se poate evita dacă se vor alege acele regimuri staționare pentru care raportul $H/Q_e = \text{const.}$

Pe baza schemei bloc prezentată în figura 10.7, se poate stabili schema de reglare convențională a nivelului, alegând ca mărime de comandă a procesului fie debitul de alimentare (fig. 10.8), fie debitul de evacuare (fig. 10.9), (celalată mărime constituindu-se ca perturbație).

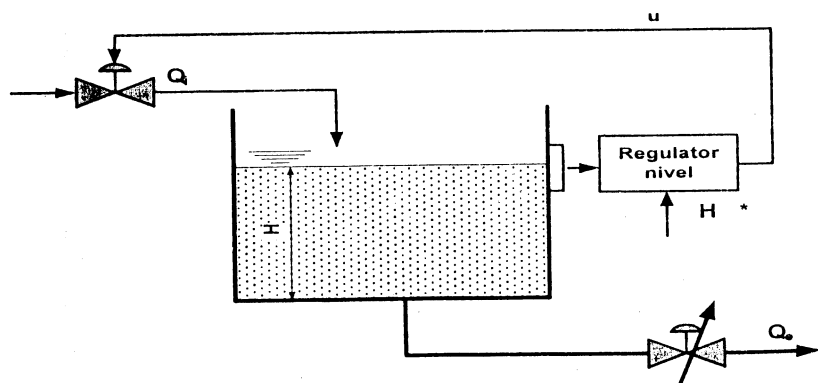


Fig. 10.8. Schema de reglare a nivelului considerând ca mărime de comandă debitul de alimentare Q_i .

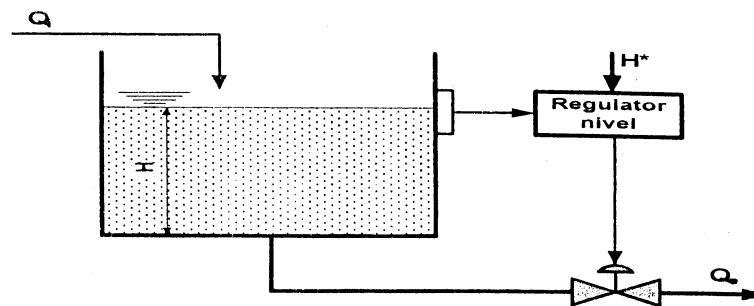


Fig. 10.9. Schema de reglare a nivelului considerând ca mărime de comandă debitul de evacuare Q_e .

În funcție de condițiile în care se desfășoară procesul se impune una dintre cele două scheme prezentate anterior astfel: dacă rezervorul de lichid în care se impune reglajul de nivel are în amonte (aval) instalații care îi furnizează (solicită) un debit variabil aleatoriu, iar în aval (amonte) instalații care nu impun nici o restricție asupra debitului, atunci se alege ca mărime de comandă debitul de evacuare (debitul de alimentare).

10.3. Simularea numerică a proceselor dinamice din SEAU

Simularea sistemelor dinamice reprezintă o tehnică larg utilizată de analiza asistată de calculator a sistemelor, constituind în același timp o componentă de bază a oricărui ansamblu de procedee de concepție asistată de calculator.

Analiza unui sistem dinamic are ca rezultat concret colectarea de informații cu privire la variația în timp a valorilor mărimilor sistemului.

Prelucrarea prin intermediul căreia se obțin, cu ajutorul calculatorului numeric, date comportamentale reprezentând evoluția în timp a modelelor sistemelor dinamice este denumită *simulare numerică a sistemelor dinamice*. Realizarea simulării numerice a unui sistem dinamic impune codificarea într-un limbaj de programare, a tuturor informațiilor cu privire la experimentele de simulare necesare.

Simularea numerică se poate face cu ajutorul mediului de simulare Matlab-Simulink. Matlab (MATrix LABoratory) este un pachet de programe de înaltă performanță dedicat calculului numeric și reprezentărilor grafice în domeniul ingineriei. Matlab este un limbaj destinat operării cu matrice dreptunghiulare de numere reale sau complexe. Calitățile și puterea acestui limbaj provin din implementarea funcțiilor de bază în operația cu matrice.

Alături de instrucțiunile și funcțiile interne ale limbajului, utilizatorul are posibilitatea să-și definească propriile funcții care sunt rezidente pe hard-disk, în

fișiere cu extensia .m. Astfel apar grupate în toolbox-uri pentru: analiza și proiectarea sistemelor automate de control; proiectarea și simularea rețelelor neurale; logica fuzzy; procesarea imaginilor și a semnalelor; optimizarea liniară și neliniară; rezolvarea ecuațiilor diferențiale; proiectarea sistemelor neliniare; calcul statistic; simularea în timp real; sinteza și identificarea sistemelor etc.

Interpretorul Matlab are posibilitatea să execute programe create în exterior sau cu un editor, sau interactiv fiecare instrucțiune introdusă. Este dotat cu un browser „Help” care permite descrierea sintaxei instrucțiunilor la cerere.

Prin caracteristicile sale, limbajul Matlab este foarte adecvat studiului sistemelor dinamice liniare și a structurilor de reglare automată a acestora. Pentru aceasta se utilizează toolbox-ul **Control System**. Acest toolbox conține o bibliotecă de funcții specifice pentru analiza și proiectarea sistemelor de conducere.

Sistemele pot fi considerate continue sau discrete. Sunt posibile conversii între diferitele reprezentări. Analiza comportării sistemelor modelate în Matlab este posibilă pe baza răspunsului în timp, în frecvență sau a calculului locului rădăcinilor.

Principalele facilități de calcul oferite de Control System Toolbox sunt următoarele:

- construcția modelelor sistemelor dinamice liniare, invariante în timp cu o intrare și o ieșire, utilizând diversele funcții din Control System Toolbox. Sunt posibile diversele reprezentări de modele: funcția de transfer, reprezentare de stare, reprezentare poli-zero-uri;
- conversii între diversele reprezentări;
- construcția modelelor sistemelor cu mai multe intrări și mai multe ieșiri;
- reprezentarea sistemelor discrete, conversii analogic-discret și invers, introducerea întârzierilor în modelul dinamic al procesului;
- conexiuni între diverse sisteme.

Simulink este un program performant pentru modelarea, simularea și analiza sistemelor dinamice, conceput ca o extensie a pachetului de programe Matlab. Se poate folosi pentru analiza sistemelor liniare și neliniare, continue și discrete, monovariabile și multivariabile etc. Definirea modelelor este realizată în mod grafic prin intermediul interfeței utilizator (GUI – *graphical user interface*).

Programul Simulink se utilizează în două faze: definirea modelului și analiza acestuia.

O sesiune de lucru tipică începe cu definirea modelului sau apelarea unui model definit anterior, după care se trece la analiza modelului respectiv. În practică, aceste două etape sunt efectuate adesea iterativ, astfel încât utilizatorul crează și modifică modelul pentru a realiza comportarea dinamică dorită.

Pentru a facilita definirea modelului, Simulink utilizează o nouă clasă de ferestre numite „diagrame bloc”. În aceste ferestre, modelele sunt create și desenate îndeosebi prin comenzi introduse cu ajutorul mouse-ului. În locul desenării blocurilor individuale, acestea sunt copiate din biblioteci. Bibliotecile standard sunt furnizate de Simulink, iar cele specifice sunt concepute de utilizator. O bibliotecă standard de blocuri este organizată în mai multe subsisteme, grupând blocuri cu o comportare asemănătoare. Blocurile pot fi copiate din aceste biblioteci, din alte biblioteci sau modele, în modelul cerut. Prin așezarea blocurilor frecvent utilizate într-un sistem și setarea preferințelor pentru valorile implicite, poate fi creată o

bibliotecă personală de blocuri. Aceasta poate conduce ulterior la o mare economie de timp în crearea unor modele noi.

După definirea modelului, acesta poate fi analizat fie prin alegerea opțiunilor din meniurile oferite de Simulink, fie prin utilizarea unor comenzi în ferestrele oferite de Matlab.

Evoluția simulării poate fi urmărită pe parcursul rulării experimentului de simulare, iar rezultatele finale pot fi regăsite în spațiul de lucru al programului Matlab după realizarea simulării.

Performanțele simulării, din punctul de vedere al vitezei și preciziei, variază în funcție de complexitatea modelului și de condițiile impuse simulării.

Pachetul de programe Simulink permite extensia facilităților mediului de programare Matlab și anume crearea prin mascare și inițializarea blocurilor grafice, crearea ferestrelor de dialog ale acestora, realizarea unor biblioteci de blocuri dedicate anumitor aplicații etc.

Simularea sistemelor de reglare a nivelului în decantorul primar

Dacă pentru reglarea nivelului se consideră ca mărime de execuție debitul de intrare Q_i , atunci schema de principiu a sistemului prezentat în figura 10.8 capătă aspectul din figura 10.10.

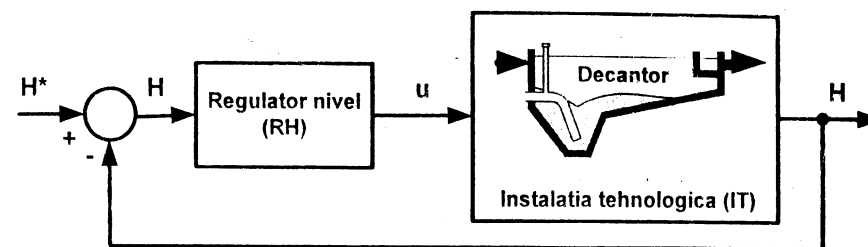


Fig. 10.10. Schema de principiu a sistemului de reglare a nivelului într-un decantor primar considerând ca mărime de comandă debitul de intrare Q_i .

Pe baza ecuațiilor deduse anterior, rezultă schema funcțională de simulare construită în Simulink, cu ajutorul blocurilor din bibliotecile programului, din figura 10.11.

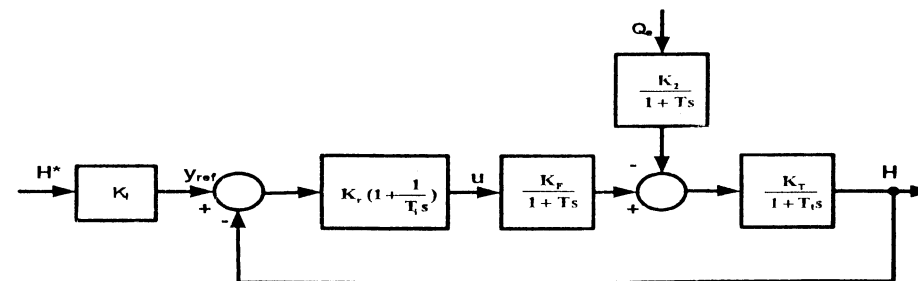


Fig. 10.11. Schema funcțională a sistemului de reglare nivel pentru decantor.

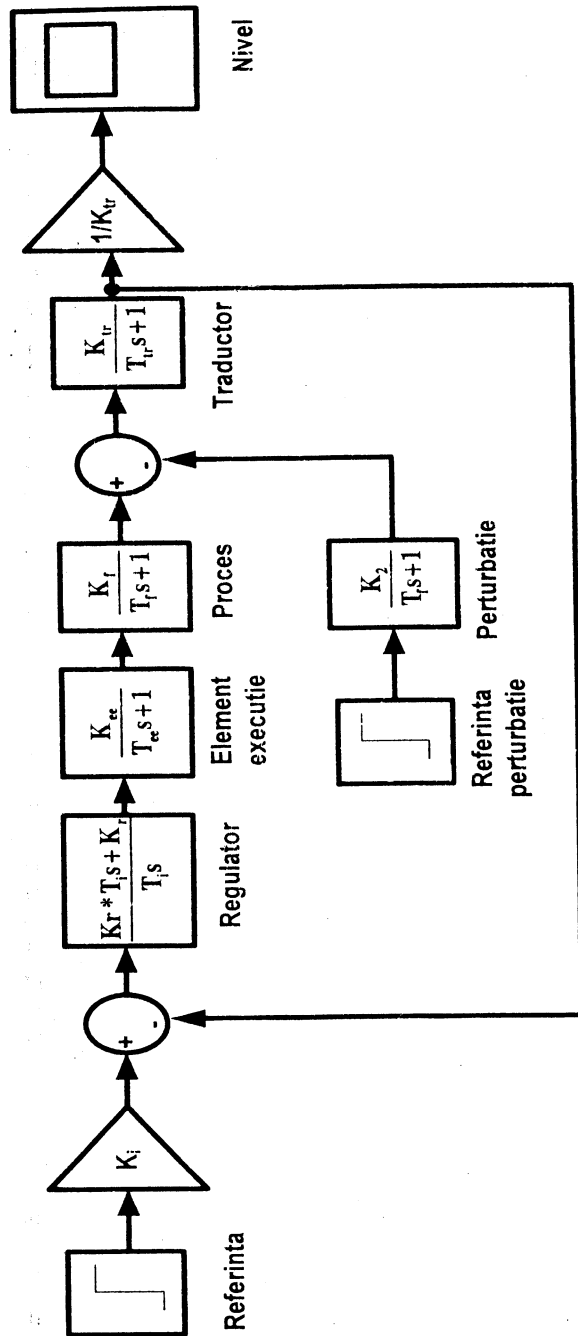


Fig. 10.12. Schema de simulare numerică în Simulink a sistemului de reglare nivel pentru decantor.

În schema funcțională din figura 10.11 blocurile de simulare au următoarea semnificație:

- $H_R(s) = K_r \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$ reprezintă funcția de transfer a regulatorului de tip PI, unde K_r este factorul de amplificare, iar T_i – constanta de timp de integrare.
- $H_F(s) = \frac{K_F}{1 + T_s}$ reprezintă funcția de transfer a procesului considerat un element de întârziere de ordinul I.
- $H_u(s) = \frac{K_T}{1 + T_i s}$ reprezintă funcția de transfer a traductorului de nivel considerat un element de întârziere de ordinul I.
- $H_p(s) = \frac{K_2}{1 + T_s}$ reprezintă funcția de transfer a perturbației.

Pe baza schemei funcționale prezentată în figura 10.11 se realizează schema de simulare numerică în Simulink (fig. 10.12).

Pentru a se realiza simularea numerică a schemei din figura 10.12 se elaborează un program în Matlab în care se introduc datele de simulare.

În urma simulării numerice se obțin o serie de rezultate care pot fi vizualizate grafic și se pot trage o serie de concluzii privind procesul de reglare al nivelului.

Se simulează schema din figura 10.12, dându-se o serie de valori factorului de amplificare al regulatorului PI și anume $K_r = 50, 100, 150$. Se obține răspunsul indicial al sistemului, prezentat în figura 10.13.

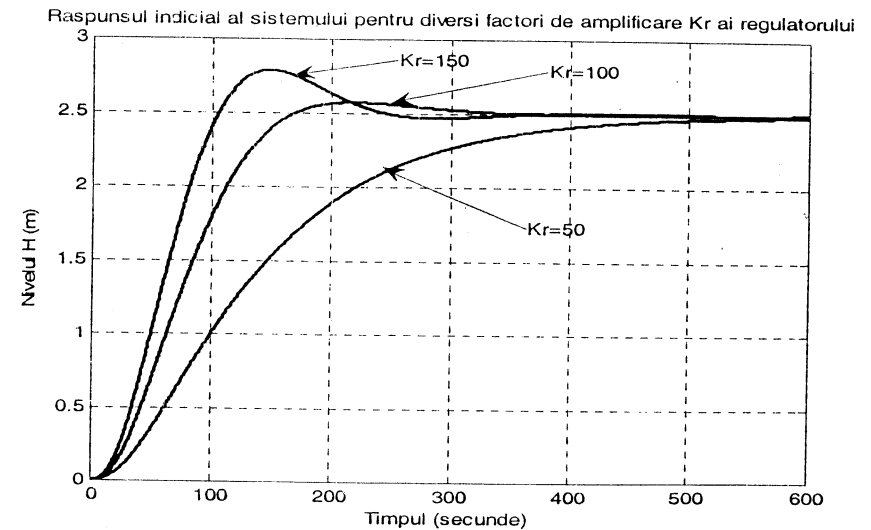


Fig. 10.13. Răspunsul indicial al sistemului pentru diferiți factori de amplificare K_r ai regulatorului PI.

Din analiza acestor grafice se constată că factorul de amplificare al K_r , regulatorului are o influență mult mai mare decât constanta de timp de integrare T_i . Acest lucru este explicabil, având în vedere valoarea mare a constantei de timp a procesului reglat.

Optimizarea răspunsului se face aplicând criteriul compensării celei mai mari constante de timp, în cazul de față constanta procesului.

Pentru a face comparația cu comportarea procesului fără reglare, în figura 10.15 se prezintă răspunsul procesului în buclă deschisă, pe baza schemei de simulare prezentată în figura 10.14, iar în figura 10.16, răspunsul procesului la comanda de evacuare al lichidului cu debitul maxim.

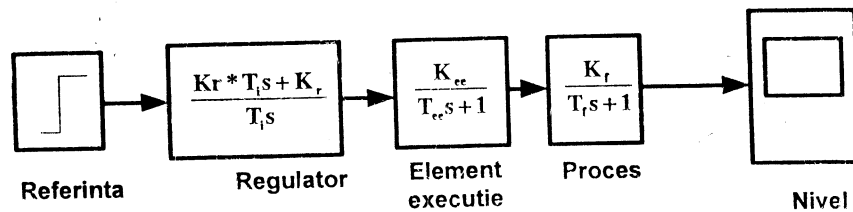


Fig. 10.14. Schema de simulare în Simulink a procesului în buclă deschisă a sistemului de reglare nivel pentru decantor.

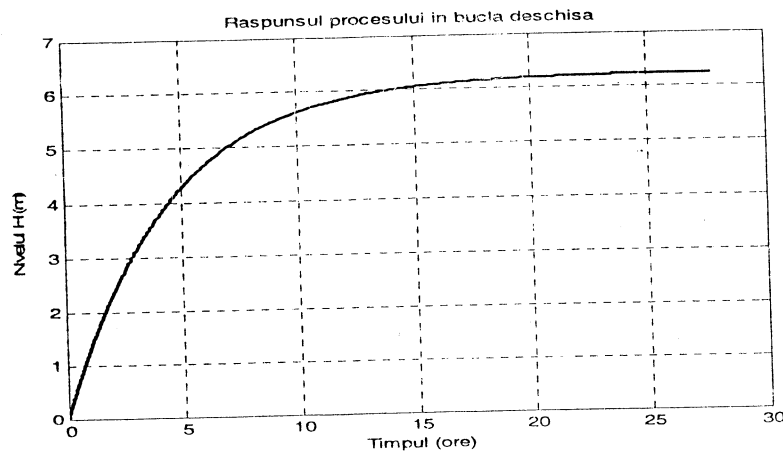


Fig. 10.15. Răspunsul procesului în buclă deschisă.

Procesul în buclă deschisă este caracterizat de o constantă de timp foarte mare. Cu regulatorul introdus, comportarea dinamică a procesului devine mult mai rapidă, fapt constatat și din analiza graficului prezentat în figura 10.13.

Se consideră referința zero și ca mărime de intrare în sistem debitul maxim de evacuare. În urma realizării experimentului de simulare numerică se obține rezultatul grafic prezentat în figura 10.16.

Se constată că variația debitului la ieșire influențează comportarea sistemului în sensul reducerii nivelului de referință.

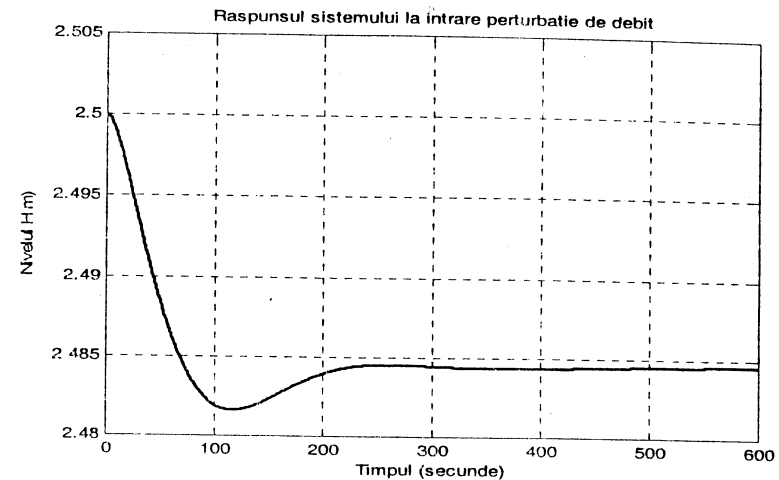


Fig. 10.16. Răspunsul procesului în raport cu perturbația de debit maxim la ieșire.

Simularea sistemelor de reglare a concentrației de impurități la ieșire în decantorul primar

Simularea sistemului de reglare a concentrației de impurități la ieșirea din decantorul primar are în vedere schema tehnologică din figura 10.17, pe baza căreia a rezultat schema de principiu din figura 10.18.

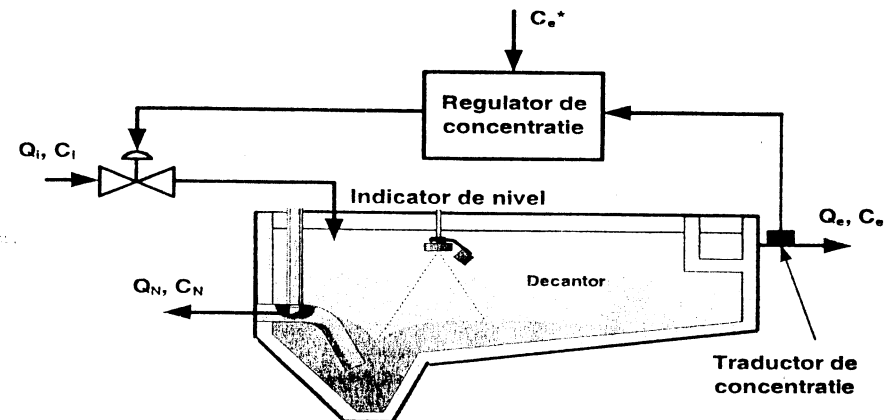


Fig. 10.17. Schema tehnologică a sistemului de reglare a concentrației de impurități la ieșirea decantorului.

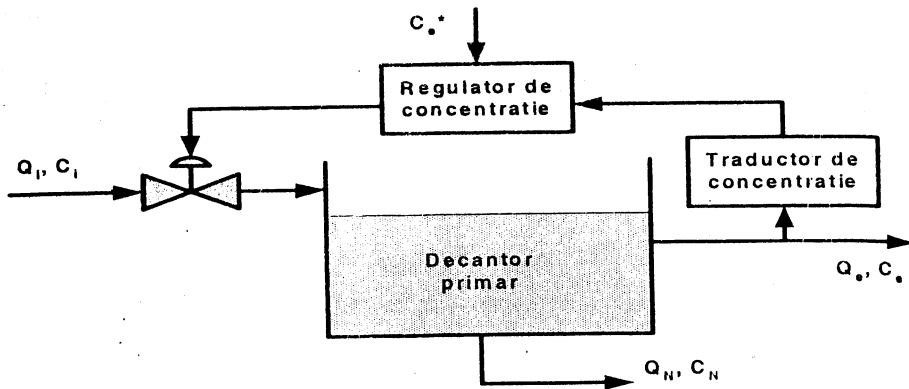


Fig. 10.18. Schema de principiu a sistemului de reglare.

Variația concentrației de impurități în decantorul primar se realizează după o lege neliniară exprimată de ecuația

$$\frac{dC}{dt} = \frac{kQ_i^3}{BHt_r} - \frac{ab}{t_r} C, \quad (10.11)$$

unde: a, b, t_r, k, B, H sunt parametrii specifici decantorului.

Pentru reglarea automată a concentrației de impurități modelul procesului trebuie discretizat prin înlocuirea derivatei continue cu derivata discretă $\frac{dy}{dt} = \frac{y(t+1) - y(t)}{T_e}$, unde T_e reprezintă perioada de eșantionare.

În aceste condiții modelul procesului este precizat prin expresia

$$y(t+1) = y(t) + T_e \left[\frac{kQ_i^3}{BHt_r} - \frac{ab}{t_r} y(t) \right].$$

Înlocuirea modelului continuu cu modelul discret, deși constituie o reprezentare aproximativă, oferă o precizie suficientă în practică de prezentare a fenomenelor reale, din instalația tehnologică.

Ecuația discretă a regulatorului automat de tip PI se obține din modelul continuu al acestuia folosind metoda dreptunghiului înainte (fig. 10.19):

$$u = K_r \left(\varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_{t-T_0}^t \varepsilon dt \right) \quad (10.12)$$

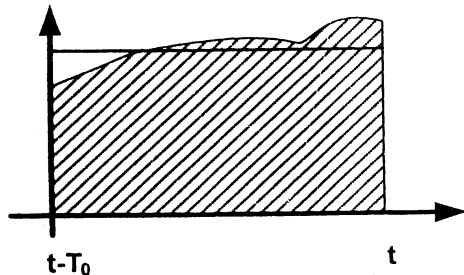


Fig. 10.19. Discretizare prin metoda dreptunghiului înainte.

După transformarea relației (10.12) se obține legea de comandă discretă de forma:

$$u(k) = K_r \left[1 + \frac{T_e}{T_i} \right] e(k) - \frac{K_r T_e}{T_i} e(k-1) \quad (10.13)$$

Eficiența decantorului primar este apreciată pe baza relației:

$$EF = \frac{C_i - C_e}{C_i} 100 \quad [\%] \quad (10.14)$$

Rezultatele simulării procesului de reglare a concentrației de impurități folosind limbajul Matlab se prezintă în figurile 10.20, 10.21, 10.22.

Pentru a simula eficiența decantorului se realizează un alt program Matlab, rezultatele în urma rulării acestuia fiind prezentate în figura 10.23.

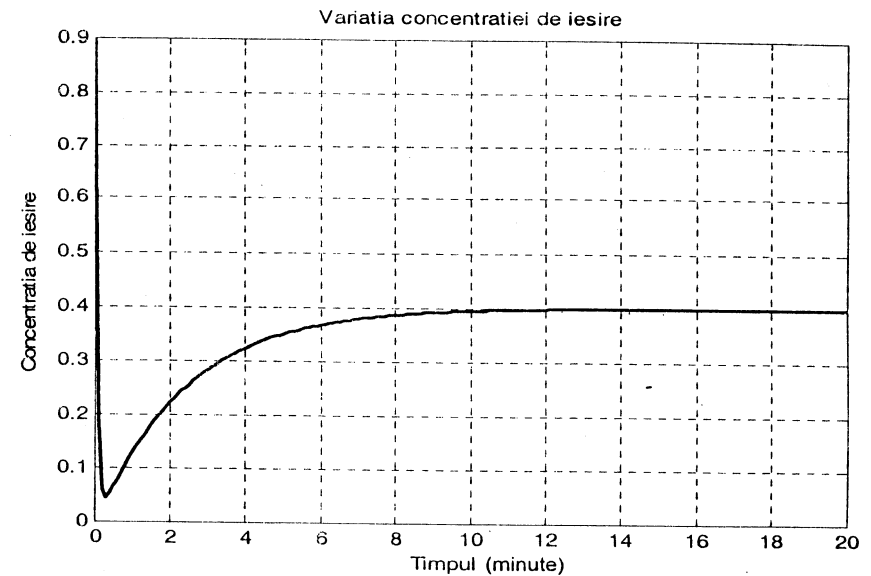


Fig. 10.20. Variația concentrației de ieșire.

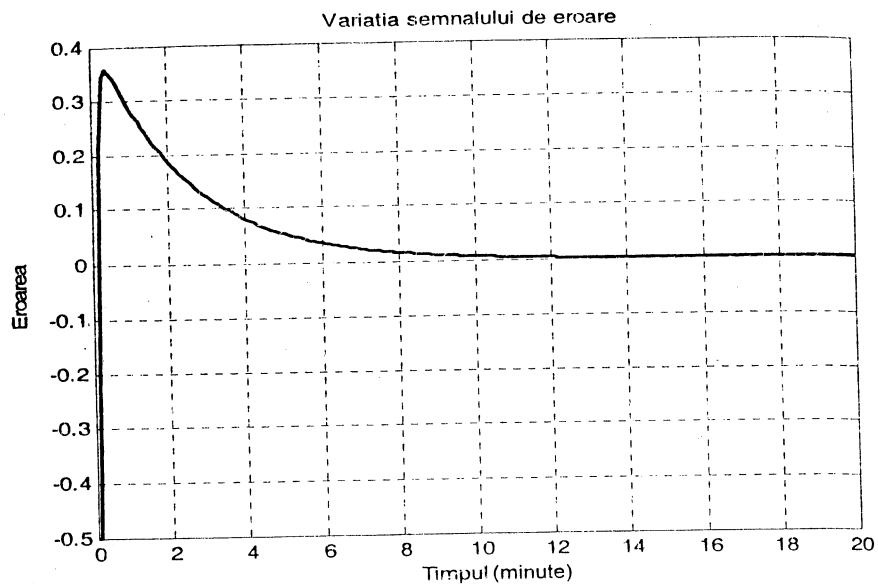


Fig. 10.21. Variația semnalului de eroare.

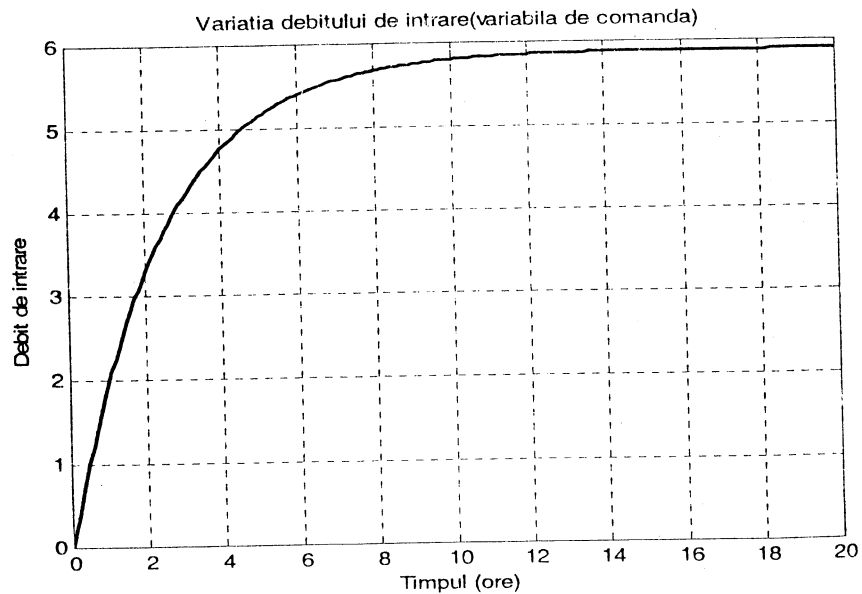


Fig. 10.22. Variația debitului de intrare (variabilă de comandă).

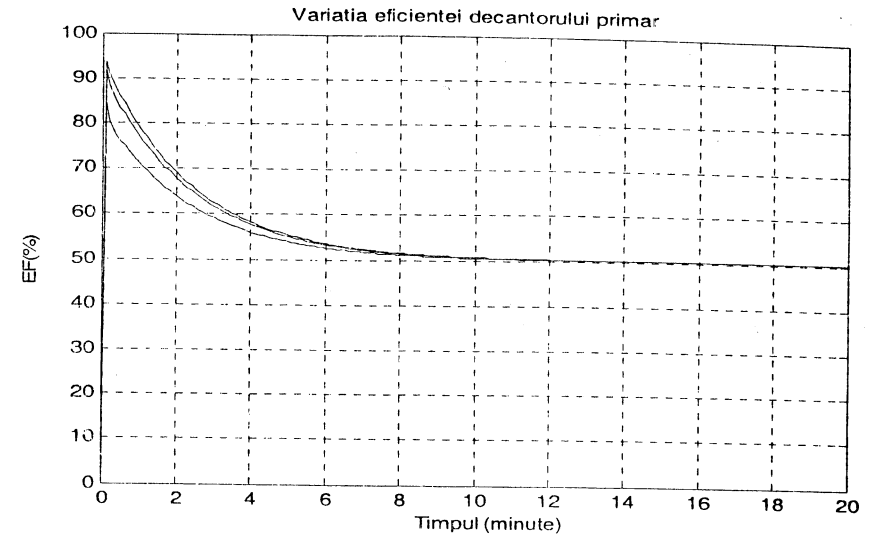
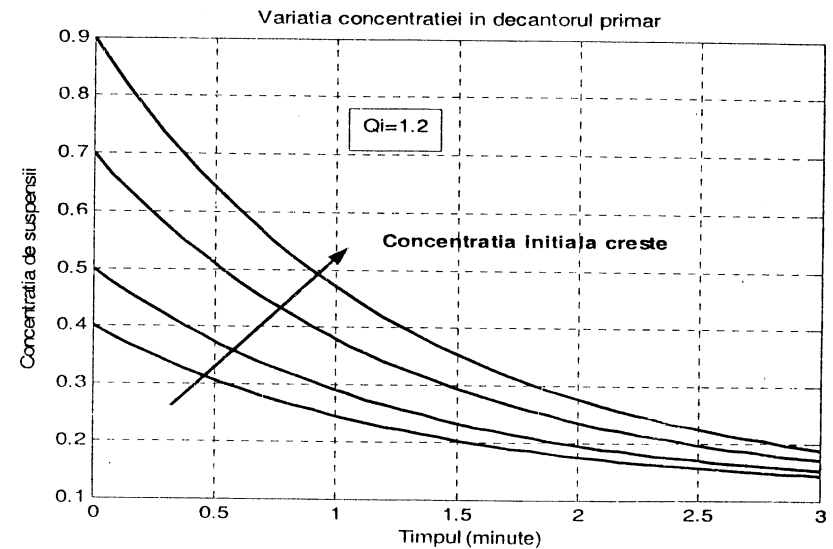


Fig. 10.23. Variația eficienței în decantorul primar.

Considerând debitul de intrare constant, $Q_i = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$, se determină variația concentrației în cadrul procesului de reglare (fig. 10.24).

Fig. 10.24. Variația concentrației în decantorul primar la variații ale concentrației de intrare C_i .

Se observă că, pe măsură ce concentrația inițială crește, se modifică caracteristica de reglare. Se deplasează prin translație spre valori mai mari ale concentrației de la ieșire

Realizându-se un program în care se menține concentrația inițială constantă $C_i = 0,5$ și se modifică debitul de intrare Q_i , rezultatele obținute se prezintă în figura 10.25.

Referitor la graficele din figura 10.25 se observă că, pe măsură ce crește debitul de intrare Q_i , concentrația de impurități la ieșirea decantorului primar crește.

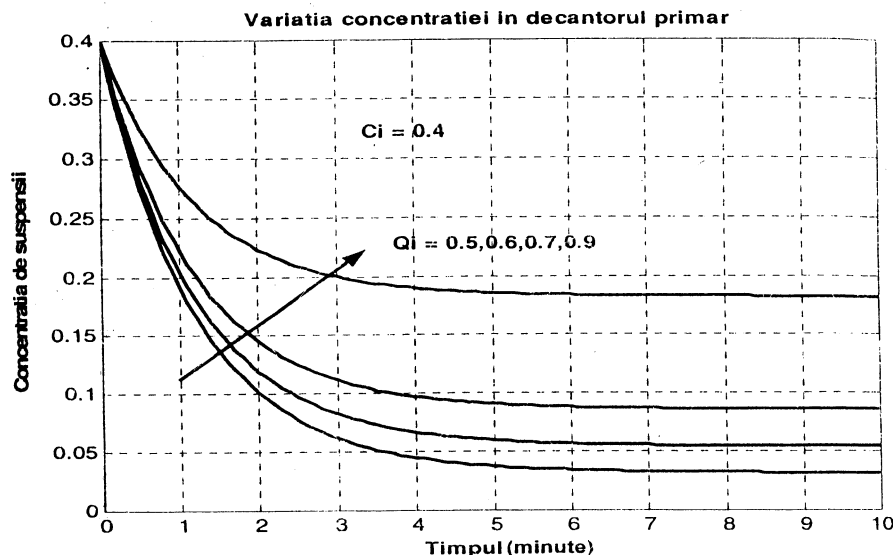


Fig. 10.25. Variația concentrației în decantorul primar la variații ale debitului de intrare Q_i .

10.4 Controlul avansat al proceselor de epurare

În perioada anilor 1960, prin controlul avansat al proceselor se înțelegea orice algoritm sau strategie care nu se încadra în controlerele clasice PID. Dezvoltarea calculatoarelor de proces a permis aplicarea unor algoritmi ce nu puteau fi realizați prin tehnologia analoagă. Astfel, au devenit posibile controlul feed forward, controlul multivariabil și controlul optim al proceselor. Controlul avansat al proceselor a devenit posibil în special datorită progreselor realizate de industria electronică. Astăzi, control avansat este sinonim cu implementarea

tehnologiilor bazate pe calculatoare. Prin controlul avansat nu trebuie înțeleasă doar utilizarea calculatoarelor multiprocesor sau a pachetelor software moderne și nici utilizarea unui algoritm de control sofisticat. Controlul avansat are un caracter multidisciplinar, bazându-se pe elemente de ingineria controlului, procesarea semnalelor, statistică, teoria deciziei, inteligența artificială, ingineria hardware și software.

10.4.1 Reglarea și controlul avansat prin utilizarea logicii fuzzy

10.4.1.1. Introducere

Calculul fuzzy se caracterizează prin faptul că permite manipularea conceptelor vagi care nu pot fi modelate prin concepte matematice exacte (numere, mulțimi sau funcții clasice). Problemele în care intervin concepte vagi apar în teoria controlului, când sistemele au caracter neliniar, iar stările lor nu pot fi descrise în mod exact, ci doar prin enunțuri, care au un grad de ambiguitate.

Principalele aplicații ale calculului fuzzy sunt: recunoașterea formelor; aproximarea funcțiilor; controlul sistemelor; compresia imaginilor.

Logica fuzzy se poate folosi cu succes în conducerea sistemelor datorită următoarelor caracteristici:

- se poate aplica la conducerea unui sistem neliniar al cărui model nu este cunoscut sau există o variație a parametrilor;
- este robustă în sensul că nu necesită intrări precise, neafectate de zgomot;
- regulatorul fuzzy procesează regulile definite de utilizator care guvernează problema de conducere fuzzy, iar acestea pot fi modificate în scopul îmbunătățirii sau alterării performanțelor sistemului;
- se poate aplica la conducerea sistemelor complexe, deoarece se pot genera numeroase intrări și ieșiri.

Dezavantajele metodologiei de conducere fuzzy sunt:

- lipsa unei metode generale de analiză a stabilității;
- regulile fuzzy generează numai funcții statice neliniare;
- lipsa unei proceduri sistematice generale pentru instruirea și acordarea automată a regulilor.

Controlul proceselor utilizând logica fuzzy este utilă atunci când modelul procesului nu este foarte sigur, dar procesul trebuie bine cunoscut, altfel, neglijând o regulă, controlerul poate funcționa necorespunzător.

10.4.1.2. Fundamentele logicii fuzzy

Bazele teoriei mulțimilor fuzzy au fost puse de către L. A. Zadeh în anul 1965. După apariția lucrării de referință a lui Zadeh, teoria mulțimilor fuzzy a cunoscut un progres rapid, mai ales după 1970 când devine o teorie matematică

avansată, cu numeroase domenii abstracte de dezvoltare. Implicațiile teoriei mulțimilor fuzzy asupra proceselor cognitive sunt profunde și conduc la o înțelegere dintr-o perspectivă mai largă a problemelor științifice și tehnice abordate prin prisma inteligenței artificiale.

Spectrul aplicațiilor actuale ale teoriei mulțimilor fuzzy este extrem de larg și în continuă diversificare, cu aplicații în industria electrocasnică, conducerea vehiculelor de transport, roboți industriali, luarea deciziilor în mediile economico-financiare, sisteme expert, diagnoza tehnică și medicală etc.

Dezvoltările spectaculoase din tehnologia electronicii și tehnicii de calcul au deschis calea utilizării teoriei mulțimilor fuzzy în practica sistemelor de reglare automată.

Primele utilizări în acest domeniu sunt atribuite lui E.H. Mamdani, care în 1974 a realizat primul regulator fuzzy pentru comanda unui motor cu aburi.

La fel ca sistemele expert, sistemele bazate pe logică fuzzy modelează experiența și comportamentul uman în luarea deciziilor, încorporând experiența operatorului uman în proiectarea sistemului de conducere.

În foarte multe cazuri, conducerea satisfăcătoare a proceselor complexe și puternic neliniare este dificil de realizat folosind tehnicile convenționale de reglare, care sunt dependente de utilizarea modelelor matematice liniare sau liniarizate. Dar liniarizarea este o idealizare matematică care poate fi utilizată numai ca o aproximare a sistemelor reale.

Utilizarea reguletoarelor bazate pe logică fuzzy nu necesită cunoașterea unui model exact pentru procesele reglate și pot fi aplicate cu succes și proceselor cu neliniarități esențiale.

Conducerea fuzzy pornește de la formularea acțiunilor de reglare cu ajutorul unor reguli lingvistice DACĂ-ATUNCI, care în mod uzual au forma:

DACĂ (premisă) → ATUNCI (concluzia)

în care premisa conține o serie de condiții, care sunt satisfăcute, iar concluzia conține comenzile care trebuie aplicate în cazul validării premisei.

Acest tip de comandă bazată pe cunoștințe devine foarte utilă pentru conducerea proceselor complexe, la care este dificil de construit un model matematic precis, în schimb un operator uman poate conduce acest proces.

Așadar spre deosebire de sistemele clasice, în care acțiunile de reglare se bazează pe mărimi ferme, cu valori numerice bine precizate, sistemele cu logică fuzzy folosesc o caracterizare calitativă a proceselor exprimată lingvistic pe care o adaptează permanent în funcție de modul de evoluție a acestor procese.

În contextul celor menționate mai sus, pot fi evidențiate următoarele avantaje ale sistemelor de conducere bazate pe logică fuzzy:

- Sistemele fuzzy asigură un raport performanțe-cost ridicat față de majoritatea sistemelor clasice;
- Conducerea fuzzy nu necesită o modelare riguroasă a procesului facilitând o abordare inginerască a acestuia;
- Sistemele fuzzy pot modela mult mai exact experiența unui operator uman, decât sistemele clasice și ca urmare pot implementa o bază de reguli lingvistice foarte dezvoltată;
- Abilitatea de a lucra cu informație imprecisă și imperfectă;
- Modelarea sistemelor complexe neliniare.

În cazul reglării fuzzy, algoritmi de reglare convențională sunt înlocuiți printr-o serie de reguli lingvistice de forma *dacă (premisă) atunci (concluzie)*. Astfel, se obține un algoritm euristic și poate să se ia în considerare experiența operatorului uman pentru conducerea proceselor. În aceste condiții, logică fuzzy se pretează foarte bine conducerii proceselor.

Reglarea fuzzy este o versiune simplificată a logicii fuzzy, prin aceea că în reglarea fuzzy se folosește o singură metodă de inferență, care este o combinație între valori exacte de intrare și reguli *dacă – atunci (if/then)*. Aceste reguli sunt reprezentate printr-o relație fuzzy binară.

Configurația de bază a unui regulator fuzzy are aspectul din figura 10.26.

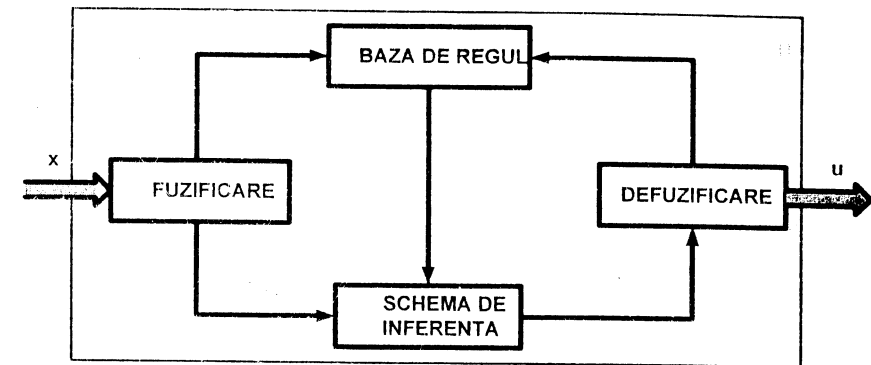


Fig. 10.26. Schema de principiu a unui regulator fuzzy.

Pe baza schemei din figura 10.26 se poate spune că un regulator fuzzy este alcătuit din:

- **Baza de reguli.** Aceasta este alcătuită din toate regulile *dacă-atunci*. În premise sunt introduse valorile de intrare x , astfel încât să se poată decide care regulă poate fi utilizată și care nu și în ce mod anume poate fi utilizată. Ieșirile regulilor care au fost activate sunt puse împreună și trimise spre interfața de defuzificare. Această bază de reguli este formulată de către un expert în conducerea procesului respectiv.

- **Fuzificarea.** Mărimile de intrare nu sunt mulțimi fuzzy, ci valori reale precise. Deci ele trebuie fuzificate, adică acestora trebuie să li se atribuie valori fuzzy. Aceste valori fuzzy se introduc în premisele *dacă – atunci*. Ca și rezultat se determină care regulă poate fi activată împreună cu gradul de apartenență rezultat de la fiecare regulă. Acest grad depinde de cât de mult intrarea și premisele regulii corespund una alteia.

- **Blocul de inferență.** În acest bloc se realizează, pe baza informațiilor fuzificate, evaluarea bazei de reguli în vederea obținerii concluziei vagi.

- **Defuzificarea.** Mulțimea fuzzy care vine spre a fi defuzificată are o formă foarte complicată, deoarece ea este o combinație de câteva mulțimi cu grade de apartenență limitate. Scopul interfeței de defuzificare este de a găsi o singură valoare reală precisă u care să cuprindă mulțimea fuzzy de ieșire.

În domeniul reglării fuzzy s-au dezvoltat numeroase structuri de reglare, care se bazează pe teoria logicii fuzzy.

Etapele de dezvoltare ale unui regulator fuzzy sunt:

- analiza structurală și funcțională a procesului de reglare în vederea cunoașterii comportării acestuia la diverse semnale de intrare și perturbații;
- modelarea matematică a procesului condus, simularea acestuia pe calculator și compararea cu eventuale date experimentale;
- alegerea schemei de reglare, a numărului și tipurilor de regulatoare fuzzy folosite;
- stabilirea mărimilor de intrare și ieșire din regulator, domeniile de variație a acestora;
- definirea termenilor lingvistici asociați mărimilor de intrare și ieșire și definirea funcțiilor de apartenență corespunzătoare;
- stabilirea bazei de reguli care realizează conectarea premiselor de concluzii, în acord cu descrierea lingvistică a comportării regulatorului;
- alegerea tipului de inferență și a metodei de defuzificare în funcție de caracteristicile și performanțele dorite pentru procesul condus;
- simularea în buclă deschisă a comportării regulatorului;
- simularea pe calculator a întregului sistem de reglare automată;
- acordarea regulatorului pentru optimizarea funcționării sistemului de reglare;
- implementarea practică a regulatorului fuzzy, care se poate face software sau hardware;
- validarea soluției și integrarea regulatorului în aplicația practică și acordarea finală a acestuia în vederea optimizării conducerii procesului.

10.4.1.3. Reglatoare fuzzy

Reglatoarele fuzzy sunt utilizate în diverse scheme de reglare, dintre care cele mai utilizate sunt prezentate în schema din figura 10.27 și sunt descrise în continuare:

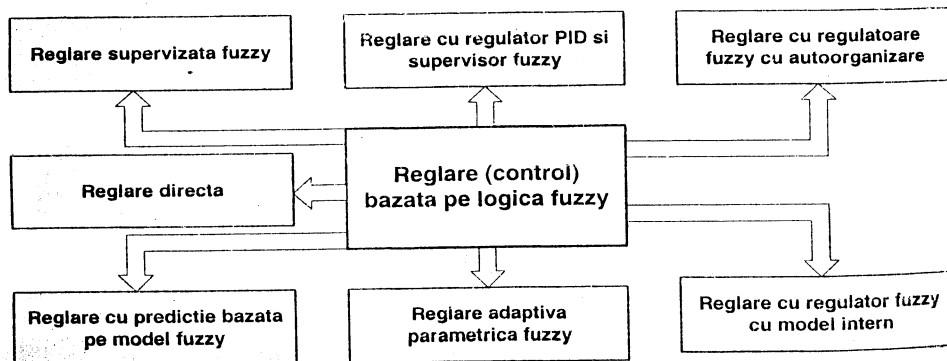


Fig. 10.27. Scheme de reglare a proceselor utilizând logică fuzzy.

Reglarea directă (direct fuzzy control) (fig. 10.28)

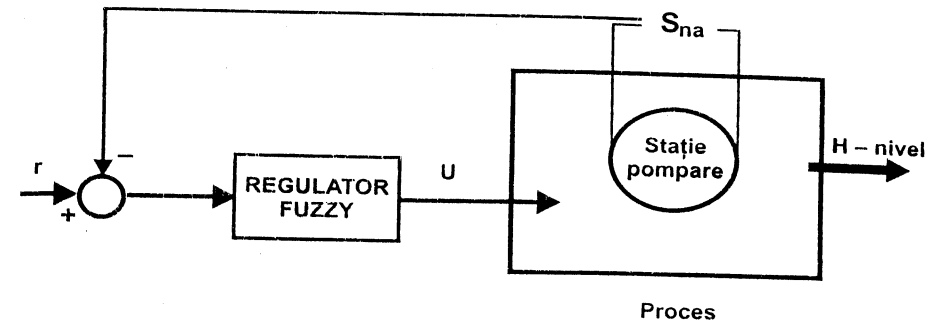


Fig. 10.28. Reglare directă a nivelului H în stația de pompare a apelor uzate din treapta fizică.

Ieșirea din proces este comparată cu referința și, dacă există un semnal de eroare, regulatorul emite o comandă conform cu strategia de control.

Avantaje: se poate folosi pentru sisteme cu intrări și ieșiri multiple (MIMO); pot fi încorporate cunoștințele operatorului uman; nu este necesar modelul procesului.

Dezavantaje: proiectarea și implementarea unui astfel de regulator depinde foarte mult de experiența inginerilor proiectanți.

Reglarea cu regulator PID și supervisor fuzzy (fuzzy PID supervisor) (fig. 10.29)

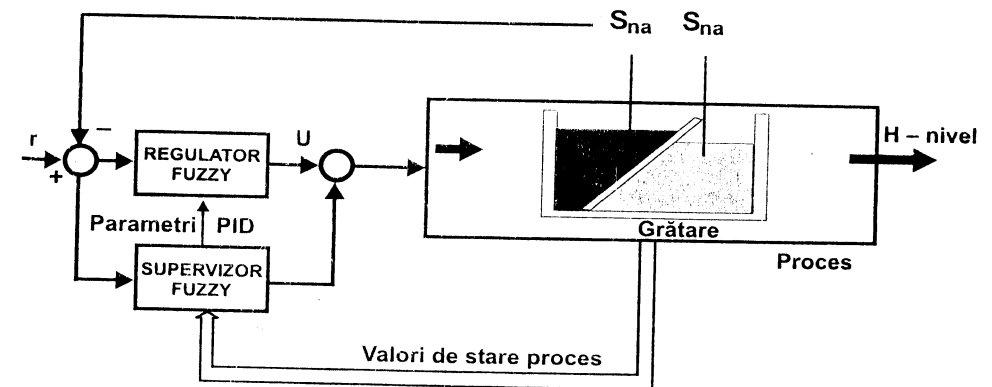


Fig. 10.29. Reglare cu regulator PID și supervisor fuzzy a nivelului din sistemul de grătare.

Schema de reglare constă din două bucle de reacție: prima este o buclă a unui sistem standard de reglare a unui proces liniar cu regulator PID; cea de a doua este un sistem supervisor fuzzy neliniar.

Avantaje: se poate aplica la schemele clasice de reglare deja implementate în practică; poate fi utilizat la sisteme cu dinamică rapidă; ușor de proiectat.

Dezavantaje: se poate aplica numai dacă regulatorul PID poate fi proiectat.

Reglarea supervizată fuzzy (fuzzy supervised control) (fig. 10.30)

Avantaje: permite utilizarea tuturor informațiilor despre proces (modele analitice, modele empirice, modele euristice etc.); se poate folosi pentru sisteme cu intrări și ieșiri multiple (MIMO).

Dezavantaje: timpul de răspuns relativ mare conduce la creșterea complexității algoritmului de control.

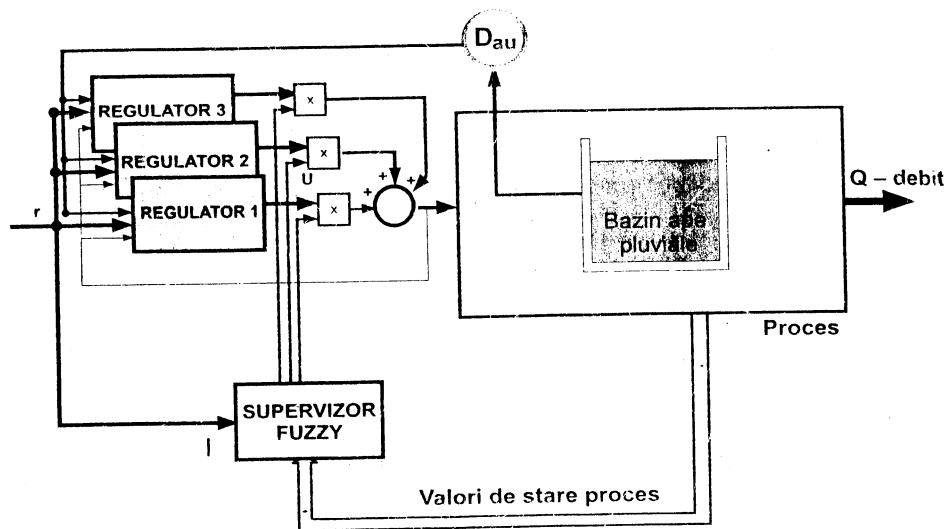


Fig. 10.30. Reglarea supervizată fuzzy a debitului din bazinul de ape pluviale.

Reglarea cu predicție bazată pe model fuzzy (fuzzy model based predictive control) (fig. 10.31)

Predicția presupune cunoașterea, cu o precizie mai mare sau mai mică a unor evenimente, care urmează să se producă după un timp predefinit. În cazul predicției se poate spune că efectul se cunoaște înaintea cauzei. În cazul sistemelor dinamice, dacă se cunoaște ținta impusă (fiind doar o condiție necesară nu și suficientă), atunci se poate elabora comanda, astfel încât la momentul dorit să avem realizarea impusă.

Pentru a anticipa corect evenimentele care urmează să se producă, se impune să se cunoască toate aspectele care contribuie la obținerea efectului dorit.

În cazul structurilor de reglare cu predicție, se cunoaște atât valoarea prescrisă pentru un orizont de timp predefinit, cât și modelul care permite calculul predictorului (fig. 10.32).

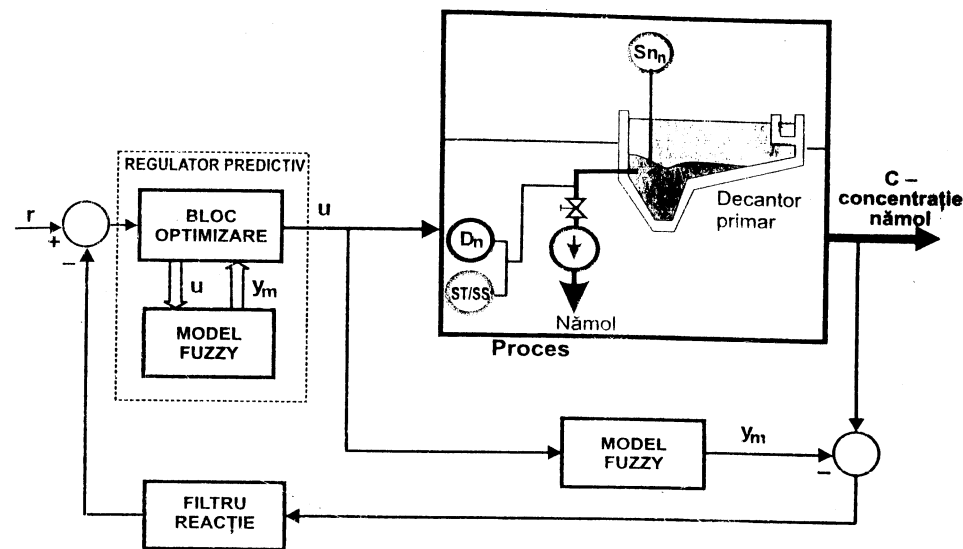


Fig. 10.31. Reglarea cu predicție bazată pe model fuzzy a concentrației de nămol din decantorul primar.

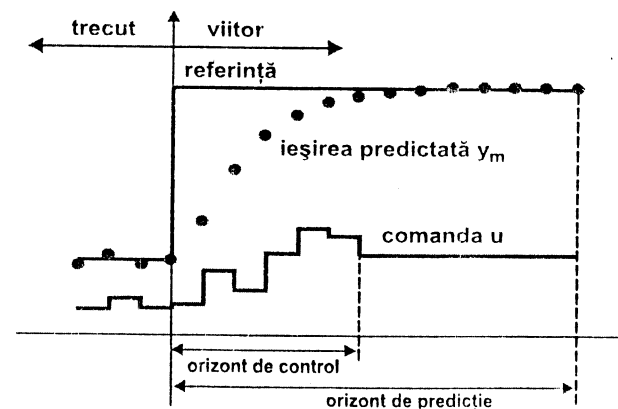


Fig. 10.32. Principiul reglării cu predicție.

Reglarea cu predicție se aplică în general sistemelor cu timp mort și/sau în cazul în care se dorește să se obțină reproducerea fidelă a mărimii prescrise sistemului.

În general sinteza legii de comandă presupune cunoașterea următoarelor elemente:

- mărimea prescrisă pentru un orizont finit de timp care trebuie să fie cel puțin mai mare decât timpul mort;
- modelul procesului pentru sinteza legii de comandă.

Reglarea adaptivă parametrică fuzzy (fuzzy parameter adaptive control) (fig. 10.33)

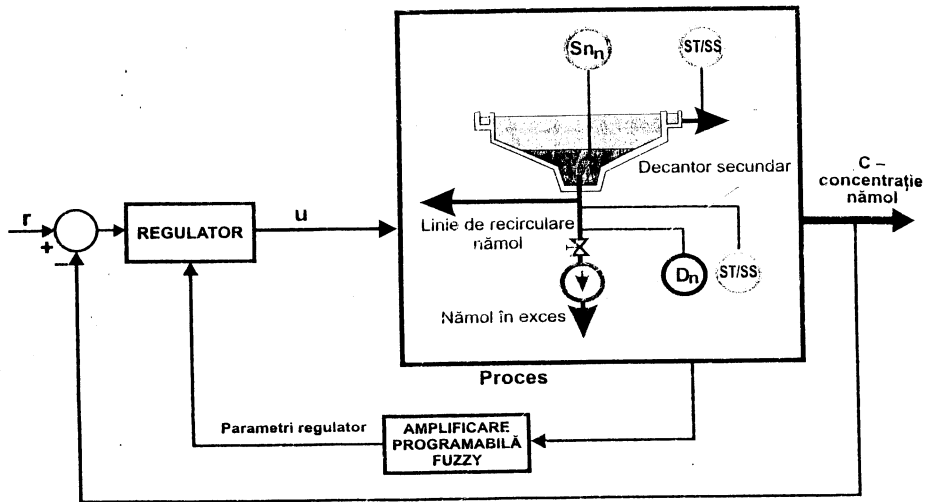


Fig. 10.33. Reglare adaptivă parametrică fuzzy a concentrației de nămol rezidual din decantorul secundar.

În prezența incertitudinilor parametrică și structurale inerente proceselor reale, soluțiile robuste de conducere nu au eficiența dorită în asigurarea invarianței performanțelor sistemului de reglare. Astfel, în afara buclei de reglare convențională (reacția negativă) se introduce în structura de reglare o *bucă de adaptare* al cărei rol este de a asigura adaptarea continuă a comenzii la variația parametrilor sau structurii modelului ce caracterizează procesul condus.

Reglare cu regulator fuzzy cu model intern (fuzzy internal model control) (fig. 10.34)

Verificarea stabilității sistemelor de reglare fuzzy este o problemă deoarece acestea sunt sisteme neliniare complexe. Nu există teorii particulare pentru astfel de sisteme, ci se folosesc metodele cunoscute pentru aprecierea stabilității sistemelor neliniare.

Principalele dificultăți care apar în dezvoltarea reglatoarelor fuzzy sunt legate de:

- numărul foarte mare de grade de libertate în proiectare;
- necesitatea asigurării unor proprietăți dinamice suplimentare (de exemplu, forță, efect de integrare ș.a.);
- în unele situații, baze de cunoaștere incomplete.

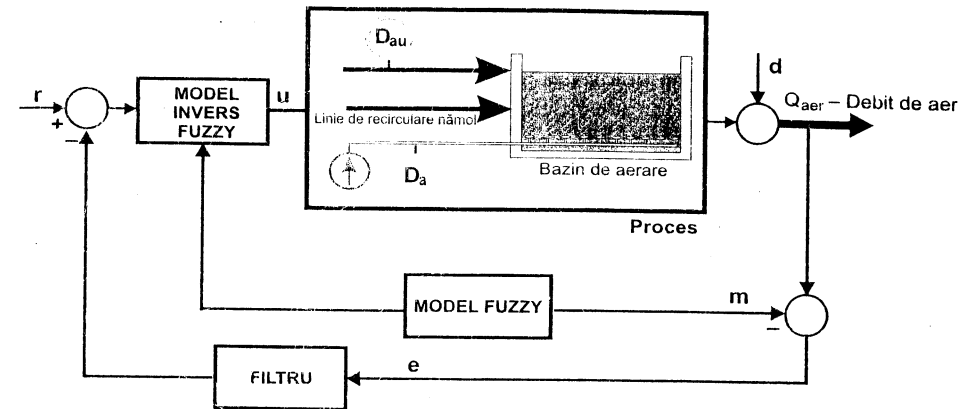


Fig. 10.34. Reglare cu regulator fuzzy cu model intern a debitului de aer din bazinul de aerare.

Din aceste motive, în practică se apelează adeseori la variante fuzzificate ale reglatoarelor convenționale, (de poziție, viteză, variabile de stare, polinomiale).

Ca dezavantaje ale conducerii fuzzy se menționează:

- necesită experiență din partea proiectantului în ceea ce privește selectarea unor parametri liberi ai regulatorului astfel încât să se obțină cel mai bun comportament al sistemului de reglare automată.
- datorită volumului mare de calcule implementarea este mai dificilă în comparație cu implementarea reglatoarelor convenționale.

Reglarea fuzzy se realizează în practică cu ajutorul unor echipamente numerice. De aceea este necesară o tratare în timp discret a sistemelor de reglare cu reglatoare fuzzy.

Datorită mării dezvoltări pe care au luat-o sistemele fuzzy, se poate vorbi de sisteme de conducere complexe, în care teoria reglării fuzzy este combinată cu teoria clasică a reglării adaptive, optimale sau combinată cu sisteme bazate pe rețele neuronale.

10.4.2. Reglarea și conducerea avansată prin utilizarea rețelelor neuronale artificiale

10.4.2.1 Considerații generale

O rețea neuronală artificială este un sistem distribuit de prelucrare paralelă a informației, software și/sau hardware, cu anumite performanțe comune rețelelor neuronale biologice, alcătuit dintr-un număr finit de elemente neliniare de procesare, numite neuroni artificiali, interconectate în conformitate cu o topologie dată și având capacitatea să-și modifice cantitativ valorile asigurate conexiunilor și parametrii proprii de procesare.

Rețelele neuronale, caracterizate de paralelism și capacitate de învățare, reprezintă o soluție de dezvoltare a reguletoarelor robuste și adaptive, mai ales în situații în care dinamica procesului este neliniară, complexă sau necunoscută.

Succesul rețelelor neuronale în aplicații de conducere se bazează pe posibilitățile rețelelor neuronale de a face față la trei probleme majore din conducerea proceselor: complexitate, neliniaritate, incertitudine.

Avantajele utilizării rețelelor neuronale (RN) sunt:

- Sunt instruibile, pot să își ia date și să învețe din ele. Se spune că au o capacitate de învățare generalizată. Ele oferă soluții prin prelucrarea datelor prezentate lor, adesea înglobând în rețea, relații mai puțin sesizate, mai subtile. Dependența rețelelor neuronale de reguli și cunoștințe apriorice este mai scăzută decât a structurilor bazate pe modele matematice. Rețelele neuronale pot fi utilizate pentru a se încerca rezolvarea unor probleme care nu au încă soluții.
- Rețelele neuronale pot generaliza. Ele pot manipula date imperfecte, dând dovada unei toleranțe la erori.
- RN au capacități de aproximare universală. Pot aproxima foarte bine comportarea oricărei funcții, cu orice ordin de precizie. Rețelele neuronale sunt neliniare, astfel că acestea pot reține interacțiuni complexe între variabilele unui sistem. Într-un sistem liniar, modificând o intrare se produce o variație proporțională la ieșire și efectul intrării depinde numai de propria ei valoare. Într-un sistem neliniar, efectul depinde și de valoarea altor intrări, iar relația este o funcție complexă.
- RN sunt puternic paralele: ele pot executa un număr mare de operații simple, identice în paralel, simultan. Echipamentele paralele pot executa sarcini într-un timp de sute de ori mai scurt decât procesoarele seriale convenționale. În cazurile practice simple RN se simulează pe echipamente de calcul cu o singură unitate centrală, deci în mod secvențial. Condiția de paralelism nu poate fi realizată decât în cazul ideal în care există la dispoziție un echipament puternic paralel, în care fiecare neuron să fie implementat printr-o unitate de calcul.

▪ RN pot construi modele estimate ale proceselor analizate direct din date multidimensionale culese de traductoare din proces. Construirea modelelor se face prin învățare, într-un proces care se desfășoară în timp. În practică, mai toate aplicațiile de conducere neuronale folosesc RN artificiale ca modele sau reguletoare.

- Rețelele neuronale sunt ușor de utilizat, putându-se scrie pentru învățarea acestora programe proprii de către un utilizator oarecare, sau se pot utiliza programe de simulare deja existente.

10.4.2.2 Noțiuni introductive privind rețelele neuronale

Principiile biologice ale rețelelor neuronale (RN)

Majoritatea cercetărilor, în domeniul rețelelor neuronale artificiale, au fost inspirate și influențate de cunoștințele, existente la un moment dat sau altul, despre sistemul nervos biologic. Creierul uman este un sistem complex, capabil să gândească, să-și aducă aminte și să rezolve probleme.

Unitatea celulară fundamentală a sistemului nervos al creierului uman este **neuronul**. Un neuron biologic (fig. 10.35) este o celulă care recepționează stimuli electrochimici de la surse multiple (senzori) și răspunde prin generarea unor impulsuri electrice ce vor fi transmise altor neuroni sau celule efectoare (mușchi sau glande).

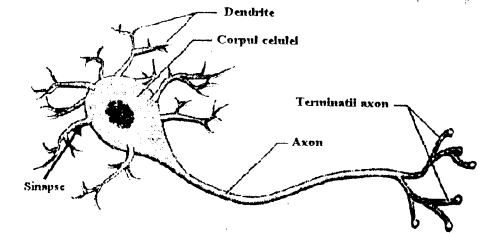


Fig. 10.35. Structura neuronului biologic uman.

Neuronul este compus din nucleu (sau soma), corpul celulei, numeroase legături **dendritice** care produc conexiuni de la alți neuroni prin **sinapse** și un trunchi **axon** ce transportă o acțiune potențială de ieșire la alt neuron prin legături terminale și sinapse.

Analiza neuronului biologic sugerează o serie de caracteristici susceptibile de a fi preluate de un model de neuron artificial:

- neuronul este un element de procesare care primește mai multe semnale;
- semnalele corespunzătoare stimulilor de intrare pot fi modificate prin asocierea unei ponderi variabile sinapsei receptoare;
- neuronul însumează semnalele de intrare ponderate;
- neuronul transmite un singur semnal de ieșire;
- ieșirea unui neuron poate fi transmisă mai multor neuroni;
- prelucrarea informației este locală;
- memoria corespunzătoare este distribuită; memoria de lungă durată rezidă în sinapsele neuronilor sau în ponderi; memoria de scurtă durată corespunde semnalelor transmise de neuroni;
- durabilitatea unei sinapse poate fi modificată prin experiență;
- neurotransmițătorii biologici pot fi excitatori sau inhibitori.

Un sistem biologic este tolerant la defecte, în sensul că suportă defectarea sistemului însuși. În decursul vieții, o cantitate importantă de neuroni ai creierului uman mor și sunt înlocuiți. În ciuda pierderii continue de neuroni, omul continuă să

învețe, datorită faptului că alți neuroni „se antrenează” pentru a prelua funcțiile celor ce își încetează activitatea. Similar, rețelele neuronale artificiale trebuie să fie insensibile la mici avarii și reantrenabile în cazul unor avarii semnificative.

Neuronul artificial

Rețelele neuronale sunt sisteme de procesare a informației, compuse din unități simple de procesare interconectate între ele. Ponderile legăturilor dintre unități sunt cele care memorează informația învățată de rețea. Rețeaua învață prin ajustarea acestor ponderi, conform unui algoritm sau reguli de învățare.

Fiecare unitate sau neuron poate fi gândită ca un procesor operând independent de celelalte unități din rețea. Modelul unui neuron artificial este prezentat în figura 10.36.

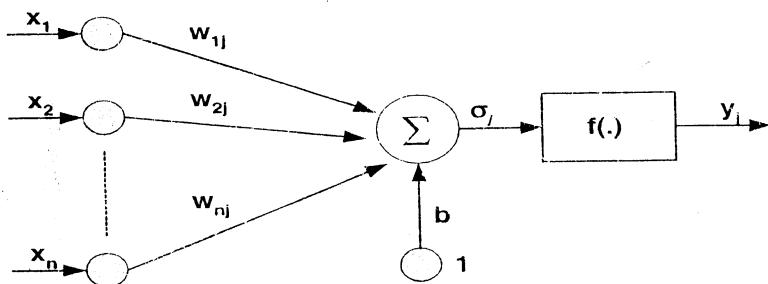


Fig. 10.36. Modelul de bază al unui neuron artificial.

Neuronul artificial sau elementul de procesare poate fi considerat a avea două componente:

- un sumator/comparator (realizează suma intrărilor ponderate);
- o funcție neliniară definită printr-o caracteristică statică.

Ieșirea y_j a neuronului j din rețea este calculată conform relațiilor de mai

jos:

$$\sigma_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i + b \quad (10.15)$$

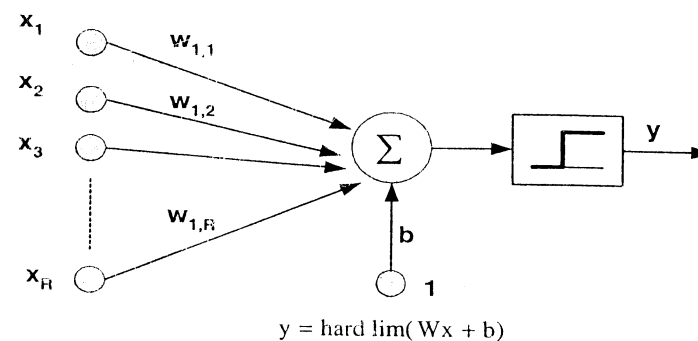
$$y_j = f(\sigma_j) \quad (10.16)$$

unde: x_i – intrări; w_{ij} – ponderea legăturii dintre nodul i și nodul j ; b – prag sau termen de polarizare (**bias**) a nodului j , reprezintă influența unei intrări constante (+1) și permite modificarea focarului funcției de activare; $f(\cdot)$ – funcția de activare a nodurilor din rețea; y_j – ieșirea neuronului j .

10.4.2.3 Arhitecturi de rețele neuronale (RN)

Arhitecturi de rețele neuronale (RN) de tip feedforward

Modul în care sunt realizate legăturile între nodurile rețelei definește arhitectura rețelei neuronale. Rețelele de tip feedforward au legăturile dintre noduri direcționate numai într-un singur sens. Perceptronul simplu (fig. 10.37) reprezintă un neuron artificial care utilizează ca funcție de activare, funcția treaptă (*hardlim*).

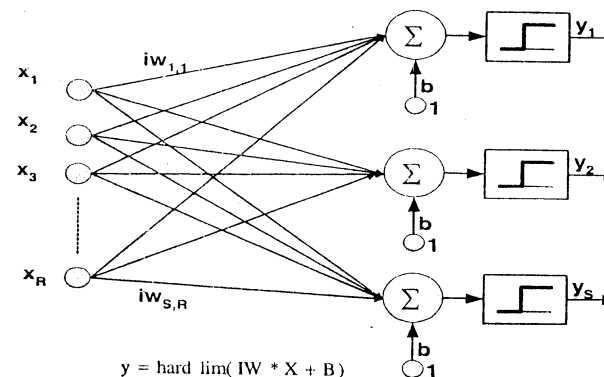


$$y = \text{hard lim}(Wx + b)$$

Fig. 10.37. Perceptron simplu.

Mărimile din figura 10.38 au următoarea semnificație: x_1, x_2, \dots, x_R – vectorul datelor de intrare (pattern-uri); $w_{1,1} \dots w_{1,R}$ – vectorul conexiunilor ponderilor; b – termen de polarizare (bias) de valoare constantă 1; y – mărimea de ieșire.

Fiecare intrare este ponderată cu valoarea ponderii w_{1j} , și suma intrărilor ponderate este trimisă spre funcția de activare de tip treaptă, care de asemenea are și o intrare 1 transmisă prin b . Rețeaua de tip perceptron cu un singur strat este formată dintr-un singur strat de S perceptroni simpli (perceptroni neuroni) conectat cu R intrări printr-un set de ponderi $w_{i,j}$, figura 10.38.



$$y = \text{hard lim}(IW * X + B)$$

Fig. 10.38. Rețea de tip perceptron cu un singur strat.

Într-o rețea de tip perceptron ponderile conexiunilor și pragul b pot fi fixe sau pot fi ajustate conform unui algoritm.

Principalul dezavantaj al rețelei de tip perceptron cu un singur strat este acela că nu poate să rezolve decât probleme liniar separabile. Rumelhart și McClelland au propus în 1986 un nou model de rețea, denumit **perceptron multistrat (multilayer perceptron MLP)**. În figura 10.39 se prezintă o rețea de tip MLP cu 3 straturi.

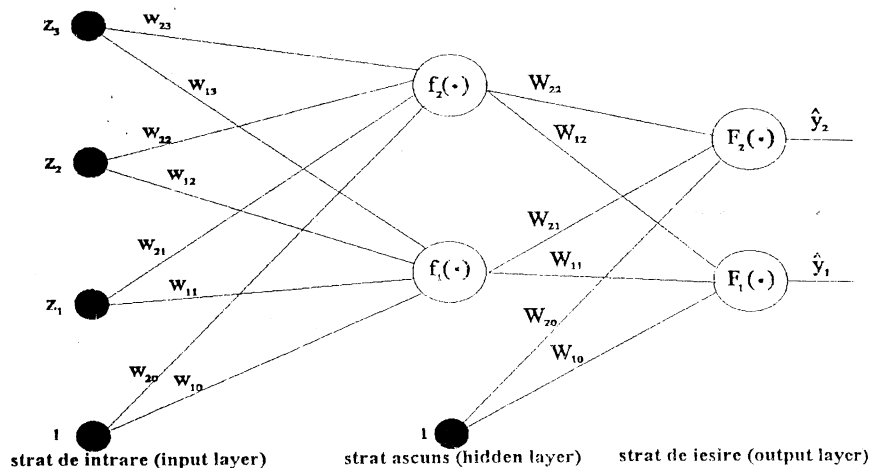


Fig. 10.39. Rețea de tip perceptron multistrat MLP.

Se observă existența straturilor:

- **strat de intrare (input layer)** – stratul de intrare este un strat inactiv, rolul său este de a transmite mai departe semnalul de eroare;
- **strat ascuns (hidden layer)** – realizează o codare internă prin modificarea ponderilor conexiunilor dintre straturi, în vederea reducerii valorii funcției eroare la ieșire (depinzând de diferența între valoarea dorită ieșirii și valoarea reală a acesteia).
- **strat de ieșire (output layer)**

Fiecare perceptron simplu din straturile ascunse și stratul de ieșire este caracterizat de o funcție de activare continuu diferențabilă.

Modelul Adaline

Modelul Adaline (*Adaptive Linear Neuron Network*) este similar perceptronului simplu, cu singura diferență că funcția de activare este liniară (*pureline*) (fig. 10.40). A fost introdus de Widrow și Hoff. Poate rezolva, ca și perceptronul, numai probleme liniar separabile.

Ajustarea ponderilor se face printr-o procedură de învățare adaptivă. Regula de adaptare a ponderilor într-o rețea Adaline este cunoscută sub denumirea de regula LMS (*least mean square*). Este similară regulii de învățare a

perceptronului și permite ajustarea valorilor ponderilor în funcție de amplitudinea erorii și nu doar în funcție de prezența sau absența acestei erori.

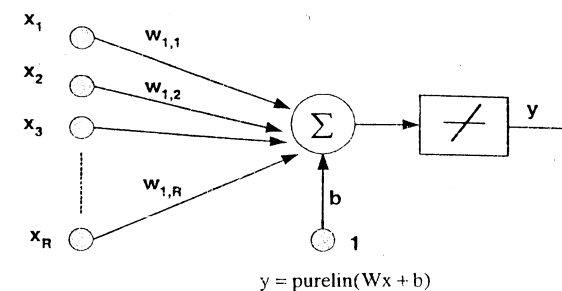


Fig. 10.40. Rețea de tip Adaline.

Modelul Madaline

Prin combinarea mai multor neuroni liniari într-o rețea se creează o rețea Madaline (*Many Adaline*) (fig. 10.41).

Regula de adaptare în acest caz este o formă de învățare supervizată. Ponderile sunt modificate pentru a reduce eroarea pentru pattern-ul curent de antrenare conform principiului perturbației minime (*trial and error*).

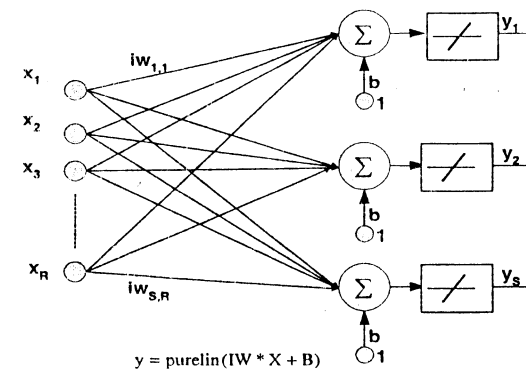


Fig. 10.41. Rețea de tip Madaline.

Rețele de tip RBF (*radial basis function*)

În figura 10.42 se prezintă o rețea de tip RBF cu un singur strat, cu R intrări și o ieșire scalară.

Rețelele de tip RBF sunt rețele liniare cu aplicații în domenii cum ar fi: clasificare, regresie, predicția seriilor de timp.

Funcția de activare pentru neuronul radial basis este:

$$\text{radbas}(n) = e^{-n^2} \quad (10.17)$$

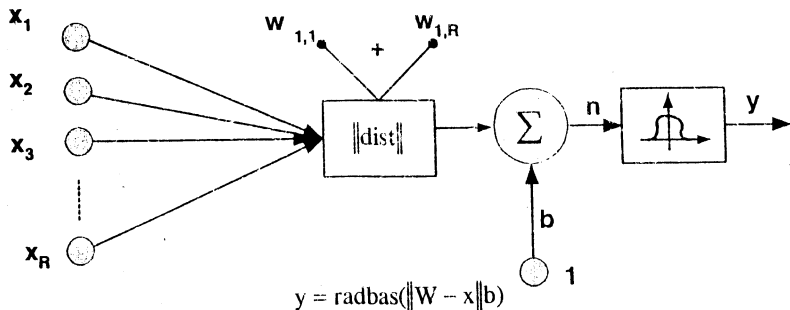


Fig. 10.42. Rețea de tip RBF.

Argumentul funcției de activare este vectorul distanță dintre vectorul pondere w și vectorul de intrare x , multiplicată cu pragul, (biasul) b .

Funcția radbas are un maxim egal cu 1 când intrarea este 0. Când distanța dintre w și p scade, ieșirea funcției crește. Neuronul radial basis acționează ca un detector care produce 1 ori de câte ori intrarea x este identică cu vectorul pondere w . Biasul b permite ajustarea sensibilității funcției radbas.

Rețele de tip Kohonen

Rețelele de tip Kohonen au fost prima dată introduse de către Teuvo Kohonen în 1982 (fig. 10.43). Se mai numesc și rețele neuronale cu autoorganizare tip hartă de trăsături (*feature map*). Este probabil cel mai folosit tip de rețele neuronale, dacă se vrea simularea modului de învățare al creierului uman.

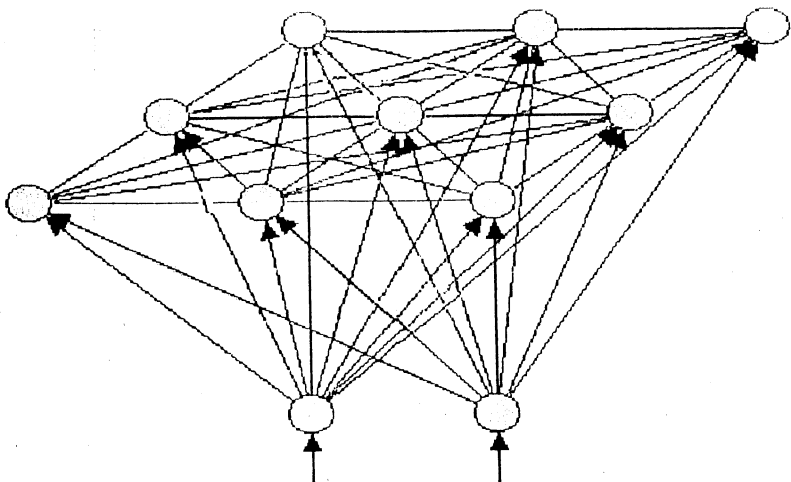


Fig. 10.43. Arhitectura de rețea de tip Kohonen.

Rețelele neuronale cu autoorganizare tip hartă de trăsături au neuronii stratului de ieșire dispuși în straturi uni sau bidimensionale, iar aceștia sunt selectiv acordați pentru a răspunde tiparelor aplicate la intrarea rețelei.

Se remarcă tendința de formare a unor hărți topologice ale tiparelor aplicate la intrare în sensul în care locațiile spațiale ale neuronilor stratului de ieșire corespund trăsăturilor intrinseci ale tiparelor de intrare.

Arhitecturi de rețele neuronale recurente

Rețelele de tip MLP pot fi generalizate în scopul funcționării într-o manieră recurentă prin conectarea ieșirilor la una sau mai multe unități de procesare din straturile anterioare sau de la intrare. Incorporarea reacției determină schimbări în funcționare și învățare, în anumite situații având avantajul creșterii puterii de calcul a rețelei respective.

Rețeaua recurentă (fig. 10.44) poate avea conexiuni laterale în același strat, cât și conexiuni care transmit semnalele înapoi de la straturile de ieșire către straturile anterioare.

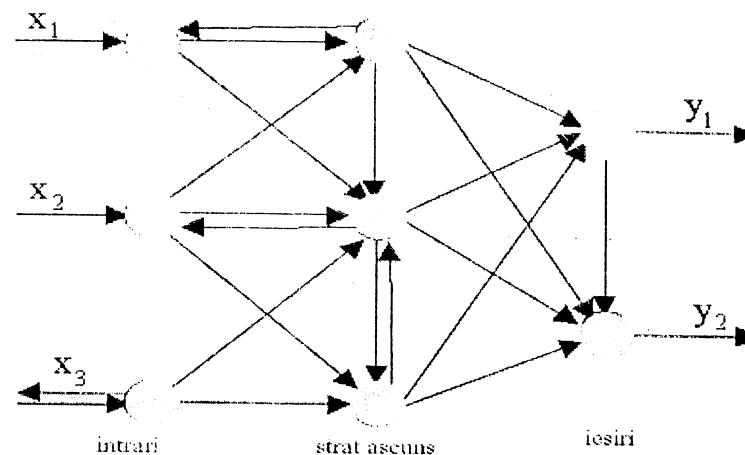


Fig. 10.44. Arhitectura generală a unei rețele recurente.

Într-o astfel de rețea, ecuațiile nodurilor sunt descrise prin ecuații cu diferențe finite sau ecuații diferențiale. O astfel de rețea este importantă, deoarece marea majoritate a sistemelor reale sunt sisteme dinamice neliniare. O rețea recurentă poate învăța să aproximeze funcții de timp sau poate executa o secvență de operații al căror scop final este de a permite ieșirii (stării) rețelei să convergă la un punct fix (stare de echilibru).

Rețeaua nu mai este văzută ca fiind formată din mai multe straturi de neuroni, ci constând dintr-un număr de elemente de procesare interconectate, fiecare nod i putând fi conectat cu oricare nod j , inclusiv cu el însuși în cazul $i = j$. Fiecare dintre unitățile de procesare poate fi considerată nod de ieșire, în timp ce

anumite unități pot fi considerate intrări, ele primind semnale din exteriorul rețelei. Semnalele de reacție (de tip feedback) transmise între neuroni în astfel de rețele sunt responsabile pentru comportarea dinamică a RN.

Rețele de tip Hopfield

Rețelele de tip Hopfield au fost prima dată introduse de către J.J. Hopfield în 1982 și aparțin RN numite „modele termodinamice”.

Este alcătuită dintr-un set de neuroni, set în care fiecare neuron este conectat cu toți neuronii. Nu există diferențe între neuronii de intrare și neuronii de ieșire (fig. 10.45).

Ponderile sunt simetrice, adică $w_{ij} = w_{ji}$, unde w_{ij} reprezintă ponderea legăturii nodului i cu nodul j .

Cel mai des se folosește acest tip de rețele la recunoașterea paternurilor (de exemplu a imaginilor).

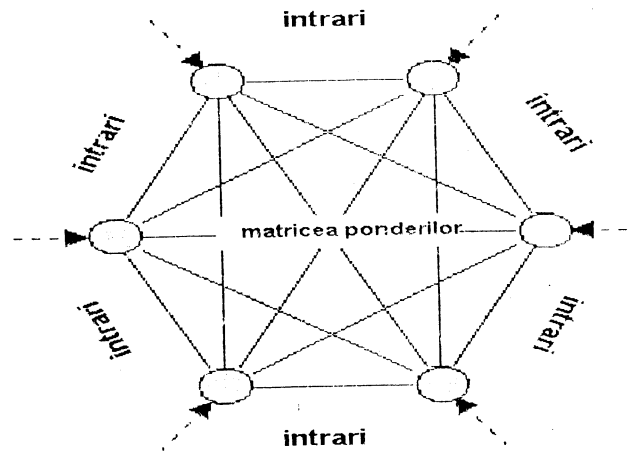


Fig. 10.45. Arhitectura generală a unei rețele de tip Hopfield.

10.4.2.4 Structuri de sisteme de conducere cu rețele neuronale

Problema aplicării rețelelor neuronale în conducerea proceselor este aceea de a determina ieșirile regulatorului reprezentat de o rețea neuronală, ieșiri ce devin intrări ale procesului, dându-se starea curentă a procesului. Câteva dintre avantajele reguletoarelor neuronale în raport cu cele convenționale sunt:

- un regulator neuronal poate utiliza în mod eficient (în proiectarea și execuția unei acțiuni de comandă) o mai mare cantitate de informație de la senzori decât reguletoarele clasice;
- capacitatea de procesare ridicată a unui regulator neuronal îi permite să răspundă rapid la intrări complexe în timp ce viteza de execuție a unor algoritmi complecși într-un regulator convențional are limitări severe;

- regulatorul neuronal permite realizarea unei conduceri corespunzătoare datorită „învățării”.

Sistemele de control, bazate pe RN pot fi împărțite în două categorii de bază:

- **controlul direct** – rețeaua neuronală implementează direct regulatorul (RN este antrenată să lucreze ca un regulator, determinând acțiunile de control în mod direct);
- **controlul indirect** – regulatorul nu este o RN dar este bazat pe modelul RN al procesului, (rețeaua neuronală este antrenată să reprezinte inversul procesului de condus, calculând intrările necesare în proces care produc ieșirile dorite ale procesului).

În figura 10.46 sunt prezentate principalele metode de control bazate pe rețele neuronale.

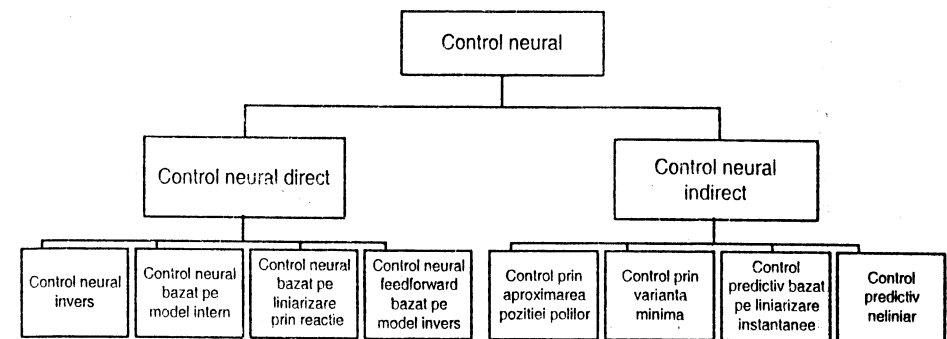


Fig. 10.46. Metode de control bazate pe rețele neuronale.

A. Controlul neuronal direct

În cazul acestei tehnici de control (fig. 10.47), rețeaua neuronală care implementează regulatorul trebuie să acționeze ca orice regulator tradițional: dându-se eroarea ϵ , rețeaua trebuie să producă mărimea de control u care micșorează valoarea erorii ϵ . Această metodă se aplică atunci când regulatorul neuronal va înlocui un regulator obișnuit, cum ar fi un regulator de tip PID. Rețeaua va fi antrenată inițial cu un set de date extrase din funcționarea regulatorului PID, urmând ca ponderile rețelei să fie rafinate ulterior, atât off-line, cât și on-line, cu date adiționale.

Principalele structuri de conducere de tip control direct sunt:

- controlul neuronal invers (*direct inverse control*);
- controlul neuronal bazat pe model intern (*internal model control*);
- controlul neuronal bazat pe liniarizare prin reacție (*feedback linearization*);
- controlul neuronal de tip feedforward bazat pe modelul invers (*feedforward control*);
- controlul optimal (*optimal control*).

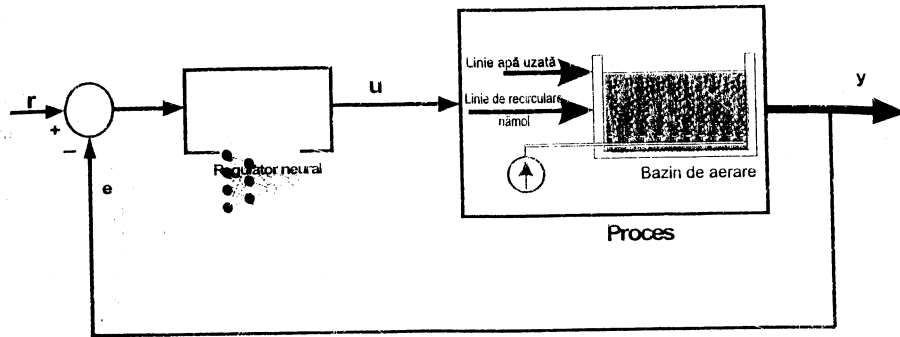


Fig. 10.47. Control neuronal direct.

Controlul neuronal invers

Această tehnică de control încearcă să găsească un model invers al procesului, prin una dintre următoarele două cai: inversând o rețea neuronală care modelează procesul; antrenând direct o RN, care are ca intrări în rețea ieșirile procesului și care produce ca ieșiri ale rețelei intrările în proces.

În primul caz, având o rețea neuronală care reprezintă modelul direct al procesului, problema este de a căuta acele intrări ale rețelei care produc ieșirile dorite. În cel de al doilea caz, RN este antrenată folosind drept intrări în rețea ieșirile anterioare, curente și viitoare ale procesului.

Principiul de bază al controlului neuronal invers (fig. 10.48), care mai este denumit și control invers direct se prezintă în continuare.

Dacă procesul poate fi descris prin relația:

$$y(t+1) = g[y(t), \dots, y(t-n+1), u(t), \dots, u(t-m)] \quad (10.18)$$

atunci rețeaua neuronală este antrenată ca fiind inversul procesului adică:

$$\hat{u}(t) = \hat{g}^{-1}[y(t+1), y(t), \dots, y(t-n+1), u(t), \dots, u(t-m)] \quad (10.19)$$

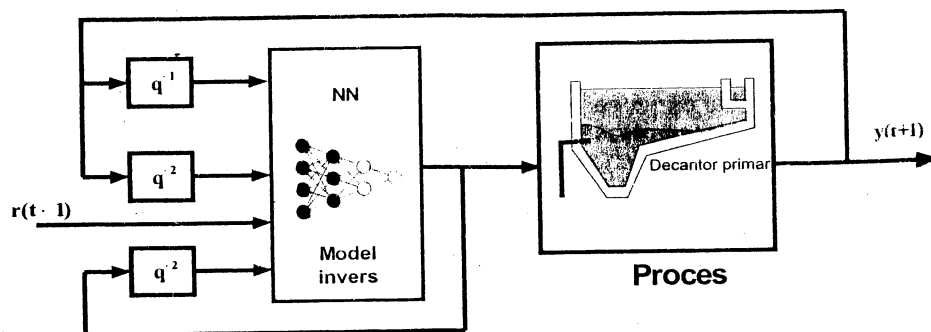


Fig. 10.48. Controlul neuronal invers.

Stabilirea modelului invers se poate face prin două metode de învățare:

- metoda de învățare generalizată off-line denumită *general training*;
- metoda de învățare specializată on-line denumită *specialized training*.

Metoda de învățare generalizată constă în utilizarea procesului pentru a furniza un set de perechi de date (pattern-uri) intrare/ieșire. Aceste perechi sunt utilizate apoi ca date pentru antrenarea rețelei neuronale.

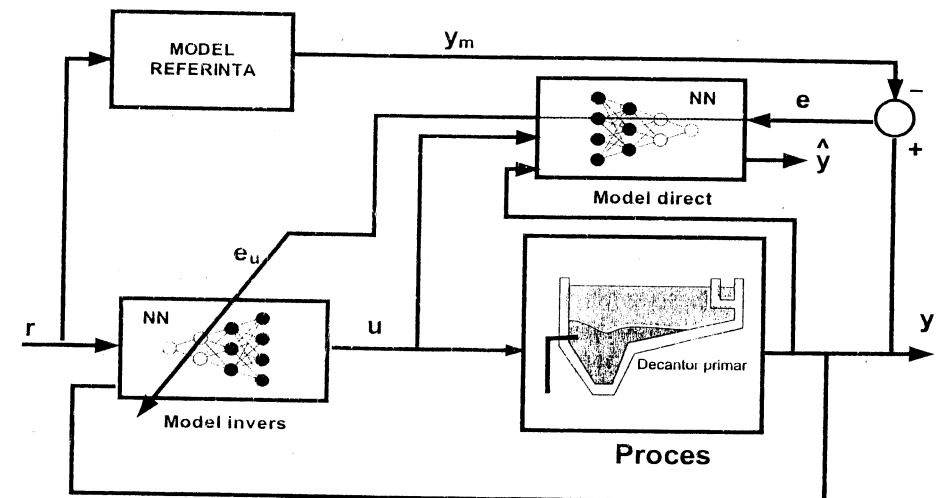
Sarcina regulatorului neuronal este ca să învețe să furnizeze, drept ieșiri (comenzi), valori corespunzătoare, având ca intrări țintele dorite (valori dorite ale ieșirii). Pe durata procesului de antrenare, comenzile sunt alese în mod aleator într-un domeniu corespunzător. Aceste valori sunt aplicate ca intrări în proces, obținându-se drept ieșiri valorile y . În final, valorile y sunt utilizate ca date de intrare pentru RN.

În general, nu se cunoaște valoarea comenzii corespunzătoare ieșirii dorite, astfel încât rețeaua trebuie antrenată pentru un domeniu suficient de extins de comenzi, care să permită ieșirii y , să includă valorile referinței pe durata învățării. Dezavantaje ale metodei:

- pe durata învățării regulatorul nu este operațional;
- rețeaua nu își poate limita domeniul de lucru numai la valorile ce sunt cu adevărat relevante în funcționarea procesului;
- metoda nu este adaptivă.

Metoda de învățare specializată (fig. 10.49) diferă de învățarea generalizată prin faptul că regulatorul nu învață din perechile intrare-ieșire, ci printr-o evaluare directă a preciziei rețelei în raport cu ieșirea procesului.

Pentru modificarea ponderilor, rețeaua neuronală utilizează eroarea dintre ieșirea actuală a procesului și ieșirea dorită.

Fig. 10.49. Metoda de învățare specializată (*specialized training*).

Învățarea specializată evită unele dintre dezavantajele învățării generalizate:

- nu există o etapă specială de antrenare;
- rețeaua învață direct în domeniul relevant al ieșirilor.

Avantajul major este că antrenarea poate fi realizată în regiunea de interes a valorilor referinței fără a fi necesară cunoașterea domeniului de variație a semnalului de intrare în proces. În plus rețeaua învață în mod continuu și este prin urmare adaptivă.

Controlul neuronal bazat pe model intern (internal model control)

Metoda de control bazată pe model prezice ieșirile viitoare ale procesului, pe baza unui model al procesului și apoi minimizează eroarea dintre model și proces. O structură de conducere clasică cu model intern (fig. 10.50) presupune o anume parametrizare a regulatorului.

Intrările sistemului de conducere cu model intern sunt referința r și ieșirea (măsurată) a procesului, $y(t)$.

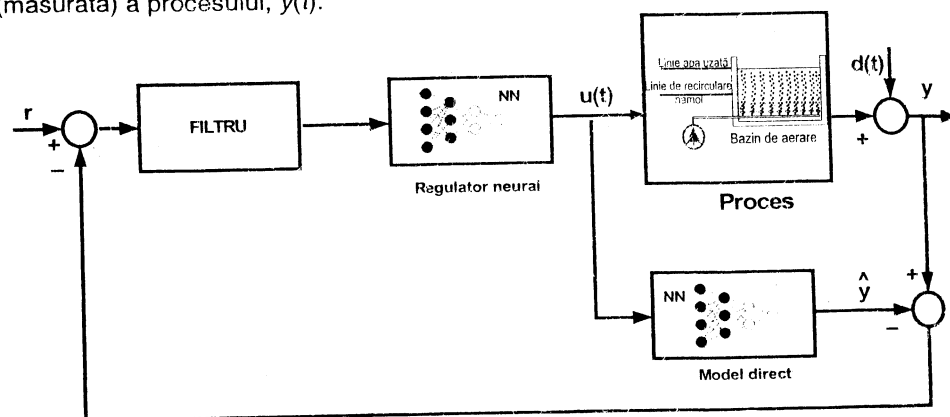


Fig. 10.50. Controlul neuronal bazat pe model intern (internal model control).

Avantajele utilizării unei astfel de structuri de conducere sunt:

- dacă modelul procesului este o reprezentare perfectă a procesului, semnalul de reacție va conține doar efectul perturbațiilor de la ieșirea procesului și nu va fi afectat de acțiunea comenzii $u(t)$. În acest mod, se elimină efectul comenzii din ieșirea procesului, sistemul va opera efectiv în bucla deschisă și vor dispărea problemele de stabilitate asociate reacției negative;
- se poate compensa efectul perturbațiilor (nemăsurabile), modificând referința regulatorului în mod corespunzător;
- dacă modelul nu reprezintă exact procesul, semnalul de reacție va conține atât influența perturbațiilor (nemăsurabile), cât și efectul erorii de modelare $e_y = y(t) - \hat{y}(t)$. Această eroare va reprezenta un semnal de reacție real care poate genera probleme de stabilitate, forțând modificarea regulatorului ideal în scopul obținerii unor performanțe robuste.

Controlul neuronal bazat pe liniarizare prin reacție (feedback linearization)

Proiectarea unui sistem de conducere pentru un proces neliniar reprezintă o problemă dificilă. Una dintre metodele cele mai cunoscute pentru cazul neliniar o reprezintă liniarizarea în jurul unui punct de funcționare. După aducerea modelului în formă liniară, pot fi utilizate metodele clasice de proiectare pentru cazul liniar.

O altă metodă pentru proiectarea regulatorilor în cazul neliniar o reprezintă liniarizarea prin reacție. Această tehnică se bazează pe următorul principiu: la intrarea sistemului neliniar se consideră semnalul alcătuit din două componente. Prima este neliniară și va fi utilizată în scopul eliminării neliniarităților din proces.

A doua componentă este un regulator liniar de reacție după stare. Parametrii regulatorului de stare sunt aleși de utilizator în scopul obținerii unei comportări dorite a sistemului. Funcțiile $f(\cdot)$ și $g(\cdot)$ (fig. 10.51) pot fi aproximimate prin utilizarea unor rețele neuronale, iar aceste estimări sunt utilizate în elaborarea legii de comandă.

Avantajele acestei metode de conducere: implementarea regulatorului simplă; acordarea în buclă închisă poate fi făcută fără reantrenarea modelului.

Dezavantaje: selectarea structurii modelului este complicată, deoarece trebuie alese două arhitecturi de RN; apar probleme când modelul este instabil sau la marginea de stabilitate.

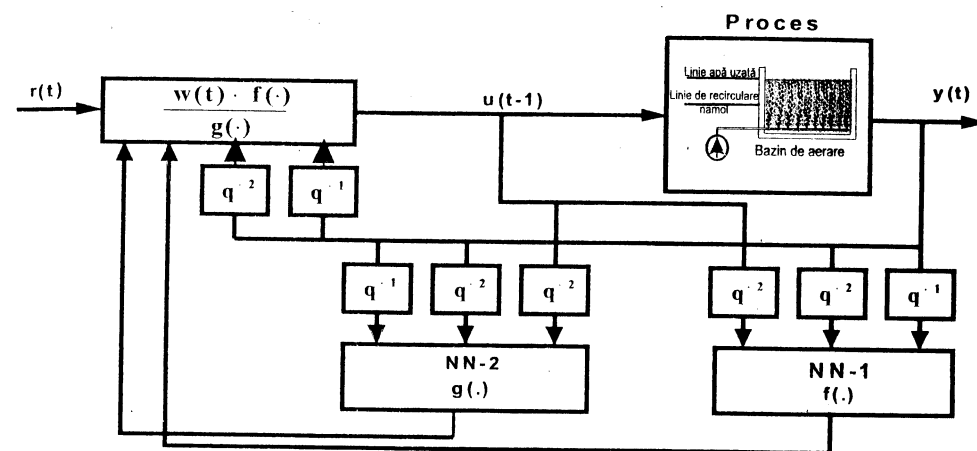


Fig. 10.51. Controlul neuronal bazat pe liniarizare discretă feedback intrare-ieșire.

Controlul neuronal de tip feedforward bazat pe modelul invers

O structură de conducere, bazată pe controlul neuronal de tip feedforward este prezentată în figura 10.52, o astfel de structură numindu-se și structura ierarhică de conducere.

Sistemul poate fi considerat ca fiind alcătuit din două subsisteme:

- primul subsistem este reprezentat de bucla de reacție negativă convențională cunoscută și sub denumirea de reacție externă. Această buclă de

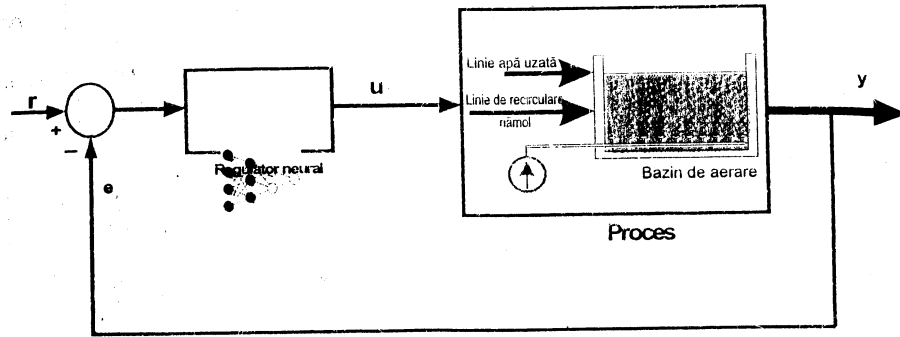


Fig. 10.47. Controlul neuronal direct.

Controlul neuronal invers

Această tehnică de control încearcă să găsească un model invers al procesului, prin una dintre următoarele două cai: inversând o rețea neuronală care modelează procesul; antrenând direct o RN, care are ca intrări în rețea ieșirile procesului și care produce ca ieșiri ale rețelei intrările în proces.

În primul caz, având o rețea neuronală care reprezintă modelul direct al procesului, problema este de a căuta acele intrări ale rețelei care produc ieșirile dorite. În cel de al doilea caz, RN este antrenată folosind drept intrări în rețea ieșirile anterioare, curente și viitoare ale procesului.

Principiul de bază al controlului neuronal invers (fig. 10.48), care mai este denumit și control invers direct se prezintă în continuare.

Dacă procesul poate fi descris prin relația:

$$y(t+1) = g[y(t), \dots, y(t-n+1), u(t), \dots, u(t-m)] \quad (10.18)$$

atunci rețeaua neuronală este antrenată ca fiind inversul procesului adică:

$$\hat{u}(t) = \hat{g}^{-1}[y(t+1), y(t), \dots, y(t-n+1), u(t), \dots, u(t-m)] \quad (10.19)$$

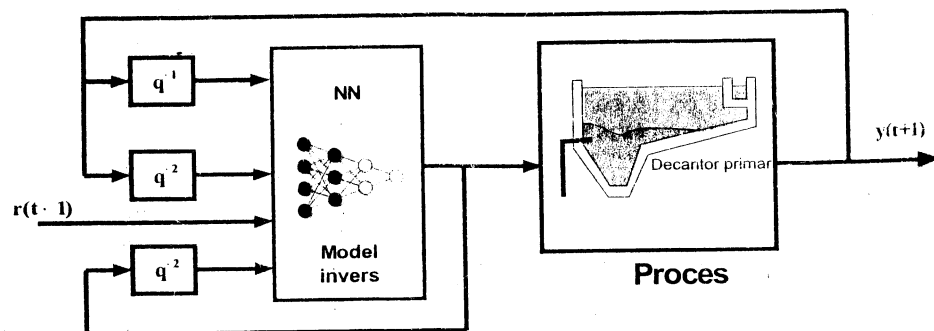


Fig. 10.48. Controlul neuronal invers.

Stabilirea modelului invers se poate face prin două metode de învățare:

- metoda de învățare generalizată off-line denumită *general training*;
- metoda de învățare specializată on-line denumită *specialized training*.

Metoda de învățare generalizată constă în utilizarea procesului pentru a furniza un set de perechi de date (pattern-uri) intrare/ieșire. Aceste perechi sunt utilizate apoi ca date pentru antrenarea rețelei neuronale.

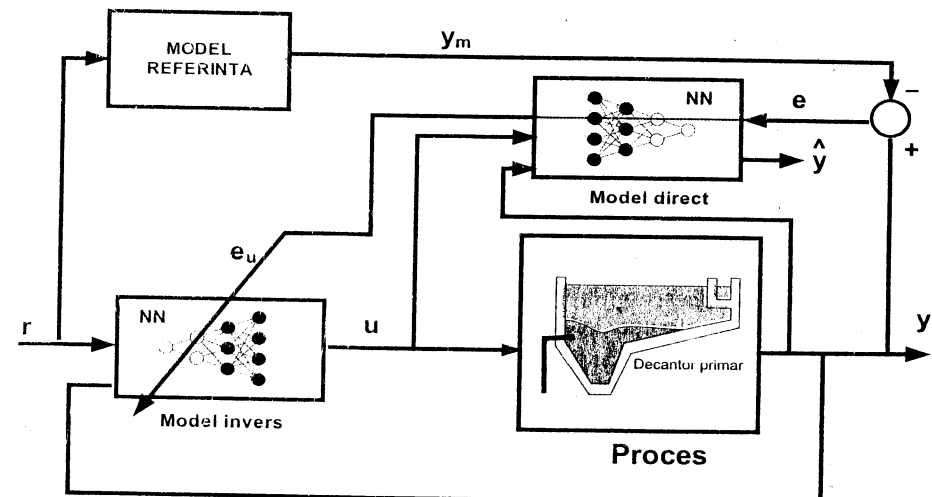
Sarcina regulatorului neuronal este ca să învețe să furnizeze, drept ieșiri (comenzi), valori corespunzătoare, având ca intrări țintele dorite (valori dorite ale ieșirii). Pe durata procesului de antrenare, comenzile sunt alese în mod aleator într-un domeniu corespunzător. Aceste valori sunt aplicate ca intrări în proces, obținându-se drept ieșiri valorile y . În final, valorile y sunt utilizate ca date de intrare pentru RN.

În general, nu se cunoaște valoarea comenzii corespunzătoare ieșirii dorite, astfel încât rețeaua trebuie antrenată pentru un domeniu suficient de extins de comenzi, care să permită ieșirii y , să includă valorile referinței pe durata învățării. Dezavantaje ale metodei:

- pe durata învățării regulatorul nu este operațional;
- rețeaua nu își poate limita domeniul de lucru numai la valorile ce sunt cu adevărat relevante în funcționarea procesului;
- metoda nu este adaptivă.

Metoda de învățare specializată (fig. 10.49) diferă de învățarea generalizată prin faptul că regulatorul nu învață din perechile intrare-ieșire, ci printr-o evaluare directă a preciziei rețelei în raport cu ieșirea procesului.

Pentru modificarea ponderilor, rețeaua neuronală utilizează eroarea dintre ieșirea actuală a procesului și ieșirea dorită.

Fig. 10.49. Metoda de învățare specializată (*specialized training*).

Învățarea specializată evită unele dintre dezavantajele învățării generalizate:

- nu există o etapă specială de antrenare;
- rețeaua învață direct în domeniul relevant al ieșirilor.

Avantajul major este că antrenarea poate fi realizată în regiunea de interes a valorilor referinței fără a fi necesară cunoașterea domeniului de variație a semnalului de intrare în proces. În plus rețeaua învață în mod continuu și este prin urmare adaptivă.

Controlul neuronal bazat pe model intern (*internal model control*)

Metoda de control bazată pe model prezice ieșirile viitoare ale procesului, pe baza unui model al procesului și apoi minimizează eroarea dintre model și proces. O structură de conducere clasică cu model intern (fig. 10.50) presupune o anumită parametrizare a regulatorului.

Intrările sistemului de conducere cu model intern sunt referința r și ieșirea (măsurată) a procesului, $y(t)$.

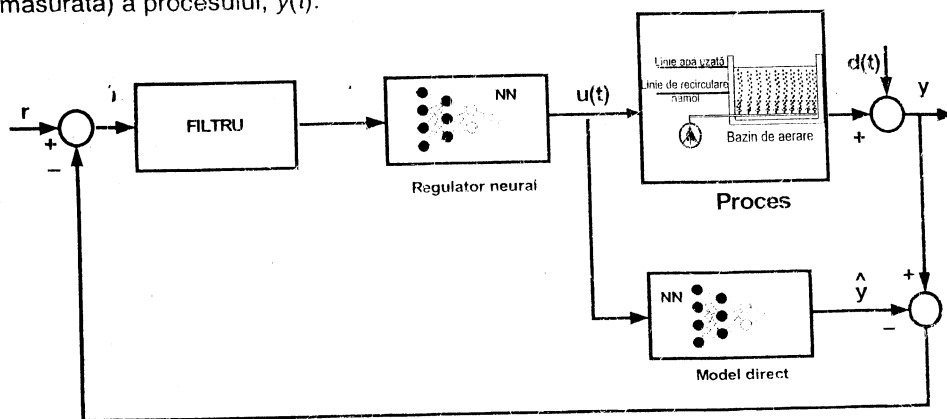


Fig. 10.50. Controlul neuronal bazat pe model intern (*internal model control*).

Avantajele utilizării unei astfel de structuri de conducere sunt:

- dacă modelul procesului este o reprezentare perfectă a procesului, semnalul de reacție va conține doar efectul perturbațiilor de la ieșirea procesului și nu va fi afectat de acțiunea comenzii $u(t)$. În acest mod, se elimină efectul comenzii din ieșirea procesului, sistemul va opera efectiv în bucla deschisă și vor dispărea problemele de stabilitate asociate reacției negative;
- se poate compensa efectul perturbațiilor (nemăsurabile), modificând referința regulatorului în mod corespunzător;
- dacă modelul nu reprezintă exact procesul, semnalul de reacție va conține atât influența perturbațiilor (nemăsurabile), cât și efectul erorii de modelare $e_y = y(t) - \hat{y}(t)$. Această eroare va reprezenta un semnal de reacție real care poate genera probleme de stabilitate, forțând modificarea regulatorului ideal în scopul obținerii unor performanțe robuste.

Controlul neuronal bazat pe liniarizare prin reacție (*feedback linearization*)

Proiectarea unui sistem de conducere pentru un proces neliniar reprezintă o problemă dificilă. Una dintre metodele cele mai cunoscute pentru cazul neliniar o reprezintă liniarizarea în jurul unui punct de funcționare. După aducerea modelului în formă liniară, pot fi utilizate metodele clasice de proiectare pentru cazul liniar.

O altă metodă pentru proiectarea regulatorilor în cazul neliniar o reprezintă liniarizarea prin reacție. Această tehnică se bazează pe următorul principiu: la intrarea sistemului neliniar se consideră semnalul alcătuit din două componente. Prima este neliniară și va fi utilizată în scopul eliminării neliniarităților din proces.

A doua componentă este un regulator liniar de reacție după stare. Parametrii regulatorului de stare sunt aleși de utilizator în scopul obținerii unei comportări dorite a sistemului. Funcțiile $f(\cdot)$ și $g(\cdot)$ (fig. 10.51) pot fi aproximare prin utilizarea unor rețele neuronale, iar aceste estimări sunt utilizate în elaborarea legii de comandă.

Avantajele acestei metode de conducere: implementarea regulatorului simplă; acordarea în buclă închisă poate fi făcută fără reantrenarea modelului.

Dezavantaje: selectarea structurii modelului este complicată, deoarece trebuie alese două arhitecturi de RN; apar probleme când modelul este instabil sau la marginea de stabilitate.

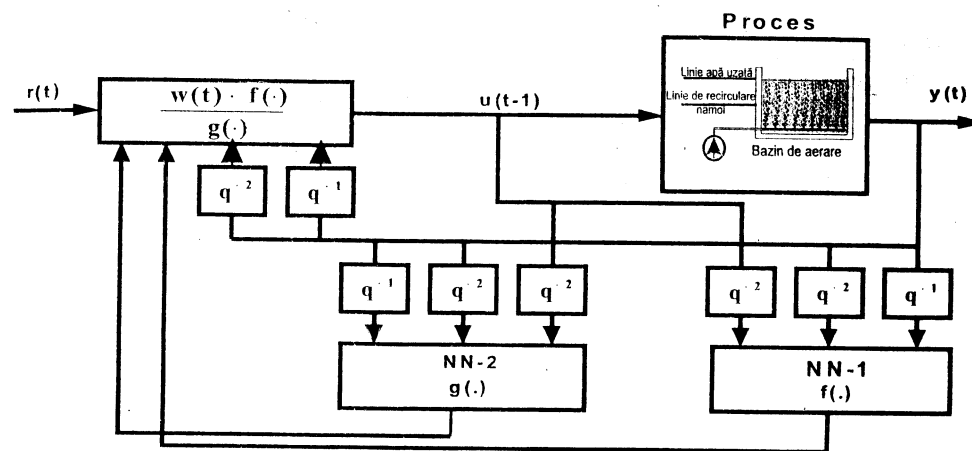


Fig. 10.51. Controlul neuronal bazat pe liniarizare discretă feedback intrare-ieșire.

Controlul neuronal de tip feedforward bazat pe modelul invers

O structură de conducere, bazată pe controlul neuronal de tip feedforward este prezentată în figura 10.52, o astfel de structură numindu-se și structura ierarhică de conducere.

Sistemul poate fi considerat ca fiind alcătuit din două subsisteme:

- primul subsistem este reprezentat de bucla de reacție negativă convențională cunoscută și sub denumirea de reacție externă. Această buclă de

reacție se bazează pe semnalul de eroare dintre ieșirea dorită a procesului, r , și ieșirea măsurată, y .

- al doilea subsistem este reprezentat de rețeaua neuronală RN care monitorizează ieșirea dorită r și intrarea în proces u . Această rețea învață să modeleze dinamica inversă a procesului. După învățare, atunci când primește la intrare ieșirea dorită r , ea produce intrarea u_{ff} în proces.

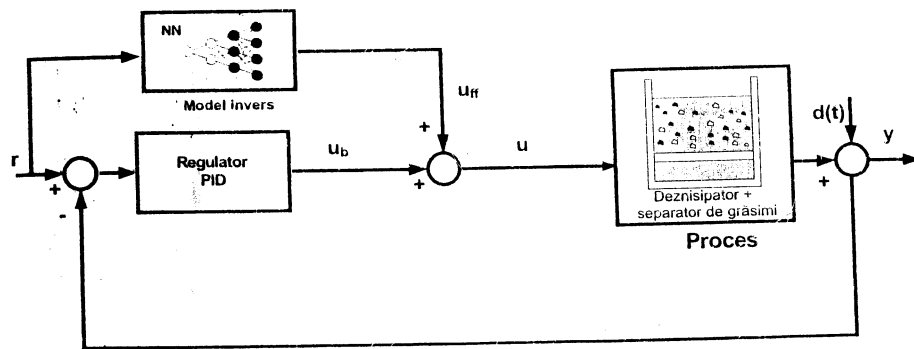


Fig. 10.52 Controlul neuronal de tip feedforward.

Modul de operare al acestei structuri este următorul: reacția externă este efectivă în principal în etapa de învățare. Această buclă furnizează un semnal de reacție convențional pentru conducerea procesului. Datorită în principal senzorilor, răspunsul sistemului este lent fapt care limitează și viteza de învățare. Pe durata învățării RN învață dinamica inversă a procesului. Pe măsură ce învățarea progresează, reacția internă preia treptat rolul buclei externe ca reglare principală. În final, procesul va fi condus de regulatorul feedforward (întrucât eroarea de ieșire este aproape nulă).

B. Controlul neuronal indirect

Această tehnică de control încearcă să găsească un model invers al procesului, prin una dintre următoarele două căi:

- inversând o rețea neuronală care modelează procesul;
- antrenând direct o RN, care are ca intrări în rețea ieșirile procesului și care produce ca ieșiri ale rețelei intrările în proces.

În primul caz, având o rețea neuronală care reprezintă modelul direct al procesului, problema este de a căuta acele intrări ale rețelei, care produc ieșirile dorite. În cel de al doilea caz, RN este antrenată, folosind drept intrări în rețea ieșirile anterioare, curente și viitoare ale procesului.

Principalele structuri de conducere de tip control indirect sunt:

- controlul prin aproximarea poziției polilor (*approximate pole placement control*);
- controlul prin minima varianță (*minimum variance control*);

- control predictiv bazat pe liniarizare instantanee (*predictive control based on instantaneous linearization*);
- control neliniar predictiv (*nonlinear predictive control*).

În metodele de proiectare predictive, toate configurațiile regulatorului sunt bazate pe predicția semnalului de ieșire al procesului, utilizând un model matematic predefinit. La fiecare pas, comanda este calculată, astfel încât ieșirea predictată a sistemului să urmărească traiectoria de referință peste un orizont viitor corespunzător. Avantajele tehnicii de conducere predictivă: metoda este intuitivă și nu necesită o complexitate matematică deosebită; modelul, orizonturile, funcțiile obiectiv pot fi adaptate diferitelor aplicații specifice; tratează în mod natural restricțiile impuse asupra comenzii și ieșirii.

10.4.2.5. Modelarea și conducerea prin rețele neuronale a procesului biologic de epurare

Pentru optimizarea procesului de epurare biologică se propune o rețea neuronală artificială de tip feedforward, antrenată prin metoda backpropagation folosind mecanismul învățării supervizate. Optimizatorul neuronal lucrează la nivelul ierarhic superior reglării automate, conform schemei de principiu din figura 10.53.

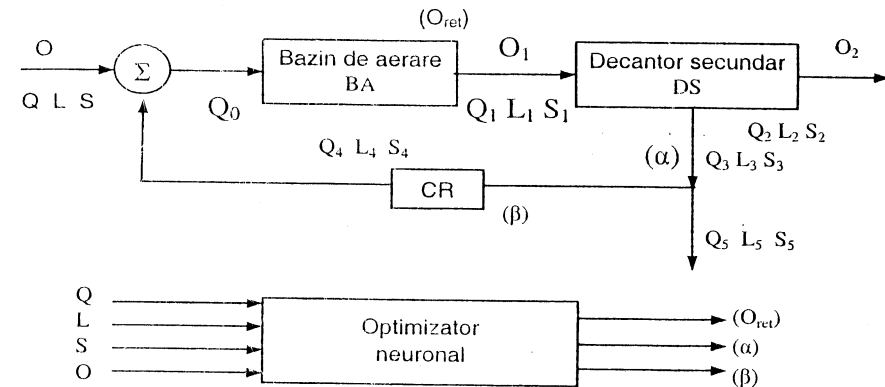


Fig. 10.53 Schema de principiu a optimizatorului neuronal.

Potrivit acestei scheme, rețeaua neuronală primește la intrare cei patru parametri care caracterizează apa uzată intrată în instalația de epurare biologică și anume: debitul Q , concentrația de încărcare organică L , concentrația de nămol activ S și concentrația de oxigen O . Acești parametri au în general o variație aleatoare pe perioade lungi de timp, de aceea ei se măsoară cu traductoare dedicate și se aplică rețelei neuronale ca valori de intrare. În funcție de valoarea acestor vectori la ieșire din rețeaua neuronală se obțin vectorii corespunzători de comandă care au drept componente mărimile α , β și O_{ref} aplicate reglatoarelor aflate la nivelul de bază.

Corelația optimă dintre vectorii de intrare și cei de ieșire se stabilește în faza de simulare a sistemului de epurare biologică, operație realizată anterior optimizării. Datele de antrenament ale rețelei se prezintă tabelar. Deși în tabel pot fi trecute numai anumite situații concrete întâlnite mai des în practică, orice situație reală sesizată de către traductoare va fi interpolată de către rețeaua neuronală care va furniza la ieșire un vector de comandă corespunzător.

Programul de proiectare și antrenare supervizată a rețelei neuronale a fost elaborat în Matlab. Antrenarea a necesitat 1176 de epoci până la atingerea unei erori de 0,001. Pentru antrenare s-a utilizat algoritmul backpropagation implementat prin funcția Matlab trainbpx. După antrenare ponderile optime ale rețelei sunt reținute în vectorii W_1 , b_1 , W_2 , b_2 . Cu datele obținute se poate realiza și simularea funcționării rețelei în diferite situații practice, folosind funcția Matlab simuff. Odată antrenată rețeaua neuronală aceasta se poate utiliza în cadrul sistemului de conducere a procesului de epurare biologică. Se construiește o matrice de variație a valorilor care se controlează în proces.

Sistemul neuronal, prin traductori adecvați, controlează în mod continuu variația parametrilor și caută valorile în matricea dată. El va interpola valoarea de reglare și va da comanda corespunzătoare pentru menținerea sistemului în funcțiune la valorile indicate. Rezultatele obținute în urma rulării programului pentru simularea numerică a comportării dinamice a instalației de epurare biologică a apelor uzate, folosind pentru reglarea concentrației de oxigen un regulator proportional-integral (PI) și optimizator neuronal, se prezintă în figurile 10.54, 10.55, 10.56, 10.57 și 10.59.

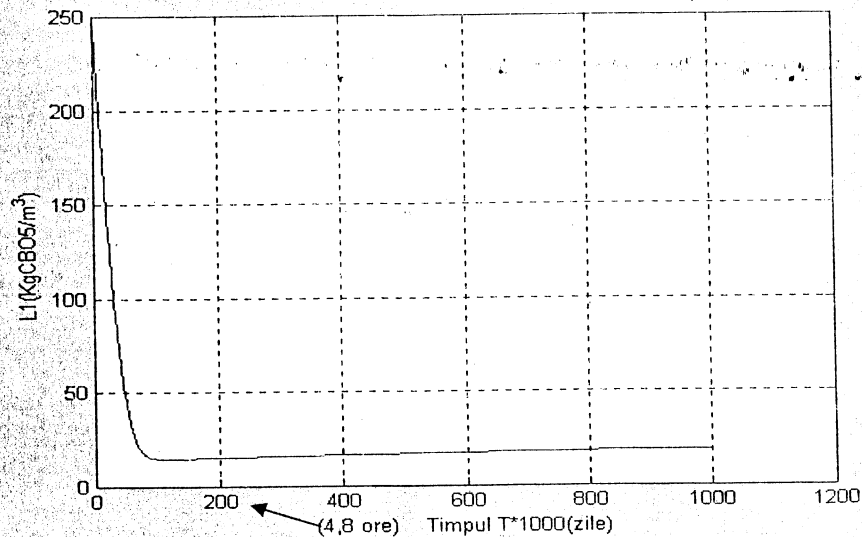


Fig. 10.54. Scăderea încărcării organice în timp, ca efect al procesului biochimic de degradare.

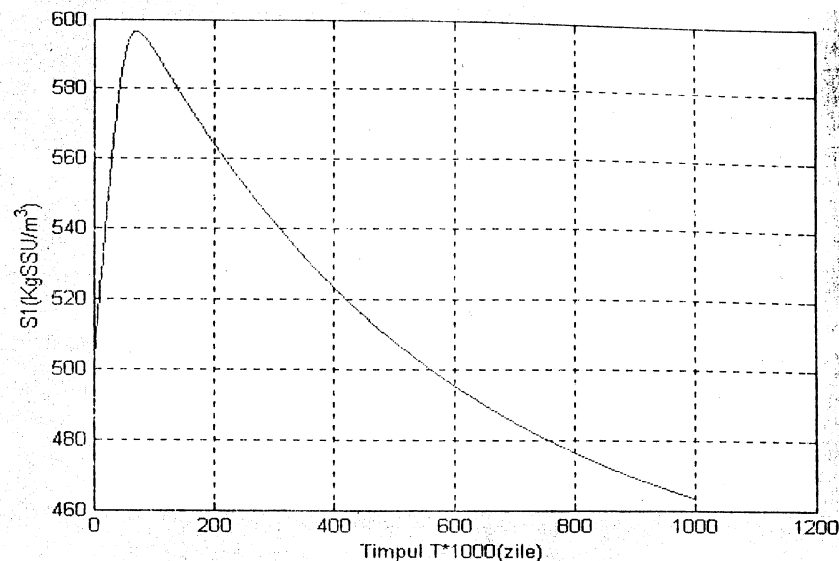


Fig. 10.55. Variația concentrației masei biologice active din bazinul de aerare.

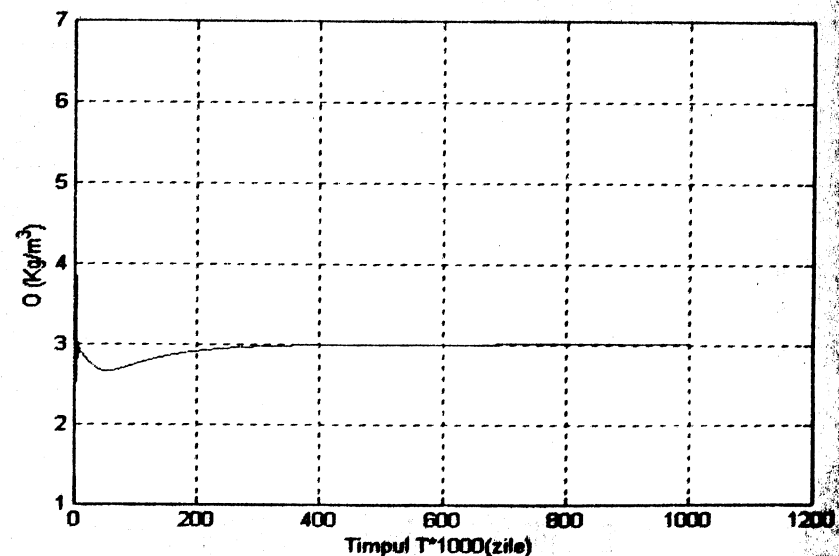


Fig. 10.56. Concentrația oxigenului transferat în masa de apă, menținută constantă ca efect al procesului de reglare.

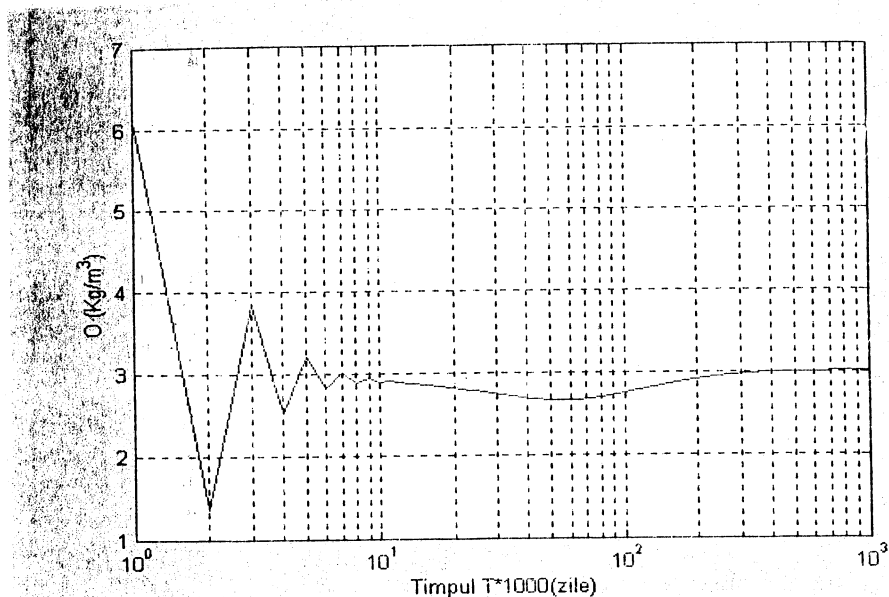


Fig. 10.57. Concentrația în oxigen, menținută constantă ca efect al procesului de reglare.

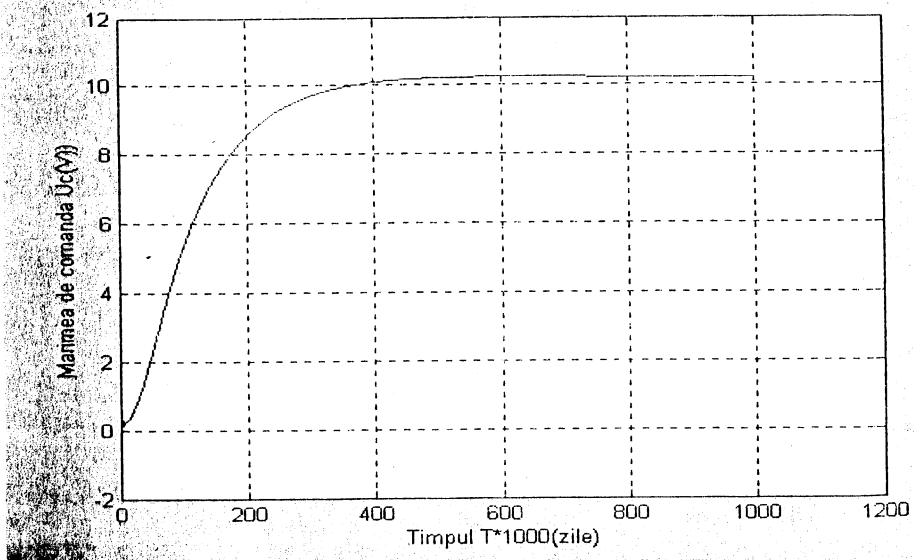


Fig. 10.58. Variația tensiunii de comandă în regulatorul PID.

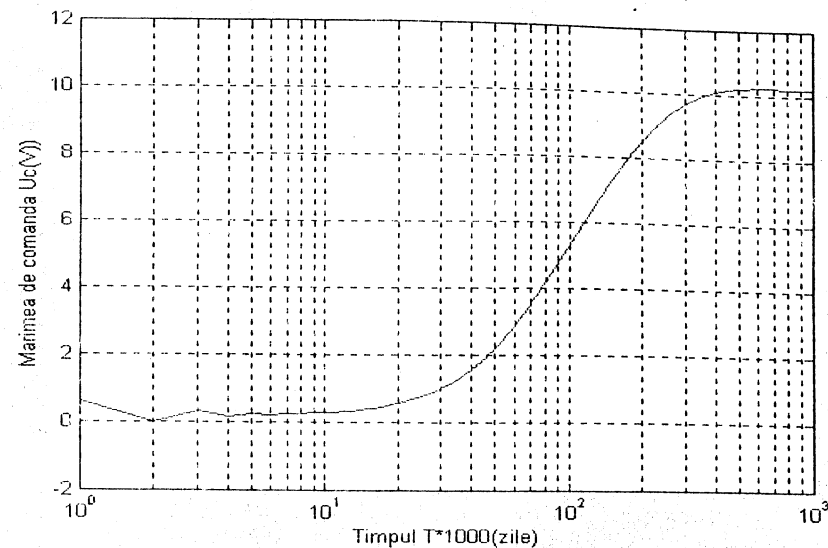


Fig. 10.59. Variația tensiunii de comandă în regulatorul PID.

10.5. Sistemul SCADA

10.5.1. Descriere generală

Obiectivul principal al celor mai multe sisteme integrate de monitorizare și conducere a proceselor este de a oferi utilizatorului suficiente informații și facilități de comandă pentru exploatarea respectivului proces în condiții de siguranță, securitate și economicitate.

Ca principiu, un sistem SCADA este alcătuit dintr-un subsistem de unități de achiziție de date primare și de arhivare a acestora și subsistemul de prelucrare și interfață grafică cu utilizatorul.

Istoric, sistemele SCADA au evoluat de la sisteme centralizate, în care existau două sau trei echipamente ce concentră funcțiile mai sus amintite, către sisteme descentralizate puternic distribuite, în care apar multiple echipamente de achiziție amplasate în teren, cât mai aproape de sursa informațiilor culese. Această tendință implică apariția unui nou element și anume subsistemul de comunicații.

Cel mai simplu sistem SCADA este sistemul master-slave (denumit și sistem de „unu la unu”), care constă dintr-un singur calculator coordonator, *master*, prevăzut cu interfețe de dialog cu utilizatorul și de transmisii de date și un

calculator de proces, *slave*, tip RTU (*Remote Terminal Unit*), dotat cu interfețe de proces (pentru intrări și ieșiri analogice și numerice) și, desigur, o interfață de comunicații. Astfel de sisteme sunt considerate sisteme mici, fiind rar utilizate în practica curentă.

Denumirea uzuală pentru aceste sisteme este „Sistem de supraveghere, comandă și achiziții de date” SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Practic, un sistem SCADA oferă operatorului posibilitatea de supraveghere, intervenție și confirmare a executării comenzilor asupra unor echipamente specifice. Îndeplinirea acestui scop se face prin SCADA, care este constituit conform definiției date de ANSI (*American National Standards Institute*), din toate dispozitivele de comandă, semnalizare și telemăsurare de la centrul de comandă și toate echipamentele corespunzătoare aflate în procesele respective.

Întrucât implementarea este parțială, structura trebuie să ofere posibilitatea extinderii actualei realizări astfel încât să se ajungă la o structură ierarhizată, deschisă, cu funcții distribuite.

Unul dintre conceptele esențiale pentru sisteme de automatizare și dispecer ce trebuie avute în vedere este cel de **sistem deschis**.

Caracteristica de sistem deschis este stabilită de arhitectura sistemului modulară ce trebuie să fie distribuită și de structura platformelor sistemelor de operare și a protocoalelor de comunicație ce se bazează pe **standarde industriale nonproprietary**.

RTU-urile moderne au ca principală caracteristică o abordare modulară pentru o soluție total distribuită a sistemelor de automatizare. Astfel de sisteme multiprocesor permit interconectarea a numeroase echipamente inteligente și procesoare de comunicație, module de I/O distribuite, realizarea funcțiilor de automatizare precum și conectarea subsistemele zonale de conducere la nivel ierarhic superior.

10.5.2. Structura unui sistem SCADA

Într-un sistem SCADA există două subsisteme distincte:

A. Subsistemul hardware sau echipament

Din punctul de vedere al *subsistemului de echipament*, o structură SCADA este alcătuit din:

- **Terminalele inteligente** – instalate în celule care asigură funcții de protecție, de achiziție (citiri intrări de stare; ieșiri de comandă; supraveghere; măsurare etc.), de automatizare specifice (AAR; RAR; DRRI; interblocări locale la celule fără intervenția sistemului master de stație).

- **RTU** – în camera de comandă din fiecare stație, sistemul conține cel puțin un echipament de tip RTU (*Remote Terminal Unit* – Master de Stație), care „interoghează” toate terminalele aflate în proces, cu rol de concentrator de date, de server de date de timp real, de server de comunicație către sistemul ierarhic superior. Acest RTU coordonează întregul proces și asigură interfața către o consolă grafică pentru operator.

Ca opțiune, echipamentul Master trebuie să fie capabil să lucreze în sisteme redundante calde astfel încât să se poate extinde la sisteme fără nici un singur punct unic de cădere. De asemenea va asigura comutarea automată pe canalul de comunicație de rezervă către sistemul ierarhic superior și către terminalele inteligente (dacă el există), în cazul căderii canalului principal.

- **Interfața grafică cu utilizatorul (GUI – Graphical User Interface)** permite transmiterea informațiilor achiziționate către operator și este alcătuită în principiu din:

- PC – pe acest PC va rula un software de aplicații specific procesului.
- Imprimantă – pentru tipărire rapoarte, alarme etc.

- Un **echipament de tip GPS** pentru sincronizarea ceasului intern din fiecare dispozitiv cu timpul universal.

- **Sistemul de comunicații** prin care echipamentele din SCADA comunică între ele. Este alcătuit din totalitatea echipamentelor fizice existente (porturi de comunicații, convertoare de mediu, echipamente de rețea), cât și din limbajul de comunicații între dispozitive denumit protocol de comunicație. Între diferitele elemente pot exista diferite mijloace de comunicații: de exemplu sistemul central de prelucrare va fi alcătuit din echipamente ce sunt conectate între ele prin LAN (în condițiile în care acestea sunt dispuse într-un sediu central), dar legătura dintre sistemul central de prelucrare și elementele amplasate la distanță (componente de măsurare, componente de acționare și automatizare, echipamente decizionale

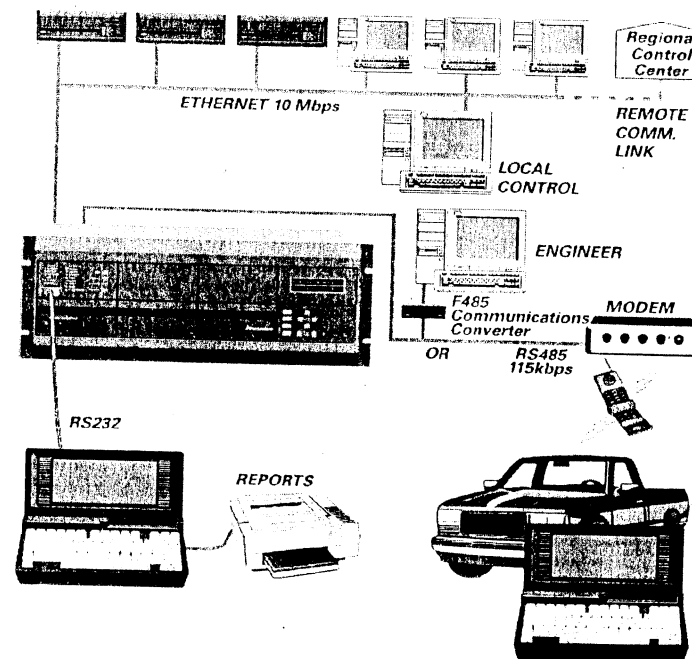


Fig. 10.61. Sisteme de comunicații pentru SCADA.

locale) se va face prin alte mijloace de comunicații: linii telefonice (închiriate sau proprietate), mijloace de comunicații radio terestre, mijloace de comunicații prin sateliți. Despre alegerea mijloacelor de comunicații, trebuie menționat că opțiunea pentru LAN este justificată doar pentru comunicații pe distanțe mici între echipamentele de conectat, modemurile se pot justifica pentru distanțe medii sau mari în cazul în care este disponibil câte un capăt de linie telefonică pentru fiecare punct din care se dorește transmisie de date, stațiile radio terestre sunt o opțiune pentru comunicarea cu puncte cu dispersie teritorială mare, iar comunicațiile prin sateliți pentru puncte la distanță foarte mare. Deoarece comunicațiile asigură fluxul de date vital al sistemului, se vor folosi mijloace redundante de comunicații, pentru a preîntâmpina căderea parțială sau totală a sistemului.

B. Subsistemul software

Subsistemul software este divizat în două grupe principale: software de sistem și software de aplicație.

Componentele software oferă pe de o parte suport pentru prelucrare (sisteme de operare, medii de rulare a programelor și de dezvoltare), iar pe de altă parte asigură mijloace de urmărire, vizualizare, prelucrare a datelor. Pe baza unor prelucrări, unele dintre aceste componente pot iniția operații fizice, cum ar fi comandarea unor elemente de acționare și automatizare. Tot aici trebuie menționate și programele de comunicații, care pe lângă suportul electronic de comunicare asigură legăturile între diferitele elemente ale sistemului. Una dintre componentele cele mai importante ale sistemelor SCADA sunt sistemele de gestiune a bazelor de date; trebuie să existe o bază de date de timp real (RTDB) pentru a putea înregistra valorile momentane, care asigură suportul unor prelucrări de timp real pe de o parte, iar pe de altă parte aceste date se vor înregistra pentru analize ulterioare în baze de date convenționale.

Trebuie menționat că pentru sistemul central de prelucrare se va folosi un sistem de operare în timp real, care să poată oferi serviciile necesare pentru timp de răspuns rapid.

Software-ul de sistem pentru serverele HMI, stații de lucru și calculator de mentenanță poate fi sistemul Windows .

Software-ul de sistem pentru FEP-uri (Master RTU) conține funcții software de bază care determină aplicațiile de bază ale sistemului. Acest software este localizat într-o memorie nevolatilă și se bazează pe un sistem de operare de tip real.

Software-ul de aplicație este necesar pentru adaptarea sistemului de conducere la o configurație specifică procesului abordat.

În mod convențional se acceptă ca structura sistemelor SCADA să fie ierarhizată pe patru nivele funcționale:

Nivelul I – nivelul legăturii cu procesul; acesta este reprezentat de următoarele tipuri de semnale:

- semnale analogice obținute de la transductoarele de semnal pentru mărimi neelectrice, semnale digitale (contact liber de potențial preluat de la un releu, contactor sau limitator), semnal în impuls (preluat de la contorii de energie electrică cu generatori de impuls);

- semnale electrice (tensiune și curent preluate de echipamentele de măsură inteligente) și comenzi către elementele de execuție.

Nivelul II – nivelul echipamentelor de proces.

La acest nivel există două tipuri de echipamente: unitate terminală inteligentă (*Remote Terminal Unit* – RTU) și echipamente specializate.

Structura hardware pentru cele două tipuri de echipamente este asemănătoare și se compune din: unitate centrală (procesor/memorie/periferice), interfețe I/O, sursă de alimentare și carcasă. Deosebirea este dată de componența software.

Testarea și programarea automatului se poate face numai cu uneltele software puse la dispoziție de firma producătoare. Programarea se face folosind limbaje și metode standardizate specifice PLC-urilor. La calculatoarele de proces este prezent un sistem de operare (SO) care permite o interacțiune directă prin intermediul interpretorului de comenzi, respectiv „shell“-ul sistemului. Principalele caracteristici ale acestor SO-uri: sistem de timp real, multitasking, multiuser, modularitate și configurabilitate ridicate, mecanisme de comunicație și sincronizare între procese etc.

Accesarea calculatorului de proces se poate face printr-un terminal alfanumeric conectat pe interfața serială RS-232, interfața de comandă fiind similară UNIX-ului. Programarea acestora se face în C/C++ sau în limbaj de asamblare, folosind pachete software (editor, compilator, asamblor etc.) compatibile cu sistemul de operare.

O situație aparte pentru RTU o constituie echipamentele, care reprezintă o combinație între un calculator de proces și un echipament specializat. Acest tip de echipament prezintă performanțe similare din punctul de vedere al funcțiilor îndeplinite, în schimb gradul de configurabilitate hardware și software este mic. Prin proiectare, echipamentul are o configurație hardware predefinită, la aceasta fiind asociate module software care îndeplinesc funcții bine stabilite. Există module software pentru achiziția de date, comunicație, funcții aritmetice etc. Modulele software sunt implementate de către producător, iar posibilitatea de a le modifica sau înlocui este practic inexistentă. Singurele modificări posibile sunt la nivel de parametri (de exemplu, timpi de achiziție, viteză de comunicație, asignarea interfețelor) și la configurarea interconectării modulelor software. Modificările se pot face printr-un program de configurare al firmei producătoare sau, în unele cazuri, prin telegrame de comandă-configurare specifice echipamentului.

Acest tip de echipamente are de regulă asociat un software pentru configurare, monitorizare și control împreună reprezentând variația pentru integratorii de sisteme SCADA.

Nivelul III – nivelul server-ului de proces.

Din punctul de vedere al volumului de informații necesar a fi procesat, server-ul de proces poate să fie un echipament de sine stătător împreună cu software-ul corespunzător sau să folosească pentru componenta hardware unul dintre echipamentele de la nivelul II, fiind distinct numai prin software-ul utilizat. În al doilea caz, server-ul de proces este „distribuit“ fizic pe fiecare echipament al RTU-ului, rămânând distinct numai prin componenta software.

Nivelul IV – nivelul posturilor de lucru (interfața om-proces).

Pentru posturile de lucru se folosesc PC-uri obișnuite, aceasta fiind soluția cea mai bună pentru suportul hardware, ținând cont de evoluția tehnologică și prețul de cost. Pe partea de alimentare PC-ul va fi asigurat cu o sursă de tensiune neîntreruptibilă (UPS).

În cazul SO-ului folosit pe PC, dacă există o separație clară între nivelul postului de lucru și cel al server-ului de proces, atunci este acceptabilă folosirea sistemului de operare Windows cu toate problemele legate de stabilitate, protecție, incompatibilități.

Facilitățile oferite de PC-ul standard sunt mult mai mari față de necesitățile unui post de lucru, fapt ce impune un control mai strict asupra modului de folosire a resurselor echipamentului pentru a preveni problemele cauzate de factorul uman. PC-ul standard are resurse hardware mai mult decât suficiente pentru un post de lucru, în schimb are o mare problemă și anume compatibilitatea electromagnetică. Astfel în condițiile unor puternice perturbații electromagnetice monitorul PC-ului poate să funcționeze defectuos (imagine tremurată, deformată, desincronizări etc.).

Ecranele care apar pe consola operator pot fi împărțite în ecrane pentru diferite procese de epurare (fig. 10.62) și ecrane generale pentru dispecer (fig. 10.63). Ecranele pentru procesele de epurare permit supravegherea detaliată a mărimilor ce caracterizează funcționarea proceselor și în același timp există posibilitatea de a da comenzi.

În afară de aceste ecrane specifice SCADA, mai pot să ruleze software-uri dedicate.

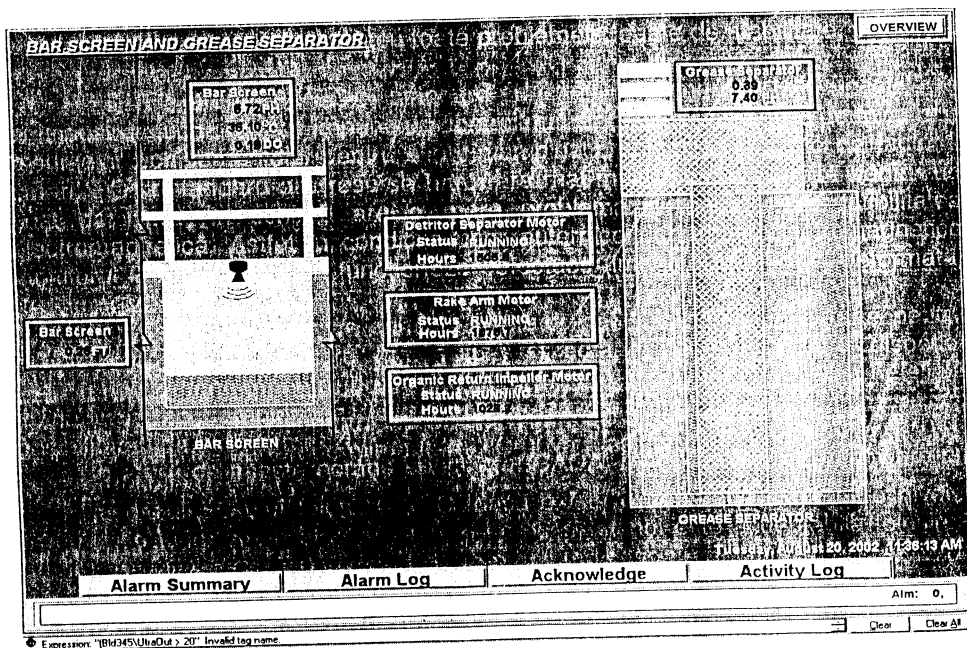


Fig. 10.62. Ecran pentru urmărirea grătarului și separatorului de grăsimi.

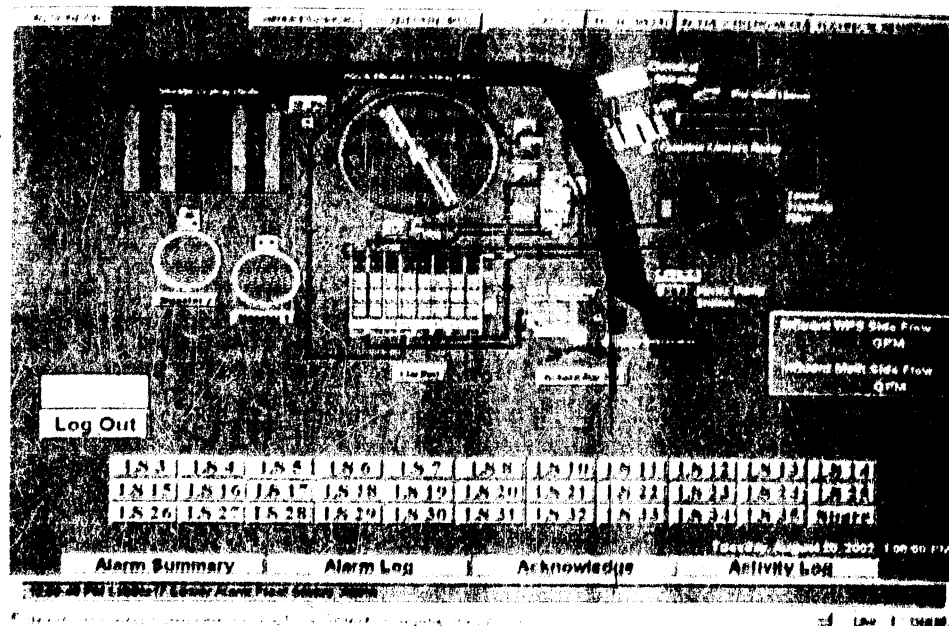


Fig. 10.63. Ecran pentru urmărirea generală a stației de epurare.

10.5.3. Funcții realizate de sistemul SCADA

Un sistem SCADA trebuie să îndeplinească o serie de funcții, pentru a oferi cu adevărat un suport decizional. Cele mai importante dintre acestea sunt:

1. Sistemul trebuie să asigure toate funcțiile de protecție și securitate necesare echipamentelor primare. Accesul în sistem se va face pe bază de parole. La fiecare calculator sau terminal accesul este protejat și are un anumit nivel de acces. De asemenea, operatorii sistemului posedă câte o parolă, care dă un anumit nivel de acces (de la propriul calculator sau terminal). Accesul la sistem al unui operator de la un anumit terminal se face pe baza parolei proprii, drepturile de acces acordate de sistem fiind minimul dintre drepturile implicite ale terminalului și ale operatorului.

2. Sistemul trebuie să asigure funcții de achiziție de date.

Sistemul va asigura funcțiile tradiționale asigurate de achiziție de date de la terminalele inteligente, de la toate echipamentele și parametrii de proces monitorizați, de mărimi analogice furnizate de alte echipamente sau traductoare și să permită executarea comenzilor primite de la dispecer.

3. Sistemul trebuie să asigure algoritmi de comandă.

Sistemul va permite încorporarea unui software de automat programabil ca parte integrantă a sistemului de conducere. Acest lucru va permite realizarea de

programe de automatizare secvențiale pentru a realiza unele funcții tipice precum comenzile secvențiale și combinaționale.

4. Sistemul trebuie să asigure **integrarea altor echipamente** de la diverși producători și va oferi posibilitatea unei ușoare integrări a altor echipamente în sistem. Acest lucru impune:

- interfețe fizice de conectare diverse canale de comunicație (RS232, 485, Ethernet etc.)
- protocoale de comunicație deschise, non proprietar (IEC 870-5-101, DNP 3.0, Modbus RTU, Profibus, IEC870-5-103)

5. Sistemul trebuie să asigure **transferul fișierelor**. Sistemul de conducere va permite achiziționarea înregistrărilor grafice de la terminale, transferul și arhivarea lor în calculator în format Comtrade compatibil cu standardul IEE C37.111-1991.

6. Sistemul trebuie să asigure **conectare virtuală** cu terminalele din rețea în scopul asigurării transparente a transferului de fișiere de la/și la terminale.

7. Sistemul trebuie să permită **reconfigurarea sistemului**

Softurile de configurare pentru toate echipamentele din sistem trebuie să fie disponibile. Acestea vor permite echipei de mentenanță să modifice sistemul de comandă și terminalele care sunt conectate în rețea. Fișierele de configurare pe noduri ale rețelei se vor crea și memora local împreună cu codul executabil. Sistemul va permite încărcarea acestor fișiere de configurare de la distanță, fiind prevăzut la cerere cu mecanism de descărcare automată a configurației pentru un anumit nod la repornirea acestuia.

Fișierele de configurare vor fi organizate ierarhic pe proiecte, dispozitive, aplicații și tabele de date pentru a defini clar parametrii sistemului la fiecare nivel al sistemului.

8. Să permită **generarea unor rapoarte** informative ca:

- lista de conexiuni;
- configurarea perifericelor;
- date despre procese și echipamente;
- sistemul trebuie să asigure autodiagnoza.

9. Sistemul va fi astfel realizat încât să nu necesite testare periodică și mentenanță. Fiecare echipament din sistem trebuie să aibă funcții de autotestare în timpul funcționării, să determine și să anunțe problemele pe măsură ce ele apar.

10. Sistemul trebuie să asigure **statistici de comunicație și alarme**. Serverul de comunicație din rețea va asigura informații statistice referitoare la comunicații care să conțină cel puțin următoarele informații:

- încercări de comunicare;
- încercări de retransmitere a unor pachete de date;
- încercări reușite.

Starea curentă a fiecărui proces trebuie să poată fi monitorizată și comandată (on line sau off line). În cazul căderii unui canal de comunicație trebuie să se poată comuta automat pe canalul de rezervă, dacă acesta există și să genereze automat alarme de sistem, precum și înregistrarea evenimentului într-un jurnal de sistem.

11. Sistemul trebuie să asigure **funcția de autopornire**. Sistemul va fi capabil de a porni automat odată ce a fost pus în funcțiune corect. Aceasta presupune restartarea terminalelor sau a întregului sistem după căderea tensiunii, inițializarea unui restart de către utilizator sau orice eveniment care determină un restart, fără ca echipamentul să fie defect hardware sau comunicația să fie întreruptă.

12. **Funcția de osciloperturbograf**. Sistemul trebuie să permită înregistrarea formelor curbilor a oricăror mărimi de intrare/ieșire selectate prin programare. Pornirea înregistrării trebuie să fie comandată de:

- demarajul sau declanșarea oricărei protecții;
- schimbarea stării oricărei intrării sau ieșirii digitale;
- depășirea unui anumit prag de către intrările analogice
- **Funcții de înregistrare profil sarcină (tendințe)**. Terminalul trebuie să permită înregistrarea a cel puțin 16 canale de intrare configurabile a oricărui parametru de intrare sau calculat în mod continuu pentru ultimele 30 zile, cu un interval programabil de la 1 s la 1 oră.

13. **Funcții de comunicație**

HMI (Human Machine Interface). Echipamentele din sistemul SCADA trebuie să aibă posibilitatea să comunice cu un operator prin intermediul unui afișaj și a unei claviaturi aflate pe panoul frontal al aparatului. Toate setările și configurațiile vor putea fi introduse manual de la aceasta tastatură. Display-ul va permite citirea oricăror mărimi din terminal.

Comunicație Locală. Echipamentul din sistemul SCADA trebuie să posede un port de comunicație pentru cuplarea cu un Laptop în vederea programării, citirii tuturor mărimilor achiziționate și calculate, descărcării fișierelor de configurație deja existente în releu sau în vederea descărcării unui fișier de configurație.

Comunicații la distanță. Sistemul trebuie să asigure comunicația cu GUI și cu mai multe sisteme ierarhice superioare și cu echipamentele subordonate.

Protocoalele de comunicație. Sunt acceptate sunt IEC870-5-101 sau DNP3.0 și mai recent IEC61850. Desigur echipamentul poate avea și alte protocoale în afară de cele menționate. Pe lângă funcțiile tipice SCADA (comandă, monitorizare etc.) pe aceste porturi terminalul trebuie să poată transfera fișiere cum ar fi cele de configurare, cele grafice, cele de evenimente etc. (să accepte protocol TFTP pe LAN Ethernet).

Terminalul trebuie să comunice atât cu masterul de stație, cât și independent față de acesta cu oricare alt terminal din rețea (comunicație „peer to peer”) în vederea realizării interblocărilor locale independent de funcționarea sau nu a masterului de stație.

De asemenea, terminalul trebuie să aibă o intrare de sincronizare pentru a realiza sincronizarea cu ceasul universal.

14. **Funcții de supraveghere**

Echipamentele din sistemul SCADA trebuie să aibă posibilitatea să se autosupravegheze și să se autotesteze în vederea apariției unor defecțiuni.

10.6. Sisteme de comunicații utilizate pentru automatizarea unei stații de epurare a apelor uzate

10.6.1. Considerații generale privind rețelele de comunicații

Stațiile de epurare a apelor uzate sunt sisteme complexe neliniare, având o multitudine de mărimi de intrare și ieșire, măsurate cu ajutorul unor traductoare adecvate. Transmiterea informațiilor culese de senzori și traductoare către calculator se realizează prin intermediul unor rețele de comunicații industriale.

O rețea industrială locală este o rețea ce folosește arhitectura unui LAN (*local area network*). Rețelele industriale sunt forme specializate de rețele locale, dedicate aplicațiilor din domeniul achizițiilor de date, controlului senzorilor și elementelor de execuție ale proceselor din mediul industrial.

În mod esențial există două argumente în favoarea rețelelor industriale locale: comunicația prin intermediul unei magistrale permite un mod de a schimba date care nu pot fi transferate altfel sau pot fi transferate cu mare dificultate și transferul de date urmează un mecanism standardizat.

Dezvoltarea tehnologiei comunicațiilor digitale a determinat apariția unei zone vaste de opțiuni pentru rețelele de la nivelul aparaturii industriale, care se pot clasifica în rețele pentru senzori sau elemente de execuție, pentru dispozitive și pentru controlul în câmp.

Așadar, rețelele industriale locale sunt sisteme compiet digitale, seriale cu două căi, care interconectează echipamentele de măsură și control cum ar fi: senzori, elemente de execuție și controlere logice programabile (PLC). Fiind la baza ierarhiei rețelelor dintr-o întreprindere, acestea servesc ca și rețelele locale (LAN) pentru instrumentele utilizate în controlul proceselor și pentru aplicațiile de automatizare a producției și au facilități încorporate pentru a distribui, de-a lungul rețelei, controlul aplicației.

A. Rețelele de câmp digitale pot fi grupate în trei categorii, depinzând de tipul dispozitivului și aplicația pentru care au fost create:

- Sensor bus
- Device bus
- Fieldbus

În figura 10.64 se prezintă o clasificare a nivelelor rețelelor de câmp.

Sensor bus. Magistralele de senzori sunt comune în fabricarea discretă. Ele sunt folosite cu comutatoare de proximitate, butoane de comandă și alte dispozitive simple, unde costurile trebuie minimizate și unde sunt necesari doar câțiva biți pentru a transmite informațiile. Aceste magistrale de senzori sunt proiectate pentru a suporta aceste comunicații la nivel de bit, pentru controlul și detectarea tranzacțiilor simple, precum a închide sau deschide ceva, sau pentru a indica starea de funcționabilitate sau nefuncționabilitate. Aceste magistrale

acoperă de obicei distanțe scurte sau medii folosind două sau trei fire, care în mod normal nu sunt sigure intrinsec.

Device bus. Magistralele de dispozitive sunt proiectate pentru a satisface nevoile unor dispozitive mai complexe, de multe ori aplicațiile discrete rapide necesitând comunicații scurte, rapide. De obicei, acest tip de magistrală este folosit la linii de împachetare și controlul motoarelor.

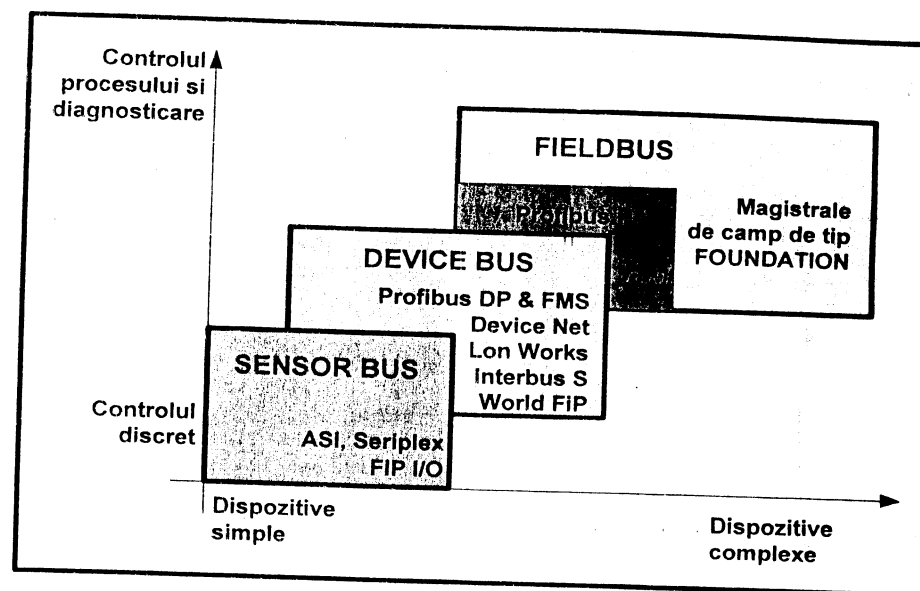


Fig. 10.64. Nivelele rețelelor de câmp.

Cu o capacitate a mesajelor de la câțiva octeți la peste 200 octeți, depinzând de protocol, magistralele de dispozitive pot suporta mai multă informație decât magistralele de senzori – nu numai semnalele „on/off”, dar și ajustări periodice și informații analogice suplimentare.

Magistralele de dispozitive au de obicei patru fire și nu sunt intrinsec sigure. Ele pot comunica cu multă rapiditate pe distanțe scurte și sunt încete pe distanțe lungi.

Două exemple de magistrale de dispozitive sunt **DeviceNet** și **Profibus DP**, care au fost proiectate pentru fabricarea discretă dar au fost adaptate pentru folosirea în instalații de proces.

Fieldbus. Al treilea tip de rețea de câmp este cel mai potrivit pentru controlul și diagnosticarea în operațiile de proces. Aceasta pentru că, magistralele de câmp furnizează două căi de comunicare de înaltă siguranță, între dispozitive „inteligente” și sistemele în aplicațiile de timp critic. Ele sunt optimizate pentru mesaje care conțin mai multe variabile în virgulă mobilă, toate selectate în același timp, și statutul fiecărei variabile.

Magistralele de câmp pot fi înlocuitoare digitale pentru comunicațiile analogice de 4-20 mA utilizate în operațiile de proces. Deoarece cerințele în aceste operații sunt diferite de cele din fabricarea discretă, magistralele de câmp în mod tipic au o viteză de transmisie mai înceată decât magistralele de senzori. Alte diferențe includ sprijinul pentru siguranța intrinsecă și abilitatea de a rula pe firele instrumentelor de câmp existente.

Multe instalații utilizează multiple rețele de nivele de câmp, cu diferite tipuri de magistrale, pentru a satisface diferite nevoi. Dar, complexitatea ridicată poate crește implementarea și menținerea costurilor, dacă nu se folosește un sistem care lucrează cu diferite categorii de magistrale fără mapare sau *gateways*. Aceste costuri adiționale pot fi minimizate, prin limitarea numărului tipurilor de rețele de la fiecare nivel al ierarhiei arhitecturii.

B. Ethernet Industrial

Deoarece este folosit în mod larg la nivelul rețelelor de birou, Ethernet-ul este familiar și convenabil. Dar, stația de epurare nu este un birou și cerințele pentru automatizarea proceselor nu este același lucru cu aplicațiile de birou. Chiar și așa, în aplicațiile concrete – și cu extensiile potrivite – Ethernet-ul poate reduce costurile și îmbunătăți performanța.

Interesul pentru folosirea Ethernet-ului ca magistrală de câmp, vine din dorința de a combina o arhitectură de înaltă performanță și costurile scăzute. Pentru sisteme de fabricație mici, această idee este viabilă dar, atunci când este vorba de automatizarea proceselor, problema devine mult mai complexă. O magistrală de câmp pentru automatizarea proceselor are cerințe diferite față de o rețea de birou, aceste cerințe incluzând:

- condiții extreme de mediu;
- siguranță intrinsecă;
- aceeași tensiune și semnal la toate firele;
- compatibilitate cu instrumentele și cablajele existente.

Costul pentru a asigura aceste cerințe reduce avantajul economic oferit de Ethernet. În afară de aceasta, Ethernet-ul nu furnizează siguranță intrinsecă, aceeași tensiune și semnal la toate firele sau compatibilitate cu instrumentele și cablajele existente.

Ca tehnologie hardware, Ethernet-ul îndeplinește aproape toate cerințele specifice rețelelor industriale, cu avantajul că oferă o utilizare răspândită și un cost redus la un volum mare de date. Pot exista aplicații cu cerințe speciale cum ar fi zone cu risc mare de explozie care necesită dispozitive și cabluri sigure, fire comune pentru alimentare, opto-izolare etc. În aceste cazuri se vor utiliza rețele locale industriale specializate la nivelul dispozitivelor. Având o singură tehnologie de rețea de la nivelul întreprinderii la nivelul senzorilor, se va simplifica în mod major arhitectura sistemului, proiectarea instalării și întreținerea.

10.6.2. Soluții actuale de comunicații utilizate în procesul de automatizare al unei SEAU

PROFIBUS

Familia Profibus a protoacoalelor a fost proiectată să furnizeze o ierarhie de comunicații pentru un sistem PLC, în primul rând în automatizarea discretă a fabricării și construcției.

Include 3 protoacoale diferite care au diferite calități și aplicații:

- Profibus FMS furnizează coloana vertebrală a sistemelor PLC, conectând interfețele utilizatoare, PLC-urile, aparatele CNC etc.
- Profibus DP este folosit pentru procesări primare discrete cum ar fi: liniile de asamblare, liniile de împachetare, automatizările de construcție, controlul motoarelor, și sistemele de mânăuire a materialelor.
- Construit în vârful acestor două mai vechi protoacoale, Profibus PA intenționează să extindă folosirea Profibus-ului în industria de procesare. Diferențele cele mai mari dintre Profibus PA și DP constau în stratul fizic.

Deoarece Profibus PA este o magistrală digitală, ea are capacitatea de a furniza anumite avantaje față de tradiționala arhitectură punct-la-punct („point-to-point”). Unele dintre avantaje sunt determinate de caracteristicile fizice ale magistralei, și altele de implementarea software a magistralei.

HART (Highway Addressable Remote Transducer)

Dintre toate protoacoalele existente, HART este în general cea mai bună soluție pentru a obține și transmite informații de la și respectiv către dispozitive în formă digitală, în timp ce păstrează compatibilitatea cu arhitectura de tip analogic, ce transmite un semnal analogic de 4-20 mA. Deoarece combină comunicațiile digitale și analogice, HART este un protocol hibrid. El poate comunica o singură variabilă folosind un semnal analogic de 4-20 mA, în același timp comunicând și informațiile aduse pe semnal digital. Informațiile digitale sunt transmise prin modulație la nivel redus, care s-a impus odată cu bucla de curent a standardului de 4-20 mA.

Semnalul digital nu afectează citirea analogică, deoarece este îndepărtat de semnalul analogic prin tehnici standard de filtrare. Abilitatea de a transporta aceste informații adăugate digital, este unul din beneficiile de bază ale protocolului HART.

MODBUS

Controlerele programabile MODICON pot comunica între ele, precum și cu alte dispozitive prin intermediul unei varietăți de rețele. Tipurile de rețele acceptate sunt:

- Modbus Modicon;
- Modbus Plus industrial și rețele standard ca: MAP și Ethernet.

Rețelele sunt accesate prin intermediul:

- porturilor specializate din controlere;
- adaptoare de rețea;

- module opționale;
- porți produse de Modicon.

Limbajul utilizat de toate controlere Modicon este protocolul Modbus. Acest protocol definește structura mesajelor pe care le vor recunoaște și utiliza controlerele fără a se specifica tipul de rețea utilizată. Protocolul descrie procesul prin care controlerul cere accesul la alt dispozitiv, cum va răspunde acesta la cererile care vin de la dispozitive și câte erori vor fi recunoscute și raportate. Protocolul stabilește formatul comun pentru mesaj și conținutul câmpurilor mesajului.

Protocolul MODBUS oferă un standard intern utilizat pentru analiza mesajelor de către controlere MODICON. Protocolul determină, pe durata comunicației, cum fiecare controler își va cunoaște propria adresă, mesajul care îi este adresat, cum să extragă orice dată sau altă informație conținută în mesaj. În cazul în care este necesar un răspuns, controlerul va construi răspunsul și-l va trimite utilizând protocolul MODBUS.

FOUNDATION

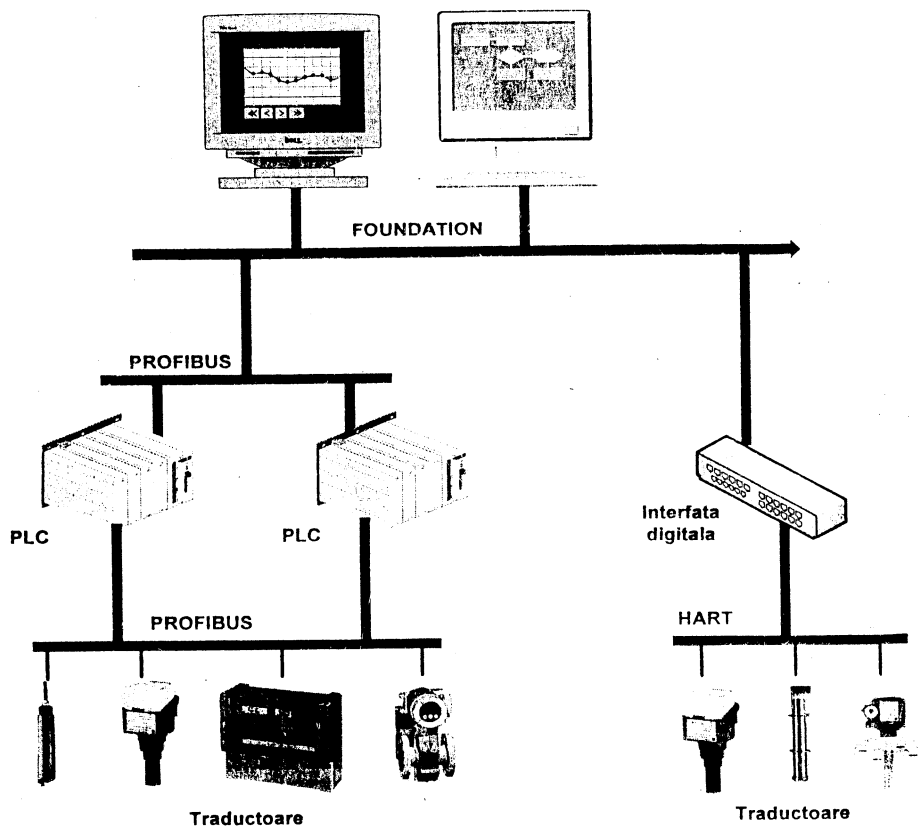


Fig. 10.65. Structură de magistrală de câmp utilizată într-o SEAU.

Magistrala de câmp de tip FOUNDATION, este un sistem de comunicații bidirecțional, serial și complet digital, care servește ca rețea de bază într-un mediu automatizat, ce poate fi instalație sau fabrică. Acest sistem este ideal pentru aplicațiile care folosesc un regulator de control de bază și avansat și pentru marea parte a controlului asociat cu aceste funcții.

În figura 10.65 se prezintă o structură de magistrală de câmp care se utilizează în cadrul unei stații de epurare a apelor uzate automatizată.

Odată cu introducerea noilor tehnologii de comunicații ca HART, PROFIBUS sau FOUNDATION s-au eliminat o serie de dezavantaje date de legătura între sistemele de senzori și traductoare și sistemele de reglare și conducere din cadrul unei stații de epurare a apelor uzate. Aceste instrumente de comunicații au devenit parte integrantă a arhitecturii de automatizare a SEAU.

Prin intermediul acestor protocoale de comunicații se obțin o serie de avantaje legate de întreținerea, diagnoza și controlul mărimilor de proces, ducând la o optimizarea funcționării instalațiilor.

BIBLIOGRAFIE

1. **Adil, N.**, „Kinetics and stoichiometry of activated sludge treatment of a toxic organic wastewater“. *JWPCF*, februarie 1988.
2. **Aitken, D., Batch, M.**, „Biological treatment of inhibitory substrates“. *Journal of Environmental Engineering*, vol. 119, sept.1993.
3. **Akca, L.**, „A model for optimum design of activated sludge plants“. *Water Resources*, vol. 27, 9, 1993.
4. **Babbitt, H. E.**, *Sewerage and sewage treatment*. Ed. John Wiley, New York, 1954.
5. **Barnett, M. W., Stenstrom, M. K., Andrews, J. F.**, *Dynamics and control of wastewater systems*, vol. 6, second edition, Technomic Publishing Company, 1998.
6. **Catană, I., Safta, C. A., Panduru, V.**, *Modelarea și conducerea proceselor prin tehnici de inteligență artificială*, Ed. Printech, București, 2004.
7. **Cincu, A.**, *Informatizarea și modelarea hidrodinamicii instalațiilor de epurare*. Teză de doctorat, UPB, 2006.
8. **Coulson, J. M., Richardson, J. F., Backhurst, J. R., Harker, J. H.**, *Chemical Engineering*, vol. 2. Ed. Pergamon Press, 1980.
9. **Dinter, O.**, *Hidrocicloanele și folosirea lor*. Ed. Tehnică, București, 1965.
10. **Dresnack, P., Metzger, I.**, „Oxygen response and Aeration in Streams“. *Journal of Water Pollution Control Federation*, nr. 25, 1973.
11. **Dumitrache, I.**, *Ingineria reglării automate*, Ed. POLITEHNICA Press, București, 2005.
12. **Dumitrescu, D., Robescu, D., Petrovici, T.**, *Cercetări teoretice și experimentale asupra aeratoarelor cu rotor*. Centrul de Cercetări Hidraulice 1969-1972, lucrare distinsă cu Premiul Academiei Române „Aurel Vlaicu“, 1974.
13. **Eckenfelder, W. W., O'Connor, D. J.**, *Biological wastewater treatment*. Ed. Pergamon Press, New York, 1961.
14. **Eckenfelder, W. W., Cecil, L. K.**, *Application of new concepts of physico-chemical wastewater treatment*. Ed. Pergamon Press, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, 1972.

15. Fair, G. M., Geyer, J. C., Okun, D. A., *Water purification and wastewater treatment and dispersal*. Ed. John Wiley, New York, 1966.
16. Fair, G. M., Geyer, J. C., *Elements of water supply and wastewater dispersal*. Ed. John Wiley, New York, 1968.
17. Florea, J., Robescu, D., *Hidrodinamica instalațiilor de transport hidro-pneumatic și de depoluare a apei și aerului*. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1983.
18. Florea, J., Robescu, D., Petrovici, T., „Aspecte ale proiectării hidrodinamice a aeratoarelor de suprafață cu rotor și ax vertical”. *Buletinul Institutului Politehnic București*, nr. 3, 1978.
19. Föllinger, O., *Regelungstechnik. Einführung in die Methoden und ihre Anwendung*, Hüthig Buch Verlag, Heidelberg 1994.
20. Forester, S., *Efficient wastewater treatment. The field for analytical monitoring equipment*, <http://eco-web.com/editorial/01759.html>, 2000
21. Franke, M., „Un nouveau système d'aération intensive pour la purification des eaux résiduaires”. In *Technique de l'eau et de l'assainissement*, nr. 306, 1972.
22. Govil, G. P. and Gaur, R. R., *Development of Conversion Kits to Promote the use of Biogas in Existing Diesel Engines for Variable Load Rural Applications*. Proceedings of National Conference on Commercialization Aspects of Renewable Energy Sources, 2000.
23. Hartfield, W., „The viscosity of pseudo plastic properties of sewage sludge”. *Sew. Works J.*, 7, 1983.
24. Henze, M., Harremoës, P., la Cour Jansen, J., Arvin, E., *Wastewater treatment. Biological and Chemical Processes*, third ed., Springer, 2002
25. Houdenko, B., Chpirt, E., *Aeratory dlia ocistki stocinîh vod*. Ed. Mașghiz, Moscova, 1973.
26. Hütte, *Manualul inginerului. Fundamente*. ediția a 29-a, Ed. Tehnică, București, 1995.
27. Iliescu, S., St., *Teoria reglării automate*, Ed. Proxima, București, 2006.
28. Iliescu S., St., *Teoria și elementele sistemelor de reglare automată*, EDP, București, 1984.
29. Iliescu, S., St., Făgărășan Ioana, Pupăză D., *Analiza de sistem în informatica industrială*, Ed. AGIR, București, 2006.
30. Ionescu, Vi., *Teoria sistemelor. Sisteme liniare*, EDP, București, 1985
31. Ingildsen, P., *Realising full-scale control in wastewater treatment systems using in situ nutrient sensors*, doctoral dissertation, Lund University, 2002.
32. Isermann, R., *Regelungstechnik I*, Shaker Verlag, Aachen, 2002.
33. Isermann, R., *Aufgabensammlung zur Vorlesung Regelungstechnik I*. Ausgabe WS 2002/2003. Skript, TU Darmstadt, Institut für Automatisierungstechnik, Fachgebiet Regelungstechnik und Prozeßautomatisierung, Darmstadt, 2002

34. Isermann, R., *Identifikation dynamischer Systeme 1*, Springer Verlag, Berlin, 1992.
35. Isermann, R., *Mechatronische Systeme. Grundlagen*, Springer Verlag, Berlin 1999.
36. Imhoff, K. R., Bode, H., Evers, P., *Epurarea apelor reziduale. Stații comunale de epurare*. Ed. Tehnică, București, 1998.
37. Kalinske, A. A., „Economics of aeration in waste treatment”. În lucrările Congresului al 23-lea de ape uzate, Universitatea Purdue, 1968.
38. Kishi, H. „Hibrid lagoon automatic control technology”. *J.W.P.C.F.*, 5, 1997.
39. Kopelovici, A. P., *Sisteme de reglare automată. Metode de calcul ingineresti*, ET, București 1963.
40. Krenkel, P. A., Orlov, G. T., „Turbulent diffusion and the reaeration coefficient”. *Journal Sanitary Division of American Society of Civil Engineering*, nr. 53, 1962.
41. Levine, W. S., *The control handbook*, CRC Press. Inc., N.Y., 1995.
42. Marsilli-Libelli, S., Tabani, F., „Accuracy analysis of a respirometer for activated sludge dynamic modelling”, *Water Research*, 36, 2002, p. 1181-1192.
43. Martinez, S. G., „Alternating aerobic and anaerobic operation of an activated sludge plant”. *JWPCF*, februarie, 1987.
44. Mays, L. W., *Water Resources Handbook*, McGraw-Hill, 1996.
45. Meador, R. J., Hatley, D. D., *Parris Island wastewater treatment plant SCADA upgrades final report*, U.S. Department of Energy, 2004.
46. Mechillan, G. K., Considine, D. M., *Process/industrial instruments and control handbook*, fifth edition, McGraw Hill, 1999.
47. Meiroșu, G., „Contribuții la conducerea prin calculator a proceselor din stații de epurare mecano-biologice”. Teză de doctorat, UPB, 2002.
48. Metcalf & Eddy, *Wastewater engineering. Treatment and reuse*, fourth edition, McGraw Hill, 2003.
49. Mihoc, D., Iliescu, S., *Teoria și elementele sistemelor de reglare automată*, EDP, București, 1984.
50. Morgan, P. P., Bewtra, J. E., „Air diffuser efficiencies”, *JWPCF*, nr. 32, 11960.
51. Negulescu, M., *Epurarea apelor uzate industriale*. Ed. Tehnică, 1968.
52. Negulescu, M., *Epurarea apelor uzate orașenești*. Ed. Tehnică, București, 1978.
53. Negulescu, M., Secară, E., *Exploatarea instalațiilor de epurare a apelor uzate*. Ed. Tehnică, București, 1977.
54. Nicolescu, O., *Sistemul informațional-managerial al organizației*, Ed. Economică, București 2001.
55. Ognean, T., „Epurarea biologică a apelor uzate în instalații cu nămol activ în alimentare intermitentă”. *Hidrotehnica* 27, (8), 1982.

56. **Olsson, G., Newell, B.**, *Wastewater treatment systems: modeling, diagnosis and control*, IWA Publishing, 1999.
57. **Olsson, G., Nielsen, M., Yuan, Z., Jensen, A. L., Steyer, J. P.**, *Instrumentation, control and automation in wastewater systems*, IWA Publishing, 2005.
58. **Oppel, W.**, *Tehnica reglării automate*, Ed. Tehnică, București, 1965.
59. **Pavel, D.**, *Mașini hidraulice*. Ed. Energetică de Stat, București, 1955.
60. **Parawira W., Kudita I., Nyandoroh M. G. and Zvauya R.**, „A study of industrial anaerobic treatment of opaque beer brewery wastewater in tropical climate using a full scale UASB reactor seeded with activated sludge“, *Process Biochemistry*, 2005.
61. **Pislarășu, I., Rotaru, N., Teodorescu, M.**, *Alimentări cu apă*. Ed. Tehnică, București, 1981.
62. **Pfleiderer, P.**, *Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase*. Ed. Springer, Berlin, 1955.
63. **Pons, M. N., Alex, J.**, „Simulation of control strategies – dynamic modelling of sensor and actuator behavior“, IWA2006 Workshop, 13 September 2006, Beijing, PR China.
64. **Rășenescu, J.**, „Hidrocicloul – principii de construcție și dimensionare“. În *Industria alimentară*, nr. 14, 1962.
65. **Revcenco, P., Boscornea, P.**, *Metodologie de conducere și control a procesului biologic cu nămol activ în stațiile de epurare a apelor uzate orășenești, industriale și din zootehnie*. ICIM, București, 1992.
66. **Renert, M.**, *Calculul și construcția utilajului chimic*. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1961.
67. **Rickles, R.**, *Pollution control*. Noyes Corporation, New York, 1950.
68. **Rouse, H.**, *Engineering Hydraulics*. John Wiley, New York, 1985.
69. **Robescu, D.**, „Contribuții teoretice și experimentale la studiul epurării apei“. Teză de doctorat. Institutul Politehnic București, 1975.
70. **Robescu, D.**, *Instalații de depoluare a apei și aerului*. Institutul Politehnic București, 1979.
71. **Robescu, D.**, *Procedee, instalații și echipamente pentru epurarea fizică a apelor uzate*. București, 1999.
72. **Robescu, D.**, „Proiectarea aeratoarelor axiale rapide“. În *Buletinul Institutului Politehnic București*, nr. 3, 1979.
73. **Robescu, D., Petrovici, T., Constantinescu, I., Lanyi, Sz.**, „La role de la turbulence mecanique induite sur le transfer de masse a l'interface gaz-liquid“. În volumul Congresului XVIII IAHR, 1979.
74. **Robescu, D.**, „The study of the correlation between the hydraulic and chemical parameters and biological parameters in the station of biological purification with active mud“. În volumul 2 la Congresul al-XX-lea IAHR, Moscova, 1983.

75. **Robescu Diana ș.a.**, *Modelarea și simularea proceselor de epurare*. Editura Tehnică, București, 2004.
76. **Roques, H.**, *Fondaments theoretiques du traitement biologique des eaux*. Ed. Technique et Documentation, Paris, 1980.
77. **Rosén, C.**, „Monitoring wastewater treatment systems“, doctoral dissertation, Lund University, 1998.
78. **Samal, E., Becker, W.**, *Grundrűß der praktischen Regelungstechnik*, 21. Auflage, Oldenbourg Verlag München, Wien, 2004.
79. **Scheible, K.**, „Development of a rationally based design method for ultraviolet light disinfection process“. *J.W.P.C.F.*, ianuarie 1987.
80. **Solnik, W., Zajda, Z.**, „Automation of oxygenation process in biological treatment plants“, Scientific proceedings of Riga Technical University, series *Computer Science*, 2000.
81. **Spanjers, H., Patry, G. G., K. J. Keesman**, „Respirometry – based on-line model parameter estimation at a full-scale wastewater treatment plant“, *Water Science & Technology*, vol. 45, p. 335-343, 2002.
82. **Stalman, V.**, *Turbina BSK, un nou sistem de aerare de mare capacitate în tehnica epurării apelor uzate*. În „Das Gas und Wasserfach“, nr.22, 1965.
83. **Sterbacek, Z., Tausk, P.**, *Amestecarea*. Ed. Tehnică, București, 1969.
84. **Stepanoff, F. W.**, *Centrifugal and axial flow pumps*. Ed. John Wiley, New York, 1957.
85. **Stepanoff, F. W.**, *Pumps and blowers. Two phase flow*. Ed. John Wiley, New York, 1962.
86. **Stoianovici, S., Robescu, D.**, *Procedee și echipamente pentru tratarea și epurarea apei*. Ed. Tehnică, București, 1982.
87. **Stoianovici, S., Robescu, D.**, *Calculul și construcția echipamentelor de oxigenare a apelor*. Ed. Tehnică, București, 1984.
88. **Streeter, V. L.**, *Handbook of fluid dynamics*. Ed. Mc Graw Hill, New York, 1961.
89. **Schwarze, J.**, *Einführung in die Wirtschaftsinformatik*, Verlag Neue Wirtschafts – Briefe GmbH & Co., Herne / Berlin, 1989.
90. **Șerban, S.** *Sisteme de reglare automată*, Ed. Printech, București, 2004.
91. **Tănăsescu, N.**, *Identificarea sistemelor cu parametrii distribuiți*, Matrix Rom, București, 2000.
92. **Teodorescu, I., Antoniu, M.**, *Evacuarea și epurarea apelor uzate din industria alimentară*. Ed. Tehnică, București, 1979.
93. **Unbehauen, H.**, *Regelungstechnik I, 12. Auflage*, Vieweg Verlag Braunschweig / Wiesbaden, 2002
94. **Vaicum, L. M.**, *Epurarea apelor uzate cu nămol activ*. Ed. Academiei, București, 1981.

95. **Vanrolleghem, P. A., Lee, D. S.**, „On-line monitoring equipment for wastewater treatment processes: state of art“, *Wastewater Science and Technology*, vol. 47, no. 2, pp. 1-34, IWA Publishing, 2003.
96. **Voicu, M.**, *Introducere în automatică*, Ed. Polirom, Iași, 2002.
97. **Zacher, S.**, *Duale Regelungstechnik*, VDE Verlag GmbH, Berlin Offenbach, 2003.
98. **Wiesmann, U., Choi, I.S., Dombrowski, E.M.**, *Fundamentals of biological wastewater treatment*, Wiley-VCH, 2007.
99. **Wu Y.C.**, „Wet air oxidation of anaerobically digested sludge“. *JWPCF*, Ianuarie, 1987.
100. x x x *Protecția, tratarea și epurarea apelor*. Consiliul Național al Apelor, București, 1976.
101. x x x *Chemical Engineers' Handbook*, Ed. John Wiley, New York, 1973.
102. x x x *General guidebook of environmental self-monitoring for egyptian industries*, RCEP3, 2002.
103. x x x *Memento technique de l'eau*. Ed. Degremont, Paris, 1973, 1978, 1980.
104. x x x *Operation of waste treatment plants*. JWPCF, Washinton, 1961.
105. x x x *Aeration in wastewater treatment*. Manual of practice, JWPCF, Washinton, 1970.
106. x x x *Underwasserpumpen*. EMU Informationen, nr. 9, 1976.
107. x x x *Catalog de utilaje și echipamente pentru alimentări cu apă și canalizări*. Comitetul pentru problemele Consiliilor Populare, ISLGC, 1980.
108. x x x *Îndrumar de proiectare tehnologică a instalațiilor de epurare biologică a apelor uzate*. CAN – ICPGA, București, 1981.
109. x x x *EPA Anaerobic digester mixing systems*. JWPCF, 59, 3, 1987.
110. x x x *Wastewater, Drinking Water, Process Water – Laboratory Analysis, Laboratory Automation, Samplers, Process Measurement*, Catalogue 2006/2007, Hach-Lange.
111. x x x *Guide to instrumentation in wastewater*, Endress+Hauser
112. x x x *Biological nutrient removal (BNR) operation in wastewater treatment plants*, WEF Manual of Practice No.29, ASCE/EWRI Manuals and Reports on Engineering Practice No.109, McGraw Hill, 2005.
113. x x x *Matlab User's Guide*, The Mathworks Inc.
114. x x x *Simulink Toolbox User's Guide*, The Mathworks Inc.
115. x x x *Fuzzy Logic Toolbox User's Guide*, The Mathworks Inc.
116. x x x *Neural Network Toolbox User's Guide*, The Mathworks Inc.
117. <http://www.pacontrol.com>
118. <http://www.byte.ro>
119. <http://www.sourcis.com>
120. <http://www.sensorex.com>