Universitatea Transilvania din Brașov

ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: Alimentație și Turism

Ing. Daniela ZĂRNOIANU

TEZĂ DE DOCTORAT

Contribuții la cercetarea teoretică și experimentală a proceselor de epurare a apelor industriale uzate prin sedimentare și filtrare

Contributions to theoretical and experimental research on treatement of industrial wastewater by sedimentation and filtration

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

Prof.dr.ing. Simion POPESCU

BRAȘOV, 2019

D-lui (D-nei)

.....

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Brașov

Nr. **9956** din **05.07.2019**

PREȘEDINTE:	*Prof. dr. ing. Csatlos Carol* Decan Facultatea de Alimentație și Turism Universitatea Transilvania din Brașov
CONDUCĂTOR ȘTIINȚȚIFIC:	*Prof. dr. ing. Popescu Simion* Universitatea Transilvania din Brașov
REFERENȚI:	*Prof. dr. ing. Țenu Ioan* Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară, Iași
	Prof. dr. ing. Voicu Gheorghe Universitatea Politehnica, București
	Prof. dr. ing. Rus Florean Universitatea Transilvania din Brașov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat:

12.09.2019, ora 10, sala RP6

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vă rugăm să le transmiteți în timp util, pe adresa instituțională

Totodată vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

CUPRINS

	Pg. Teză	Pg. Rez
PREFAȚĂ	5	5
CAP. 1. ASPECTE GENERALE PRIVIND EPURAREA APELOR INDUSTRIALE UZATE	7	7
1.1. Surse de uzare a apelor în industrie	7	8
1.2. Proprietățile de bază ale apelor uzate	9	8
1.3. Reglementările actuale din domeniul epurării apelor uzate	11	9
1.4. Procedee de epurare a apelor uzate	12	8
1.4.1. Procedee generale de epurare	12	8
1.4.2. Procedee avansate de epurare	16	9
CAP. 2. CONSTRUCȚIA ECHIPAMENTELOR DE SEPARARE PRIN SEDIMENTARE ȘI FILTRARE A IMPURITĂȚILORDIN APELE UZATE	20	10
2.1. Aspecte generale	20	10
2.2. Construcția și utilizarea echipamentelor pentru separarea prin sedimentare	21	11
2.2.1. Procesul de lucru al echipamentelor de separare prin sedimentare	21	11
2.2.2. Construcția și utilizarea decantoarelor	24	11
2.2.3. Decantoare de construcție specială	33	14
2.2.4. Concluzii privind separarea prin sedimentare	36	(-)
2.3. Construcția și utilizarea echipamentelor pentru separarea prin filtrare	36	15
2.3.1. Procesele de lucru al echipamentelor de separare prin filtrare	36	15
2.3.2. Materiale filtrante folosite la construcția filtrelor	38	16
2.3.3. Construcția și utilizarea filtrelor tangențiale	42	17
2.3.4. Regenerarea structurii mediilor filtrante	45	18
2.3.5. Concluzii privind separarea prin filtrare	48	(-)
CAP: 3. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND SEPARAREA PRIN SEDIMENTARE ȘI FILTRARE. OBIECTIVELE LUCRĂRII DE DOCTORAT	50	20
3.1. Stadiul actual al cercetărilor privind procesele de separare prin sedimentare	50	20
3.2. Stadiul actual al cercetărilor privind proceselor de separare prin filtrare	55	22
3.3. Obiectivele lucrării de doctorat	62	23
CAP: 4. CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND PROCESELE DE SEPARARE PRIN SEDIMENTARE ȘI FILTRAR A APELOR UZATE	65	25
4.1. Cercetări teoretice privind procesul de epurare a apelor uzate prin separare prin sedimentare	65	25
4.1.1. Considerații generale privind procesul de separare prin sedimentare	65	25
4.1.2. Determinarea analitică a vitezei de sedimentare a particulelor	69	26
4.1.3. Determinarea grafică a vitezei de sedimentare a particulelor	75	30
4.1.4. Influența deplasării mediului asupra procesului de sedimentare	78	31
4.1.5. Factorii care influențează vitezele de sedimentare	81	33
4.1.6. Elemente de bază privind dimensionarea decantoarelor	83	34
4.1.7. Concluzii privind cercetarea teoretică a procesului de separare prin decantare	86	(-)

4.2. Cercetări teoretice privind procesele de separare prin filtrare 88 35
4.2.1. Aspecte generale privind procesele de separare prin filtrare 88 35
4.2.2. Modelarea fizică și matematică a proceselor de filtrare 90 37
4.2.3. Factorii care influențează operația de filtrare 98 43
4.2.4. Concluzii privind cercetarea teoretică a proceselor de separare prin filtrare 100 (-)

CAP: 5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESELOR DE SEDIMENTARE ȘI FILTRARE A APELOR INDUSTRIALE UZATE 102 44
5.1. Cercetarea experimentală a proceselor de sedimentare în decantoare verticale 102 44
5.1.1. Obiectivele și metodologia cercetării experimentale a proceselor de decantare 102 44
5.1.2. Cercetarea experimentală a sistemelor de sedimentare în decantoare verticale. Analiza rezultatelor 104 45
5.2. Cercetarea experimentală a proceselor de filtrare cu filtre tangențiale 130 56
5.2.1. Obiectivele și metodologia cercetării experimentale 130 56
5.2.2. Cercetarea experimentală a sistemelor de filtrare. Analiza rezultatelor 133 58

CAP. 6. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUTII ORIGINALE SI DIRECTII VIITOARE DE CERCETARE 149 68
6. 1. Concluzii privind procesele de separare a impurităților din apele uzate 149 68
6.2. Concluzii privind cercetarea teoretică a proceselor de separare prin decantare și filtrare 150 69
6.3. Concluzii privind cercetarea experimentală a proceselor de separare prin decantare și filtrare a apelor industriale uzate 152 70
6.4. Contribuții originale ale lucrării de doctorat 154 74
6.5. Direcții viitoare de cercetare 155 74

BIBLIOGRAFIE 157 75

CONTENT

	Pg. Thesis	Pg. Abstract
PREFACE	5	5
CAP. 1. GENERAL ASPECTS CONCERNING THE TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER	7	7
1.1. Sources of industrial wastewater	7	8
1.2. Fundamental properties of wastewater	9	8
1.3. Current wastewater treatment regulations	11	9
1.4. Wastewater treatment procedures	12	8
1.4.1. General wastewater treatment procedures	12	8
1.4.2. Advanced wastewater treatment procedures	16	9
CAP. 2. CONSTRUCTION OF SEPARATION EQUIPMENT OF IMPURITIES FROM INDUSTRIAL WASTEWATER BY SEDIMENTATION AND FILTRATION	20	10
2.1. General aspects	20	10
2.2. Construction and utilisation of equipment for separation by sedimentation	21	11
2.2.1. Working process of equipment for separation by sedimentation	21	11
2.2.2. Construction and utilisation of decanters	24	11
2.2.3. Special constructions of decanters	33	14
2.2.4. Conclusions concerning separation by sedimentation	36	(-)
2.3. Construction and utilisation of equipment for separation by filtration	36	15
2.3.1. Working process of equipment for separation by filtration	36	15
2.3.2. Filtration materials used in filter construction	38	16
2.3.3. Construction and utilisation of tangential flow filters	42	17
2.3.4. Regeneration of the structure of filtration media	45	18
2.3.5. Conclusions concerning separation by filtration	48	(-)
CAP. 3. CURRENT STATE OF RESEARCH CONCERNING SEPARATION BY SEDIMENTATION AND FILTRATION. OBJECTIVES OF THE DOCTORAL THESIS	50	20
3.1. Current state of research on separation processes by sedimentation	50	20
3.2. Current state of research on separation processes by filtration	55	22
3.3. Objectives of the doctoral thesis	62	23
CAP. 4. THEORETICAL RESEARCH ON THE TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER BY SEDIMENTATION AND FILTRATION	65	25
4.1. Theoretical research concerning the wastewater treatment process by separation by sedimentation	65	25
4.1.1. General considerations concerning the separation process by sedimentation	65	25
4.1.2. Analytical determination of the particle sedimentation rate	69	26
4.1.3. Graphical determination of the particle sedimentation rate	75	30
4.1.4. Influence of medium displacement on the sedimentation process	78	31
4.1.5. Factors that influence sedimentation rates	81	33
4.1.6. Basic elements concerning design and dimensioning of decanters	83	34
4.1.7. Conclusions of the theoretical research concerning separation by sedimentation	86	(-)

4.2. Theoretical research concerning separation processes by filtration 88 35
4.2.1. General aspects concerning separation processes by filtration 88 35
4.2.2. Physical and mathematical modelling of filtration processes 90 37
4.2.3. Influencing factors of the filtration process 98 43
4.2.4. Conclusions of the theoretical research concerning the separation processes by filtration 100 (-)

CAP. 5. EXPERIMENTAL RESEARCH CONCERNING THE SEDIMENTATION AND FILTRATION PROCESSES OF INDUSTRIAL WASTEWATER 102 44
5.1. Experimental research on the sedimentation processes in vertical decanters 102 44
5.1.1. Objectives and methodology of the experimental research 102 44
5.1.2. Experimental research of the sedimentation systems in vertical decanters 104 45
5.2. Experimental research on the filtration processes using tangential flow filters 130 56
5.2.1. Objectives and methodology of the experimental research 130 56
5.2.2. Experimental research of the filtration systems 133 58

CAP. 6. FINAL CONCLUSIONS, ORIGINAL CONTRIBUTIONS AND FUTURE DIRECTIONS OF RESEARCH 149 68
6.1. Conclusions concerning the separation processes of impurities from wastewater 149 68
6.2. Conclusions concerning the theoretical research of the mechanical separation processes by decanting and filtration 150 69
6.3. Conclusions concerning the experimental research of the separation processes by decanting and filtration of industrial wastewater 152 70
6.4. Original contributions put forward by the doctoral thesis 154 74
6.5. Future directions of research 155 74

BIBLIOGRAPHY 157 75

PREFAȚĂ

Din punct de vedere fizic, apele industriale uzate reprezintă amestecuri eterogene bifazate de tip solid - lichid formate din apă și impurități. Epurarea apelor industriale uzate este un proces tehnoșogic care constă în îndepărtarea prin separare a impurităților și poluanților din apă, în scopul protecției mediului înconjurător (aer, sol, emisar etc.). Tehnologia de epurare implică aplicarea unor trepte succesive de separare, mecanice (sedimentare, filtrare), chimice și biologice, care presupun utilizarea unor tehnici moderne și performante.

În lucrarea elaborată ca teză de doctorat s-au tratat aspectele de bază privind procesele de epurare a apelor uzate, prin abordarea unor studii teoretice și experimentale referitoare la două procedee cunoscute de separare mecanică a impurităților: sedimentare (decantarea) și filtrare. Abordarea acestei teme urmărește completarea literaturii de specialitate din domeniu, prin oferirea unor rezultate obținute prin cercetări teoretice și experimentale, care să conducă atât la elaborarea unor tehnologii moderne cât și la perfecționarea performanțelor utilajelor și echipamentelor de separare.

Teza de doctorat elaborată este structurată în 6 capitole (ultimul reprezintă concluziile finale) și cuprinde o listă bibliografică cu 175 titluri cu lucrări reprezentative publicate în domeniu, dintre care 7 lucrări aparțin autorului tezei.

În **Cap. 1**, intitulat *„**Aspecte generale privind epurarea apelor industriale uzate”*** sunt prezentate, sintetic, elemente semnificative privind sursele de uzare și proprietățile de bază ale apelor industriale uzate. Se evidențiază unele aspecte referitoare la reglementările actuale pe plan internațional și național, privind epurarea apelor uzate. În final se prezintă, informativ, o procedeele generale și specifice de epurare, precum și unele tendințe moderne (avansate) de epurare a apelor uzate.

În **Cap. 2,** intitulat *„**Construcția și procesele de lucru ale echipamentelor de separare prin sedimentare și filtrare a impurităților din apele uzate”*** se prezintă, sintetic, procesele de lucru, construcția și utilizarea echipamentelor și instalațiilor folosite pentru separarea prin sedimentare (decantoare) și prin filtrare a impurităților din apele uzate. La elaborarea acestui capitol s-a folosit un vast material documentar existent în literatura tehnică de specialitate pe plan mondial.

În **Cap. 3,** intitulat *„**Stadiul actual al cercetărilor privind separare prin sedimentare și filtrare. Obiectivele lucrării de doctorat”,*** în prima parte se prezintă, pe baza analizei unui vast material informativ din literatura de specialitate, rezultatele semnificative ale cercetărilor teoretice și experimentale privind procesele de separare prin sedimentare și filtrare. În partea a doua a capitolului se prezintă, sintetizat, obiectivele generale și metodologia cercetărilor teoretice și experimentale ale lucrării de doctorat.

În **Cap. 4,** intitulat *„**Cercetări teoretice privind procesele de separare a apelor uzate prin sedimentare și filtrare”***, în prima parte se prezintă aspectele teoretice ale procesului de separare prin sedimentare a impurităților din apelor uzate, se elaborează modelele fizice și se matematice pentru studiul procesului de sedimentare și se prezintă elementele semnificative privind alegerea parametrilor de bază ai decantoarelor orizontale (paralelipipedice și radiale) și verticale. În partea a doua a capitolului se elaborează modelele fizice și matematice pentru studiul proceselor de lucru ale filtrele de suprafață, modele aplicabile și la filtrele tangențiale. Se evidențiază parametrii caracteristici ai proceselor de filtrare și factorii constructivi și funcționali care influențează operațile de filtrare.

În **Cap. 5,** intitulat „C***ercetarea privind procesele de separare a apelor uzate prin sedimentare și filtrare”*** se prezintă obiectivele, metodologia și instalațiile pilot folosite la cercetarea experimentală a procesului de decantare al decantoarelor verticale pentru apele uzate provenite de la o instalație din industria chimică.. Se face prelucrarea și analiza datelor experimentale și se întocmesc grafice ilustrative care evidențiază influența diferiților parametri constructivi și funcționali asupra performanțelor de lucru a diferitelor variante constructive de decantoare verticale. În partea a doua se prezintă obiectivele, metodologia și instalațiile pilot folosite la cercetarea experimentală a proceselor de filtrare a apelor uzate provenite de la decantoare prin utilizarea filtrelor tangențiale, în vederea ridicării gradului de eficiență a separării. Pe baza datelor experimentale se întocmesc grafice care ilustrează influența unor parametri asupra eficienței diferitelor tipuri de filtre și de scheme de filtrare. În final se elaborează concluzii și recomandări utile pentru dimensionarea, proiectarea și utilizarea decantoarelor și filtrelor tangențiale utilizate în tehnologia de epurare a apelor uzate.

În **Cap. 6**, intitulat *„**Concluzii finale, contribuții originale, direcții viitoare de cercetare”,*** se prezintă, în sinteză, concluziile finale rezultate privind construcția și utilizarea echipamentelor de separare prin sedimentare (decantare) și filtrare a apelor industriale uzate precum și concluziile semnificative rezultate din cercetarea teoretică și experimentală a proceselor de separare prin decantare și filtrare. În final se scot în evidență contribuțiile originale ale lucrării de doctorat și se subliniază direcțiile viitoare de cercetare din domeniul epurării apelor uzate prin decantare și filtrare.

Sunt profund recunoscătoare conducătorului științific, Profesor univ. dr. ing. Simion POPESCU, membru titular al Academiei de Studii Agricole și Silvice ,,Gh. Ionescu Șișești”, al cărui spirit academic și claritate științifică au făcut posibilă elaborarea prezentei lucrări de doctorat. Cu acest prilej îmi exprim sentimentele de gratitudine și de considerație față de Domnia Sa, mulțumindu-i respectuos pentru valoroasa și atenta îndrumare.

Mediul intelectual din prestigioasa Universitate ,,Transilvania” din Brașov au conferit o notă aparte acestui demers științific. Mulțumesc pe această cale cadrelor didactice de la Facultatea de Alimentație și Turism, în mod deosebit celor din colectivul de îndrumare, prof. univ. dr. ing. Carol Csatlos, prof. univ. dr. ing. Florean Rus și prof. univ. dr. ing. Liviu Gaceu, care au fost alături de mine și m-au sprijinit pe întreaga perioadă a activității de doctorat.

Mulțumesc stimaților referenți științifici din comisia de analiză a tezei de doctorat pentru onoarea ce mi-au făcut-o recenzându-mi lucrarea.

Mulțumesc, de asemenea, Domnului dr. ing. Radu Marin, profesor onorific al Universității *Transilvania* din Brașov, directorul *Centrului de Cercetări pentru Materiale Macromoleculare si Membrane (CCMMM)* București, pentru sprijinul acordat la efectuarea cercetărilor experimentale privind procesele de filtrare, inițiate în cadrul unui proiect de cercetare.

Exprim recunoștința si mulțumesc familiei mele pentru răbdarea, înțelegerea și susținerea morală pe care mi le-au acordat de-a lungul perioadei de studii la doctorat. Doresc, în primul rând, să dedic această lucrare celei mai dragi ființe, mamei mele, care, cu nețărmurită dragoste părintească, mi-a călăuzit primii pași în viață, mi-a oferit o educație riguroasă, mi-a fost mereu alături și m-a susținut necondiționat în toate etapele pregătirii mele până în momentul dispariției sale dintre noi.

Brașov, iunie 2019 ing. Daniela Zărnoianu

CAP. 1. ASPECTE GENERALE PRIVIND EPURAREA APELOR INDUSTRIALE UZATE

1.1. Surse de uzare a apelor în industrie

După originea lor apele reziduale, denumite generic *ape uzate*, pot fi ape de canal (denumite municipale) și ape de origine industrială, care conțin, în general, cca. 0,05% impurități, sub forma de substanțe organice sau anorganice. Fenomenul de *poluare a apei* reprezintă orice modificare a compoziției sau calității apei, încât apa devine mai mult sau mai puțin adecvată utilizării.

Protecția calității apei reprezintă păstrarea și, respectiv, îmbunătățirea caracteristicilor fizica-chimice și biologice ale acesteia. De aceea, apă uzată industrial este tratată la standarde de calitate corespunzătoare apei potabile. Pentru majoritatea sectoarelor industriale există o cantitate semnificativă de poluanți care rezultă din activitatea specifică acestor sectoare, așa cum rezultă din tabelul 1.2.[101].

Tab.1.2. Surse de poluare și proveniența agenților poluanți pentru apele industriale [101].

Nr. drt	**Sursa**	**Procesul generator de poluare**	**Agenții poluanți**
1	Industria metalurgică	Procedee pirometalurgice; Procedee hidrometalurgice; Procese de răcire; Procese de spălare.	- suspensii insolubile; - ioni de metale grele; - fenoli și - cianuri; - sulfați;
2	Industria chimică	Apa de răcire, dizolvare și reacție din procesele tehnologice de fabricare a substanțelor organice și anorganice	- acizi și baze; --săruri; - cenușă și suspensii; - coloranți; - detergenți.
4	Industria petrolului și petrochimică	Extracția, depozitarea și transportul țițeiului și a fracțiunilor acestuia	- produse petroliere diverse; - compuși fenolici și -- compuși aromatici; - hidrogen sulfurat; - acizi naftenici.
5	Industria termoenergetică	Deversarea lichide de răcire ale instalațiilor și centralelor electrice	- lichide calde (poluare termică)
6	Industria alimentară	Procese de fabricare și prelucrare a produselor alimentare	- substanțe organice; - germeni patogeni.
7	Industria celulozei și hârtiei	Procese de fabricare și prelucrare din celuloză	- acizi organici; rășini; - zaharuri; - coloranți; -compuși cu sulf; -suspensii celuloză.

1.2. Proprietățile de bază ale apelor uzate

Calitatea apei este caracterizată de ansamblul proprietăților fizice, chimice, biologice și bacteriologice, exprimate cuantificat, care permit încadrarea apei într-o anumită categorie și având însușirea de a putea fi folosită într-un anumit scop [85]. Pe plan mondial au fost elaborate direcțiile și metodologiile de bază pentru controlul și supravegherea mediului înconjurător, în care sunt prevăzute și cele legate de apreciere a calității apelor [131].

Proprietățile fizice principale ale apei sunt: următoarele: densitatea, turbiditatea, culoarea și mirosul. La acestea se mai adaugă o serie de *proprietăți chimice* (alcalinitatea, aciditatea, felul cationilor și anionilor conținuți, cantitatea de oxigen solubil, necesarul de oxigen biochimic (NOB) sau consumul de oxigen biochimic (COB), necesarul de oxigen chimic (NOC) sau consumul chimic de oxigen (CCO) și *compoziția bacteriologică* [130].

1.3. Reglementările actuale pe plan internațional și național din domeniul epurării apelor uzate

În diferite țări, inclusiv în Romania, în ultimii ani, au fost elaborate și aplicate masuri în plan legislativ, organizatoric, institutional si material in vederea monitorizirii calitatii factorilor de mediu. Pe plan european au fost impuse o serie de condiții și reglementări prin Directivele Consiliului Comunității Europene, nr. 91/271/CEE și nr. 91/676/CEE precum și prin Programului de Acțiuni pentru Protecția Mediului în Europa. Date fiind problemele deosebit de complexe pe care le ridică prezența poluanților în efluenții care sunt descărcați în emisarii naturali de către stațiile de epurare a apelor uzate, la nivel național sunt necesare eforturi financiare substanțiale pentru menținerea calitatii factorilor de mediu. O analiză științifică și deosebit de utilă privind epurarea apelor uzate în România este prezentată lucrarea [161] elaborată în 2012 de Administrația Națională ,,Apele Române", sub forma unei broșuri de popularizare pentru public.

1.4. Procedee de epurare a apelor uzate

1.4.1.Procedee generale de epurare

În funcție de gradul lor de impurificare există două posibilități de tratare (epurare) a apelor uzate: *a)* prin amestecarea prealabilă a apelor uzate industriale cu apele uzate municipale și tratarea comună a acestui amestec, urmată de deversarea în apele de suprafață și *b*) tratarea separată a cele două categorii de ape uzate (industriale și municipale) urmată de reutilizarea acestora în procesul din care acestea au provenit [83, 84,134, 135].

După modul prin care se realizează reducerea substanțelor poluante (nocive), epurarea apelor reziduale (uzate) se poate realiza prin următoarele tipuri procedee: a) procedee mecanice; b) procedee mecano-chimice; c) procedee mecano – biologice [7, 54]. Prin combinarea acestor procedee se obțin procedee moderne (denumite *epurare avansată),* prin care efluenții rezultanți pot fi refolosiți în circuitul economic.

1.4.2. Procedee avansate de epurare

În domeniul epurării apelor uzate, în ultimii ani s-au realizat numeroase cercetări teoretice și aplicative [57, 74, 132]. și s-a instituit un control riguros privind conținutul de nutrienți în apele uzate. Atenția specialiștilor fost îndreptată asupra nemetalelor, a compușilor organici, a compușilor halogenați, insecticidelor, pesticidelor și ierbicidelor precum și a compușilor organici volatili. În acest sens nitrificarea apei uzate epurate este o măsură de reducere a toxicității amoniacului sau micșorare a impactului asupra resurselor de oxigen.

Trebuie menționat că unele substanțe reziduale existente în apele uzate sunt eliminate extrem de puțin sau, practic, nu prin epurarea clasica mecano-biologica (detergenți, fosfați, compuși pe baza de azot, săruri anorganice, compuși organici persistenți, pesticide, diverși compuși chimici), substanțe care creează probleme deosebit de grave mediului înconjurător. In scopul reținerii acestor substanțe poluante, în ultima perioadă au fost elaborate și aplicate o serie de tehnologii de tratare a apelor uzate care să completeze metodele de epurare clasică, in scopul protecției mai eficiente a mediului și populației și pentru a obține apa utilizabilă în diverse alte scopuri. Prin utilizarea acestor tehnologii, se realizează o tratare mai eficientă, cunoscută sub denumirea de *epurare avansată*. .

CAP. 2. CONSTRUCȚIA ECHIPAMENTELOR DE SEPARARE PRIN SEDIMENTARE ȘI FILTRARE A IMPURITĂȚILOR DIN APELE UZATE

2.1. Aspecte generale

Epurarea apelor industriale uzate reprezintă un proces complex prin care impuritățile (poluanții) aflate în apă sunt separate din masa de apă în scopul refacerii proprietăților fizico-chimice ale apei avute înainte de utilizare. Apa purificată obținută prin epurare, având diferite grade de limpezire, este trimisă fie în emisari sau folosită în alte scopuri (industrie, irigații). Reziduurile rezultate din procesul de epurare, sub formă de precipitat (nămol, șlam), sunt depozitate, prelucrate sau pot fi valorificate în diferite scopuri.

Separarea poluanților din apele uzate se poate realiza prin diferite metode metode fizico-mecanice, metode fizico-chimice, metode biochimice și metode biologice.

Epurarea prin separare fizico-mecanică este realizată prin procedee de sedimentare (decantare), filtrare și centrifugare. Schema de principiu a procesului de epurarea fizico-mecanică este redată schematic în figura 2.1.

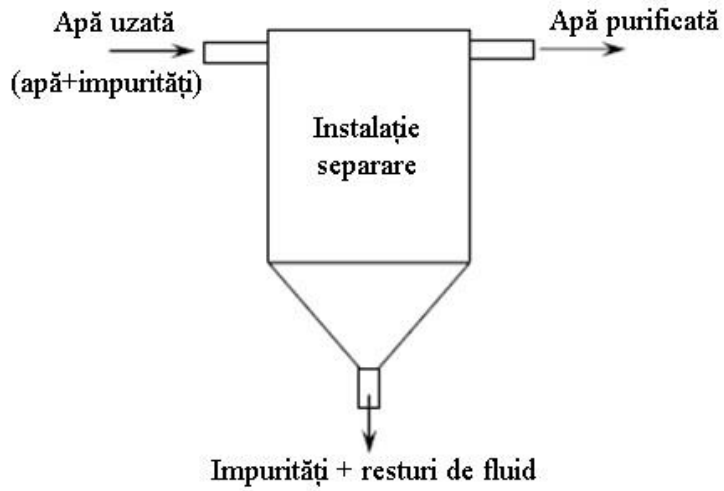


Fig. 2.1. Schema de principiu a procesului de separare a poluanților din apă uzat

Deoarece lucrarea de doctorat a avut ca temă studiul proceselor de separare prin procedeele de sedimentare și filtrare, în cele ce urmează, sunt analizate, sintetizat, numai procesele de lucru și construcția echipamentelor de separare prin sedimentare și filtrare.

2.2. Construcția și utilizarea echipamentelor pentru separarea prin sedimentare

2.2.1. Procesul de lucru al echipamentelor de separare prin sedimentare

Sedimentarea este operația prin care apa uzată, care reprezintă un amestec bifazic de tip solid-lichid (numit *suspensie*), este supusă separării în fazele sale constituente, particule solide (impurități) și lichid (apă), sub acțiunea unui câmp de forțe gravitaționale. Operația de sedimentare în câmp gravitațional se numește, în mod obișnuit, *decantare* iar echipamentul sau instalația folosită pentru separare se numește *decantor*. Uneori, pentru mai bună decantare a particulelor foarte fine de impurități (cu diametre de 0,3… 0,6 mm) se procedează la coagularea acestora în particule mai mari (denumite *flocoane*), prin folosirea unor substanțe chimice care produc aglomerarea particulelor fine Operația se numește *floculare* iar flocoanele pot fi decantate prin metodele de sedimentare obișnuite.

2.2.2.Construcția și utilizarea decantoarelor

Unitatea sau instalația folosită pentru separarea prin sedimentare prin sedimentare gravitațională (decantare) se numește *decantor*. Decantoarele se realizează într-o mare varietate constructiv-funcțională și se pot clasifica după mai multe criterii, cele mai importante fiind următoarele [101, 104, 135]*:* a) după forma de curgere a apei uzate în bazin, decantoarele pot fi orizontale (longitudinale și radiale) și verticale și b) după poziția bazinului în raport cu nivelul solului, pot fi amplasate la suprafață solului (aparente), semiîngropate sau îngropate.

În cele de urmează vor fi prezentate câteva construcții reprezentative de decantoare și se vor face unele precizări privind particularitățile proceselor de lucru și domeniul de utilizare ale acestora.

Decantoarele orizontale longitudinale sunt unități la care apa uzată se deplasează în bazin în curgere laminară pe direcție orizontală longitudinală (mișcare de piston) și din punct de vedere constructiv conțin mai multe zone specifice (fig. 2.4): zona de admisie (intrare) a apei uzate, zona de sedimentare (decantare), zona de evacuare a apei limpezi (numită zonă de limpede) și zona de acumulare a impurităților (numită zonă de nămol). Inițial apa uzată intră în zona de admisie în regim turbulent de curgere, în zona de sedimentare se deplasează în mișcare uniformă (regim laminar de curgere). Evacuarea stratului de nămol de pe fundul bazinului se face cu lanțuri transportoare cu raclete montate pe (fig. 2.7. a), cu pod rulant echipat cu bare rotative de racloare (fig. 2.7. b) sau cu pod rulant echipat cu lanț cu raclete (fig. 2.7. c).

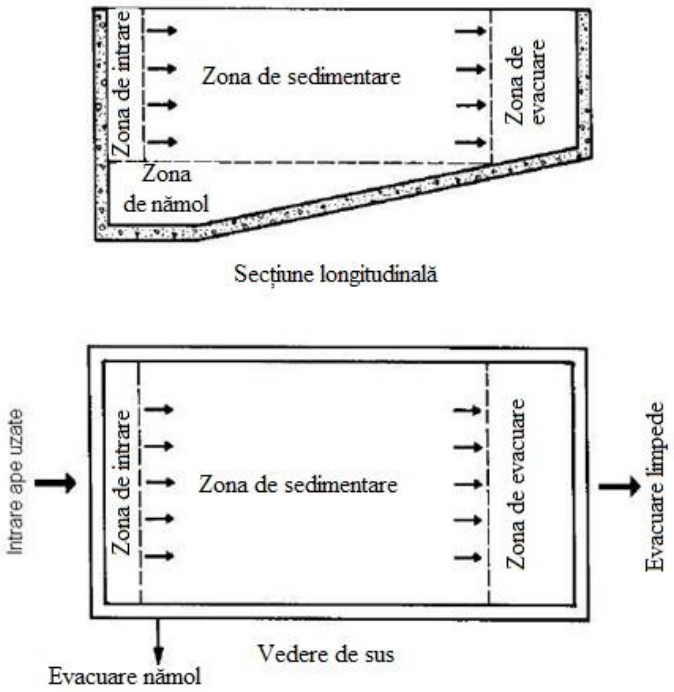


Fig. 2.4. Schema de compartimentare a unui decantor orizontal longitudinal

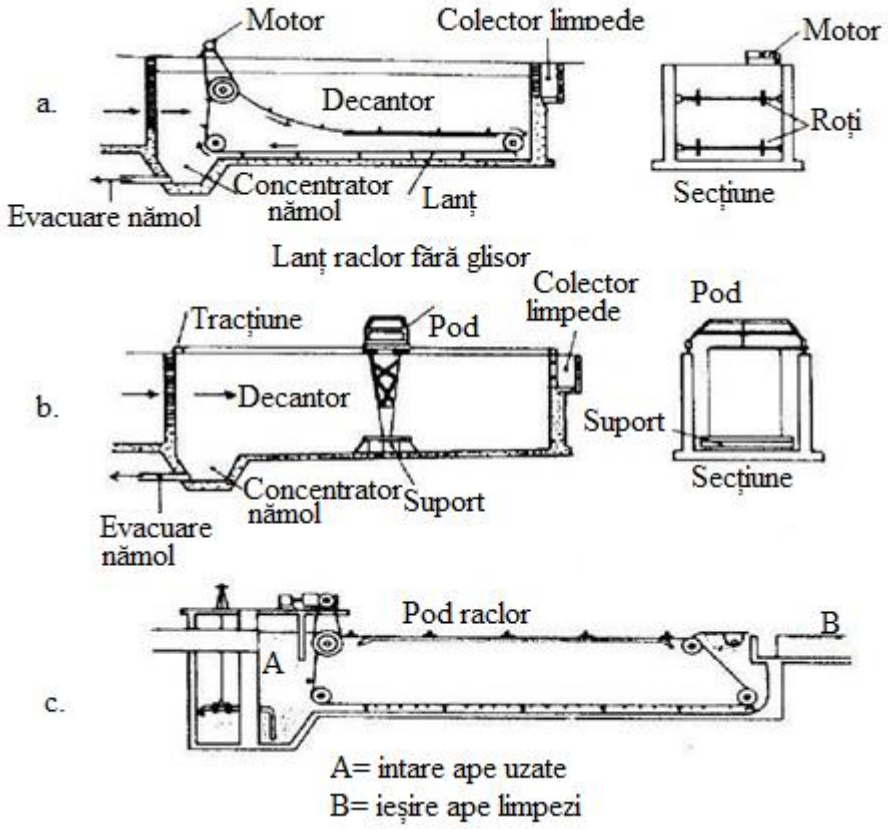


Fig. 2.7. Decantoare orizontale longitudinale cu diferite sisteme de evacuare a nămolului: a- cu lanț transportor cu palete; b- cu pod rulant cu bare racloare; c-cu pod raclor

Decantoarele orizontale radiale **(**denumite *decantoare DORR*) sunt unități de decantare la care bazinul are partea superioară de formă cilindrică iar parte inferioară conică (fig. 2.9). Intrarea apei se face prin conducta de admisie 1 care alimentează un tub vertical central care, la deversare în bazin, este prevăzut cu orificii în față cărora sunt plasate deflectoarele 2. După ieșirea din deflectoare apa curge radial, de la centru către periferia decantorului, cu viteză descrescătoare, pe direcția razei vectoare, proces care favorizează decantarea impurităților. După ce ajunge în zona de sedimentare, apa cu impurități urcă spre partea superioară, proces în care are loc sedimentarea particulelor de impurități și, după limpezire, este colectată într-o rigolă circulară 3 plasată pe circumferința superioară a bazinului decantorului, prevăzută cu un sistem reglabil de deversare. Raclarea nămolului de pe pereții conici ai bazinului se face cu lame în mișcare de rotație, realizată de podul 5. Evacuarea nămolului depus la partea inferioară a bazinului se realizează prin conducta 6, cuplată la o pompă de nămol. Dimensiunile *h, H, d* sunt stabilite prin calcul de proiectare sau adoptate din norme și standarde.

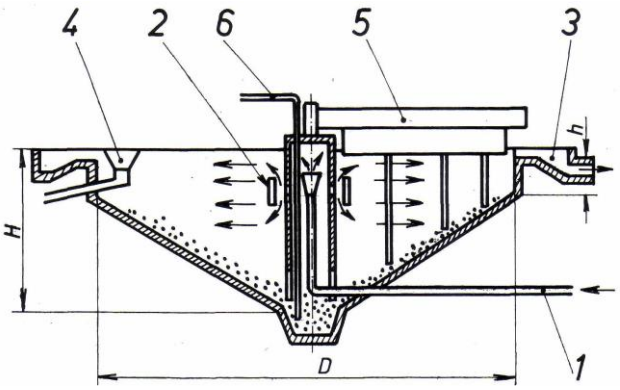


Fig.2.9. Schema de principiu al unui decantor orizontal radial [169]:
1– conductă admisie apă brută (uzată); 2 – deflector de uniformizare a distribuției a apei în bazin; 3- jgheab cu conductă de evacuare apă decantată 4– rigolă pentru colectare corpuri, plutitoare; 5- pod cu lame de raclare a nămolului; 6- conductă evacuare nămol.

Decantoarele verticale sunt unități de sedimentare cu au o utilizare în industrie și se realizează în mai multe variante constructive. Decantoarele verticale au partea superioară a bazinului de formă cilindrică iar parte inferioară de formă conică. Intrarea apei în bazinul de decantare se poate face tangențial prin partea inferioară conică a bazinului sau se face printr-un tub central (v. cap. 5).

Schema de principiu a unui decantor vertical cu panou deflector la conducta centrală de alimentare este prezentată în figura 2.11. Prin conducta de alimentare 1, apa uzată pătrunde, ajunge în partea superioară a tubului central 8, după care coboară spre partea inferioară a tubului cu capătul sub formă de pâlnie. Prin panoului deflector 9, plasat la capătul inferior al

tubului 8, apa este dirijată pe direcție radială și se ridică în spațiul de sedimentare al decantorului. În procesul ridicării apa are o viteză de deplasare mai mică decât viteza de sedimentare a particulelor de impurități, încât acestea se depun, prin sedimentare, pe fundul conic al bazinului. Apa limpezită (clarificată) ajunge la partea superioară a decantorului, trece peste deversorul 2 și este colectată într-un jgheab 3, de unde este preluată de conducta de evacuare 4. Nămolul colectat pe fundul rezervorului este evacuat în exterior prin intermediul conductei de nămol 7 conectată la o pompă de nămol. În figura 2.11 sunt marcate și dimensiunile de bază ale unui decantor vertical, stabilite prin norme de proiectare (v. STAS 4162/1 - 89).

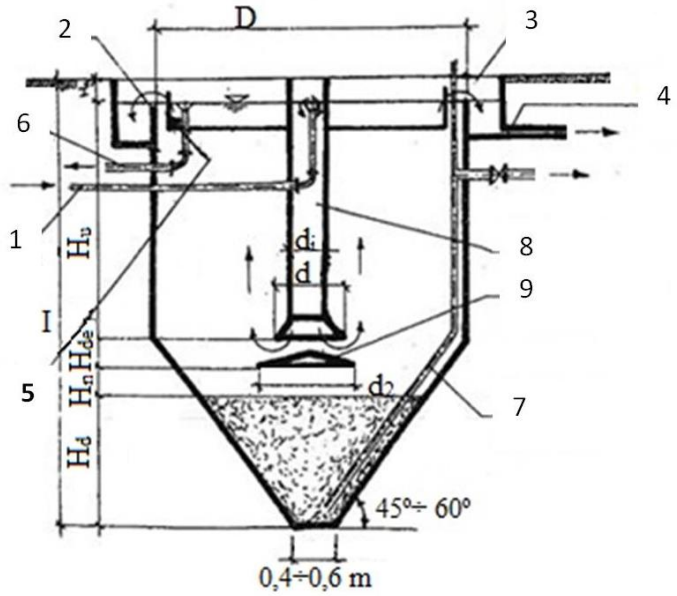


Fig. 2.11. Schema de principiu a unui decantor vertical cu panou deflector la conducta centrală de alimentare [57]:
1- conductă alimentare apă uzată; 2- deversor; 3- jgheab colectare apă limpede; 4- conductă evacuare apă limpede; 5- perete semiînecat; 6-conductă preaplin; 7-conductă evacuare nămol; 8-tub central; 9-panou deflector

Zona de nămoluri este plasată în partea inferioară, unde corpul decantorului are formă conică cu înclinarea de 45º …60º, în funcție de natura apei și de tratamentul aplicat. Nămolul colectat este evacuat în exterior (cu o pompă de nămol) prin conducta de nămol 7.

2.2 3. Decantoare de construcție specială

Pentru creșterea performanțelor funcționale s-u realizat construcții speciale de decantoare, printre cele mai utilizate fiind decantoarele compartimentate și decantoarele cu flux elicoidal.

Decantorul compartimentat are o construcție specială, volumul cuvei fiind divizat în mai multe compartimente cu pereți despărțitori sau cu tuburi. Prin acest sistem se obține creșterea semnificativă a suprafeței de decantare și, implicit, a debitului de lichid supus decantării [101,104,135]. Înclinarea lamelelor și, respectiv, a axelor tuburilor asigură curgerea nămolului în compartimentele decantorului. Prin creșterea numărului de compartimente sau de tuburi se mărește suprafața de sedimentare și, implicit, eficiența sedimentării. Circulația apei în interiorul compartimentelor se poate efectua în echicurent sau în contracurent, diferența dintre cele două variante constând în modul de introducere a apei uzate în decantor și de evacuare din decantor a apei limpezite.

Decantorul cu flux elicoidal este o construcție specială de decantor vertical prin care se realizează accelerarea procesului de decantare folosite, în special, la sedimentarea apelor cu conținut ridicat de impurități. Alimentarea cu apă uzată se face în flux elicoidal, realizat prin combinarea unor orificii plasate în conductele și canalele periferice de la intrarea apei, dimensionate și plasate astfel încât să permită o distribuție cât mai uniformă a apei. Canalul colector de apă limpede este situat în zona centrală fapt ce asigură o distribuție favorabilă, optimă, a fluxului și, implicit, la evitarea formării scurtcircuitelor la circulația fluidului.

2.3. Construcția și utilizarea echipamentelor pentru separarea prin filtrare

2.3.1. Procesele de lucru al echipamentelor de separare prin filtrare

Filtrarea este operația de separare mecanică prin care un amestec eterogen bifazic de tip *solid-fluid* (*suspensie lichidă*) se separă în fazele constituente (particule solide și lichid), prin reținerea particulelor solide pe suprafața sau în masa unui mediu poros, prin care poate trece numai faza fluidă. Particulele solide reținute pe suprafața sau în masa mediului filtrant, formează un strat (depozit) ce poartă denumirea de *precipitat*, iar faza fluidă (lichidul) care a trecut prin mediul poros, poartă denumirea de *filtrat* sau *limpede*. Unitatea (aparatul) prin care se realizează operația de filtrare se numește element filtrant sau filtru, alcătuit dintr-un mediu de filtrare poros montat pe un suport mecanic de rezistență.

In funcție de direcția curgerii fluidului în raport cu suprafața mediului poros, operația de filtrare se poate realiza în două moduri distincte: *filtrare normală*, și *filtrare tangențială*,.

Filtrarea normală se caracterizează prin faptul fluxul de lichid se deplasează (curge) pe o direcție perpendiculară pe suprafața mediului filtrant, se realizează în două moduri distincte: filtrare de suprafață și filtrare în adâncime.

Filtrarea de suprafață (figura 2.16,a) se utilizează în cazul în care diametrul particulelor este mai mare decât diametrul porilor mediului filtrant, situație în care toate sau aproape toate impuritățile sunt reținute la suprafața de intrare a mediului poros permeabil în direcția curgerii.

Filtrarea în adâncime (profunzime) se caracterizează prin faptul că particulele fine pot să pătrundă în adâncimea stratului poros permeabil, separându-se progresiv din masa de fluid prin impactul cu un număr mare de obstacole întâlnite în mediul filtrant.

Filtrarea tangențială, denumită și *filtrare cu curgere transversală,* se caracterizează prin faptul că fluxul de lichid se deplasează (curge) pe o direcție paralelă cu suprafața mediului filtrant, realizând o măturare (spălare) a suprafeței mediului filtrant, iar lichidul filtrat se deplasează transversal (radial) în raport cu suprafața cilindrică a mediului filtrant. Datorită efectului de "*măturare*" și de curățare a suprafeței mediului filtrant, se împiedică constituirea, prin aglomerare, a unui strat de impurități deasupra suprafeței mediului filtrant, încât se reduce efectul de îmbâcsire și, ca urmare, se menține mai mult timp funcționalitatea filtrului, împiedicându-se colmatarea prematură a mediului filtrant.

2.3.2. Materiale filtrante folosite la construcția mediilor filtrante filtrelor

Mediile filtrante se pot realiza. din punct de vedere constructiv din materiale poroase, din materiale înfășurate, din site, din materiale granulare și din membrane. Mediile filtrante din materiale poroase sunt cel mai frecvent utilizate, fiind eficiente la filtrarea fluidelor cu debite mari și cu o concentrație de impurități relativ mică și , mai ales, când în prealabil se face o separare preliminară a particulelor de dimensiuni mari. Materialele utilizate trebuie să aibă caracteristici filtrante ridicate și să asigure posibilitatea de regenerare ușoară a permeabilității prin decolmatare. De asemenea, trebuie să aibă rezistență mecanică la solicitările exterioare (în special la acțiunea presiunile maxime de lucru) precum și rezistență la acțiunea corozivă a fluidului. La realizarea mediilor filtrante se folosesc fibre (naturale, sintetice sau metalice), materiale minerale (ceramice, carburi, azbest etc.) sau materiale plastice sintetice [104, 126,135, 153].

Proprietățile și indicii principali ai filtrelor sunt: permeabilitatea, capacitatea de filtrare, finețea de filtrare (absolută, relativă și nominală) și eficiența filtrării *Permeabilitatea* este proprietatea materialului filtrant de a permite trecerea unui lichid, sub acțiunea diferenței de presiune dintre fețele mediului. Finețea de filtrare relativă este proprietatea cea mai importantă a unui element de filtrare și este definită de dimensiunea minimă a particulelor reținute de către elementul filtrant în proporție de 95… 98 %. Aceste proprietăți se determină experimental (prin

testări) pe standuri și instalații adecvate, utilizând metodologii elaborate prin norme naționale și internaționale [94,135].

2.3.3. Construcția și utilizarea filtrelor tangențiale

Deoarece la cercetarea experimentală din cadrul lucrării de doctorat s-au utilizat filtre cu curgere tangențială (v. cap.5), în cele ce urmează vor fi prezentate o serie de aspecte constructive și funcționale ale acestor tipuri de filtre.

Schema constructiv-funcțională a unui filtru tangențial cu un singur element filtrant este dată în figura 2.19. Apa uzată intră în corpul filtrului prin conducta din partea superioară stânga și se deplasează pe suprafața cilindrică exterioară a stratului filtrant. Prin trecerea pe direcție transversală (radială) prin stratul filtrant cilindric, lichidul filtrat ajunge în interiorul tubului perforat, după care este evacuat prin conducta de ieșire din partea superioară dreapta. Materialul filtrant permeabil este fixat pe un suport metalic cilindric, sub formă de țeavă perforată sau sub formă de grătar. La partea inferioară a corpului filtrului se găsește un orificiu de golire (evacuare) a depunerilor de impurități filtrate (precipitat, nămol) acumulate în camera de filtrare, prevăzută cu dop filetat (pentru închidere-deschidere la efectuarea golirii prin spălare hidraulică în contracurent a impurităților).

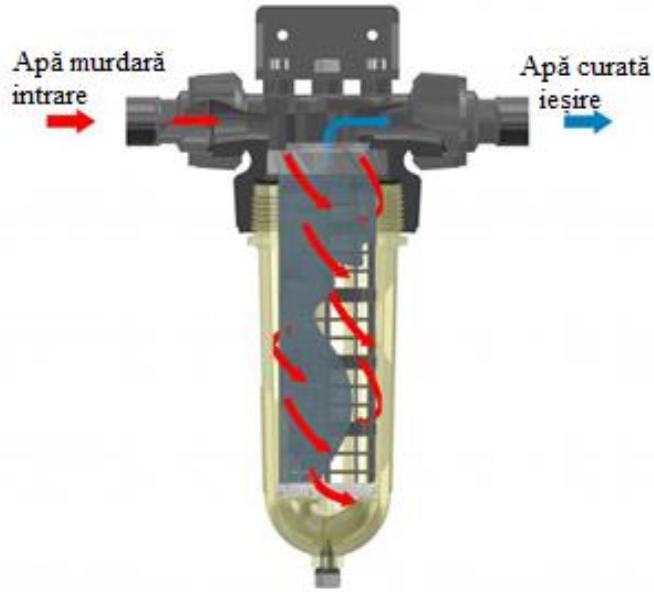


Fig. 2.19. Schema constructiv-funcțională a unui filtru tangențial cu un singur element filtrant

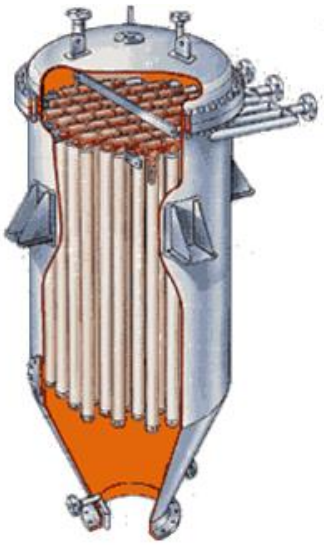


Fig. 2.22. Construcția unui filtru tangențial cu mai multe elemente filtrante cuplate în paralel

În scopul creșterii capacității de filtrare a sistemelor se folosesc filtre formate din mai multe elemente filtrante montate (cuplate) în paralel (figura 2.22) [104], cu capetele deschise montate pe o placă fixată în corpul (carcasa) filtrului Apa uzată intră în filtru prin racordul de la partea inferioară a carcasei filtrului, traversează materialul poros al tuburilor filtrante, pătrunde în interiorul tuburilor (cuplate în paralel) după care apa filtrată (limpede) este colectată la partea superioară (sub capac) și este condusă prin conducta de ieșire. Impuritățile, reținute de materialul filtrant pe suprafața exterioară a tuburilor filtrante, sunt evacuate prin spălare hidraulică în contracurent.

2.3.4. Regenerarea mediilor filtrante

Atunci când pe suprafața elementului filtrant se depune unui strat semnificativ de precipitat (turtă), filtrul ajunge la un grad ridicat de colmatare (înfundare) încât rezistența hidraulică a acestuia crește accentuat, diferența de presiune dintre conducta de intrare și cea de ieșire a fluidului depășind o valoare prestabilită (de obicei aceasta este de maxim 2,0 bar). În acest caz se impune regenerarea (decolmatarea) filtrului, prin care se îndepărtează precipitatul (nămolul) depus pe elementele filtrante, operație care se poate realiza prin procedee hidraulice (prin spălare) sau procedee mecanice (prin raclare).

Fig. 2.24. Filtru tangențial echipat cu senzori pentru controlul presiunii și debitului și cu elemente comandă și execuție a decolmatării hidraulice (prin spălare în contracurent)

Procesul de spălare hidraulică se poate realiza prin două procedee distincte: în echicurent, când lichidul de spălare se deplasează în masa stratului filtrant în același sens cu filtratul, și în contracurent, când lichidul de spălare se deplasează în sens invers celui de circulație a filtratului. În cazul spălării în echicurent, filtratul rămas în porii precipitatului este dislocat treptat de către lichidul de spălare încât concentrația apei de spălare în filtrat scade rapid către zero. În cazul spălării în contracurent, concentrația lichidului de spălare este mai mică la început, decât în cazul spălării în echicurent, fapt ce face că operația de spălare să dureze un timp mai îndelungat.

Procesul de decolmatare se poate realiza manual, semiautomat sau automat (autocurățire). În cazul procesului automat de decolmatare acesta se declanșează atunci când căderea de presiune pe mediul filtrant ajunge la valoarea limită prestabilită (programată) pentru decolmatare sau după o anumită perioadă, presetată, de timp de funcționare. Pentru controlul și comanda procesului de decolmatare automată prin spălare hidraulică, filtrele sunt prevăzute cu senzori pentru controlul căderii de presiune (manometre diferențiale) și elemente de comandă a ventilelor (robinetelor) conductelor. Vederea unui filtru tangențial echipat cu elemente de control și comandă a decolmatării prin spălare hidraulică este dată în figura 2.24.

CAP. 3. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR DE SEPARARE MECANICĂ PRIN SEDIMENTARE ȘI FILTRARE. OBIECTIVELE LUCRĂRII DE DOCTORAT

3.1. Stadiul actual al cercetărilor teoretice și experimentale ale proceselor de separare prin sedimentare

Inventarea decantorului Dorr în 1905 [31] poate fi privită ca punctul de plecare al erei moderne de cercetare a proceselor de sedimentare gravitațională (decantare) a impurităților amestecate cu lichide, denumite generic *suspensii*. Dezvoltarea tehnologiei de separare prin sedimentare a făcut progrese însemnate în primele două decenii ale secolului 20, iar în următoarele două decenii s-au intensificat preocupările pentru perfecționarea metodelor de proiectare a decantoarelor și pentru extinderea tehnologiei de decantare a suspensiilor.

Concomitent cu dezvoltarea constructivă a decantoarelor s-au făcut numeroase studii și cercetări teoretice pentru modelarea fizică și matematică a procesului sedimentării, prin extinderea ecuației Stokes și prin dezvoltarea unor postulate și ecuații empirice [30, 31, 32]. În acest sens, procesul de separare prin sedimentare, atât sub formă discontinuă, cât și sub formă continuă, a fost considerat ca un proces de propagare a variației concentrației particulelor dinspre partea superioară înspre partea inferioară a vasului de decantare, ca rezultat al mișcării descendente a particulelor solide aflate în suspensie. Prin studii teoretice și experimentale detaliate și laborioase, au fost stabilite ecuații care descriu fenomenele asociate proceselor de decantare discontinuă a unor particule solide rigide formă sferică rigide pentru a fi astfel în concordanță cu teoria lui Kynch [69].

În studiile teoretice ale sedimentării s-a considerat, ipotetic, că apele uzate sunt amestecuri polidisperse a unor materiale solide divizat fin într-un fluid (apă), iar particulele solide dispersate uniform au forma unor sfere rigide cu diferite dimensiuni și densități [17,18,30, 31,69,153]. De asemenea, s-a considerat că sunt îndeplinite următoarele ipoteze simplificatoare: a) particulele solide dispersate au aceeași densitate, dimensiune și formă; b) particulele si lichidul din amestec sunt incompresibile; c) nu există transfer de masă între faza solidă și cea lichidă a amestecului; c) gravitația este singurul câmp de forțe care acționează asupra particulelor; d) particulele și lichidul sunt conținute într-un vas impermeabil cu pereți fără frecare. Studii teoretice și experimentale efectuate au condus la elaborarea unor modele fizice și matematice de diferite complexități în concordanță cu teoria dezvoltată de Kynch [69]. La modelarea fizică și matematică a proceselor de sedimentare gravitațională a amestecurilor bifazate solid-lichid s-au utilizat, în principal, modele experimentale, modele teoretice matematice și modele teoretice numerice [19, 20, 30, 41, 69, 152].

Modelele experimentale s-au bazat pe observații și determinări experimentale în laborator, pe baza cărora s-au stabilit o serie de coeficienți și s-au elaborat diferite corelații empirice dintre parametrii funcționali și constructivi ai decantoarelor.. Aceste modele au utilitate directă pentru cerințele practice ale industriei, dar, în același timp, conțin și un număr apreciabil de limitări, deoarece nu reușesc, în general, să estimeze cu suficientă precizie situațiile reale existente în sistemele original din care au fost obținute. De asemenea, corelațiile empirice obținute din cercetările experimentale nu pot fi aplicate cu certitudine pentru o gamă mai extinsă de configurații geometrice și de condiții de funcționare ale decantoarelor reale, care diferă, mai mult sau mai puțin, de cele pentru care s-au obținut datele experimentale. Pe de altă parte, modul de curgere a lichidelor în decantoare și numărul mare de variabile implicate la studiul curgerii limitează aplicabilitatea teoriei analizei dimensionale în studiul separării prin decantare [123, 125, 129, 137].

Modelele matematice teoretice reprezintă o abordare bazată pe comportarea hidrodinamica a particulelor solide de impurități aflate în curentului de fluid și a constituit obiectul a numeroase cercetări [3, 4, 14, 15, 30, 31]. Pentru elaborarea modelelor matematice se impune o rezolvare exactă a ecuațiilor de conservare (masă și impuls), prin utilizarea corespunzătoare a unor condiții limită [15, 19, 20]. Pentru aplicarea bilanțului de masă se utilizează ecuația continuității iar pentru conservarea impulsului se folosesc ecuațiile Navier-Stokes. Aceste ecuații reprezintă de fapt ecuații diferențiale parțiale neliniare, a căror rezolvare se realizează prin utilizarea metodele de calcul din hidrodinamică, denumite *Computational Fluid Dynamics* (CFD) [60, 151,152].

Modelele numerice au fost introduse în cercetarea teoretică în anii 80 odată cu creșterea performanțelor calculatoarelor personale (PC) și au la bază modelarea computerizată a interacțiunii sistemelor solide cu mediile fluide. Comportarea sistemelor în medii fluide se simulează prin ecuațiile matematice care se descriu procesele fizice produse prin aceste interacțiuni iar pentru rezolvare se utilizează metodele de calcul din hidrodinamică, *Computational Fluid Dynamics* (CFD) [36, 37, 43, 60]. Datorită dezvoltării rapide a tehnicii moderne de calcul, în ultimii ani sunt utilizate programe CFD specializate, care pot avea o aplicabilitate nelimitată în dezvoltarea și optimizarea performanțelor decantoarelor.

Cercetările teoretice au fost completate de cercetări experimentale laborioase ale căror rezultate au sos în evidență că vâscozitatea dinamică a mediului lichid influențează mișcarea particulelor în procesul sedimentării, rezistența hidrodinamică la deplasare ducând la reducerea vitezei de sedimentare determinată teoretic. În plus, viteza reală de sedimentare depinde și de forma geometrică (neregulată) a particulelor, de concentrația volumică de particule (impurități)

aflate în masa de lichid și de viteza de mișcare (de transport) a mediului lichid. De asemenea, s-a constatat că viteza de sedimentare este influențată și de procesele produse prin frânarea reciprocă a particulelor vecine aflate în mișcare. Pentru a se ține seama de aceste influențe majoritatea cercetătorilor recomandă ca în calculele preliminare folosite la proiectarea decantoarelor să se considere că valoarea vitezei reale de sedimentare a particulelor este egală cu jumătate din viteza de sedimentare determinată teoretic.

3.2. Stadiul actual al cercetărilor teoretice ale proceselor de separare prin filtrare

Filtrarea este una din cele mai vechi și mai utilizate metode de la separare mecanică a suspensiilor solide (impurități) din masa lichidelor, de aceea această metodă a constituit obiectul unor laborioase cercetări teoretice, experimentale și aplicative pe plan internațional. Cercetarea teoretică a proceselor de separare mecanică prin filtrare a condus la elaborarea și dezvoltarea unor modele fizice și matematice de diferite complexități, care descriu, prin ecuații matematice și de legătură, procesul fizic complex de filtrare [35, 42, 80, 94, 104, 121, 125, 126, 127, 138, 139, 153].

Așa cum s-a subliniat în cap.2, procesul de filtrare se poate realiza în trei moduri distincte în funcție de direcția curgerii fluidului în raport cu suprafața mediului poros: *a-filtrare de suprafață; b-filtrare de adâncime; c- filtrare tangențială (curgere transversală).*

Filtrarea de suprafața (fig. 3.3,a) este cea mai utilizată metodă de filtrare, cercetarea teoretică a procesului de filtrare de suprafață fiind bazată pe modelarea matematică realizată pe baza ecuațiilor diferențiale elaborate de Darcy și Kozeny –Carman, ecuații care descriu variația căderii de presiune produse la trecerea lichidului prin pe mediul de filtrare si sau turta de filtrare [94, 126, 127].

Filtrarea în adâncime (fig. 3.3,b) se caracterizează prin faptul că particulele fine pot pătrunde în adâncimea stratului poros permeabil, separându-se apoi progresiv din masa de fluid prin impactul cu un număr mare de obstacole din *mediul filtrant.*

Filtrarea tangențială (FT) (*Tangențial Flow*) denumită și *filtrare cu curgere transversală (Cross- Flow Filtration)(CFT)* (fig. 3.3,c) este o formă de o filtrare dinamică. în care acumularea unui strat de precipitat (turtă) pe suprafața mediului de filtrare este împiedicată de un flux puternic tangențial (paralel) la suprafața filtrului. Studiul filtrării dinamice prin curgere tangențială a constituit obiectul a numeroase studii și lucrări de cercetare [32, 35, 42, 80, 94, 116, 126, 127, 138, 139].

Tehnologia de filtrare prin membrane, care este un proces inovator și de perspectivă, se poate aplica la filtrarea majorității amestecurilor de lichide cu impurități, întâlnite în diferite

sectoare industriale [10, 19, 23, 40, 65, 73, 94, 104, 111,115, 118, 136, 138, 39]. Studiul teoretic al proceselor de separare prin membrane presupune modelarea fizică a acestora și elaborarea modelelor matematice, având la bază relații matematice cantitative care leagă proprietățile amestecurilor lichidelor cu impurități de performanțele de separare ale membranelor. Pentru studiul procesului de filtrare prin membrane au fost dezvoltate trei modele teoretice particulare: *modelul spălării, modelul spargerii turbulente și modelul forțelor de frecare.*

3.3. Obiectivele lucrării de doctorat

3.3.1. Obiectivul general al lucrării de doctorat

Obiectivul general al lucrării de doctorat îl constituie realizarea unei cercetări teoretice și experimentale a proceselor de epurare apelor industriale uzate prin separare a impurităților mecanice solide conținute în apă folosind două procedee distincte: sedimentare gravitațională și filtrare. Pentru realizarea obiectivului sunt parcurse următoarele etape principale:

- Analiza stadiului actual pe plan internațional privind tehnologiile, echipamentele și instalațiile pentru separare prin sedimentare și filtrare a apelor industriale uzate;
- Analiza stadiului actual pe plan internațional privind cercetările teoretice și experimentale asupra proceselor de separare prin sedimentare și filtrare a apelor industriale uzate;
- Cercetarea teoretică și experimentală a diferitelor variante constructive și funcționale de instalații de separare a impurităților mecanice prin două procedee distincte de separare: prin sedimentare gravitațională și separare prin filtrare.

Scopul final al lucrării de doctorat îl constituie conceperea și/sau modernizarea unor modele fizice de instalații și echipamente de sedimentare (decantoare) și de instalații și echipamente de filtrare cu capacități crescute de separare a impurităților mecanice (sedimente) din apele industriale uzate, prin care să se asigure o eficiență ridicată a proceselor de epurare mecanică a apelor industriale uzate.

3.3.2. Obiectivele și metodologia cercetărilor teoretice

Obiectivele cercetării teoretice a proceselor de separare prin sedimentare constau în:

- analiza și modelarea fizică și matematică a proceselor de separare prin sedimentare a particulelor (sedimentelor) mecanice din apele industriale uzate;
- elaborarea unei metodologii de calcul în vederea dimensionării și proiectării echipamentelor de sedimentare gravitațională (decantoare) folosite la epurarea mecanică a apelor industriale uzate

Obiectivele cercetării teoretice ale proceselor de separare prin filtrare constau în:

- analiza și modelarea fizică și matematică a proceselor de separare prin filtrare a particulelor (sedimentelor) mecanice din apele industriale uzate;
- rezolvarea ecuațiilor modelelor matematice elaborate pentru proceselor de filtrare de suprafață și studiul parametrilor hidraulici (rezistențe hidraulice, căderi de presiune, debite) ai filtrelor folosite la epurarea mecanică a apelor industriale uzate.

3.3.3. Obiectivele și metodologia cercetărilor experimentale

3.3.3.1 Obiectivele și metodologia cercetărilor experimentale a proceselor de separare prin sedimentare

Obiectivul cercetărilor experimentale a procesului de separare prin sedimentare (decantare) constă în analiza comparativă a performanțelor funcționale ale decantoarelor verticale cilindro-conice pentru două tipuri constructive:

a) decantor fără echipament suplimentar de raclare (îndepărtare) a depunerilor de nămol din zona inferioară, în 3 variante constructiv-funcționale:

b) decantor echipat cu dispozitiv de îndepărtare (raclare) interioară a depunerilor de noroi din zona inferioară:

3.3.3.2. Obiectivele și metodologia cercetărilor experimentale a proceselor de separare prin filtrare

Obiectivul de bază al cercetării experimentale a procesului de separare prin filtrare constă în analiza influenței diferiților factori asupra eficienței procesului prin utilizarea filtrelor tangențiale montate în sisteme de filtrare în două variante:

a) cu două filtre tangențiale cuplate în serie;

b) cu patru filtre cuplate în serie.

CAP. 4. CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND PROCESUL DE SEPARARE PRIN SEDIMENTARE ȘI FILTRARE

4.1. Cercetări teoretice privind procesul de separare prin sedimentare

4.1.1. Considerații generale privind procesul de separare prin sedimentare

Concentrația *C* a unui amestec apă-impurități mecanice reprezintă cantitatea de impurități exprimată în unități de masa pe unitatea de volum (în mg/l).

Un decantor cuprinde trei zone distincte: o zonă de limpezire (clarificare), o zonă de sedimentare și o zonă de compactare a sedimentelor, cele trei zone rămân staționare Schema circulației fluxurilor de materiale în cazul unui decantor este prezentată în figura 4.1. Decantorul este alimentate cu apă uzată un debit Q_0 (cu densitatea ρ_0 cu concentrația masică de impurități C_0) iar la partea inferioară se extrage precipitatul (nămol, șlam) cu un debit Q_2 (cu densitatea ρ_2 cu concentrația masică de impurități C_2),. Lichidul limpezit cu un debitul Q_1 (cu densitatea ρ_1 și concentrația masică de impurități C_1) se colectează la partea superioară.

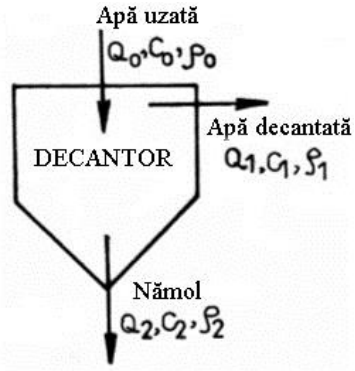


Fig. 4.1. Schema circulației fluxurilor de materiale în cazul unui decantor [104]

Ecuația de bilanț total al procesului de decantare se referă la cantitățile masice de material care intră și părăsesc decantorul și se exprimă prin relația:

$$Q_0.\rho_0 = Q_1.\rho_1 + Q_2.\rho_2 \quad (4.1)$$

Ecuația de bilanț parțial se aplică pentru evidențierea cantităților de impurități aflate în fluxurile de materiale ale amestecului supus separării și se exprimă cu relația:

$$Q_0.\rho_0.C_0 = Q_1.\rho_1.\ C_1 + Q_2.\rho_2.C_2 \quad (4.2)$$

În ipoteza că apa limpezită nu conține particule solide (adică C_1 =0), debitul apei limpezi Q_1 în funcție de debitul apei uzate Q_0 este exprimată prin relația:

$$Q_1 = Q_0 \cdot \frac{\rho_0}{\rho_1} \cdot \left(1 - \frac{C_0}{C_2}\right) \tag{4.6}$$

iar dependența între debitele apei limpezi Q_1 și al nămolului Q_2, este dat de relația:

$$Q_1 = Q_2 \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot \frac{C_2}{C_0}\left(1 - \frac{C_0}{C_2}\right) \tag{4.7}$$

Precipitatul (nămolul) este caracterizat de o anumită umiditate *u* (exprimată în %) încât concentrația masică de impurități a nămolului C_2 se determină cu relația:

$$C_2 = (1-u)/100 \tag{4.8}$$

Eficiența separării (reținerii) impurităților *E* (în %), a unui decantor se apreciază prin coeficientul de reținere (retenție) a definit prin relația cunoscută:

$$E = \frac{C_0 - C_1}{C_1} \cdot 100 = \left(1 - \frac{C_0}{C_1}\right) \cdot 100 \quad [\%] \tag{4.9}$$

4.1.2. Determinarea analitică vitezei de sedimentare a particulelor

În situația în care concentrația volumică de particule de impurități dintr-un unui fluid staționar este mică (sub 10%), se poate considera că mișcarea particulelor are loc liber, fără ca acestea să interacționeze între ele. Aceste condiții sunt asigurate în situația în care distanța dintre două particule vecine depășește dublul diametrului acestora [104, 135], situație corespunzătoare unor suspensii diluate.

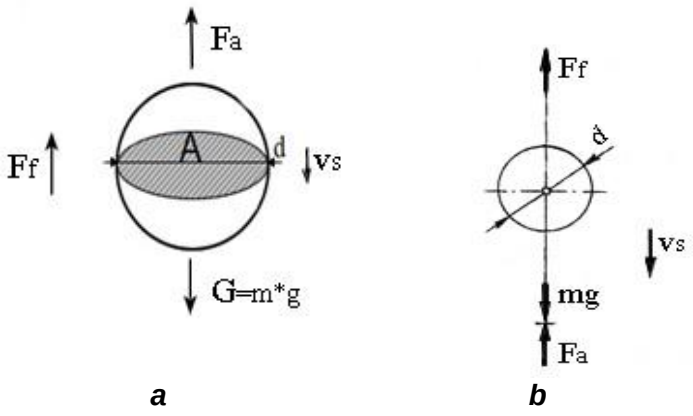


Fig. 4.4. Schema forțelor care acționează la sedimentarea unei particule de formă sferică: a-schema forțelor care acționează asupra particulei; b-diagrama echilibrului forțelor

Studiul teoretic al procesului de sedimentare se poate realiza pe baza unor modele fizice simplificate în care particulele de impurități mecanice din masa de lichid se consideră a fi corpuri solide izolate iar deplasarea lor în lichid nu este influențată de particulele vecine și nici de pereților vasului. Pentru determinarea prin calcul a vitezei teoretice de sedimentare v_s a

particulelor solide de impurități se consideră un model fizic simplificat al mișcării pe verticală a unei particule solide de forma sferică (fig.4.4), cu volumul *V*, diametrul *d* și densitatea materialului ρ_p, într-un mediu fluid cu densitatea ρ_m și vâscozitatea dinamică η_m. Particula se deplasează sub acțiunea câmpului de forțe gravitaționale (accelerația gravitației *g*).

În mișcare descendentă a particulei în masa de lichid (v. fig. 4.4) asupra acesteia forțe forța de greutate $G = m.g = V.\rho_p.g$**,** orientată în jos, forța Arhimedică $Fa = V.\rho_m.\ g$**,** orientată în sus, și forța de rezistentă la frecare vâscoasă F_f, care se opune deplasării particulei.

Forța de rezistență la frecare vâscoasă F_f, este denumită *rezistență hidrodinamică* și se determină cu relația cunoscută din mecanica fluidelor [5,13,33, 49,104, 135]:

$$F_f = \xi \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho_m \cdot A \qquad (4.10)$$

în care: ξ este c*oeficientul de rezistență hidrodinamică,* care reprezintă un coeficient adimensional care caracterizează rezistență la frecare vâscoasă a suprafeței particulei cu fluidul; *v* - viteza de deplasare a particulei în raport cu mediul, în m/s; *A* – aria proiecției suprafeței secțiunii particulei pe un plan perpendicular pe direcția de mișcare, în m^2.

Ecuația de echilibru al forțelor care acționează asupra particulei în mișcare descendentă este dată de relația:

$$G = F_a + F_f\,. \qquad (4.11)$$

Ținând seama relațiile (4.10) și (4.11) rezultă expresia generalizată a *vitezei de teoretice de sedimentare* v_s a particule în mediul lichid sub acțiunea câmpului gravitațional:

$$v_S = \sqrt{\frac{2 \cdot g}{\xi} \cdot \frac{V}{A} \cdot \frac{\rho_p - \rho_m}{\rho_m}} \qquad (4.12)$$

Dacă se consideră că particula are o formă sferică, volumul *V* și aria secțiunii sferei *A* în relația de mai sus se înlocuiesc, în funcție de diametrul particulei *d*. Deoarece raportul dintre volum și secțiunea transversală a unei sfere este**:** *V/A=2d/3,* rezultă că viteza teoretică de sedimentare v_s, pentru particulele de formă sferică, poate fi exprimată prin relația particulară:

$$v_S = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{\xi} \cdot d \cdot \frac{\rho_p - \rho_m}{\rho_m}} \qquad (4.13)$$

care mai poate fi scrisă și sub forma:

$$v_S = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{\xi} \cdot d \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho_m}} \qquad (4.14)$$

în care diferența $\Delta\rho = (\rho_p - \rho_m) = \rho_a$ este *densitatea aparentă a particulei*.

Regimul de deplasare a unei particule solide într-un mediu fluid este studiat prin aplicarea criteriului de similitudine Reynolds, definit *numărul Reynolds Re*, determinat cu relația cunoscută din mecanica fluidelor [5,29, 30,77,93, 104, 135]:

$$\mathrm{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu} \qquad (4.15)$$

în care: *d* este diametrul particulei, în m; *v*-viteza de deplasare a particulei în mediu, în m/s; ν-vâscozitatea cinematică a fluidului, în m^2/s.

Vâscozitatea cinematică ν este dată de relația. $\nu = \eta_m / \rho_m$, în care: η_m este vâscozitatea dinamică a mediului fluid, în N s/m^2, iar ρ_m- densitatea mediului fluid, în kg/m^3.

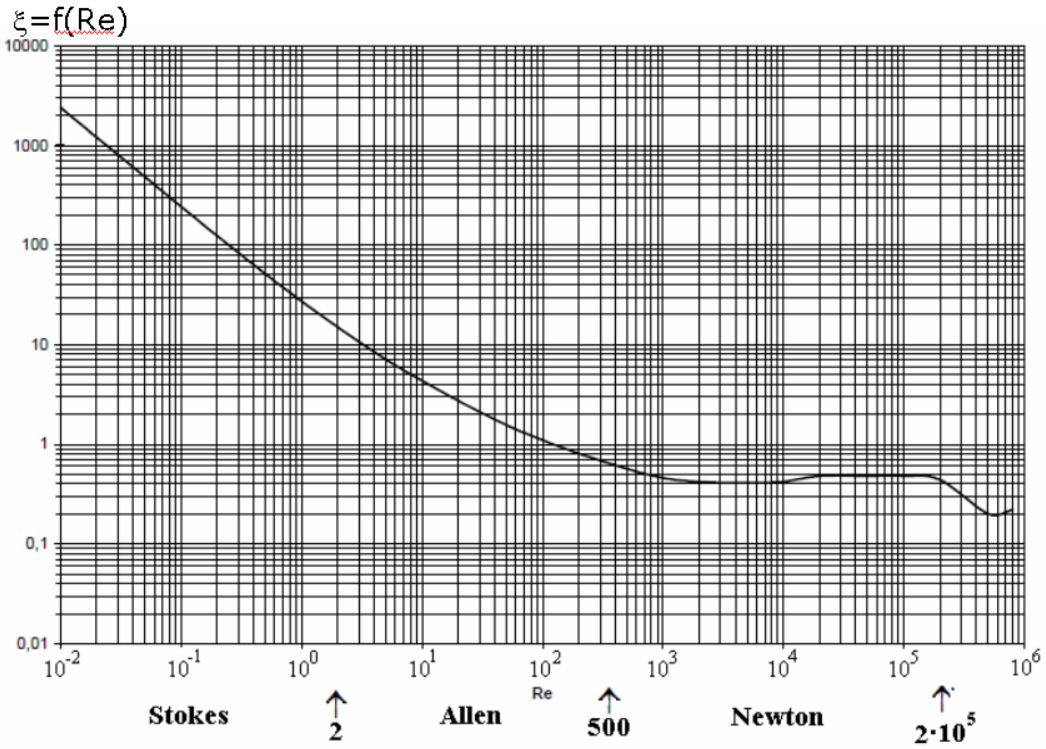


Fig. 4.5. Dependența coeficientului de rezistență hidrodinamică ξ de criteriul Re, $\xi = f(\mathrm{Re})$, pentru cele trei regimuri tipice de sedimentare: laminar (Stokes), intermediar (Allen) și turbulent (Newton) [104, 135]

În funcție de valoarea numărului *Reynolds Re* există trei regimuri tipice de curgere a fluidelor: *regimul laminar* (Stokes), *regimul intermediar* (Allen) și *regimul turbulent* (Newton). Valoarea coeficientului de rezistență hidrodinamică ξ depinde de *numărul Reynolds Re*, adică

$\xi = f(\mathrm{Re})$. Un calcul mai exact al dependenței $\xi = f(\mathrm{Re})$ pentru cele trei regimuri tipice de curgere se poate realiza prin utilizarea diagramei experimentale în scări logaritmice (fig. 4.5). din care se observă că pentru cele trei regimuri tipice de sedimentare coeficientul ξ are variații diferite, încât și expresiile de calcul ale vitezei particulei în procesele de sedimentare sunt diferite.

Regimul de sedimentare laminar (Stokes) corespunde primei porțiuni în intervalul de variație: $0 < Re \leq 1$ (Re =2 se consideră ca limita superioară). Dacă diametrul d < 0,085 mm și Re < 1, curba $\xi = f(\mathrm{Re})$ are o variație liniară și poate fi aproximată printr-o dreaptă dată relația:

$$\xi = \frac{24}{\mathrm{Re}} \qquad (4.16)$$

încât valoarea vitezei de sedimentare v_s în funcție de numărul Re este exprimată prin relația:

$$v_S = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{24} \cdot \mathrm{Re} \cdot d \cdot \frac{\rho_p - \rho_m}{\rho_m}} \qquad (4.17)$$

Prin înlocuirea criteriului de similitudine *Reynolds* dat de relația (4.15) în relația (4.17) se obține relația de calcul a vitezei de sedimentare v_s în regim laminar care are forma:

$$v_S = \sqrt{\frac{1}{18} \cdot \frac{g}{\nu} \cdot d^2 \cdot \frac{\rho_p - \rho_m}{\rho_m}} \qquad (4.18)$$

cunoscută în mecanica fluidelor sub denumirea de *Legea lui Stokes.*

Dacă se notează cu S_p, raportul dintre densitatea particulei ρ_p și densitatea mediului ρ_m, raport denumit și densitate relativă, $S_p = \frac{\rho_p}{\rho_m}$, ecuația lui Stokes (4.18) obține forma:

$$v_S = \sqrt{\nu \frac{g}{18} \cdot (S_p - 1) \cdot \frac{d^2}{\nu}} \qquad (4.19)$$

Din relația (4.19) se observă că în cazul regimului laminar de sedimentare, viteza de sedimentare v_s este proporțională cu diametrul particulelor d care se sedimentează și invers proporțională cu vâscozitatea cinematica ν a lichidului în care are loc sedimentarea. Rezultă că la deplasarea particulelor sferice cu diametrul d în regim laminar forța de rezistență hidrodinamică a mediului F_f, dată de relația (4.11) , se determină cu formula:

$$F_f = 3 \cdot \pi \cdot \nu \cdot d \cdot \nu \cdot \rho_m \qquad (4.20)$$

Regimul de sedimentare intermediar (Allen) corespunde porțiunii a doua a diagramei din figura 4.5 (intervalul $1 < \mathrm{Re} \leq 10^{3)}$. În literatura de specialitate se menționează că pentru

cazurile când diametrele particulelor sunt cuprinse între limitele d = 0,85… 1,0 mm valorile coeficientului ξ se pot determina pe baza unor relații aproximative de calcul $\xi = f(\mathrm{Re})$, cea mai utilizată relație fiind stabilită de Rich [72]:

$$\xi = \frac{18.5}{\mathrm{Re}^{0,6}} \tag{4.21}$$

În acest caz expresia de calcul a vitezei de sedimentare pentru regimul *intermediar (Allen)* obține forma :

$$v_S = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{18,5} \cdot \left(\frac{v_s \cdot d}{\nu} \right)^{0,6} \cdot d \cdot \frac{\rho_p - \rho_m}{\rho_m}} \tag{4.22}$$

din care rezultă că la regimul intermediar influența diametrul particulei *d* și a vâscozității cinematice *ν* a mediului asupra vitezei de sedimentare este diminuată comparativ cu curgerea laminară.

Regimul de sedimentare turbulent (Newton) corespunde ultimei porțiuni a diagramei din figura 4.5, cuprins in intervalul $10^3 < \mathrm{Re} \leq 10^5$, unde valoarea coeficientului ξ se consideră constantă, încât variația $\xi = f(\mathrm{Re})$ se aproximează printr-o dreaptă orizontală, dată de relația [104]: $\xi = 0,44 \ldots 0,45$, încât relația pentru calculul vitezei de sedimentare are forma:

$$v_S = 1,7 \cdot \sqrt{g \cdot d \cdot \frac{\rho_p - \rho_m}{\rho_m}} \tag{4.24}$$

cunoscută în mecanica fluidelor sub denumirea *ecuația Newton* [104, 135].

Ținând seama de expresia densității relative S_p relația de calcul *(4.24)* obține forma:

$$v_S = 1,7 \sqrt{\cdot g.d.\rho_p \left(S_p - 1 \right)} \tag{4.25}$$

Rezultă că *în regimul turbulent de curgere (Newton)* viteza de sedimentare este proporțională cu rădăcina pătrată a diametrului *d* al particulelor, încât influența diametrului particulelor este mult diminuată față de celelalte regimuri (laminar și intermediar).

4.1.3. Determinarea grafică a vitezei de sedimentare a particulelor

Pentru un calcul rapid și al parametrilor care caracterizează procesul de sedimentare în literatura de specialitate s-a elaborat și metode grafică de determinare a vitezelor de sedimentare a particulelor în diferite condiții, care au la bază și date experimentale [72]. Pe baza unor relații de calcul teoretic s-au întocmite nomograme și abace care permit o analiză directă a comportării la sedimentare a particulelor din diferite categorii de amestecuri (apă cu

impurități, în diferite concentrații), și care țin seama și de influența temperaturii fluidului asupra proceselor de sedimentare.

4.1.4. Influența deplasării mediului asupra procesului de sedimentare

În procesul sedimentării apei uzate în decantoarele longitudinale, apă cu impurități solide intră în vasul (bazinul) de sedimentare cu un debit constant Q și se deplasează pe direcție longitudinală orizontală cu o viteza constantă (de transport) v_m (fig. 4.8). Ca urmare, în procesul de sedimentare o particulă solidă execută o mișcare rezultantă cu o viteza absolută v_a , prin combinarea mișcării longitudinale (de transport), cu viteza constantă v_m, cu mișcarea descendentă pe verticală cu viteza constantă de sedimentare v_s.

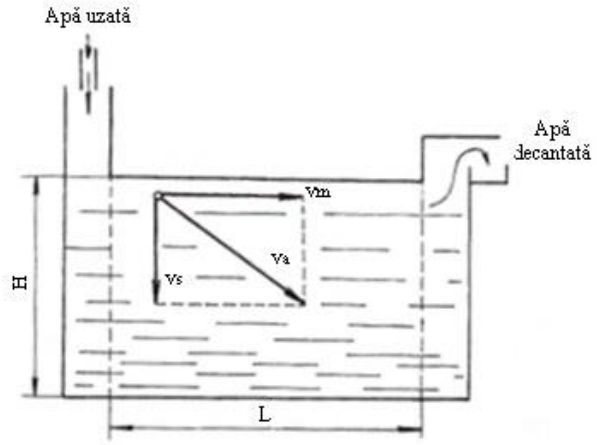


Fig. 4. 8. Schema deplasării particulelor discrete la sedimentare cu circulația mediului pe direcție orizontală transversală

În baza asemănării între triunghiurile formate de viteze și dimensiunile decantorului (lungimea L și înălțimea H), se obține relația: $\frac{v_m}{v_s} = \frac{L}{H}$

Timpul de sedimentare t_s , necesar pentru depunerea pe fundul bazinului cu înălțimea H a unei particule care se deplasează pe verticală cu viteza de sedimentare v_s este: $t_s = H/v_s$ iar spațiul l parcurs de particulă în lungul bazinului în timpul t_s este: $l = v_m . t_s$. Dacă se consideră că bazinul are lungimea utilă cu L, timpul t_0 necesar pentru deplasarea longitudinală a fluidului în perimetrul bazinului este dat de relația: $t_0 = L / v_m$

Pentru realizarea unei sedimentări complete a particulelor este necesar ca timpul efectiv t_0 în care fluidul se află în bazin să fie mai mare sau cel puțin egal cu timpul de sedimentare t_s al particulei, adică să fie îndeplinită condiția:

$$\frac{L}{v_m} \geq \frac{H}{v_s} \tag{4.31}$$

din care se obține valoarea limită a vitezei de deplasare a mediului v_m:

$$v_m \leq v_s \cdot \frac{L}{H} \tag{4.33}$$

Rezultă că prin reducerea înălțimii H a stratului de fluid din decantor se poate mari viteza v_m de deplasare (de transport) a mediului.

Dacă bazinul are o formă paralelipipedică cu lățimea B, debitul de fluid Q care trece prin secțiunea bazinului este dat de relația:

$$Q = B \cdot H \cdot v_m \tag{4.34}$$

Ținând seama de (4.31), relația (4.34)poate fi scrisă sub forma:

$$Q = L \cdot B \cdot v_s = A \cdot v_s \tag{4.35}$$

în care $A=L.B$ este aria suprafeței libere a lichidului în bazin.

Rezultă că debitul de lichid ce trebuie sedimentat nu este limitat de înălțimea H ci numai de aria A a suprafeței libere a fluidului.

Dacă se are în vedere expresia vitezei de sedimentare v_s dată de relația (4.13) și ținând seama de relația (4.31) rezultă că valoarea limită a vitezei de deplasare a mediului v_m într-un bazin cu dimensiunile cunoscute L și H va fi dată de relația:

$$v_m = \frac{L}{H}\sqrt{\frac{4}{3}\cdot\frac{g}{\xi}\cdot d \cdot \frac{\rho_p - \rho_m}{\rho_m}} \tag{4.36}$$

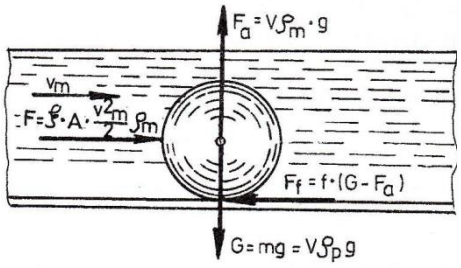


Fig. 4. 9. Forțele exterioare care acționează din partea mediului în mișcare asupra unei particule sedimentate aflate pe suprafața stratului de noroi [104]

În condiții reale de sedimentare există posibilitatea ca, după contactul cu stratul de material depus pe fundul bazinului particula să se mai deplaseze pe orizontală sub acțiunea forței hidrodinamice F generată de curentul de lichid (fig. 4.9). Acestui proces i se opune forța de frecare F_f dintre particulă și stratul de material aflat pe fundul bazinului, dată de produsul dintre greutatea aparentă a particulei G_{ap} (forța de greutate $G=mg$ diminuată cu forța

arhimedică F_A) și coeficientul de frecare f al particulei cu stratul de sediment, adică: $F_f = f.G_{ap}$. Din echilibrul forțelor că pentru evitarea deplasării particulei pe orizontală este necesar ca forța de frecare F_f să fie mai mare decât forța de hidrodinamică F, adică trebuie îndeplinită condiția:

$$V \cdot (\rho_p - \rho_m) \cdot g \cdot f \geq \xi \cdot A \cdot \frac{v_m^2}{2} \cdot \rho_m \tag{4.37}$$

Ținând seama de relația (4.14), rezultă că pentru ca particula aflată pe fundul bazinului să nu fie antrenată de curentul de lichid, este necesar ca viteza mediului pe direcție orizontală v_m să nu depășească valoarea limită:

$$v_m = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{f \cdot g}{\xi} \cdot d \cdot \frac{\rho_p - \rho_m}{\rho_m}} \tag{4.38}$$

4.1.5. Factorii care influențează vitezele de sedimentare

Pe baza cercetărilor experimentale s-a constatat că valoarea reală a vitezei de sedimentare este mai scăzută decât cea a vitezei teoretice calculată pentru sedimentarea izolată individuală a particulei, datorită interacțiunilor dintre particule, astfel încât și vâscozitatea suspensiei este mai mare decât a lichidului. În plus, în mișcarea lor descendentă particulele mici sunt antrenate de către particulele mai mari, astfel încât mișcarea lor se accelerează [13, 22, 33, 73, 104, 135].

Unul din cei mai importanți factori de influență asupra vitezelor reale de sedimentare îl reprezintă forma geometrică a particulelor. Pe baza cercetărilor experimentale s-a constatat că valoarea reală a vitezei de sedimentare v_{sx} este dată de relația:

$$v_{sx} = v_s \cdot \varphi \tag{4. 40}$$

în care ψ este *factorul de formă (de sfericitate*, definit ca fiind raportul dintre aria secțiunii unei particule sferice ipotetice A_{sf}, echivalentă ca volum cu volumul particulei reale, și aria totală a particulei reale A_p, [104, 135]:

$$\psi = \frac{A_{sf}}{A_p} \tag{4.39}$$

Pentru forma sferică a impurităților coeficientul ψ are valoarea ψ = 1,0 iar pentru formele neregulate, acesta are valori subunitare, de exemplu, de ψ = 0,85 pentru forme cubice, ψ =0,75 pentru forme prismatice și ψ = 0, 58 pentru forme cilindrice [104].

4.1.6. Elemente de bază privind proiectarea și dimensionarea decantoarelor

Decantoarele orizontale longitudinale au ca elemente de proiectare volumul V_d și dimensiunilor geometrice ale acestuia (lungimea *L*, înălțimea *H* și lățimea *B).* Volumul V_d se determină în funcție de debitul de alimentare Q_c și timpul de decantare necesar t_d, utilizând relația:

$$V_d = Q_c \, . t_d \tag{4.41}$$

Aria suprafeței orizontale (suprafeței libere) a bazinului decantorului, $A_o = L.B$, care se determină cu relația:

$$A_o = Q_c / v_s \tag{4.42}$$

în care v_s este viteza reală de sedimentare a particulelor.

Timpul de decantare necesar t_d și viteza de sedimentare v_s se adoptă în funcție de concentrația de impurități solide din apă și de mărimea eficienței de sedimentare preconizată, utilizând datele informative indicate in norme și standarde (v. STAS 4162 [57]).

Aria secțiunii transversale A_t a decantoruluia ($A_t = B.H$)se determină cu relația:

$$A_t = Q_c / v_m \tag{4.43}$$

în care v_m este viteza de curgere (de transport) a apei în planul orizontal, care nu trebuie să depășească valoarea limită v_m =10 mm/s [57].

Înălțimea medie utilă a decantorului H_u se determină cu relația:

$$H_u = v_s . t_d \tag{4.44}$$

lungimea utilă a decantorului *L* se calculează cu relația:

$$L = v_m \, . \, t_d \tag{4.45}$$

iar lățimea utilă *B* a decantorului se calculează cu relația:

$$B = A_t / L = n . b_1 \tag{4.46}$$

în care *n* este numărul de compartimente (cuplate în paralel) ale decantorului, iar b_1 este lățimea utilă a unui compartiment.

Decantoarele orizontale radiale (Dorr) se dimensionează prin stabilirea volumului util V_d, a ariei suprafeței orizontale A_o și înălțimea utilă H_u ale decantorului.

Volumul util V_d se calculează cu relația (4.28) iar aria A_0 se determină cu formula;

$$A_0 = Q_c / v_s = \pi \, (D^2 - d_1^2)/4 \tag{4.47}$$

în care: *D*-este diametrul mare (exterior) al decantorului iar d_1-diametrul tubului central prin care este introdusă apa în bazinul decantorului:

Înălțimea utilă în zona de sedimentare a decantorului se determină cu relația:

$$H_u = v_s . \, . \, t_d \tag{4.48}$$

Decantoarele verticale **cu alimentare cu tub central** se dimensionează prin stabilirea volumului V_d, ariei suprafeței orizontale A_o. și a înălțimii medii H_m a decantorului. Volumul util V_d se calculează cu relația (4.47) iar ariei suprafeței orizontale A_o cu formula;

$$A_o = Q_c/u = \pi (D^2-d_1^2)/4 \quad (4.50)$$

în care: D este diametrul mare (exterior) al decantorului (D_{max} = 7,0 m [57]); d_1-diametrul tubului central; u - viteza ascensională (pe verticală) a apei în bazin (se recomandă u = 0,7 m /s) [57].

Aria secțiunii orizontale a tubului central A_{tc} se determină cu relația:

$$A_{t\ c} = Q_c/vi = \pi d_1^{\ 2/}/4 \quad (4.51)$$

unde v_{tc} este viteza descendentă a apei în tubul central (se recomandă v_{tc} =100 mm/s) [57].

Din considerente de întreținere și din motive constructive, înălțimea decantorului vertical H_0 nu trebuie să depășească 4,0 m, dar aceasta trebuie să respecte condiția [57]:

$$H_0/(D-d_1)>0,8, \quad (4.52)$$

Înălțimea zonei utile a decantorului vertical se determină cu relația:

$$H_u = u.\ t_d \quad (4.53)$$

Lungimea pe verticală a tubului central H_t trebuie să fie mai mică decât înălțimea și zonei utile H_u a decantorului și se recomandă să aibă valoarea: $H_t = 0,8.\ H_u$. [57].

Partea inferioară de formă tronconică a decantorului trebuie să aibă o înclinare mai mare de 45^0 pentru a asigura curgerea ușoară a nămolului sub propria greutate.

Ca și celelalte tipuri, decantoarele verticale trebuie sa respecte anumite dimensiuni și parametri funcționali prevăzute in STAS 4162/1 - 89.

4.2. Cercetări teoretice privind procesele de separare prin filtrare

4.2.1. Aspecte generale privind procesele de separare prin filtrare

În funcție de direcția curgerii fluidului în raport cu suprafața mediului filtrant (membrană, sită) operația de filtrare se poate realiza prin două procedee distincte: cu deplasare fluidului *pe direcție normală* (de suprafață și de adâncime) și cu deplasare *pe direcție tangențială*, modelele fizice ale acestor procese fiind prezentate grafic în figura 4.10. Aceste modele sunt însoțite și de graficele care descriu variația parametrilor caracteristici ai acestora.

Filtrarea de suprafață (fig.4.10,a) este procesul care se produce când dimensiunile particulelor sunt mai mari decât cele ale porilor mediului filtrant, situație în care toate sau marea majoritate a particulelor de impurități sunt reținute pe suprafața de intrare formând un strat poros omogen de precipitat (denumit și *turtă*) cu permeabilitate constantă. În cazul unui debit constant de lichid $Q= dV/dt =const$, căderea de presiune pe mediu filtrant crește liniar cu

înălțimea stratului de precipitat, prin care produceși reducerea permeabilității mediului filtrant și creșterea rapidă a căderii de presiune.

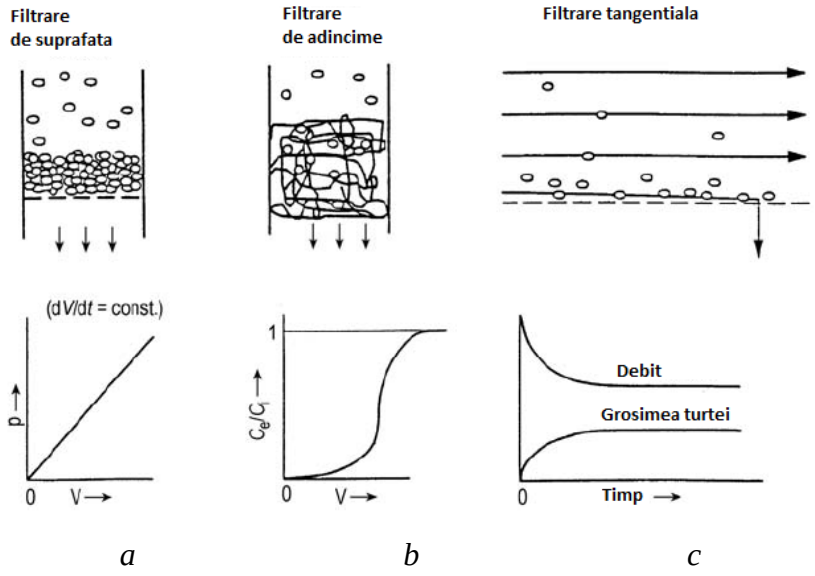


Fig.4.10. Scheme de principiu de modelelor de filtrare:
a-filtrare de suprafață; b-filtrare de adâncime; c-filtrare în flux transversal (filtrare tangențială)

Filtrarea în adâncime (fig.4.10,b) este modelul de filtrare realizat prin reținerea particulele de impurități solide într-un strat de filtrare adânc, prin aderarea acestora la granulele din stratul mediului filtrant, separarea particulelor de impurități din masa de fluid realizându-se în mod progresiv prin impactul acestora cu un număr mare de obstacole din canalele porilor. Când stratul filtrant a fost saturat cu particule solide de impurități concentrația C_e a lichidului care părăsește stratul de filtrare se apropie treptat de concentrația C_0 a lichidului la intrare în stratul de filtrare (raportul C_e/ C_0 tinde spre 1.0).

Filtrarea tangențială, denumită *filtrare în flux transversal,* este modelul de filtrare la care lichidul supus filtrării curge cu viteză mare în direcție tangențială la suprafața mediului de filtrare, încât spală (mătură) suprafața filtrului prevenind astfel formarea stratului de precipitat pe suprafața mediului de filtrare.. După o perioadă inițială de funcționare se stabilește un echilibru dinamic între transportul convectiv de solide pe suprafața filtrului si procesul de îndepărtare a acestora de pe strat ca urmare a forțelor hidrodinamice care acționează asupra particulelor, prin turbulență si difuzie. Comparativ cu filtrarea de suprafață și de adâncime, la care debitul de lichid filtrat scade brusc spre zero, iar căderea de presiune crește exponențial prin formarea stratului de precipitat cu grosime crescătoare, filtrarea tangențială este o metodă mai avantajoasă și mai eficientă.

4.2.2. Modelarea fizică și matematică a proceselor de filtrare

4.2.2.1. Modelarea rezistenței hidraulice a mediului de filtrare

Studiile teoretice ale proceselor de filtrare de suprafață realizate prin medii poroase formate au fost realizate pe modele fizice pe baza cărora s-au dezvoltat modele matematice care descriu procesele de filtrare [94, 104, 138].

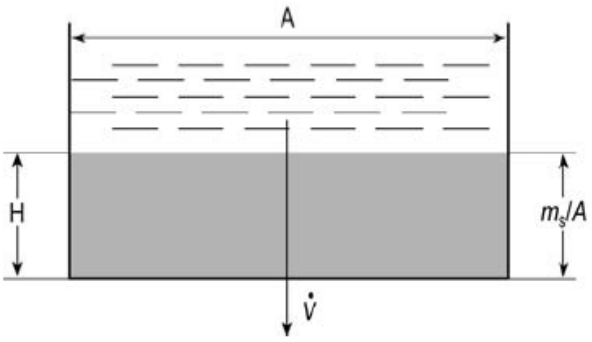


Fig.4.11. Schema pentru definirea rezistentei materialelor filtrante poroase [94]*: H-înălțimea stratului de filtrare; A-suprafața (secțiunea) stratului de filtrare*

Rezistența hidraulică la curgerea lichid prin porii stratului de precipitat reprezintă un parametru de bază al curgerii lichidului și caracterizează căderea de presiune Δp între intrarea și ieșirea fluxului de lichid din stratul poros de precipitat (fig. 4.11), care poate fi descrisă de ecuația lui Darcy scrisă sub forma [94, 138].:

$$\Delta p_1 = \left(\frac{\dot{V}}{A} \right) \cdot H \cdot \eta \cdot \alpha_H \tag{4.54}$$

în care: $\dot{V} = dV/dt$ este debitul de lichid (în m^3/s); A- aria secțiunii suprafeței de filtrare, în m^2; H- grosimea stratului filtrant, în m; ν - vâscozitatea cinematică a lichidului, în m^2/s; $\eta = \nu.\rho$- vâscozitatea dinamică a lichidului; în Ns/m^2; ρ - densitatea lichidului, în kg/m^3; α_H - constantă care caracterizează rezistență hidraulică la filtrare a stratului filtrant, în m^{-2} și depinde de dimensiunea si structura porilor stratului filtrant.

Raportul dintre debitul lichid $Q = \dot{V} = dv/dt$ și aria suprafeței de filtrarea A, respectiv $\dot{V}/A$, este definit ca un *debit specific de filtrare* (debit pe unitatea de suprafață) care, de fapt, reprezintă viteza de curgere a lichidului *(viteza de filtrare),* $v = \dot{V}/A$ (în m/s). Inversul constantei rezistenței hidraulice α_H a stratului filtrant este denumit *coeficient de permeabilitate a mediului filtrant k* și este exprimat prin relația [94]:

$$k = \frac{1}{\alpha_H}\left[m^2\right] \tag{4.55}$$

Grosimea *H a* stratului filtrant poate fi definită, indirect, și prin coeficientul de masă α_m , dat de raportul dintre masa *m* a volumului stratului de filtrare și suprafață acestuia *A*, adică $\alpha_m = m/A$ (în kg/m^2),.încât ecuația (4.54) poate fi scrisă în forma:

$$\Delta p_1 = \left(\frac{\dot{V}}{A}\right)\cdot\left(\frac{m}{A}\right)\cdot\eta\cdot\alpha_m \tag{4.56}$$

În teoria filtrării se utilizează noțiunea de *diametrul hidraulic* d_h al porilor structurii filtrante, care este definit cu relația [94,104]:

$$d_h = 4\cdot\frac{\varepsilon}{(1-\varepsilon)\cdot S_v} \tag{4.57}$$

în care: ε este indicele de porozitate al mediului filtrant; S_v - suprafața interioară specifică a mediului filtrant raportată la volumul masei solide. În cazul unui sistem filtrant format din particule sferice suprafața interioară specifică S_v se determină cu relația [94,104]::

$$S_v = \frac{6}{d_s} \tag{4.58}$$

unde d_S este *diametrul Sauter* care reprezintă un diametru mediu al mărimii unei particule, obținut prin raportarea volumului total al particulei la suprafața totală a secțiunii [94].

Indicele de porozitate ε a mediului filtrant este definit prin raportul dintre volumul porilor și volumul total (aparent) *V* al mediului filtrant (volumul porilor V_p plus volumul materialului V_m), exprimat prin relația [94, 135]:

$$\varepsilon = \frac{V_p}{V}\cdot 100 = \frac{V_p}{V_m + V_p}\cdot 100\ \ [\ \%,] \tag{4.59}$$

Ținând seama de ecuația (4.54), calculul rezistenței hidraulice la filtrare α_H în cazul curgerii laminare a lichidului prin mediul de filtrare format din pori cu diametrul hidraulic d_h se face cu relația [94]:

$$\alpha_H \approx 5\cdot\frac{(1-\varepsilon)^2\cdot 36}{\varepsilon^3\cdot d_S^2} \approx 5\cdot\frac{(1-\varepsilon)^2\cdot}{\varepsilon^3\cdot S_v^2} \tag{4.60}$$

care este cunoscută sub denumirea de *ecuația Kozeny- Carman* și este folosită frecvent la modelarea matematică a proceselor de filtrare prin medii poroase.

4.2.2.2. Modelarea matematică a procesului filtrării de suprafață

Mediul filtrant real al unui filtru este format din două straturi distincte (fig.4.12): *membrana filtrantă,* cu înălțimea constructivă h_m, și *stratul de precipitat* cu grosimea variabilă

H (în cazul în care lichidul este un amestec omogen înălțimea *H* este proporțională cu cantitatea *V* de lichid filtrat). Cele două straturi ale mediului filtrant (h_m și *H)* au valori diferite ale

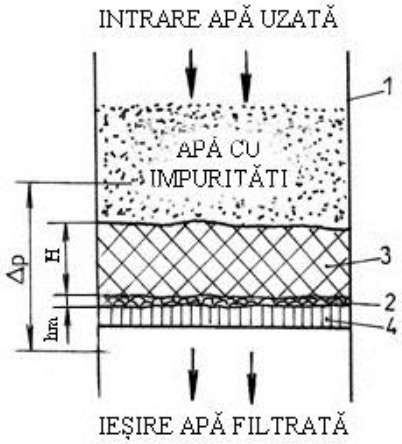


Fig. 4.12. Schema simplificată a filtrării de suprafață printr-un mediu filtrant format din două straturi suprapuse: membrană și stratul de precipitat:
1-carcasă filtru; 2- membrana de filtrare; 3- stratul de precipitat (turtă);
4-suport de rezistență pentru membrana de filtrare.

rezistenței hidraulice, respectiv creează căderi de presiune diferite la trecerea lichidului. Deoarece cele două straturi sunt suprapuse (cuplate în serie) sunt parcurse de același debit de lichid $\dot{V}$, încât viteza de curgere *v* a fluidului are aceiași valoare prin ambele straturi.

Căderea totală de presiune totală *Δp* a mediului filtrant format din două straturi este compusă dintr-o cădere de presiune pe stratul de precipitat (turtă) Δp_1 si căderea de presiune pe membrană Δp_2, adică $\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2$,

Căderea de presiune pe turtă Δp_1 este proporțională cu înălțimea *H* a turtei, fiind dată de ecuația Darcy (4.54). Cădere de presiune Δp_2 pe membrană este dată de ecuația [94]:

$$\Delta p_2 = \beta \cdot \eta \cdot \left(\frac{\dot{V}}{A} \right) \tag{4.61}$$

in care β este coeficientul rezistenței hidraulice la filtrare a membranei (în m^{-1}).

Căderea totală de presiune *Δp* pe mediul filtrant este dată de suma căderilor de presiune pe cele două componente, Δp_1 și Δp_2, și poate fi scrisă sub forma:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 = \alpha_H \cdot \eta \cdot H \cdot \frac{\dot{V}}{A} + \beta \cdot \eta \cdot \frac{\dot{V}}{A} \tag{4.62}$$

care reprezintă *ecuația diferențială a căderii totale de presiune pe mediul filtrant* (strat de precipitat plus membrană)

Dacă în relația (4.62) înălțimea H a stratului de precipitat se exprimă convențional prin raportul $H = m/A$, rezultă că ecuația diferențială (4.62) a căderii de presiune pe filtru poate fi scrisă și sub forma:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 = \alpha_H \cdot \eta \frac{m \cdot \dot{V}}{A^2} + \beta \cdot \eta \cdot \frac{\dot{V}}{A} \tag{4.63}$$

Influenta concentrației c_v si a gradului de porozitate ε a stratului de precipitat poate fi definită prin doi factori de proporționalitate:

- factorul K_H dintre volumul turtei $V = H.A$ și volumul lichidului filtrat V, exprimat prin relația finală:

$$K_H = \frac{c_v}{(1-\varepsilon)} = \frac{H \cdot A}{V} \tag{4.64}$$

- factorul K_m dintre masa turtei m și volumul lichidului filtrat V, fiind definit de relația:

$$K_m = \frac{m}{V} \tag{4.65}$$

unde masa m a stratului de precipitat este independenta de indicele de porozitate ε al turtei.

Ținând seama de relațiile (4.64) si (4.65) ecuația diferențială a căderii de presiune totale pe mediul filtrant poate fi scrisă sub forma:

$$\Delta p = \frac{\alpha_H \cdot \eta \cdot K_H}{A^2} \cdot V \cdot \frac{dV}{dt} + \frac{\beta \cdot \eta}{A} \cdot \frac{dV}{dt} \tag{4.66}$$

sau

$$\Delta p = \frac{\alpha_m \cdot \eta \cdot K_m}{A^2} \cdot V \cdot \frac{dV}{dt} + \frac{\beta \cdot \eta}{A} \cdot \frac{dV}{dt} \tag{4.67}$$

Prin generalizarea relațiilor de legătură $\alpha_H \cdot K_H = \alpha_m \cdot K_m$, ecuațiile diferențiale (4.66) și (4.67) sunt practic identice și pot fi integrate pentru două situații distincte: pentru debit constant sau pentru presiune constantă.

Integrarea ecuațiilor (4.66) și (4.67) pentru debit constant (dV/dt =const) conduce la soluția banală:

$$\Delta p = \frac{\eta \cdot \dot{V}}{A}\left(\frac{\alpha_H \cdot K_H}{A} + \beta\right)$$

sau:

$$\Delta p = \frac{\eta \cdot \dot{V}}{A}\left(\frac{\alpha_m \cdot K_m}{A} + \beta\right)$$

Integrarea ecuațiilor (4.66) și (4.67) pentru presiune constantă (Δp =const) conduce la ecuația:

$$dt = \frac{\alpha \cdot \eta \cdot K}{A^2 \cdot \Delta p} \cdot V \cdot dV + \frac{\beta \cdot \eta}{A \cdot \Delta p} \cdot dV$$

care prin integrare are soluția:

$$t = \frac{\alpha_H \cdot \eta \cdot K_H}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta p} \cdot V^2 + \frac{\beta \cdot \eta}{A \cdot \Delta p} \tag{4.68}$$

sau

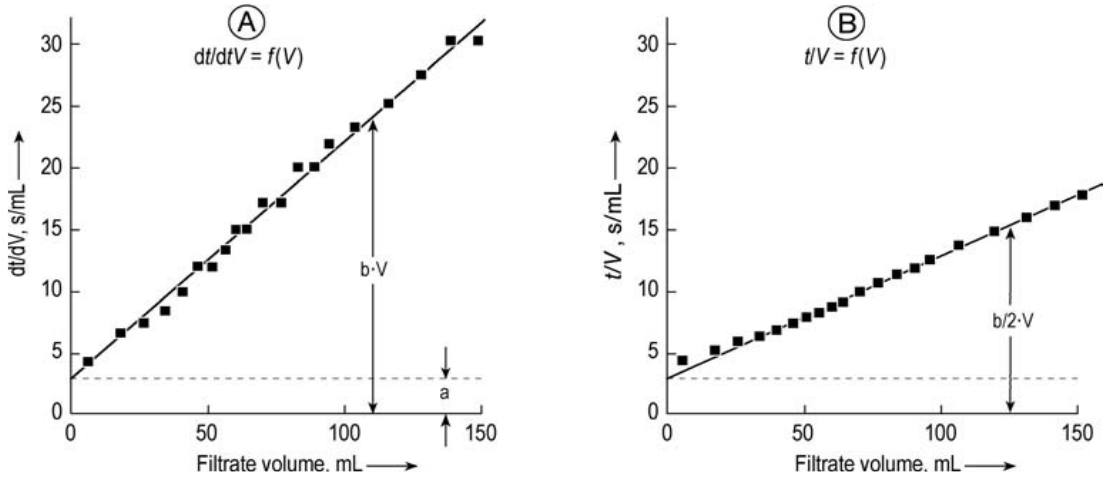
$$t = \frac{\alpha_m \cdot \eta \cdot K_m}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta p} \cdot V^2 + \frac{\beta \cdot \eta}{A \cdot \Delta p} \tag{4.69}$$

Adesea este foarte util reprezentarea variația rezistenței hidraulice în funcție de cantittea *V* de lichid filtrat. Rezistența hidraulică a stratului filtrant fiind caracterizată de valoarea căderii de presiune *Δp* și debitul de lichid filtrat *dV/dt*, ecuația (4.62) poate fi scrisă în forma:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\alpha_H \cdot \eta \cdot K_H}{\Delta p \cdot A^2} \cdot V + \frac{\beta \cdot \eta}{\Delta p \cdot A} \tag{4.70}$$

sau:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\alpha_m \cdot \eta \cdot K_m}{\Delta p \cdot A^2} \cdot V + \frac{\beta \cdot \eta}{\Delta p \cdot A} = b \cdot V + a \tag{4.71}$$



a *b*

Fig. 4.13. Reprezentări liniare ale ecuațiilor (4.70) și (4.75) [94]*:*
a- forma diferențială (ecuația (4.70)); b- forma integrală (ecuația (4.75))

Ecuațiile diferențiale (4.70) și (4.71) se pot reprezenta grafic și sub forma unor diagrame liniare, exemplificată în figura 4.13,a, din care rezultă că acestea reprezintă linii drepte având ordonata la origine *a* și panta *b* [94, 127].

Ordonata la origine a este exprimată, conform ecuației (4.71) prin termenul:

$a = \beta.\eta/\Delta p$

care reprezintă rezistenta hidraulică a filtrului in primul moment al procesului de filtrare (la timpul t=0), adică înainte de formarea precipitatului (turtei), care include atât rezistența membranei de filtrare cât și rezistența stratului marginal al turtei.

Panta b a dreptei caracterizează gradul de variație a rezistentei hidraulice a filtrului, fiind exprimată, conform ecuației (4.71) prin termenul:

$$b = \frac{\Delta\left(\Delta p \cdot \frac{dt}{dV}\right)}{\Delta V} = \frac{\alpha \cdot \eta \cdot K}{A^2}$$

Prin inserarea factorilor de proporționalitate K_H sau K_m, exprimați prin ecuațiile (4.64) și (4.65), se obțin ecuațiile:

$$\alpha_H \cdot \eta = \frac{\Delta\left(\Delta p \cdot \frac{dt}{dV}\right)}{\Delta V} \cdot \frac{A^2}{K_H} = \frac{\Delta\left(\Delta p \cdot \frac{dt}{dV}\right)}{\Delta V} \cdot \frac{A \cdot V}{H} = \Delta\left(\Delta p \cdot \frac{dt}{dV}\right)_e \cdot \frac{A}{H_e} \qquad (4.72)$$

sau

$$\alpha_m \cdot \eta = \frac{\Delta\left(\Delta p \cdot \frac{dt}{dV}\right)}{\Delta V} \cdot \frac{A^2}{Km} = \frac{\Delta\left(\Delta p \cdot \frac{dt}{dV}\right)}{\Delta V} \cdot \frac{A^2 \cdot V}{m} = \Delta\left(\Delta p \cdot \frac{dt}{dV}\right)_e \cdot \frac{A^2}{m} \qquad (4.73)$$

O altă abordare a reprezentării liniare a diagramelor constă în folosirea diagramei în formă integrată pornind de la de la ecuațiile integrale (4.68) și (4.69). Rezultatele experimentale obținute în laborator privind variația în funcție de timpul t a volumului filtrat V [94]., permit reprezentarea grafică a funcției:

$$\frac{t}{V} = f(V) \qquad (4.74)$$

Ținând seama de relațiile (4.68) și (4.69), în condițiile în care presiunea în timpul experimentelor este constantă, funcția (4.74) reprezintă o linie dreaptă, dată de una din ecuațiile :

$$\frac{t}{V} = \frac{\alpha_H \cdot \eta \cdot K_H}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta p} \cdot V + \frac{\beta \cdot \eta}{A \cdot \Delta p} \qquad (4.75)$$

sau:

$$\frac{t}{V} = \frac{\alpha_m \cdot \eta \cdot K_m}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta p} \cdot V + \frac{\beta \cdot \eta}{A \cdot \Delta p} \qquad (4.76)$$

sau:

$$\frac{t}{V} = \frac{b}{2} \cdot V + a \qquad (4.77)$$

Reprezentarea liniară a ecuațiilor (4.75), (4.76) și (4.77) este ilustrată grafică în figura 4.13,b și este folosită frecvent în practică, deoarece permite o evaluarea mai ușoară și mai intuitivă a proceselor de filtrare. Adesea această reprezentare este mai utilă din punct de vedere practic față de folosirea ecuațiilor (4.70) și (4.71), care sunt ilustrate în figura 4.13,a.

În cazul diagramei integrale din figura 4.13, b, valorile volumului *V* de lichid filtrat, pot fi determinate experimental în laborator prin măsurători folosind un vas gradat și un cronometru [94, 104], pot fi introduse direct în ecuațiile (4.75), (4.76) și (4.77), în timp ce pentru diagrama diferențială din figura 4.13,a aceste rezultate trebuie convertite în debite *dV/dt*.

Trebuie însă menționat că ecuația (4.75) este corectă numai pentru căderi de presiune constante, iar rezultatele din diagrama din. figura 4.13,a scot în evidență, într-o mai mică măsură, abaterile de la linearitate comparativ cu diagrama bazată pe ecuația debitelor. Dacă, de exemplu, stratul de precipitat se oprește din creștere, încât se menține o rezistentă hidraulică constantă, procesul este ușor perceptibil prin apariția în diagrama diferențială a unui palier, față de o curbură gradual hiperbolică în diagrama integrală.

4.2.3. Factorii care influențează operația de filtrare

Factorii principali care influențează operația de filtrare, pot fi grupați în trei categorii: a) factori care se referă la starea fazei solide a suspensiei supuse filtrării**;** b**)** factori care se referă la precipitat; c)- factori care se referă la condițiile de realizare a operației de filtrare (concentrația de impurități, vâscozitatea fazei solide, temperatura lichidului etc.).

Starea fazei solide din amestecul de fluid cu impurități supus filtrării influențează asupra porozității și permeabilității precipitatului având astfel influențe directe asupra vitezei de filtrare iar concentrația în particule solide influențează în mod direct desfășurarea operației de filtrare. La concentrații prea mari, pe suprafața mediului filtrant se formează rapid un strat gros de precipitat, care mărește considerabil rezistența hidraulică la trecerea fazei fluide.

Vâscozitatea fazei fluide influențează asupra mărimii rezistenței hidraulice, la curgerea fluidului prin stratul de precipitat și materialul filtrant. O viscozitate mai mare conduce la majorarea rezistenței hidraulice la trecerea filtratului prin mediul poros.

Temperatura la care se desfășoară filtrarea influențează asupra vâscozității fazei fluide și umidității finale a precipitatului. De aceea, pentru creșterea eficienței filtrării este necesar ca valoarea temperaturii optime să fie determinată experimental pentru fiecare caz în parte.

CAP. 5. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A PROCESELOR DE DECANTARE ȘI FILTRARE A APELOR INDUSTRIALE UZATE

5.1. Cercetarea experimentală a proceselor de decantare

5.1.1. Obiectivele și metodologia cercetării experimentale a proceselor de decantare

Obiectivul cercetărilor experimentale a procesului de decantare a constat în analiza factorilor care influențează performanțele de sedimentare ale decantoarelor verticale de formă tronconică, utilizând comparativ două tipuri constructive de decantoare:

a) decantoare fără echipament de raclare a depunerilor de nămol din zona inferioară conică, realizat în 4 variante constructiv-funcționale:

- cu intrare tangențiala a apei si ieșire liberă (fără prag deversor) a apei limpezi (*tip D1*);
- cu intrare tangențială a apei si ieșirea cu prag deversor a apei limpezi (*tip D2*);;
- cu intrare apei prin tub central cu placă deflectoare si ieșirea apei limpezi cu prag deversor (decantor *tip D3*);.

b) decantoare cu echipament de raclare a depunerilor de nămol din zona inferioară conică, realizat în varianta cu intrare tangențială a apei uzate si ieșirea apei limpezi cu prag deversor (decantor *tip D4*).

Regimul de lucru al decantoarelor experimentate s-a realizat pentru *6 valori distincte ale temperaturii T_i apei uzate* la intrare în decantor (100 ^{0}C, 95 ^{0}C , 90 ^{0}C , 85 ^{0}C , 80 ^{0}C și 75 ^{0}C) și *16 valori distincte ale debitului de alimentare Q_i* cu apă uzată (0,5 ; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5;, 4,0; 4,5; 5,0; 5,5, 6,0, 6,5, 7,0; 7,5; 8,0 m^3/h.). Pentru fiecare set de valori prestabilite durata experimentului a fost de *20 de ore*.

Principalele proprietăți fizico - chimice ale apei s-au determinat în laborator utilizând metodologia și prescripțiile din STAS 6953/1981. Determinarea concentrației de impurități (în mg/l) din eșantioanele de apă prelevate s-a făcut prin metode gravimetrice, utilizând relația cunoscută:

$$C = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 1000 \text{ [mg/l]}, \qquad (5.1)$$

în care : m_1 este masa fiolei cu hârtia de filtru, în mg; m_2 - masa fiolei cu hârtia de filtru cu reziduu (impurități), în mg; V - volumul eșantionului analizat, în cm^3.

Coeficientul eficienței de separare (retenție) a impurităților *E[%]* realizat de decantor în procesul de sedimentare s-a determinat prin relația:

$$E = \frac{C_i - C_e}{C_e} \cdot 100 = \left(1 - \frac{C_i}{C_e}\right) \cdot 100 \quad [\%] \tag{5.2}$$

în care: C_i este concentrația de impurități la intrarea apei uzate în decantor (în mg/l) și C_e – concentrația de impurități la ieșirea apei limpezi din decantor.

La încercările experimentale au fost utilizate apelor uzate ale căror proprietăți caracteristice sunt prezentate în tabelul 5.1.

Tab. 5.1. Caracteristicile apelor reziduale supuse decantării

Nr. crt.	**Caracteristica**	**Unitate de măsură**	**Valoare**
1	pH		12 …13
2	Temperatura	^{0}C	75…100
3	Suspensii: $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$	g/l	3…20
4	Cloruri: NaCl , $CaCl_2$	g/l	25…45
5	Densitate	g/cm^3	1,013…1,050
6	CCO-Mn	mg $KMnO_4$/l	50… 6000

5.1.2. Cercetarea experimentală a sistemelor de sedimentare în decantoare verticale. Analiza rezultatelor

5.1.2.1 Instalații și echipamente folosite la cercetarea experimentală

In vederea studiului experimental au fost concepute și realizate instalații pilot formate din decantoare verticale care să realizeze numai o separare grosieră a impurităților până la o concentrație de cca. 4000 mg/l, urmând ca separarea finală să se continue prin filtrare cu filtre tangențiale. Au fost concepute și realizate instalații pilot care cuprind patru tipuri constructiv-funcționale de decantoare verticale de formă tronconică (simbolizate ***D1, D2, D3 și D4*****)** .

În figura 5.3 este dată schema constructivă a decantoarelor ***tip D1*** și *tip* ***D2***, care diferă între ele numai prin faptul că *tipul D1* are canal cu evacuare liberă a apei limpezi (fără prag deversor) iar tipul *D2* are canal cu prag deversor. Intrarea apei uzate în decantor se face pe direcție tangențială prin conductă 5, plasată în partea conică (la diametrul conului de 1190 mm), la distanța de 1050 mm față de baza decantorului. Apa limpezită este evacuată prin conducta de ieșire 6 iar nămolul rezultat prin sedimentare este sunt evacuat prin conducta de 7.

În figura 5.4 este dată schema constructivă a decantorului ***tip D3,*** la care intrarea apei uzate 1 se face prin tubul central 10 prevăzut la capătul inferior cu pâlnie și o placă deflectoare,

tubul fiind alimentat la partea superioară prin conducta 5. Reglarea secțiunii de curgere a apei la partea inferioară a tubului central se face prin modificarea poziției plăcii deflectoare în raport cu pâlnia (în limitele 10…130 mm), prin intermediul tijei filetate 9 și rozetei cu piuliță 8. Nămolul este extras de la partea inferioară prin conducta 7, iar apa limpezită de la partea superioară, prin conducta de ieșire 6.

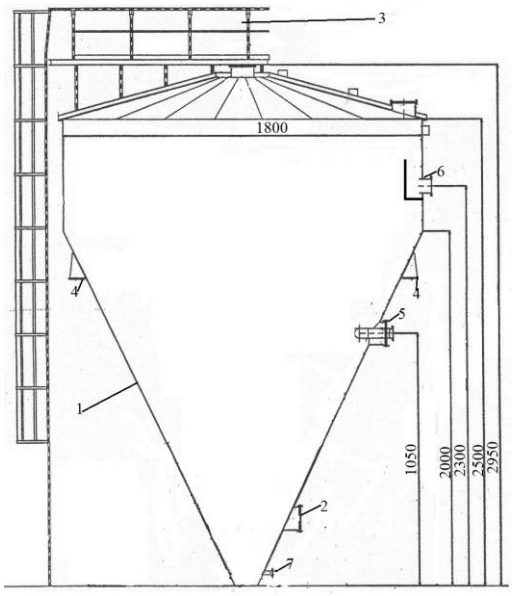


*Fig.5.3. Schema constructivă a decantorului experimental cu intrare tangențială a apei uzate (**tip D1** și, respectiv**, tip D2):***
1-corp decantor; 2 –gura de vizitare; 3-platforma acces;, 4-suporti pentru montare corp decantor; 5-conductă alimentare cu ape uzate cu intrare tangențială , 6- conductă ieșire apă limpede (fără prag deversor pentru tip D1și cu prag deversor pentru tip D2) ; 7-racord evacuare nămol

În figura 5.5 este prezentată schema constructiv-funcțională a unui decantorului ***tip D4,*** cu echipament de raclare a nămolului de pe pereții conici ai rezervorului, prin care este facilitată evacuarea nămolului prin conducta 7. Dispozitivul adiționează pe o treime din înălțimea conului, fiind antrenat de arborele 2 de la un motoreductor. Între lamele raclorului si suprafața pereților conici există un joc de 15…25 mm. Introducerea apei uzate se face pe direcție tangențială prin conducta 5 iar evacuarea apei limpezi de la partea superioară se realizează prin conducta 6. Corpul 1 al decantorului se sprijină pe placa pe suporții 4.

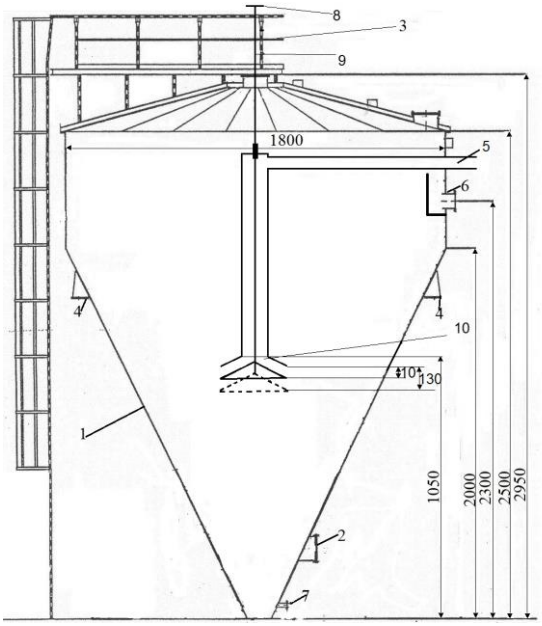


*Fig. 5.4. Schema constructivă a decantorului experimenta cu intrarea apei uzate prin tub central cu placă deflectoare (**tip D-3**):*
1-corp decantor; 2 –gura de vizitare; 3-platforma acces; 4-suporti; 5- conductă alimentare cu tub central și placa deflectoare cu secțiune variabilă; 6- conductă ieșire limpede; 7- conductă evacuare nămol; 8-rozeta de reglare a înălțimii plăcii mobile a deflectorului; 9-arbore fixare placă mobilă deflector; 10- tub central cu pâlnie și placă pentru alimentare cu apă uzată

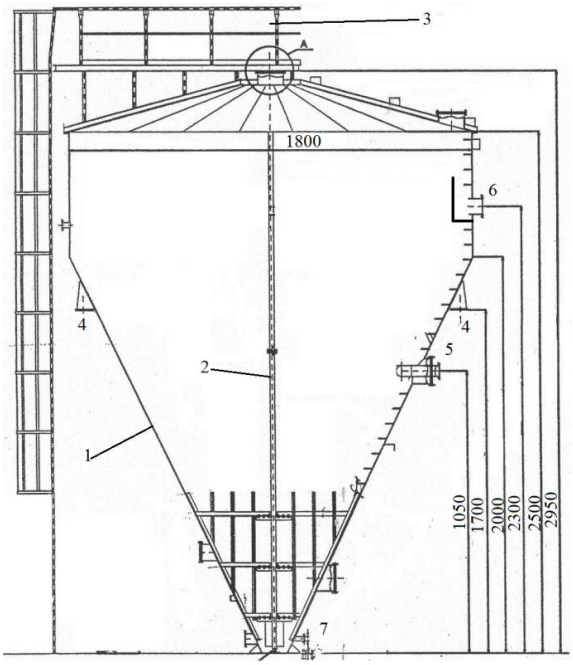


*Fig. 5.5. Schema constructivă a decantorului pilot echipat cu echipament de raclare (raclor) a depunerilor de noroi (**tip D4):***
1-corp decantor, 2 –arbore antrenare raclor; 3-platforma acces, 4-suporti fixare decantor, 5-racord alimentare apă uzată , 6-racord ieșire apă limpede, 7-racord evacuare nămol

5.1.2.2. Cercetarea experimentală a variantelor de decantoare.

b) Metodologia de lucru și testarea experimentală a decantoarelor din instalațiile pilot în variantele D1, D2 și D3

Pentru realizarea obiectivelor cercetării au fost concepute și realizate fizic patru variante de instalații pilot echipate cu cele 4 tipuri de decantoare prezentate anterior.

Instalația pilot în varianta D-1 (fig. 5.7) este echipată cu decantor *tip D1* (v. fig. 5.3) cuprinde un vas tampon 1 cu apă uzată, cu volum de 8 m^3, prevăzut cu agitator mecanic de omogenizare și un schimbător de căldură (pentru menținerea apei la temperatura prestabilită). Decantorul 7, cu volumul util de 3 m^3, este alimentat din vasul 1 printr-o pompa centrifugă 2 și intră în decantor prin conducta de alimentare 6, orientată tangențial. Evacuarea apei limpezi se face prin canalul de colectare (fără prag deversor), conectat la conducta de evacuare 8. Temperatura apei uzate se măsoară cu termometrul 3 montat la vasul 1, iar debitul de alimentare de la pompă se face cu debitmetrul electronic 4 montat pe conducta 6. Nămolul (șlamul) este evacuat prin conducta 9 iar debitul de evacuare a nămolului se măsoară cu debitmetrul electronic 10 montat la conducta 9. Reglarea debitelor de alimentare cu apă uzată se face cu regulatorul electromagnetic cu ventil 5 (conectat la debitmetrul 4), iar reglarea debitului de evacuare a noroiului din decantor cu regulatorul electromagnetic cu ventil 11 (conectat la debitmetrul 10).

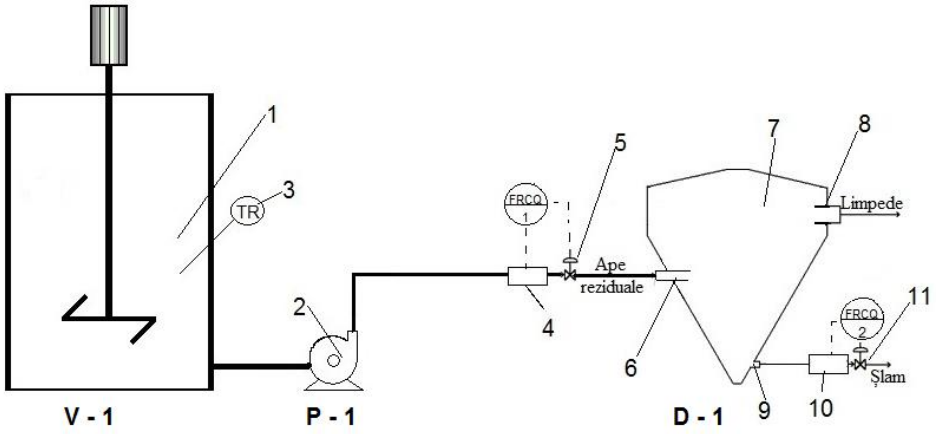


Fig. 5.7. Schema instalației pilot cu decantor cu intrare tangențiala si ieșire liberă, fără prag deversor ***(varianta D1):***

1-vas de omogenizare cu agitator; 2- pompa centrifugă; 3- termometru cu termorezistenta; 4- debitmetru alimentare apa uzata ; 5- ventil de reglare debit alimentare decantor cu apă uzată; 6- admisia tangențiala a apelor uzate in decantor ; 7- decantor; 8- conductă pentru evacuare limpede- ieșire libera; 9- conductă pentru evacuare nămol; 10-debitmetru slam , 11- ventil de reglare debit evacuare nămol

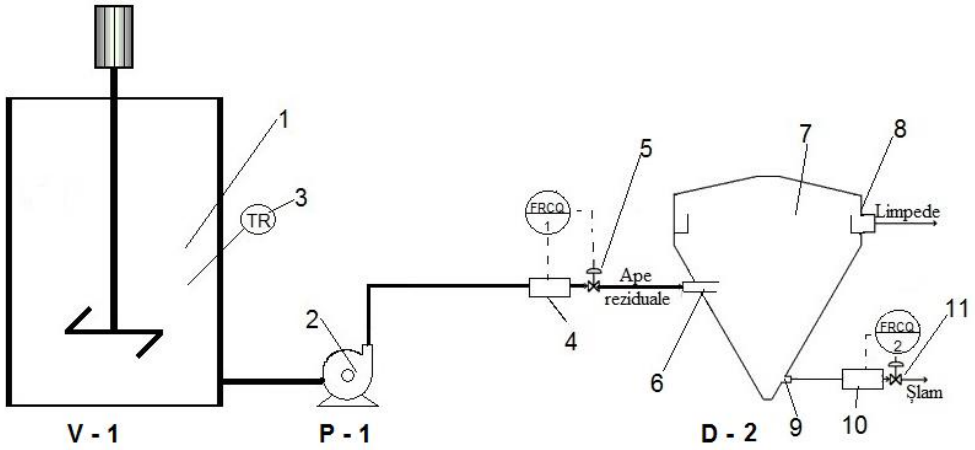


*Fig. 5.8. Schema instalației pilot cu decantor cu intrare tangențiala si ieșire cu prag deversor (**varianta D2**):*
1-vas de omogenizare cu agitator; 2- pompa centrifugă; 3- termometru cu termorezistenta; 4- debitmetru alimentare apa uzata ; 5- ventil de reglare debit alimentare decantor cu apă uzată; 6- admisia tangențiala a apelor uzate in decantor ; 7- decantor; 8- conductă pentru evacuare limpede-ieșire libera; 9- conductă pentru evacuare nămol; 10-debitmetru slam , 11- ventil de reglare debit evacuare nămol

Instalația pilot în varianta D-2 (fig. 5.8) este echipată cu decantor *tip D2* (v. fig. 5.3) la care intrarea apei uzate se face prin racordul 6 orientat tangențial, iar ieșirea apei limpezi se face la partea superioara prin deversare peste pragul 8.

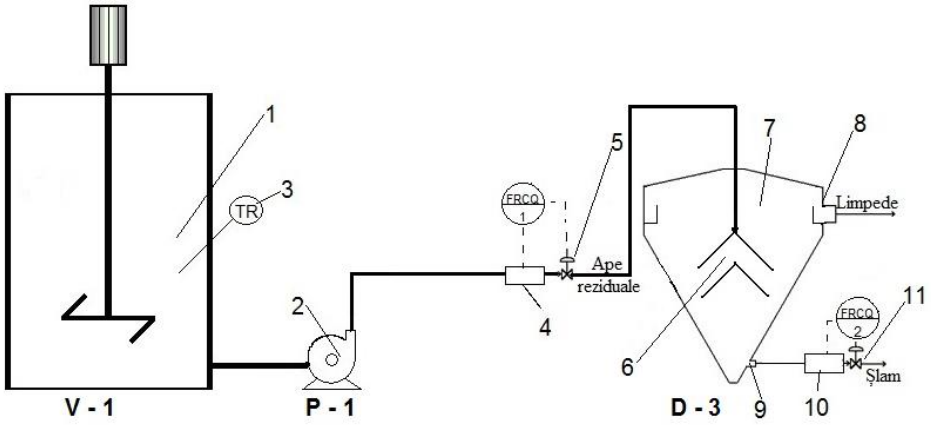


*Fig. 5.9. Schema instalației pilot cu decantor cu intrare prin tub interior central cu placă deflectoare și ieșire cu prag deversor (**varianta D3**):*
1-vas cu omogenizare cu agitator; 2- pompa centrifugă; 3- termometru cu termorezistenta; 4- debitmetru alimentare apa uzata; 5- ventil de reglare debit alimentare decantor cu apă uzată; 6- admisia cu placa deflectoare a apelor uzate in decantor; 7- decantor tip D-3; 8- conductă pentru evacuare limpede-cu prag deversor; 9-conductă pentru evacuare slam; 10- debitmetru slam; 11- ventil de reglare debit evacuare nămol (șlam).

Instalația pilot în varianta D-3 (fig. 5.9) este echipată cu decantor *tip D3 (v. fig. 5.4)* . Intrarea apei uzate în decantorul 7 se face printr-un tub central prevăzut la capătul inferior cu

dispozitivul cu secțiune reglabilă 6, format dintr-o pâlnie și placă deflectoare. Ieșirea apei limpezi se face în canalul de la partea superioara prin deversare peste pragul 8,.

Instalației pilot în varianta D-4 (fig. 5. 10) cuprinde un decantor tip *D4* (v. fig. 5.5) care este prevăzut cu echipament de raclare a nămolului este acționat mecanic prin arborele 13 de către motoreductorul 12, plasat la partea superioară a decantorului. Intrarea apei uzate în decantorul 7 se face pe direcție tangențială iar ieșirea apei limpezi în canalul de colectare se face peste pragul deversor 8. Metodologia de lucru la testarea decantoarelor din instalațiile pilot în variantele *D1, D2* și *D3* este similară. Pentru desfășurarea testărilor se umple vasul 1, se pornește pompa 2 și se comandă sistemul de evacuare automată a nămolului iar în timpul funcționării se măsoară debitul de alimentare al pompei Q_i și temperatura apei din vas T_i. După o durată de funcționare de cca. 30 minute, când se consideră că sistemul este stabil, se prelevează probe de apă uzată de la vasul de alimentare si probe de apă limpede la ieșirea din decantor, probe care se supun testelor de laborator pentru determinarea concentrațiilor apei l intrare și ieșire din decantor. Pentru fiecare testare s-a calculat și viteza ascensionala v_a a apei în decantor (in mm /s) în funcție de debitul de alimentare Q_i (în m^3/h) și secțiunea A_c a decantorului în zona cilindrică (corespunzătoare unui diametru interior constructiv al cilindrului D_c=1,8 m), conform relației: $v_a = 4\ Q/\pi.D^2$. De asemenea, s-a determinat coeficientul eficienței de separare a decantorului *E* (în %) utilizând relația (5.2).

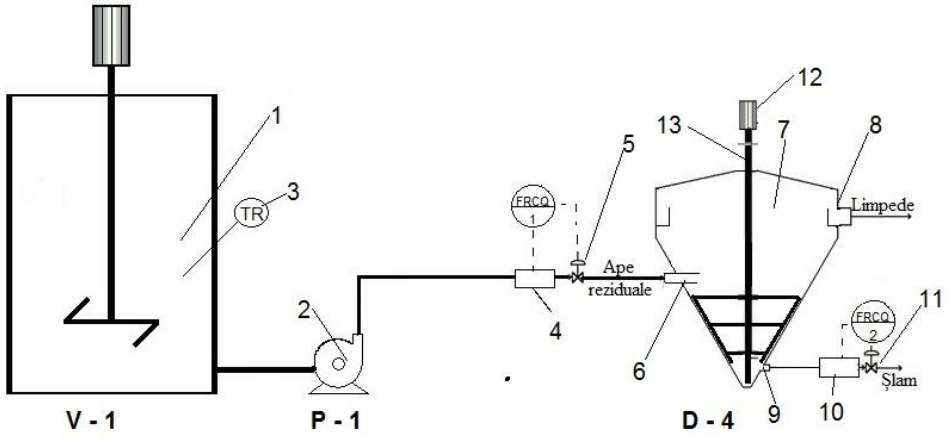


*Fig. 5.10. Schema instalației pilot cu decantor cu echipament de raclare și intrare tangențială și ieșire cu prag deversor a apei (**varianta D-4** :*
1 - vas tampon de alimentare cu apă uzată; 2 – pompă centrifugă; 3 - termometru; 4 – debitmetru electronic pentru apa uzată la intrarea in decantor; 5 - ventil reglare debit apă la intrarea in decantor; 6-conductă de intrare tangențiala a apei in decantor; 7-decantor; 8 – conductă evacuare lichid limpede; 9 – conductă evacuare nămol; 10- debitmetru pentru nămol;11- ventil reglare debit nămol; 12- motoreductor de antrenarea organului de raclare a nămolului; arbore de antrenare

Datelor măsurate direct (debit, temperatură, concentrație impurități) precum și cele obținute prin prelucrare (eficiență decantare) s-au evidențiat în tabele, pe baza cărora s-au construit (în 3D și 2D) graficele cu variațiile coeficienților eficienței de separare *E (%)* în funcție de debitul de alimentare cu apă Q_i (în m^3/h) a decantorului la diferite temperaturi T_i ale apei(în ^0C), pentru cele trei variante tip *D1*, *D2* și *D3* de decantor. Pentru exemplificare, în figurile 5.12, 5.14 și 5.16 sunt prezentate graficele $E = f(Q_i)$ în coordonate 2D pentru cele trei variante de decantor testate.

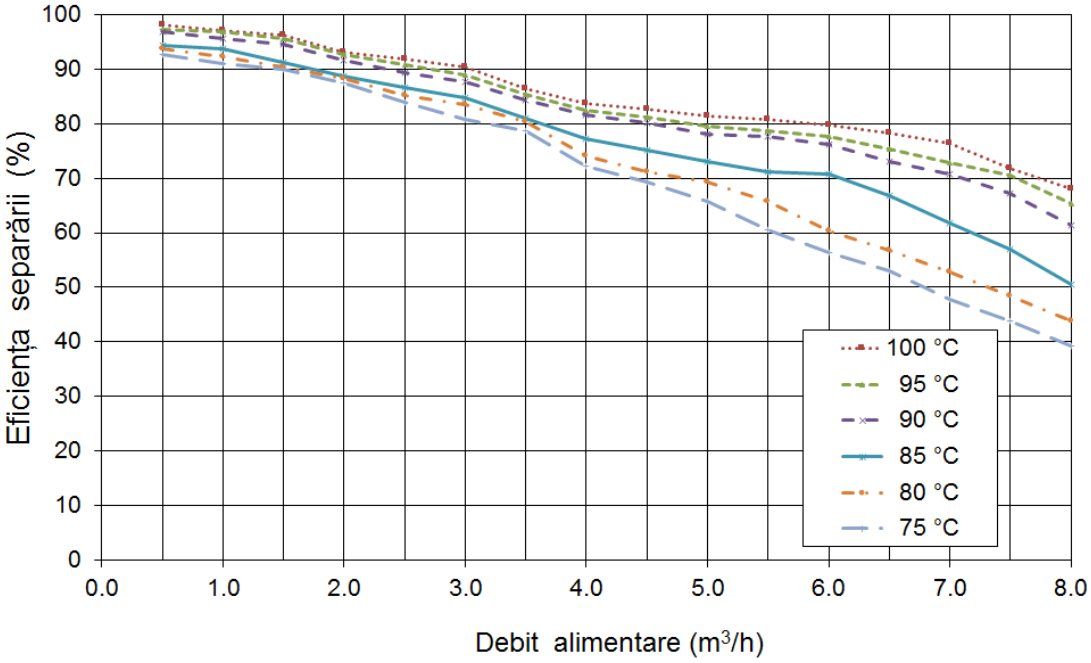


Fig. 5.12 Variația eficienței de separare E in funcție de debitul de alimentare Q_i, in cazul decantorului în ***varianta D1****, pentru diferite temperaturi T_i ale apei uzate*

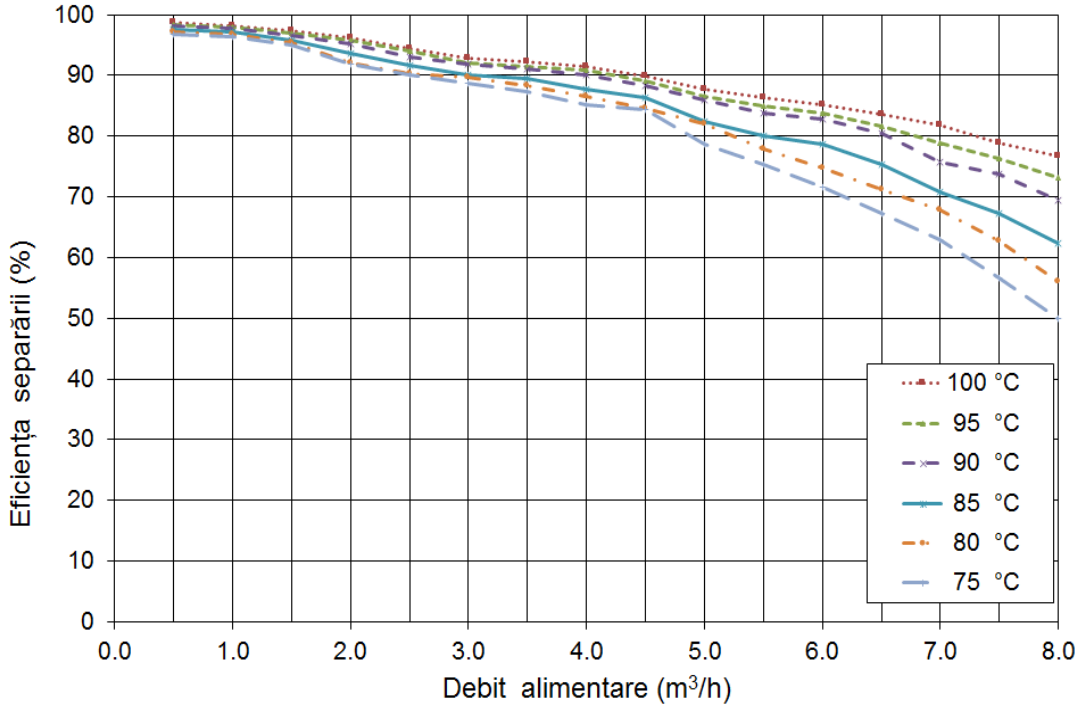


*Fig. 5.14 Variația eficienței de separare E in funcție de debitul de alimentare Q_i, in cazul decantorului în **varianta D2** , pentru diferite temperaturi T_i ale apei uzate*

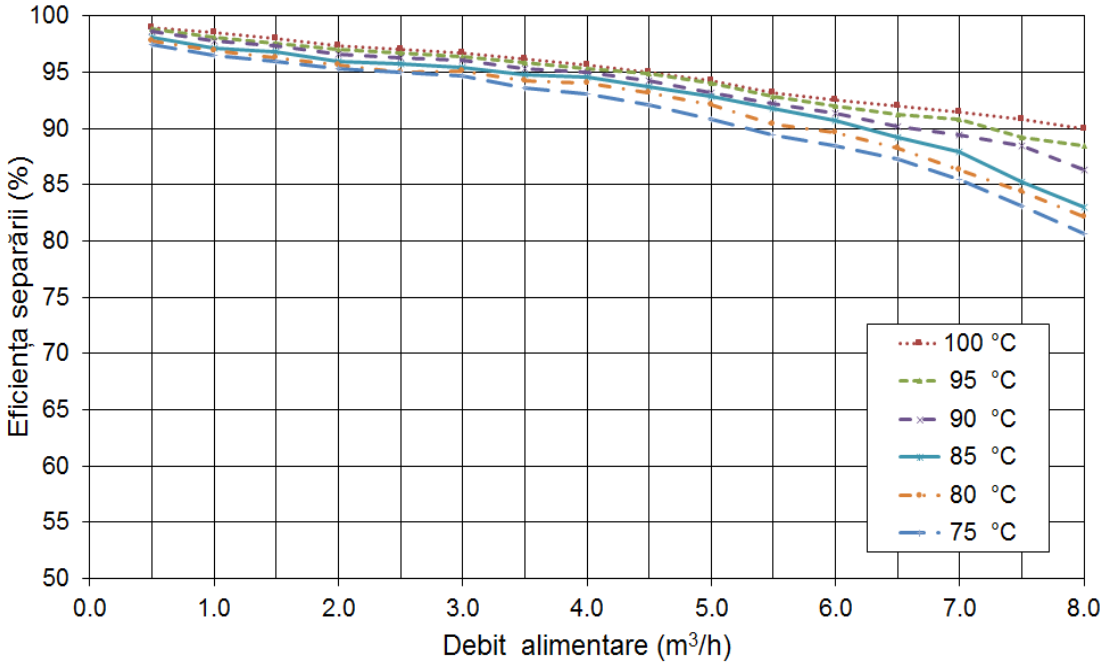


*Fig. 5.16. Variația eficienței de separare E in funcție de debitul de alimentare Q_i, in cazul decantorului în **varianta D3**, pentru diferite temperaturi T_i ale apei uzate*

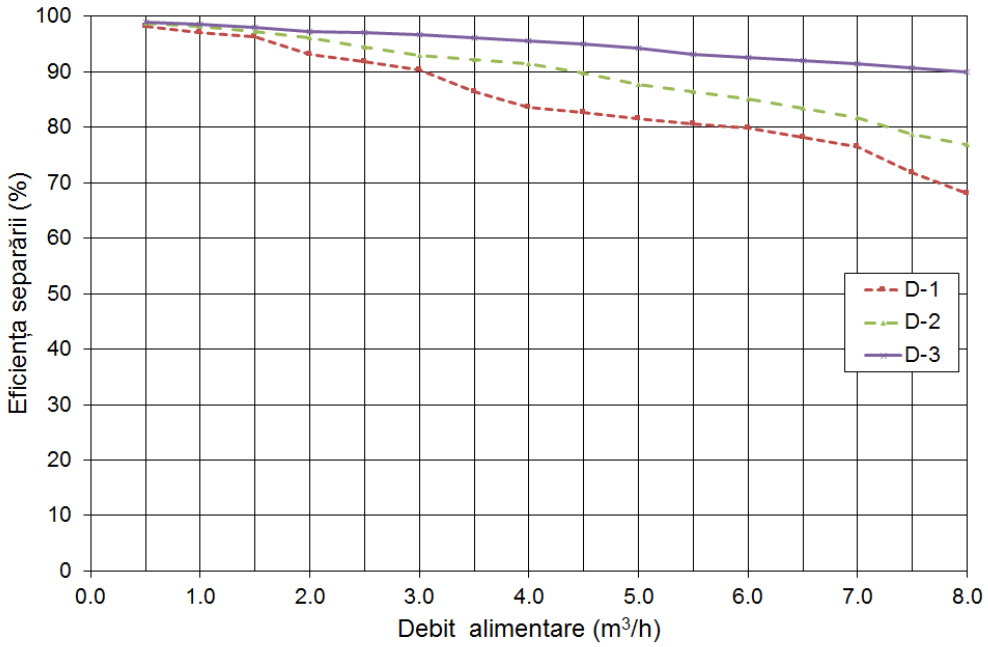


Fig. 5.17. Variația eficienței de separare E cu debitul de alimentare Qi la temperatura apei T_i =100 ^oC, pentru diferite variante de decantoare: ***D-1****- intrare tangențială și ieșire liberă;* ***D-2****- cu intrare tangențială și ieșire cu prag deversor;* ***D-3****-intrare centrală cu placă deflectoare și ieșire cu prag deversor*

Din analiza graficelor se observă că la toate tipurile de decantoare scade eficiența de separare *E* cu creșterea debitului de alimentare Q_i si cu reducerea temperaturii de intrare T_i a apei, eficiența cea mai ridicată având-o la decantorul cu alimentare cu tub central și placă deflectoare (*tip D3*) (fig. 5.17)

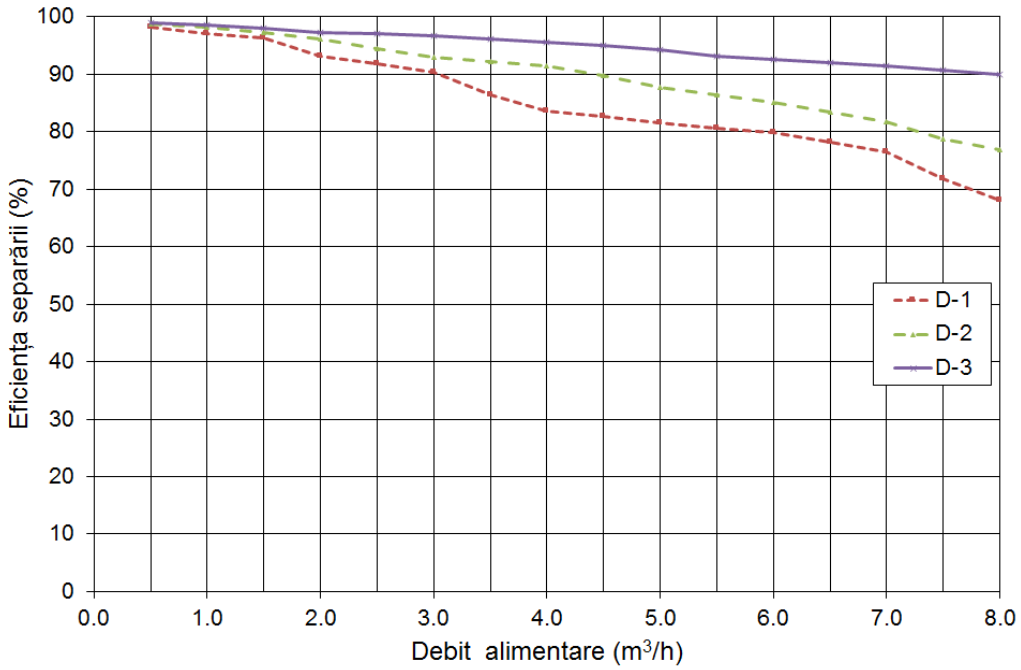


Fig. 5.18 Variația eficientei de separare E (%) în funcție de debitul de alimentare Qi la temperatura apei T_i =95 ^oC, pentru diferite variante de decantoare (D1, D2, D3).

Pentru a analiza comparativ variațiile eficienței de separare *E* în funcție de debitul de alimentare *Qi* pentru diferite temperaturi T_i ale apei de alimentare s-au întocmit și grafice sintetizate comparative, pentru exemplificare în figura 5.22 fiind prezentate graficele pentru temperaturile T_i= 95^{0}C (fig.5.18) și și T_i= 75^{0}C Din analiza graficelor a rezultat că eficienta de separare se reduce sensibil cu scăderea temperaturii apei uzate, influența fiind mai pronunțată la temperaturi mai mici (75 ^{0}C), cea mai mare eficiență a separării rezultând la decantorul cu alimentare cu tub central și placa deflectoare (*tip D3*).

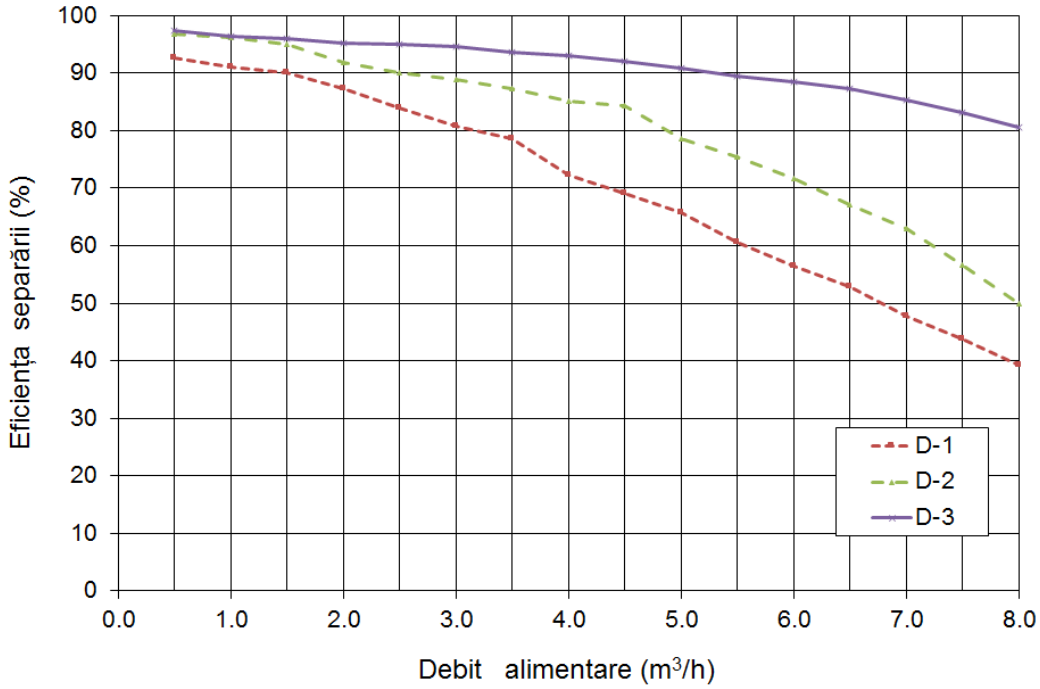


Fig. 5.22. Variația eficientei de separare E (%) în funcție de debitul de alimentare Qi la temperatura apei T_i =75 ^oC, pentru diferite variante de decantoare (D1, D2, D3).

b) Metodologia de lucru și testarea experimentală a decantoarelor din instalațiile pilot în varianta D4.

În vederea analizei modului în care evacuarea nămolului influențează eficienței sedimentării, s-au utilizat instalații experimentale (stații pilot) care au permis o analiză comparativă, în condiții de lucru identice, a eficienței de separare pentru două tipuri de decantor: cu intrare tangențială a apei fără echipament de raclare a nămolului (***tip D2***) și cu intrare tangențială a apei și cu echipament de raclare a nămolului (***tip D4***).

Schema instalației pilot pentru efectuarea experimentărilor cu decantoare cu intrare tangențială a apei și ieșire cu prag deversor fără echipament de raclare (***varianta D2***) a fost dată anterior în figura 5.8, iar schema instalației pilot cu decantorul dotat cu echipament de raclare ***varianta D-4***) a fost dată în figura 5.10.

Testarea s-a realizat pe durata a 15 zile, perioadă în care s-a făcut prelevarea zilnică de probe, determinând (prin măsurători) concentrația de impurități (în mg/l) la intrarea apei uzate *Ci*, la ieșirea apei limpezi *Ce* și la ieșirea nămolului (șlamului) C_s. Prin prelucrarea datelor s-a determinat evoluția în timp a eficienței procesului separare *E* (%) obținând rezultatele ilustrate în graficul din figura.5.24.

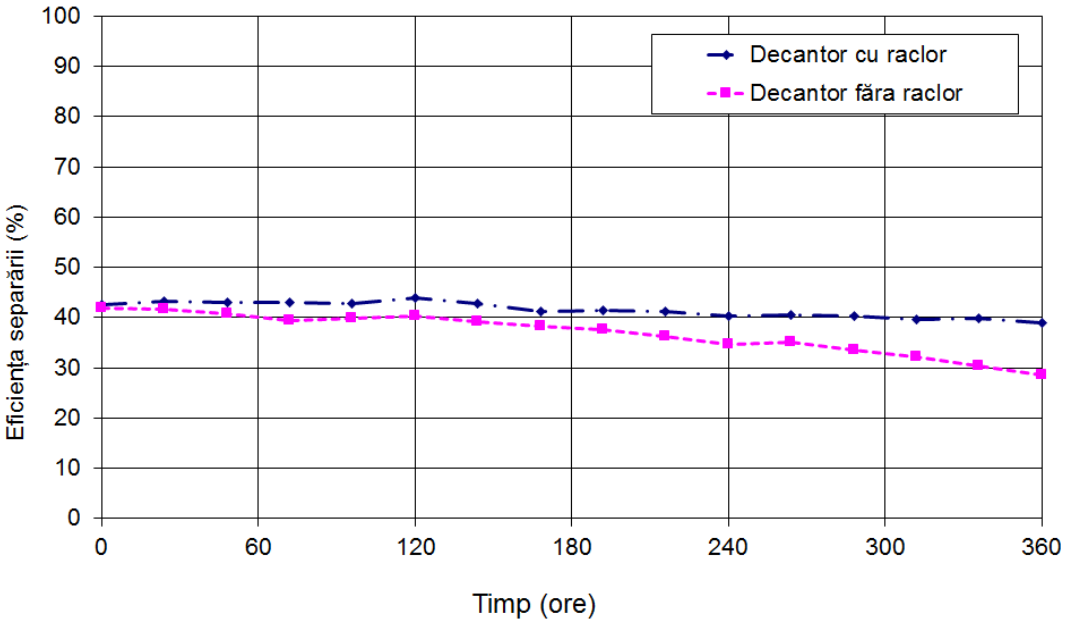


Fig.5.24. Variația în timp a eficientei de separare a impurităimpurităților E(%)la decantorul cu raclor (tip D4) și fără raclor (tip D2)

Din analiza rezultatelor experimentale obținute la testarea variantelor de decantare verticale utilizate în stațiile pilot se desprind următoarele concluzii mai importante:

- La temperaturi medii ale apei (85…90 ^{0}C) eficienta de separare scade vizibil cu creșterea debitului de alimentare a decantorului, indiferent de tipul acestuia, cea mai buna eficiență a sedimentării având-o decantorul cu intrare centrala cu placa deflectoare.
- La temperaturi ale apei mai scăzute decât 75^{0}C are loc o scădere accentuată a eficienței de separare cu creșterea debitului de alimentare a decantorului.
- Indiferent de debitul de alimentare și de valoarea temperaturii apei uzate, cea mai buna eficiență o are decantorul cu alimentare cu tub central și placa deflectoare.
- Eficiența de separare este superioară în cazul decantoarelor prevăzute cu echipamente de raclare comparativ cu cea a decantoarelor fără echipamente de raclare a nămolului

5.2. Cercetarea experimentală a proceselor de filtrare cu filtre tangențiale

5.2.1. Obiectivele și metodologia cercetării experimentale

Obiectivul de bază al cercetării experimentale a constat în analiza influenței diferiților factori funcționali asupra eficienței procesului separării impurităților din apele uzate prin

utilizarea filtrelor cu flux tangențial. Cercetările s-au realizat în prin montarea filtrelor în două variante distincte de instalații pilot de filtrare:

- instalație de filtrare cu două filtre tangențiale cuplate în serie; fiecare filtru fiind alcătuit dintr-un singur element de filtrare.
- instalație de filtrare cu patru filtre tangențiale cuplate în serie, fiecare filtrau fiind alcătuite din șapte elemente de filtrare legate în paralel.

Pentru realizarea obiectivelor cercetării experimentale, în cadrul unei colaborări cu *Centrul de Cercetare pentru Materiale Macromoleculare și Membrane (CCMMM)* din București în perioada 2011-2012 s-au conceput și realizat cele două variante constructive de filtre tangențiale tangențiale utilizate: cu un element filtrant și cu șapte elemente filtrante. Aceste filtre au fost echipate cu sisteme originale de autodecolmatare în flux continuu și cu un circuit care permite intervenția în cazul în care s-ar produce colmatarea.

Cercetările experimentale au urmărit realizarea următoarelor obiective: a) analiza evoluției în timp a concentrației de impurități din apă la ieșirile din filtre; b) analiza evoluției în timp a presiunilor apei la intrările si ieșirile din filtre și, respectiv, a căderilor de presiune pe filtre; c) analiza evoluției în timp a gradul de reținere (retenție) a impurităților separat pe filtre, pe grupe filtre și pe ansamblul instalației de filtrare. Pentru realizarea obiectivelor menționate au fost necesare următoarele: a) determinarea prin măsurători, și analiza evoluției în timp a concentrației de impurități din apă în apă la intrarea și ieșirea din filtre și determinarea prin măsurători și b) analiza evoluției în timp a presiunilor apei la intrările si ieșirile din filtre și a căderilor de presiune pe filtre și grupe de filtre.

Determinarea concentrației de impurități in apă C (în mg/l) s-a realizat prin metoda gravimetrică (conform STAS 6953/1981) folosită și la procesul de decantare (v. subcap. 5.1), vezi relația (5.1).

Determinarea coeficientului de retenție (reținere) a impurităților R [%] realizat de filtre, este analog coeficientului de eficiență a decantării *E* [%] calculat cu relația (5.2) și, ca urmare, s-a determinat printr-o relație similară relației (5.2) scrisă sub forma:

$$R = \frac{C_i - C_e}{C_e} \cdot 100 = \left(1 - \frac{C_i}{C_e}\right) \cdot 100 \quad [\%] \tag{5.3}$$

în care: C_i este concentrația de impurități la intrarea apei uzate în filtru (în mg/l) și C_e – concentrația de impurități la ieșirea apei filtrate din filtru.

Determinarea debitului de apă din instalații s-a realizat cu traductoare de debit (debitmetre) cu senzori electromagnetici *(tipul AXFA- YOKOGAWA).*

Determinarea căderilor de presiune (în Pa) dintre conductele de intrare și de ieșire ale filtrelor s-a realizat cu traductoare diferențiale cu senzori electrotensometrici *(tipul EJX-A – YOKOGAWA*), folosite atât pentru citirea, înregistrarea, prelucrarea și transmiterea la distanță a datelor măsurate cât și pentru comanda automată a proceselor de spălare (decolmatare) hidraulică a filtrelor.

5.2.2. Cercetări experimentale ale sistemelor de filtrare. Analiza rezultatelor

5.2.2.1. Cercetarea experimentală a sistemelor cu două filtre cuplate în serie

Pentru cercetarea experimentală s-a conceput și realizat filtre cu curgere tangențială cu element de filtrare tubular a cărui construcție este dată în figura 5.31. Apa intră în filtru prin conducta A, ajunge in spațiul dintre corpul 2 și partea exterioară a elementului filtrant 7 și pătrunde prin stratul de filtrare în interiorul elementului (tubului) filtrant 7. Apa filtrată este evacuată prin capătul deschis al tubului filtrant și orificiul de ieșire B; impuritățile (nămolul) depuse la partea inferioară a carcasei filtrului (sub capătul închis al tubului filtrant) fiind evacuat, prin spălare hidraulică, prin orificiul C.

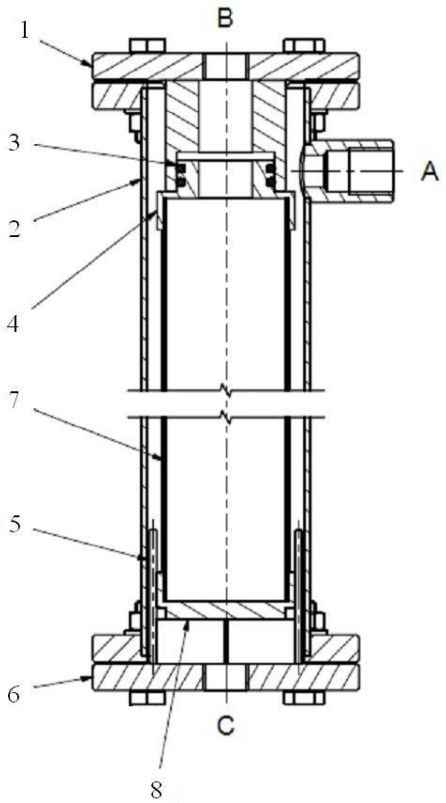


Fig. 5.31 Construcția unui filtru cu un element filtrant tubular tangențial:
1- flanșa capăt deschis; 2-corp (carcasă) filtru; 3-inel etanșare O; 4-capat deschis; 5-element ghidaj; 6- flanșa capăt închis; 7-element filtrant tubular; 8-capăt închis.
A-intrare apa reziduală-ieșire apă limpede, C-eliminare impurități (nămol, șlam)

Pentru cercetările experimentale s-a conceput și realizat o *instalație pilot de filtrare cu două filtre tangențiale cuplate în serie* (fig.5.32), formată dintr-un filtru (brut) grosier F-1, cu element filtrant tubular cu site din oțel inox cu finețea de 475µm), si filtrul fin F-2, cu element filtrant cu site din oțel inox cu finețea de 80 µm. Pentru măsurarea debitului pompei P-1 s-a folosit debitmetru electromagnetic FIQ, iar pentru măsurarea presiunilor s-au folosit manometrele electrotensometrice PI (cu tub cu membrană de separație, tip MS).

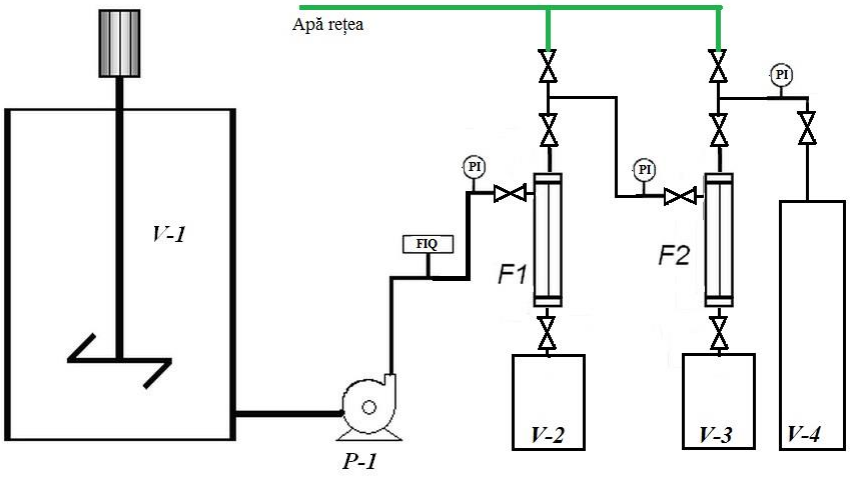


Fig. 5.32. Schema instalației experimentale (stație pilot) cu două filtre cuplate în serie
V-1 vas cu apa reziduala supusă filtrării; P-1 pompa centrifuga pentru alimentarea filtrelor; FIQ- debitmetru electromagnetic pentru apa de alimentare; PI- manometre; F1 - element filtrant grosier cu site din otel de 475µm; F2 - element filtrant fin cu site din otel de 80 µm; V-2 vas pentru colectarea nămolului rezultat la filtrul brut F-1; V-3 - vas pentru colectarea nămolului rezultat de la filtrul fin F-2; V-4 - vas pentru colectarea lichidului filtrat

Apa uzată este adusă de la decantoare și introdusă din vasul tampon *V-1* (capacitatea de cca. 8 m^3), prevăzut cu echipament de agitare, este trimisă în sistem cu pompa centrifugă *P-1*, ajunge in filtrul brut F1, la partea inferioara nămolului cu impurități mai mari de 475µm este colectat in vasul *V-2* (cca. 60 l). Lichidul filtrat de filtrul *F1* ajunge in filtrul fin *F-2*, la partea superioară lichidul filtrat fiind trimis in vasul colector *V-4* (cca.200 l). La partea inferioară a filtrului F2 are loc depunerea nămolului cu impurități mai mari decât 80 µm in vasul *V-3* (cca. 60 l). Pentru curățarea (decolmatarea) hidraulică a filtrelor se folosește apa sub presiune, din rețeaua curentă, trimisă prin circuitul de spălare în contracurent (marcat cu culoare verde în schema din fig. 5.32), prin comutarea corespunzătoare a robinetelor din instalație. Evacuarea apei cu impuritățile antrenate prin spălare se face în vasele de colectare a noroiului *V2* și *V3* amplasate la cele două filtre.

În vederea stabilirii eficienței sistemului de filtrare în vasul *V-1* s-a introdus apă uzată separată prin decantare (separare primară) cu o concentrație aproximativă de impurități C_0 = 4.000 mg/l, după care instalația a funcționat timp de 60 min, la fiecare 20 minute măsurându-se presiunile la intrarea in filtrul *F1* și la ieșirile din filtrele *F1* si *F2*. La aceleași intervale de timp au fost prelevate probe de apă pentru determinarea, prin analize gravimetrice, a concentrației de impurități C_e (in mg/l) a apei filtrate. Datele măsurate, sau calculate, s-au evidențiat tabelar în vederea întocmirii graficelor de variație în timp a presiunilor *p*, căderilor de presiuni Δp, a concentrațiilor apei *C* și a gradul de retenție (reținere) a impurităților prin filtrare *R*, parțial și total, din instalației de filtrare.

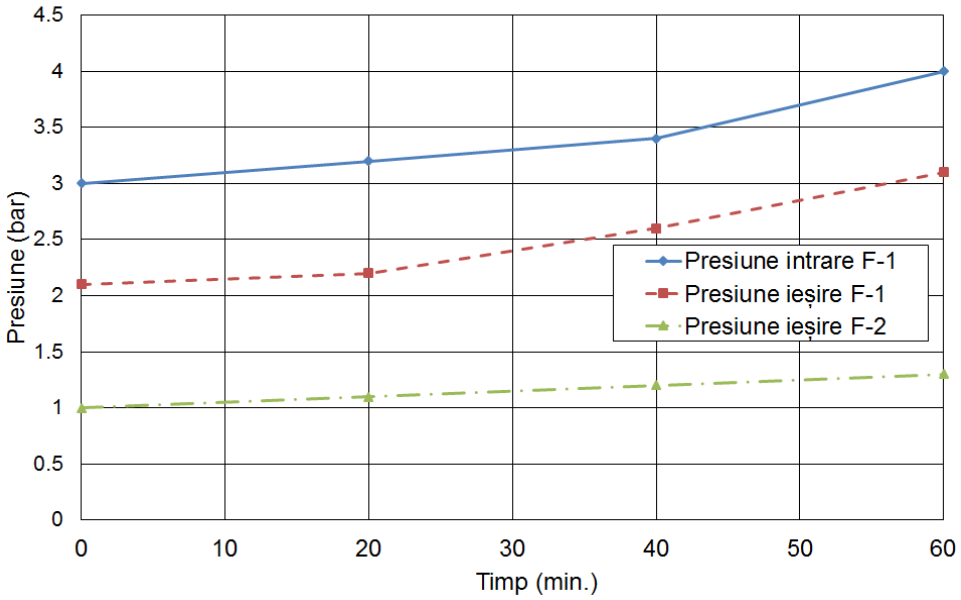


Fig. 5.34. Evoluția în timp a presiunilor în sistemul de filtrare la intrarea in filtrul F-1 si ieșirile din filtrele F-1 si F-2

În figura 5.34 este prezentată, pentru exemplificare, evoluția în timp a presiunilor la intrarea în filtrul *F-1* si ieșirile din filtrele *F-1* si *F-2*, iar în figura 5.35 este prezentată evoluția în timp a căderilor de presiune pe cele două filtre.

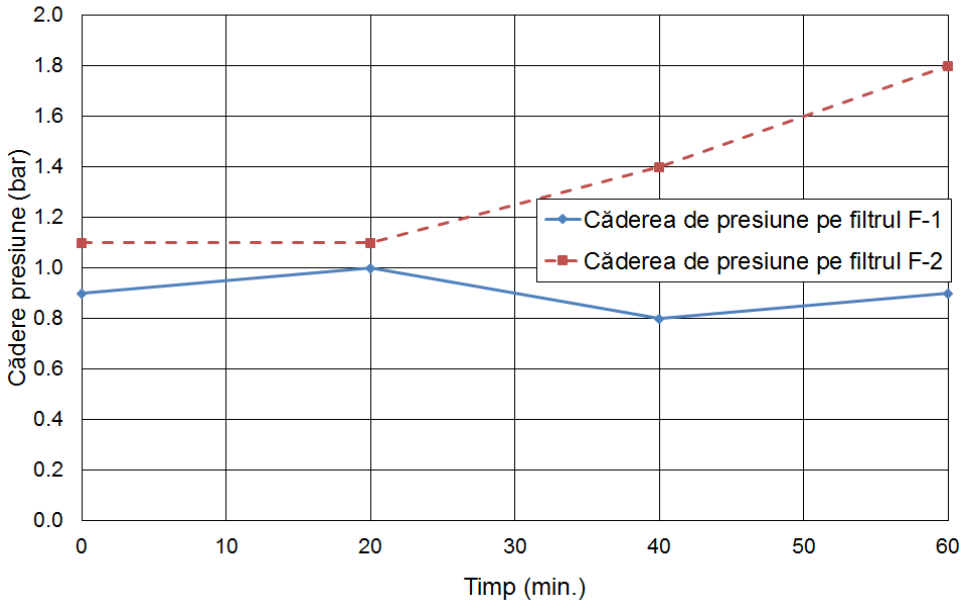


Fig. 5.35. Evoluția în timp a căderilor de presiune pe filtrul F-1 și filtrul F2

Graficul cu evoluția în timp a concentrației de impurități în apă la intrarea în filtrul *F-1* si ieșirile din filtrele *F-1* și *F-2* este prezentat în figura 5.36.

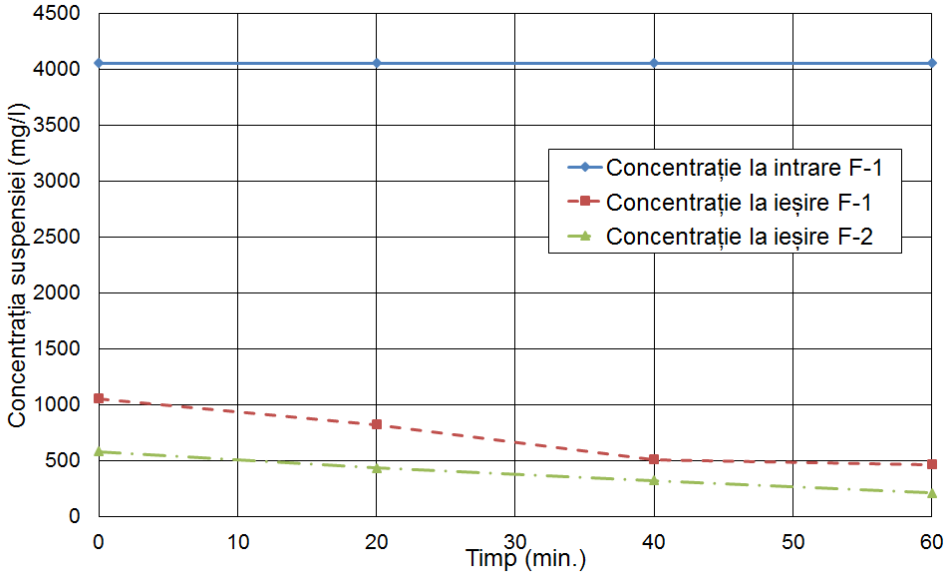


Fig. 5.36. Evoluția în timp a concentrației suspensiei in apele reziduale în sistemul de filtrare la intrarea în filtrul F-1 si ieșirile din filtrele F-1 si F-2

Pentru analiza gradului de reținere (retenție) a impurităților realizat de filtre s-au calculat coeficienții de retenție R_{F1} și R_{F2} *(în %)* separat pe filtrul F1 și filtrul F2 precum și coeficientul de retenție total R_{Ft} pe ansamblului celor două filtre cuplate în serie). Pe baza datelor obținute s-a întocmit graficul cu *evoluția în timp a gradului de retenție (*fig. 5.37.

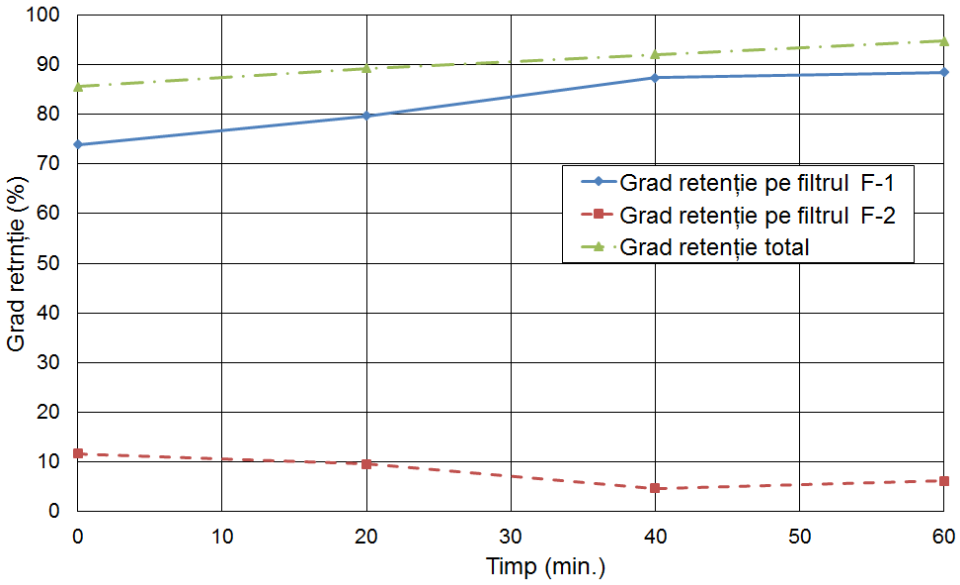


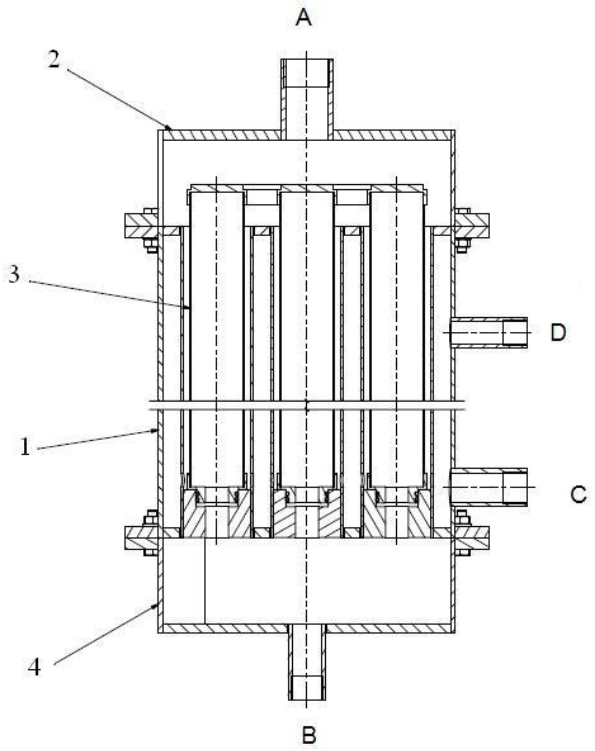
Fig. 5.37. Evoluția în timp a gradului de retenție realizat de filtrele F1 și F2 și pe ansamblul acestora (F1+F2,) pe durata de 60 min

Din analiza rezultatelor experimentale obținute la testarea sistemelor de filtrare cu două filtre cuplate în serie a rezultat că valorile căderilor de presiune pe filtre au crescut cu durata de funcționare, acestea fiind mai accentuate la filtrul cu finețea mai ridicată (filtrul *F2*) comparativ cu filtrul cu finețea mai redusă (*F1*). Astfel, după 60 min de funcționare căderea de presiune pe primul filtru a fost de cca. 1,0 bar iar pe al doilea filtru de cca. 1,7 bar, la nici unul din filtre nu s-a atins însă limita maximă (cca. 2,0 bar) care produce colmatarea filtrelor Concomitent cu creșterea căderii de presiune pe filtre a crescut și gradului de retenție a impurităților, încât după 60 min de lucru filtrul brut a realizat un grad de retenție de cca. 88 %, iar pe ansamblu instalația formată din cele două filtre a realizat un grad retenție total de cca. 95 %.

5.2.2.2. Cercetarea experimentală a sistemelor cu patru filtre cuplate în serie

Pentru cercetarea experimentală a sistemelor de filtrare cu patru filtre cuplate în serie s-a conceput și realizat filtre cu curgere tangențială formate din 7 elemente tubulare de filtrare (cu site din oțel inox) legate în paralel a cărui construcție este dată în figura 5.39. Capetele deschise ale celor 7 elemente tubulare 3 sunt montate la o placă fixată la corpul (carcasa) 1 a filtrului Apa uzată intră în filtru prin conducta A montată la capacul superior 2, trece prin materialul filtrant al tuburilor filtrante, pătrunde în interiorul tuburilor după care apa filtrată (limpede) este colectată la partea inferioară închisă capacul 4, pe care este montată conducta de ieșire B. Impuritățile reținute de materialul filtrant pe suprafața exterioară a tuburilor filtrante

sunt spălate hidraulic în circuit invers, lichidul de spălare fiind evacuate prin conducta de descărcare B, plastă în partea laterală a corpului1 al filtrului.



F*ig. 5.38. Construcția unui filtru tangențial cu șapte elemente cuplate în serie: 1-corp filtru; 2-capac superior; 3-element filtrant; 4-capac inferior; A-intrare ape uzate; B-ieșire apa filtrată (limpede); C-ieșire nămol (spălare filtru); D-racord spălare filtru*

Cercetarea experimentală s-a efectuat în instalația pilot realizată conform schemei din figura 5.41. Elementele filtrante ale filtrelor tangențiale utilizate sunt de construcție tubulară cu site din oțel inox, cu diferite finețe de filtrare: filtrul *F-1* (475 μm), filtrul *F-2* (100 μm), filtrul F-3 (80 μm) și, respectiv, filtrul *F-4* (20 μm. Filtrele *F-1* și *F-2* formează o primă treaptă de filtrare, iar filtrele *F-3* și *F-4* formează a doua treaptă de filtrare.. La intrarea în instalație este plasat un filtru grosier *M*-1, cu elemente filtrante din site din oțel inox cu finețea de 1 mm. Instalația mai cuprinde un vas tampon cu apă reziduală *V-1* și o pompa centrifugală *P-1*. Filtrele *F1, F2, F3* și *F*4 au fost echipate cu sisteme de curățire automată prin spălare hidraulică în circuit invers (marcat cu culoare verde în schema din fig.5.43). În instalație s-a realizat și un circuit suplimentar de intervenție în cazul colmatării accentuată.

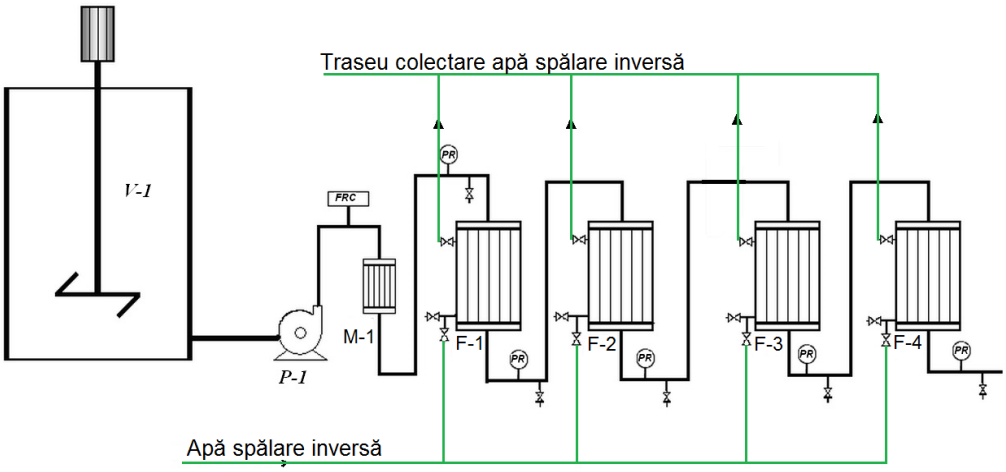


Fig. 5.41 . Schema flux a instalației pilot cu patru filtre tangențiale montate in serie: V-1- vas tampon cu apa reziduala; P-1-pompa centrifugală; M-1-filtru grosier, cu site oțel inox cu finețea de 1,0 mm; F-1- filtru cu site oțel inox cu finețea de 475 μm; F-2- filtru cu site oțel inox cu finețea de 100 μm ; F-3- filtru cu site oțel inox cu finețea de 80 μm; F-4- filtru cu site oțel inox cu finețea de 20 μm

Pentru studiul experimental al eficienței sistemului de filtrare, în vasul de tampon *V-1* a fost introdusă apă uzată cu o concentrație inițiala de impurități de cca. 16.000 mg/l, care a fost trimisă in sistemul de filtrare cu pompa centrifugă P1 (cu un debit prestabilit Q), ciclul total de funcționare fiind de 60 min. La fiecare de 20 min de funcționare au fost măsurate presiunile la intrarea in filtrul *F-1* și la ieșirile filtrelor *F-1*, *F-2*, *F-3* și *F-4* și au fost colectate probe de apă pentru determinarea concentrației de impurități la intrarea in filtrul *F-1* și ieșirile filtrelor *F-1*, *F-2*, *F-3* și *F-4*. Presiunile s-a măsurat cu manometre *PI* montate în circuit, iar concentrația de impurități s-a determinat prin analize gravimetrice a probelor de apă prelevate.

Pentru analiza gradului de colmatare (înfundare) a sistemului de filtrare s-au determinat, prin calcul. căderile de presiune Δp pe filtre (în bar), pe grupe de filtre și pe ansamblul instalației. Pentru analiza gradului de participare a filtrelor la realizarea reținerii impurităților s-a determinat prin calcul, coeficienții de reținere (retenție) *R* pentru fiecare filtru cât și pentru două grupe de filtrare: (*F1 + F2*) și, respectiv, (*F1 + F2 + F3*). De asemenea s-a determinat și gradul total de retenție pentru întregul sistem de patru filtre.

Datele obținute prin măsurători directe sau determinate prin calcul au fost sintetizate în tabele, pe baza cărora s-au întocmit graficele cu evoluția în timp a presiunilor (fig. 5.44) și concentrațiilor de impurități în apa limpede (fig. 5.45) de la intrările și ieșirile din filtre. Pe baza datelor calculate din datele primare s-au construit graficele cu evoluția în timp a căderilor de presiune pe filtre (fig. 5.46 și fig.5.47). Evoluțiile gradului de retenție *R* (%) pe grupe de filtre și pe întreaga instalație (gradului de retenție total) rezultă din figurile 5.48.

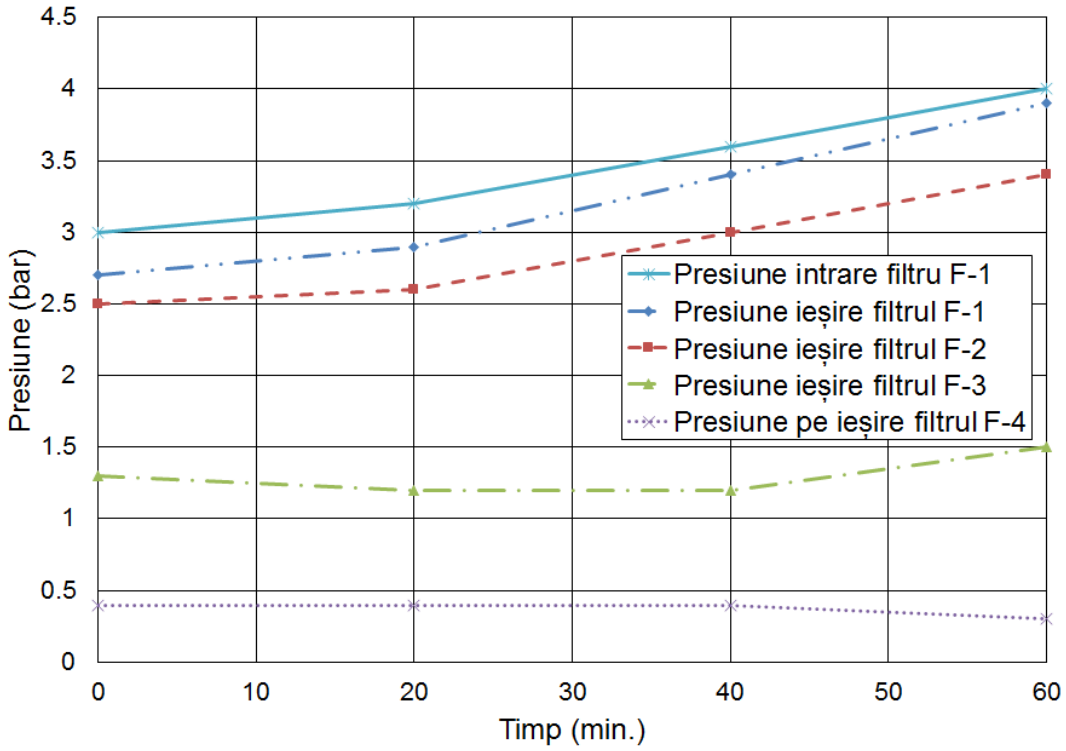
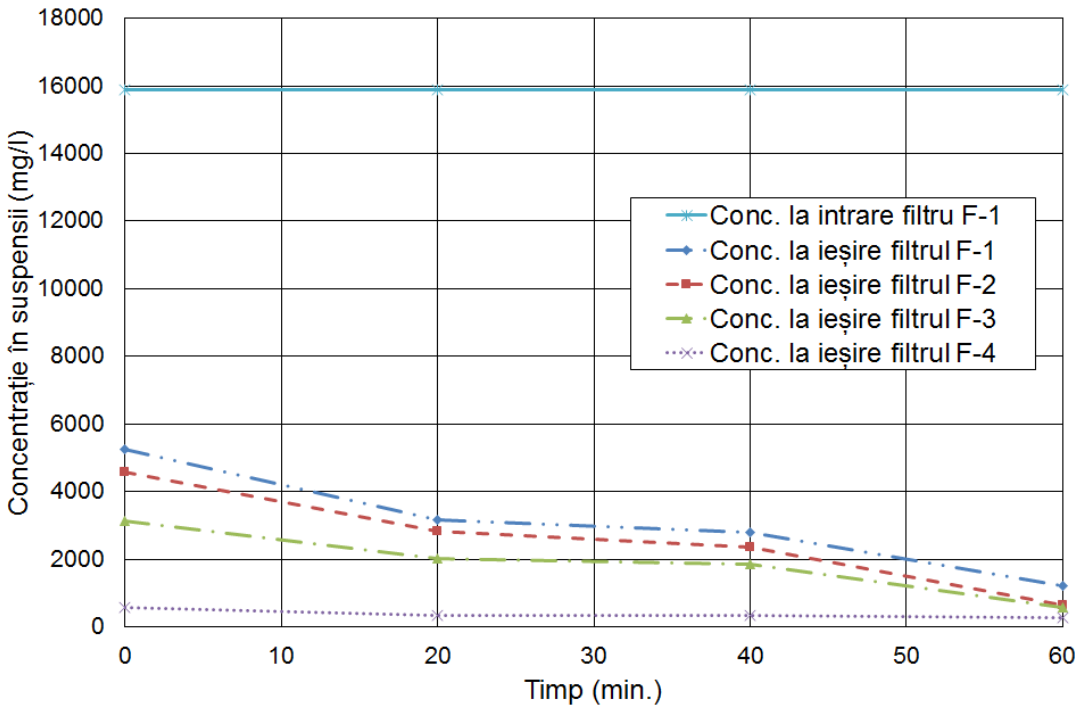


Fig. 5.44. Evoluția in timp a presiunilor (în bar) la intrarea în filtrul F-1 și la ieșirea din filtrele F-1, F-2, F -3 si F-4



F

Fig.5.45. Evoluția in timp a concentrației suspensiei în limpede (în mg/l) la ieșirea din filtrele F-1, F-2, F-3 si F-4

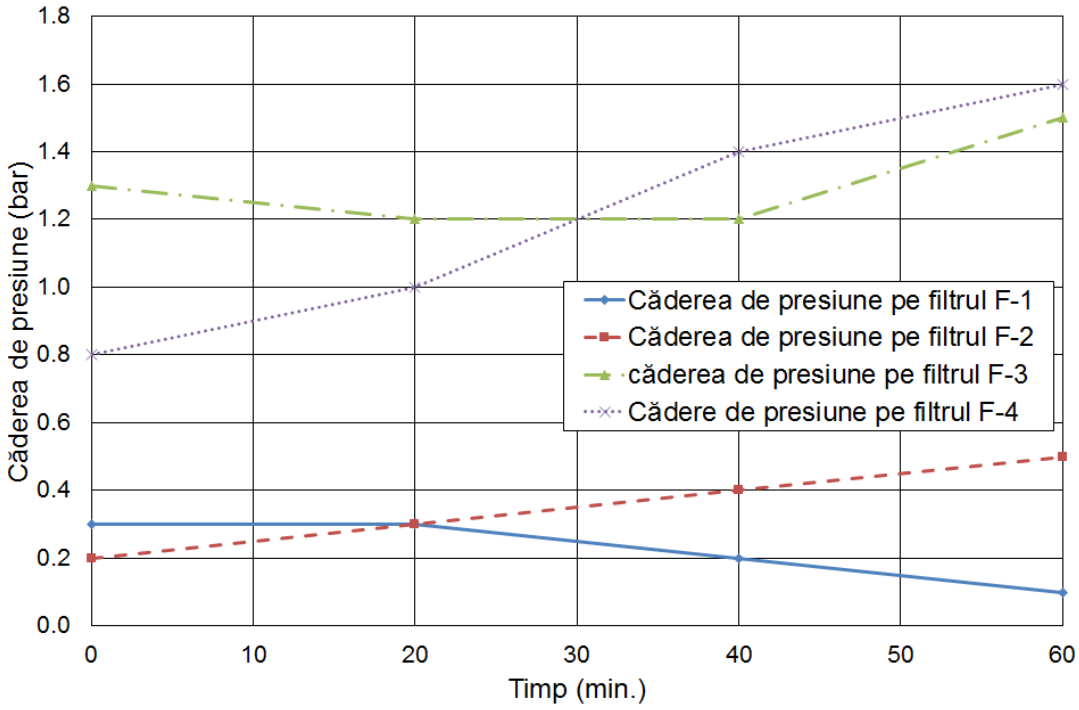


Fig. 5.46 Evoluția în timp căderilor de presiune Δp repartizate pe filtre

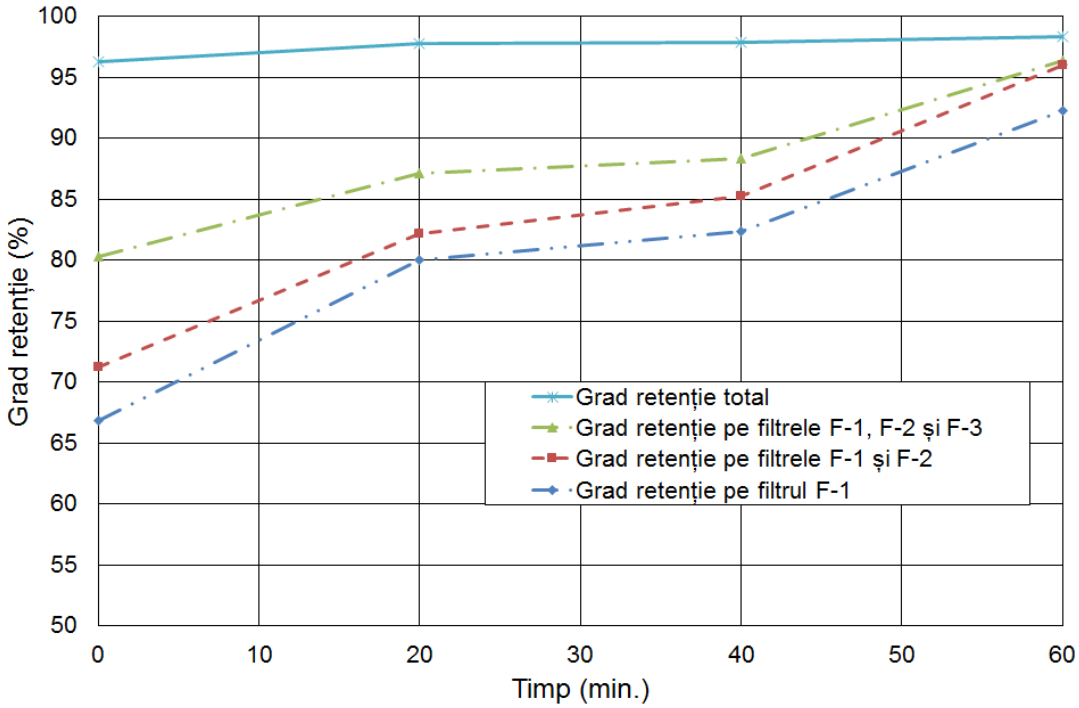


Fig. 5.47. Evoluția în timp a gradului de retenție R pe grupe de filtre și a gradului de retenție total al instalației Rt

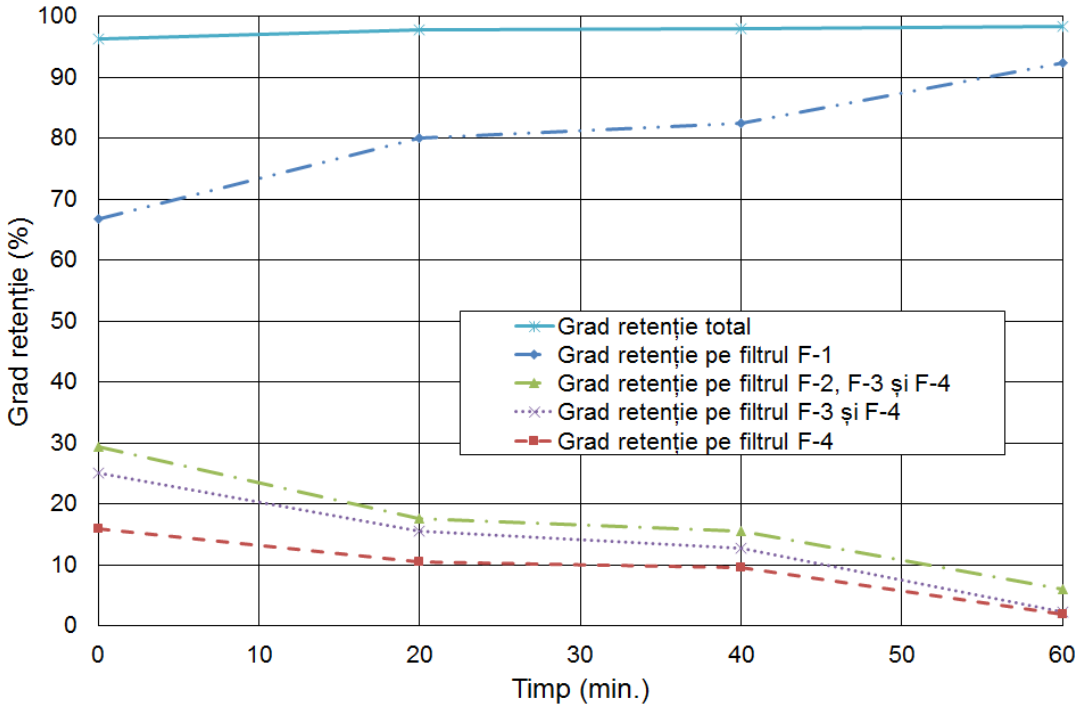


Fig. 5.48. Evoluția în timp a gradului de retenție R pe filtre, pe grupe de filtre și a gradului de retenție total al instalației Rt

Din analiza rezultatelor obținute la testarea *sistemelor de filtrare cu patru filtre cuplate în serie* a rezultat că valorile căderilor de presiune pe filtre au crescut cu durata de funcționare, fiind mai accentuate la filtrul cu finețea mai ridicată (*F4*) comparativ cu filtrul cu finețea mai redusă (*F1*). Astfel, după 60 min de funcționare căderea de presiune la primul filtru a fost de cca. 0,1 bar, la filtru al doilea de cca. 0,5 bar, la cel de al treilea a fost de cca. 1,5 bar, iar la ultimul filtru(cel mai fin) căderea de presiune a ajuns de 1,6 bar și, ca urmare, la niciunul din filtre nu s-a atins valoarea maximă pentru căderea de presiune (cca. 2,0 bar) care produce colmatarea filtrelor. Concomitent cu creșterea căderii de presiune pe filtre a crescut și gradul de retenție a impurităților din masa de apă filtrată, încât după 60 min de lucru filtrul brut a atins un grad de retenție de cca. 88 %, iar pe ansamblul instalația, formată din cele două filtre, a atins un grad retenție de cca. 98 %.

6. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUTII ORIGINALE SI DIRECTII VIITOARE DE CERCETARE

6. 1. Concluzii privind procesele de separare a impurităților din apele uzate

6.1.1. Concluzii privind procesele de separare a impurităților prin decantare

- *Decantarea (sedimentarea)* este operația cu caracter hidrodinamic prin care impuritățile mecanice (sedimentele) din apele uzate se separă mecanică a sub acțiunea unui câmp gravitațional de forțe. Particulele solide din apă se depun la partea inferioară a vasului (bazinului) de sedimentare, numit *decantor*;
- Decantoarele sunt echipamente de sedimentare realizate în diverse variante constructive și se pot clasifica după următoarele criterii de bază: a - după modul de curgere a apei în bazinul de decantoare (orizontale și verticale); b - după poziția bazinului în raport cu nivelul solului (de suprafață, îngropate și semiîngropate); *c* - după modul de evacuare (extragere) a nămolului depus pe fundul bazinului (cu evacuare intermitentă și cu evacuare continuă).
- Pentru intensificarea și mărirea eficienței proceselor de decantare se utilizează decantoare de construcție specială, care pot fi: decantoare compartimentate, cu pereți înclinați sau tuburi înclinate (în echicurent sau în contracurent), si decantoare cu flux de curgere elicoidal;
- Pentru o sedimentare mai eficientă a impurităților mecanice fine din masa de apă se poate realiza, în prealabil o coagulare a acestora, prin folosirea unor substanțe chimice care produc aglomerarea particulelor în sedimente mai mari, numite *flocoane.*

6.1.2. Concluzii privind procesele de separare mecanică a impurităților prin filtrare

- *Filtrarea* este operația cu caracter hidrodinamic prin care se realizează separarea unui amestec eterogen bifazat de tip *solid-lichid* în fazele constituente (particule solide și lichid), prin reținerea particulelor solide pe suprafața sau în masa unui mediu filtrant prin care poate trece numai faza lichidă..
- În funcție de direcția de curgere a fluidului în raport cu suprafața mediului filtrat, filtrarea se poate realiza prin curgere pe direcție perpendicular la suprafața mediului filtrant (filtrare de suprafață sau filtrare de adâncime), și filtrare prin deplasarea pe direcție tangențială la suprafața mediului filtrant și curgerea în curent transversal.

- În cazul filtrelor cu curgere tangențială (denumite *filtre tangențiale*) materialele filtrante se montează pe suporturi cilindrice, realizate sub forma a unor țevi perforate, iar lichidul supus filtrării pătrunde transversal (radial) prin exteriorul sau prin interiorul tubului filtrant. Materialele filtrante se pot realiza din site, din materiale înfășurate, din materiale poroase și din membrane.
- Îndepărtarea depunerilor de impurități (precipitat) de pe suprafața materialelor filtrante (decolmatarea filtrelor) se poate realiza metode hidraulice (în *echicurent* sau *în contracurent*) sau prin metode mecanice, comandate manual, semiautomat sau automat (autocurățire).

6.2. Concluzii privind cercetarea teoretică a proceselor de separare mecanică prin decantare și filtrare

6.2.1. Concluzii privind cercetarea teoretică a procesului de separare prin decantare

- Cercetarea teoretică a procesului de separare mecanică prin decantare se face pe baza studiului mișcării în câmp gravitațional a particulelor de impurități solide (sedimente mecanice) aflate în masa de lichid, proces caracterizat de mărimea *vitezei de sedimentare a particulelor*, parametru esențial folosit la dimensionarea și construcția decantoarelor.
- Viteza teoretică de sedimentare a particulelor de sedimente (impurități) se determină pe baza unor modele fizice simplificate echivalente, la care particulele se consideră corpuri izolate, de formă sferică, iar la deplasarea lor în lichid se neglijează influența prezenței, în vecinătate a altor particule și a pereților vasului precum și influența mișcării browniene.

- Valoarea vitezelor de sedimentare a particulelor de impurități din apa uzată depinde de regimul de curgere a lichidului. În *regimului laminar* de *curgere* viteza este proporțională cu pătratul diametrului și invers proporțională cu valoarea vâscozității cinematice a lichidului. În *regimul intermediar de curgere* se produce o diminuare a influenței pe care o au diametrul particulei și vâscozitatea cinematică a mediului asupra vitezei de sedimentare. În *regimul turbulent de curgere* viteza de sedimentare este proporțională cu rădăcina pătrată a diametrului al particulelor, încât influența dimensiunilor particulelor asupra vitezei de sedimentare este mult diminuată.

- Viteza reală de sedimentare a unei particule diferă de cea teoretică în funcție de natura particulelor (densitatea, dimensiunea și forma particulei), diferența dintre densitatea particulei și cea a fluidului, de concentrația de impurități din fluid, de vâscozitatea cinematică și temperatura lichidului. În calculele de proiectare a decantoarelor viteza de sedimentare se poate determina, cu suficientă precizie, prin utilizarea unor grafice (nomograme, abace) construite pe baza unor relații analitice cât și prin determinări experimentale.

6.2.2. Concluzii privind cercetarea teoretică a proceselor de separare de filtrare

- Parametrul de bază care caracterizează curgerea fluidelor prin straturile mediului filtrant ale filtrelor de suprafață este *rezistența hidraulică* la trecerea lichidului prin porii mediului filtrant, caracterizată de căderea de presiune între intrarea și ieșirea din filtru. Valoarea căderii de presiune depinde de dimensiunile particulelor și de porozitatea stratului de precipitat depus pe suprafața filtrului.
- Mediul filtrant real al unui filtru de suprafață este format din două straturi distincte: *membrana filtrantă,* cu grosime constructivă constantă, și *stratul de precipitat* depus, cu grosime variabilă. Cele două straturi sunt caracterizate de valori diferite ale rezistenței hidraulice la curgerea fluidului
- Studiul teoretic al proceselor de filtrare prin mediile de filtrare ale filtrelor de suprafață se realizează pornind de la modelele echivalente simplificate ale sistemelor fizice reale. În baza ecuațiilor care descriu procesele hidrodinamice ale proceselor de filtrare și a relațiilor matematice de legătură, se elaborează modele matematice echivalente sub forma unor ecuații diferențiale și integrale.
- Soluțiile ecuațiilor modelelor matematice echivalente care descriu procesele de filtrare pot fi reprezentate grafic prin linii drepte cu ordonată la origine. Acest mod de prezentare poate fi utilizat în practică prin introducerea în ecuațiile modelelor matematice a unor date obținute la testări experimentale, în laborator, a comportării la filtrare a amestecului de apă cu impurități.

6.3. Concluzii privind cercetarea experimentală a proceselor de separare mecanică prin decantare și filtrare a apelor industriale uzate

6.3.1. Concluzii privind cercetarea experimentală a procesului de separare prin decantare

- Cercetarea experimentală a proceselor de separare prin sedimentare în decantoare fost efectuată pe instalații pilot alcătuite din decantoare verticale de formă tronconică (cilindrică la partea superioară și conică la partea inferioară), concepute și realizate de autor în patru variante: 1) decantor cu intrare tangențială si ieșire liberă a apei *(D1*); b) decantor cu intrare tangențiala si ieșirea apei cu prag deversor *(D2)*; 3) decantor cu intrare centrală cu placa deflectoare și ieșirea apei cu prag deversor *(D3*); 4) decantor cu echipament de raclare cu intrare tangențială și ieșirea a apei cu prag deversor (*D4*);.
- Cercetările experimentaleale procesului de sedimentare realizate de decantoare a constat în determinarea, prin măsurători, a concentrației de impurități mecanice la intrarea și ieșirea din decantoare, datele obținute au stat la baza întocmirii unor de grafice de variației în timp a concentrațiilor de impurități în scopul stabilirii eficienței de separare în următoarele situații: a) pentru diferite valori ale temperaturii apei la intrare în decantor (în intervalul*:* 75^0 C …100^0 C) și b) pentru diferite valori ale debitului de alimentare cu apă (în intervalul*:* 0,5 m^3/h … 8,0 m^3/h).
- Din analiza rezultatelor experimentale obținute la testarea variantelor de decantare verticale (*D1, D2, D3* și *D4*) utilizate în stațiile pilot au rezultat următoarele concluzii mai importante:
  - La temperaturi medii (85…90 ^{0}C) eficiența de separare a apelor uzate scade vizibil cu creșterea debitului de alimentare a decantorului, indiferent de tipul acestuia, cea mai ridicată eficiență a sedimentării având-o decantorul cu intrare centrala cu placa deflectoare.
  - Eficienta de separare se reduce sensibil cu scăderea temperaturii de intrare a apelor reziduale in decantor, influența acestui parametru asupra eficienței de separare fiind invers proporțională cu suprafața de decantare și mai pronunțată la temperaturi mai mici de 85…90 ^{0}C
  - La temperaturi mai scăzute decât 75^0C are loc o reducere accentuată a eficienței de separare prin creșterea debitului de alimentare a decantorului. Astfel, la debitul maxim de alimentare, la temperatura de 75 ^{0}C concentrația de impurități in limpede creste cu cca. 58 % în raport cu temperatura de 100 ^{0}C în cazul decantorul tip *D1*: în aceleași condiții crește cu cca. 53 % la decantorul *D2* și cu cca. 40 % iar la decantorul *D3*;
  - Indiferent de mărimea debitului de alimentare și de valoarea temperaturii apei supuse decantării, cea mai buna eficiență de separare o are decantorul cu alimentare cu tub central și placa deflectoare.

- Eficienta de separare a impurităților din apele reziduale (uzate) este superioară la decantoarele cu echipamente de raclare a nămolului depus, comparativ cu cea a decantoarelor fără echipamente de raclare.

6.3.2. Concluzii privind cercetarea experimentală a procesului de separare prin filtrare

- Cercetările experimentale a proceselor de filtrare a apelor uzate s-au realizat în două variante distincte de circuite (instalații) de filtrare: a) cu două filtre cuplate în serie și b) cu patru filtre montate cuplate în serie. Regenerarea (decolmatarea) filtrelor s-a realizat printr-un circuit hidraulic de spălare inversă, prin comutarea corespunzătoare a robinetelor de legătură dintre elementelor sistemului, utilizând apa sub presiune din rețeaua curentă de alimentare.
- Pentru determinarea eficienței ***instalației de filtrare cu două filtre tangențiale cuplate în serie*** s-a utilizat-un montaj format din două filtre tangențiale tubulare: un filtru grosier (brut) *F1,* cu element filtrant format din site cu finețea de 475 μm) si un filtru fin *F2,* cu element filtrant cu site cu finețea de 80 μm. S-a utilizat o apă uzată cu o concentrației la intrare în de cca 4000 mg/l iar durata de lucru a instalației a fost de 60 min, perioadă în care au fost determinate, prin măsurători, concentrațiile de impurități și presiunile lichidului la intrările și ieșirile din filtre. Din analiza rezultatelor au rezultat următoarele concluzii:
  - pe durata testării (60 min) concentrația de impurități din apa filtrată s-a redus de la valoarea inițială de cca. 4000 mg/l la intrarea în filtrul brut F1 la valoarea finală de cca. 200 mg/l la ieșirea din filtrul fin F2;
  - filtrul brut a realizat separat un coeficient de retenție de cca. 88% iar, pe ansamblu, instalația de filtrare, formată din cele două filtre cuplate în serie, a realizat un coeficient total retenție de circa 95 %;
  - căderile de presiune pe filtre au crescut cu durata de funcționare a instalației, fiind mai accentuate la filtrul fin comparativ cu filtrul brut. După durata de funcționare 60 min căderea de presiune pe filtrul brut a fost de cca. 1,0 bar iar pe al filtrul fin a fost de cca. 1,7 bar. După 60 min de funcționare la nici unul din cele două filtre nu s-a atins limita maximă a căderii de presiune admise (cca. 2,0 bar) pentru evitarea colmatării filtrelor.
- Pentru determinarea eficienței ***instalației de filtrare cu patru filtre tangențiale cuplate în serie*** s-a s-au utilizat s-a utilizat-un montaj format din patru filtre formate din șapte

elemente tubulare montate în paralel (din cu site din oțel), având finețe de filtrare de 475 μm (filtrul brut F1), 100 μm (filtrul F2), 80 μm (filtrul F3), și, respectiv, 20 μm (filtrul F4). Filtrele au fost echipate cu sisteme de autodecolmatare (autocurățire) hidraulică în circuit invers. S-a utilizat o apă uzată cu o concentrației la intrare în sistem de cca 16000 mg/l, durata de lucru a instalației de filtrare fiind de 60 min, perioadă în care au fost determinate, prin măsurători, concentrațiile de impurități și presiunile lichidului la intrările și ieșirile din filtre. Din analiza rezultatelor au rezultat următoarele concluzii mai importante:

- după primul filtru (filtrul brut F1) au fost reținute cca. 92% din cantitatea inițială de impurități din apa uzată;
- după primele două filtre (F1+F2), care au format prima treaptă de filtrare, au fost reținute cca. 95% din cantitatea inițială de impurități din apa uzată;
- după primele trei filtre (F1+F2+F3), care au format a doua treaptă de filtrare, au fost reținute circa 96% din cantitatea inițială de impurități din apa uzată;
- după ansamblul format din cele patru filtre cuplate în serie (F1+F2+F3+F4) au fost reținute cca. 98% din cantitatea inițială de impurități din apa uzată;
- căderile de presiune pe filtre au crescut cu durata de funcționare a instalației, iar după 60 min de funcționare căderea de presiune la primul filtru F1 *(filtrul brut)* a fost de cca. 0,1 bar, la filtru *al doilea F2* a fost de cca. 0,5 bar, la filtrul *al treilea F3* a fost de cca. 1,5 bar, iar la *ultimul filtrul F4* a fost de 1,6 bar. După 60 min de funcționare la nici unul din cele două filtre nu s-a atins limita maximă a căderii de presiune admise (cca. 2,0 bar) pentru evitarea colmatării filtrelor.

6.4. Contribuții originale ale lucrării de doctorat

Prin elaborarea tezei de doctorat au fost aduse o serie de contribuțiile personale, originale, care se pot sintetiza in următoarele:

- Conceperea, proiectarea și realizarea unor sisteme performante de decantare și filtrare a apelor industriale uzate, care reprezintă puncte de plecare pentru modernizarea și perfecționarea instalațiilor actuale de separare a impurităților mecanice;
- Elaborarea unei metodologii moderne de experimentare proceselor de decantare și filtrare a apelor industriale uzate, prin utilizarea unei aparaturi performante pentru măsurarea, achiziția și prelucrarea datelor experimentale pentru

parametrii urmăriți (debite, presiuni, concentrații de impurități);

- Diseminarea rezultatelor cercetărilor teoretice și experimentale prin publicare unui număr de 7 de lucrări științifice din domeniul tematicii tezei de doctorat și prezentarea a 9 lucrări la conferințe științifice naționale și internaționale.

6.5. Direcții viitoare de cercetare

- Cercetarea experimentala a comportării funcționale a unui filtru tangențial format din 24 de elemente filtrante tubulare, conceput, proiectat si executat de autor;
- conceperea si implementarea în aplicații industriale a unor soluții de optimizare a sistemelor de intrare a apelor uzate în decantoarele verticale și decantoarele orizontale radiale, în vederea măririi eficienței proceselor de sedimentare ale acestora.

BIBLIOGRAFIE

1. Antoniu, R. și col. Epurarea apelor uzate industriale, vol.1 și 2. Ed. Tehnică, București, 1987.
2. Baker, M.N. and Taras, Michael J. The quest for pure water: The history of the twentieth century, volume 1 and 2. Denver: AWWA, 1981.
3. Batchelor, G.K.. Sedimentation in a dilute polydisperse system of interacting spheres. Part 1. General theory, J. Fluid Mech. 119, (1982), pp.379-408
4. Batchelor, G.K. and Wen. C.S. Sedimentation in a dilute polydisperse system of interacting spheres. Part 2. Numerical results, J. Fluid Mech. 124, (1982), pp. 495-528.
5. Bauer, G. Ölhydraulik. B: G. Teubner Verlg, 1988.
6. Bernstein, H. Sensoren und Messelektronik. Pflaum-Verlag, Műnchen, 1998
7. Beychok ,M.R., Aqueous Wastes from Petroleum and Petrochemical Plants. Volum 22, nr.7, John Wiley Sons, London, 1967.
8. Beychok, M. R., Wastewater treatment. Hydrocarbon Processing, December (1971), pp. 109–112
9. Binnie, Ch., Kimber, M., Smethurst, G.. Basic Water Treatment. Thomas Telford , London: 2002.
10. Bowen, R. W., Jenner, F. Theoretical descriptions of membrane filtration of colloids and fine particles: an assement and review. Advances in Colloid and Interface Science, 56 (1995), pp. 141-200
11. Bratu, E.A., Operatii unitare in ingineria chimica,Vol. I. Editura Tehnica, Bucuresti, 1984
12. Bratu, E.A. Operații unitare in ingineria chimica,Vol. II, Editura Tehnica, București, 1985
13. Brenner, H., Hydrodynamic resistance of particles at small Reynold numbers. Advances in Chemical Engineering, Vol.6, Academic Press, New York, 1966, pp. 287-438
14. Bürger, R. and Karlsen, K.H. On some upwind schemes for the phenomenological sedimentation-consolidation model, J. Eng. Math. (2001) , pp.41, 145-166.
15. Bürger, R. Ein Anfangs-Randwertproblem einer quasilinearen parabolischen entarteten Gleichung in der Theorie der Sedimentation mit Kompression, Doctoral Thesis, University of Stuttgart, Germany, 1996
16. Bürger, R. and Karlsen, K.H. On some upwind schemes for the phenomenological sedimentation-consolidation model, J. Eng. Math. (2001) , pp.41, 145-166.
17. Bürger, R. Phenomenological foundation and mathematical theory of sedimentation-consolidation processes, Chem. Eng. J. 80, (2000), pp. 177-188.
18. Bürger, R., Evje, S. On strongly degenerate convection-diffusion problems modeling sedimentation-consolidation processes. J. Math. Anal. Appl. 247, (2000) pp. 517-556.
19. Bürger, R., Wendland, W.L. and Concha, F. Model equations for gravitational sedimentation-consolidation processes. Z. Angew. Math. Mech. 80, (2000), pp. 79-92.

20. Bustos, M.C., Paiva, F., Wendland, W.L. Control of continuous sedimentation of ideal suspensions as an initial and boundary value problem. Math. Meth. Appl. Sci. 12, (1990), pp.533-548.

21. Bustos, M.C., Paiva, F., Wendland, W.L. Entropy boundary conditions in the theory of sedimentation of ideal suspensions. Math. Meth. Appl. Sci. 19, (1996), pp. 679-697.

22. Bustos, M.C.at all . Sedimentation and Thickening: Phenomenological Foundation and Mathematical Theory. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 1999.

23. Caetano, Ana et al. Membrane Technology: Applications to Industrial Wastewater Treatment: Applications to Industrial Wastewater Treatment. Kluwer Academic Publishers, Dorderecht /Boston/London, 1995

24. Călin, Angela : Epurarea avansata a apelor uzate- Statii compacte de capacitate mica. Teza de doctorat, Universiatea Tehnică de constructii Bucuresti, 2008

25. Celenza, G.J., Industrial Waste Treatment Process Engineering, 3 vol., Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster-Basel : 1999-2000

26. Chase, G., Mayer, E.: Filtration, Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 5th ed., vol. 11, John Wiley & Sons, Hoboken, 2005

27. Cheremisinoff, N. P. Handbook of water and wastewater treatment technologies. Ed. Butterford- Einemann, Boston Oxford Auckland Johannesburg Melbourne New Delhi, 2002

28. Chifu E., Chimia coloizilor și a interfețelor. Editura Presa Universitară Clujeană, Cluj–Napoca, 2000

29. Cioc, D., Hidraulică, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1983.

30. Coldea, Speranța, Ionescu, Gh. C. Elemente de fizica fluidelor și hidraulică. Editura Matrix Rom, București, 2005

31. Concha, F. and Barrientos, A. A critical review of thickener design methods, KONA 11, (1993), pp. 79-104.

32. Concha, F. Manual de Filtración & Separación. Centro de Tecnología Mineral, Universidad de Concepción/ Fundación Chile, 2001.

33. Concha, F., Lee, C.H., Austin, L.G. Settling velocities of particulate systems:. Batch sedimentation of polydispersed suspensions of spheres. Int. J. Mineral Process. 35, (1992), pp.159-175.

34. Crittenden, I., C. et al. Water treatment. Principles and design. Hoboken, Nj; John Wiley, 2005.

35. Davis, R.H., Birdsell, S.A.. Hydrodynamic model and experiments for crossflow microfiltration. Chem. Eng. Commun., 49, (1987), pp. 217-234.

36. Diehl, S. A conservation law with point source and discontinuous flux function modelling continuous sedimentation. SIAM J. Appl. Math. 56, (1996) pp. 388-419

37. Diehl, S. Dynamic and steady-state behaviour of continuous sedimentation. SIAM J. Appl. Math. 57, 1997, pp. 991-1018

38. Dierckx , G. La Filtration Industrielle des Liquides,Tome III. Societe Belge de Filtration, Liege 1978, pp. 295 –314

39. Dima M. Epurarea apelor uzate, Ed. Tehnopress, Iași, 2005

40. Dinu R., Pleșu, V., Gâjiu, C. I. Ingineria separărilor cu membrane, Editura BREN, București, 1999

41. Doby, M., Kraipech, W., Nowakowski, A.F. Numerical Prediction of Outlet Velocity Patterns in Solid-Liquid Separators. Chemical Engineering Journal 111, (2005), pp. 173-180.

42. Fischer, E.,. Raasch, J. Model of the particle deposition at the filter medium in crossflow filtration. Proc. 4 World Filtration Congress, O&end, Belgium, Part 2,1986, pp. 11.11-11.17.

43. Fitch, E.B. Thickening theories an analysis. AIChE J. 39, (1993) , pp. 27-36.

44. Gevatter, H.-I. Automatisierungstechnik. 1: Mess- und Sensorentechnik. Springer Verlag, Berlin, 2000.

45. Gevatter, H.-I. Handbuch der Mess- und Automatisierungtechnik. Springer Verlag, Berlin, 1999.

46. Ghassemi, A. Handbook of pollution control and waste minimization. Ed. Marcel Dekker, Inc. 2002

47. Gobjilă W. Folosirea apelor uzate în agricultură. Ed. Ceres, București, 1985

48. Haiduc, I.. Chimia mediului ambiant. Controlul calității apei, Editura Univarsității Babeș–Bolyai, Cluj–Napoca, 1996.

49. Hâncu, S., Marin, G., Hidraulică teoretică și aplicată, Ed. Cartea Universitară, București, 2007.

50. Hâncu, S., Popescu, M. ș.a., Hidraulică aplicată. Simularea numerică a mișcării nepermanente a fluidelor, Editura Tehnică, București, 1985.

51. Holdich, R.G. and Butt, G. Experimental and numericalanalysis of a sedimentation forming compressible compacts. Separ. Sci. Technol. 32, (1997), 2149-2171.

52. Iamandi, C., Petrescu, V., Damian, R. Hidraulica instalațiilor. Editura Tehnică, București, 1994.

53. Ianculescu D. O. , Molnar A. , David C. Stații de epurare de capacitate mica, , MATRIX ROM , Bucuresti 2002

54. Ianculescu O., Ionescu G., Racovițeanu, R. Epurarea apelor uzate. Editura MATRIX ROM, București, 2001

55. Ianculescu, O., Ianculescu, D. Procesul de coagulare–floculare în tratarea apei de alimentare. Optimizarea camerelor din stațiile de tratare. Editura MATRIX ROM, București, 2002.

56. Imhoff, K. Taschenbuch der Stadtentwaeserung. Muenchen Verlag von R. Oldenburg,1996.

57. Ionescu Gh. C. Sisteme de epurare a apelor uzate , MATRIX ROM , Bucuresti 2010

58. Ionescu, Gh. C. Instalații de canalizare, Editura Didactică și Pedagogică București, 1997.

59. Ionescu, Gh. și col.. Traductoare pentru automatizări industriale. Editura Tehnică, București, 1985.

60. Ipate, G.. Studii si cercetări privind procesul de separare a suspensiilor in vederea modernizării echipamentelor din instalațiile de epurare a apelor uzate. Teză de doctorat, Universitatea "Politehnica" București, 2011.

61. Jain, R.K. et al. Environmental Technologies and Trends. Ed. Springer, 1997.

62. Jinescu, V. Procese hidrodinamice și utilaje specifice în industria chimică. Editura didactică și pedagogică, București, 1983.

63. Jipa, D., Analiza granulometrică a sedimentelor. Editura Academică, București, 1987

64. Jolánkai, G., J. Gayer. Water Related Environmental Problems, Ed. Vituki Trening, 1997.

65. Judd, S. The. BR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment. Ed. Elsevier, 2011

66. Kawamura S. Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities. 2nd ed., John Wiley & Sons, New York ;2000

67. Kos, P. Fundamentals of gravity thickening, Chem.Eng. Prog. 73, (1977) , pp.99-105.

68. Krausz, S. , Paraschiv, I. Teoria și tehnologia flotației (vol 1 și 2), Editura Matrix Rom, București, 2001'

69. Kynch, G.J. A theory of sedimentation. Trans. Faraday Soc. 48, (1952), pp. 166-176

70. Launder, B.E., Spalding, D.B. Mathematical models of turbulence. Academic Press Inc., London, Limited. Paper. 1972

71. Leclerc, D., Rebouillat, S. Mathematical Models and Design Methods in Solid – Liquid Separation. NATO ASI series E No. 88, Martinus Nijhoff, Dordrecht 1985

72. Lidia de Vargas. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría, Tomo I. Ed. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima, 2004

73. Liteanu C., Rădulescu, G. Bazele membranologiei. Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1984

74. Lopez, A. et al. Inovative and integrated Tecnologies for tratment of industrial waste water (INNOVATECH). IWA Publiscing , London, 2012.

75. Macoveanu M. Epurarea avansată a apelor uzate conținând compuși organici nebiodegradabili. Ed. Gh Asachi, Iași, 1997

76. Majumdar, S., Rodi, W., Zhu, J. Three-dimensional finite-volume method for incompressible flows with complex boundaries. Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME, 114, (1992), pp. 496 - 503.

77. Matthies, H. J. Einfürung in die Ölhydraulik. Teubner Studienbücher, Stuttgart, 1991.

78. Medar, S. Filtre pentru acționări hidraulice și pneumatice. Editura Tehnică, București, 1986.

79. Mihăilescu, F., P. Tudor. Mașini, utilaje și instalații din industria chimică, rafinării și petrochimie. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.

80. Mladenchev, Th., Modellierung des Filtrations- und Fliessverhaltens von ultrafeinen, kompressiblen flüssigkeitsgesättigten Partikelpackungen. Docupoint Verlag, Magdeburg 2007

81. Mulder M. Basic principles of membrane technology. Kluwer Academic Publishers, 1997

82. Negulescu, Gh. M., Canalizări și epurarea apelor uzate. Institutul de Construcții București, 1975.

83. Negulescu, M. Epurarea apelor uzate industriale. Editura Tehnică, Bucuresti, 1987

84. Negulescu,M. Municipal wastewater treatment. Ed. Elsevier, Olanda, 1985.

85. Newman, P.J., Classification of surface water quality management. Heinemen Professional Publishing, Oxford, 1988.

86. Nistreanu, N. Procese unitare pentru tratarea apelor. Ed. Univesității Politehnica București, 2010.

87. Oliva Uc, J., Giacoman Vallejos, G., Pérez Cortés, M. Estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante un sistema óptico. Ingeniería 12-2 (2008) 17-29

88. Popescu, S., Ghinea, T., Automatizarea mașinilor și instalațiilor agricole. Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1986

89. Predescu, Andra și Matei, Ecaterina. Metode avansate de tratate a apelor contaminate cu compuși organici. ProEnvironment 2 (2009), pp. 103 - 106

90. Profos, P., Pfeifer, T. Grundlagen der Messtechnik. R. Oldenburg-Verlag, Műnchen-Wien, 1997

91. Ramalho, R.S. Tratamiento de aguas residuales. Ed. Reverté, S.A.,2005

92. Rao, D.G. et al. Wastwater treatment. Advansed processes and technologies. CRC Press. Iwa Publishing, London, 2013.

93. Reynolds, A., J. Turbulent Flows in Engineering. John Wilei & Sons, London,1974.

94. Ripperger, S. et al. Filtration, 1. Fundamentals. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2013, pp.1-38..

95. Rivet, . P. . Guide de la separation liquide-solide, Editura IDEXPO, Cachan, 1985. .

96. Robescu, Diana et al. Wastewater Treatment Technologies. Instalations and Equipmant, Editura Tehnică, București, 2001

97. Robescu, Diana si col. Tehnologii, instalații și echipamente pentru epurarea apei, Ed. Tehnică, București, 2000.

98. Robescu, Diana și col.. Tehnici de epurare a apelor uzate, Editura Tehnica, Bucuresti, 2011

99. Robescu, Diana. Procedee, Instalații si echipamente pentru epurarea avansată a apelor uzate, Editura Bren, București,1999

100. Robescu, Diana., N. Fluide polifazate. Editura Tehnică, Bucuresti, 2000

101. Rogoveanu (Radosavlevici), I., Robescu, D. N. Epurarea apelor uzate utilizând tehnologii membranare. Ecoterra, Nr. 29, 2011, pp.79-89

102. Rojanschi, V., Ogneanu,V. Cartea operatorului din stațiile de tratare și epurare a apelor. Editura Tehnică, București, 1989.

103. Roș, V. și col. Controlul poluării apei în agricultură. Ed. Todesco, Cluj-Napoca, 2003.

104. Rus, F. Operații de separare în industria alimentară. Editura Universității Transilvania, Brașov, 2001

105. Rushton A., Ward, A.S., Holdich, R.G. Solid-liquid Filtration and Separation Technology, 2nd Ed., Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2000

106. Rusu, G., Roajnschi, V. Filtrarea în tehnica tratării și epurării apelor, Editura Tehnică, București, 1980.

107. Rusu, T. Protecția mediului industrial. Editura Mediamira, Cluj-Napoca, 2002.

108. Rusu, T. Tehnologii și echipamente pentru tratarea și epurarea apelor, vol. I. U. U T Press, Cluj-Napoca, 2008;

109. Schneider, W., Anestis, G., Schaflinger, U. Sediment composition due to settling of particles of different sizes. Int. J. Multiphase Flow 11, (1985), 419-423.

110. Schubert, H. Kapillarität in porosen Feststoffsystemen. Springer Verlag, Heidelberg, 1982

111. Scott, K. Handbook of Industrial Membranes. Elsevier, 1995

112. Shaw, C.T. Using Computational Fluid Dynamics. Prentice Hall,1992

113. Shuval, H. I. Water Renovation and Reuse. Academic Press, New York, 1974

114. Sikdar S. K., Burckle J., Rogut, J. Separation methods for environmental technologies. Environ. Progress 20(1), 2001, pp.1-11

115. Singh, , R., Hankins, S. Emerging Membrane Technology for Sustainable Water Treatment. Elsevier, 2016

116. Stamatakis, K., Chi Tien. A simple model of crossflow filtration based on particleadhesion. AIChE J., 39 (1993), pp. 1292-1302.

117. Stoianovici, S., Robescu, D. Procedee și echipamente mecanice pentru tratarea și epurarea apei. Ed.Tehnică, București, 2010

118. Stoica A. și col. Operații de transfer interfazic. Editura Matrix Rom, București, 2001

119. Strathmann, H. Membrane separation processes: current relevance and future opportunities. AIChE J. 47(5):2001, pp.1077-1087

120. Stugren B., Probleme moderne de ecologie. Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1982.

121. Sutherland, K. Filters and Filtration Handbook, 5th ed., Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam 2008.

122. Sutherland, K.: A-Z of Filtration and Related Separations. Ed., Elsevier, Oxford 2005.

123. Svarovsky, L. Solid-Liquid Separation. Butterworths, London, 1979.

124. Techobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. Wastewater Engineering. Ed. Mc Graw-Hill Book Company, 2003

125. Tarleton, S., Wakeman, R. Solid/Liquid /Sepaqration. Equiment Selection and Process Design. Ed. Elsevier, Oxford, New York, 2005

126. Tichy, J. Zum Einfluss der Filtermitte und der auftretenden Interferenzen zwishen Filterkuchen und Filtermittel bei der Kuchefiltration. Doctor Thesis, TU Keiserslautern, 2007.

127. Tichy, J. Fortschritt–Berichte VDI, Reihe 3, Nr. 877,Sonthofen , 2007.

128. Țenu, I. Operații și aparate în industria alimentară. Vol I: Operații mecanice, hidromecanice și aerodinamice. Editura Ion Ionescu de la Brad, Iași, 2008.

129. Ungarish, M., Hydrodynamics of suspensions: Fundamentals of centrifugal and gravity separation. Springer, Berlin, 1993

130. Urdă, A., Angelescu, E., Săndulescu, I. Chimie Tehnologică Generală, partea I, Editura Universității din București, 2005.

131. Uttomark, P., Wall, P., Lake classification for water quality management, University of Wisconsin Water Research Center, 1975.

132. Van Nieuwenhujzen, A., Van der Graef. Handbook on particle separation processes. IWA Publiscing , London,. 2011

133. Vida-Simiti, I., Popescu, V. Metode de separare a poluanților. Editura UTPRES, Cluj-Napoca, 2003

134. Vida-Simiti I., Bazele separării poluanților. Aplicații practice, Editura UTPRES, Cluj-Napoca, 2004

135. Vida-Simiti, I. Procedee fizico-mecanice de separare a poluantilor, Ed. UTPRES, Cluj-Napoca, 2007,

136. Wagner, V. Membrane Filtration Handbook. Practical Tips and Hints. Ed. 2, Osmonics Inc., 2001.

137. Wakeman, K., Tarleton, E. S., Solid/liquid Separation. Scale-up of Industrial Equipment. Ed., Elsevier, Oxford 2005

138. Wakeman, R., Tarleton Solid/Liquid Separation. Principles of Industrial Filtration. Ed. Elsevier, Oxford, New York, 2005

139. Wakeman, R.J., Tarleton, E.S. Filtration: Equipment Selection, Modelling and Process Simulation. Ed. Elsevier Science, Oxford, 1999

140. Whorlow, R. W. Rheological Techniques. 2d. ed. New York: Ellis Horwood, . 1992

141. **Zărnoianu, Daniela**., Popescu, S., Radu M. The influence of constructive factors and working conditions of decanters on wastewater processing efficiency. In: Proceeding of the 5rd International Conference Advanced Composite Materials Engineering, COMAT 2014, Brasov, October 2014, pp. 300-307

142. **Zărnoianu, Daniela**., Popescu, S., Radu, M. Utilisation of tangential filters for increasing economic and qualitative performance of wastewater treatment processes. In: .Proceeding of the 5rd International Conference Advanced Composite Materials Engineering, COMAT 2014, Brasov, October 2014, pp. 308-316

143. **Zărnoianu, Daniela**, Popescu, S., Brăcăcescu, Carmen , Study on separating processes of impurities from wastewater by using tangential filters. In:.Proceeding of the 6th International Conference Computational Mechanics and Virtual Engineering, COMEC 2015, Brașov October 2015, pp. 177-182

144. **Zărnoianu, Daniela,** Popescu, S., Brăcăcescu, Carmen, Theoretical and experimental research on the separation process of impurities of wastewater trough decantation. In: Proceeding of the 6th International Conference Computational Mechanics and Virtual Engineering, COMEC 2015, Braşov October 2015, pp. 183-190

145. **Zărnoianu, Daniela.,** Popescu, S. The influence of the equipment for scraping deposits on performance of clarifiers used for wastewater treatment. In: Proceeding of the 6th International Conference on Advanced Composite Materials Engineering COMAT 2016, Braşov November 2016, pp. 233-238

146. **Zărnoianu, Daniela**, Popescu, S. Theoretical and experimental researches on the separation process of the impurities from waste water through decantation. In: Proceeding of the 7th International Conference Computational Mechanics and Virtual Engineering, COMEC 2017, Braşov, November 2017, pp. 122-126

147. **Zărnoianu, Daniela,** Popescu, S. Contributions to study on the efficiency of separation of the impurities from waste water by means of series mounted tangential filters. In: Proceeding of the 7th International Conference Computational Mechanics and Virtual Engineering, COMEC 2017, Braşov, November 2017, pp.127-131

148. **Zărnoianu, Daniela**. Stadiul actual al cercetărilor teoretice și experimentale din domeniul tehnologiilor de epurare a apelor reziduale din industria chimică. Raport de cercetare științifică Nr.1, Universitatea Transilvania din Brașov, 2015

149. **Zărnoianu, Daniela**. Contribuții la cercetarea teoretică a tehnologiilor și echipamentelor folosite la epurarea apelor reziduale din industria chimică. Raport de cercetare științifică Nr.2, Universitatea Transilvania din Brașov, 2015

150. **Zărnoianu, Daniela**. Contribuții la cercetarea experimentală a tehnologiilor echipamentelor folosite la epurarea apelor reziduale din industria chimică. . Raport de cercetare științifică Nr.3, Universitatea Transilvania din Brașov, 2015

151. Zheng, Y., Bagley, D.M. Dynamic model for zone settling and compression in gravity thickeners, *J. Environ. Eng. 125*, 1999, pp.1007-1013.

152. Zheng, Y., Bagley, D.M. Numerical simulation of batch settling process, *J. Environ. Eng*. 124, 1998, pp. 953-958.

153. Zogg, M. Einführung in die Mechanische Verfahrenstechnik. Teubner Stuttgart, 1993

154. x x x. HÜTTE. Manualul Inginerului. Fundamente. Editura Tehnica București, 1995.

155. x.x.x Manualul Inginerului din industria alimentara. Editura tehnicü București, 1968.

156. x.x.x Manualul Inginerului din industria alimentara. Vol. I, II. Editura tehnicü București, 1999.

157. x.x.x. Manualul Inginerului hidroeleectrician. Editura tehnică, București, 1970

158. x.x.x. NTPA 001/2005 "Normativ privind stabilirea limitelor de încărcare cu poluanți a apelor uzate industriale și orășenești la evacuarea în receptori naturali", Anexa 3, HG 352/2005

159. x.x.x. NTPA 002/2005 "Normativ privind condițiile de evacuare a apelor uzate în rețelele de canalizare ale localităților și direct în stațiile de epurare", Anexa 2, HG 352/2005

160. x.x.x. NTPA 011/2005 "Norme tehnice privind colectarea și evacuarea apelor uzate orășenești" prin care se transpun cerințele Directivei; Anexa 1, HG 352/2005

161. x.x. x. Situația în România a apelor uzate urbane și a nămolului provenit din stațiile de epurare. Broșură pentru public, Bucuresti, 2012

162. x.x.x STAS 4162/1 - 80, Decantoare primare. Prescripții de proiectare

163. x.x.x. STAS 4162/2 - 82 Decantoare secundare. Prescripții de proiectare

164. http://cadredidactice.ub.ro/gavrilalucian/files/2012/11/ou1-c6-filtrarea.pdf

165. http://www.editura.bioflux.com.ro/docs/petrescu.pdf

166. http://www.historyofwaterfilters.com/

167. http://www.ing-mat.udec.cl/~rburger/papers/kona.pdf

168. http://www.sim.utcluj.ro/stm/download/Procedee_separare/Cap_1.pdf

169. http://www.sim.utcluj.ro/stm/download/Procedee_separare/Cap_2.pdf

170. https://sim.utcluj.ro/stm/download/Procedee_separare/Cap_5.pdf

171. http://www.vitan.ro/Ingineria_Proceselor_II/V.2.3.2-V.2.3.2.4.pdf

172. http://tpp.upg-ploiesti.ro/attachments/article/89/apa_poluare_depoluare.pdf

173. http://old.unibuc.ro/prof/urda_a/docs/2013/iun/05_13_03_31tema_5.pdf

174. https://www.scribd.com/document/106377872/Sediment-Are-A

175. https://www.slideshare.net/ARMXXX/separacin-slido-lquido-en-hidrometalurgia.Separación sólido – líquido en hidrometalurgia.

CONTRIBUȚII LA CERCETAREA TEORETICĂ SI EXPERIMENTALĂ A PROCESELOR DE EPURARE A APELOR INDUSTRIALE UZATE PRIN SEDIMENTARE ȘI FILTRARE

Rezumat

În prima parte a lucrării se prezintă sintetic aspectele teoretice de bază ale proceselor de separare mecanică prin sedimentare (decantare) și filtrare a impurităților mecanice din apele industriale uzate și se elaborează modelele fizice și matematice de studiu ale acestor procese. Pe baza rezolvării modelelor matematice se evidențiază factorii constructivi și lucru care influențează eficiența acestor operații de separare mecanică. În partea a doua a lucrării se prezintă metodologia, instalațiile și aparatura de investigație folosite la cercetarea experimentală a proceselor de separare mecanică a impurităților din ape uzate. Cercetarea experimentală pentru sedimentare este realizată pe patru variante de decantoare verticale cilindro-conice și iar cercetarea experimentală pentru filtrare este realizată pe instalații de filtrare formate din filtre tangențiale (cu diferite grade de finețe) cuplate în serie, în două variante (cu două și cu patru filtre). Pe baza datelor experimentale s-au elaborat grafice ilustrative care evidențiază influența diferiților factori constructivi și funcționali asupra eficienței sistemelor de sedimentare cu decantoare verticale și a sistemelor de filtrare cu filtre tangențiale folosite la epurarea mecanică a apelor industriale uzate. În final se scot în evidență contribuțiile originale ale lucrării și se prezintă direcțiile viitoare de cercetare din domeniul epurării mecanice a apelor industriale uzate.

CONTRIBUTIONS TO THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH ON TREATEMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER BY SEDIMENTATION AND FILTRATION

Abstract

The first part of the thesis presents a synthesis of the fundamental theoretical aspects concerning mechanical separation by sedimentation (decanting) and filtering of the mechanical impurities from industrial wastewater and devises physical and mathematical study models for these processes. Based on the solving of the mathematical models the constructive and working parameters are identified that influence the mechanical separation operations.

The second part of the thesis discusses the methodology, installations and apparatus used in the experimental research of mechanical separation processes of impurities from wastewater. The experimental research on sedimentation was conducted on four variants of vertical cylindrical-conical decanters, while the experimental research on filtering was conducted on filtering installations consisting of series-linked tangential filters (of different degrees of fineness), in two variants (with two and four filters). The graphs plotted based on the experimental data reveal the influence of the various constructive and functional factors on the efficiency of sedimentation systems with vertical decanters and of filtering systems with tangential filters used in the mechanical treatment of industrial wastewater.

The thesis concludes with an overview of the author's original contributions and presents future directions of research in the field of industrial wastewater mechanical treatment.

CURRICULUM VITAE

DATE PERSONALE:

Numele și prenumele: **ZÃRNOIANU Daniela**
Data și locul nașterii:
Starea civilă:
Domiciliul:

STUDII:

- **sept. 1978 – iunie 1982:** Liceul de matematica fizica, Alexandria, profil Chimie-industriala
- **sept. 1983 - iunie 1988** Institutul Politehnic București, Facultatea de Tehnologie Chimicã, Specializarea Tehnologie Chimicã Organicã
- **octombrie 2012-iunie 2019 :** doctorand, forma fără frecvență, Universitatea Transilvania din Brașov, *domeniul Inginerie Mecanică.*
- **aprilie 2014-iunie 2015:** Studii doctorale în proiectul POSDRU ID134378, Universitatea Transilvania din Brașov,

ACTIVITATEA PROFESIONALA:

- **octombrie 1988- aprilie 1995,** Inginer chimist, S.C. OLTCHIM S.A., Râmnicu – Vâlcea
- **mai 1995 – dec. 2002**: șef Instalație Propenoxid –Frig –Var, S.C. OLTCHIM S.A., Râmnicu –Vâlcea
- **ian. 2002-decembrie 2018**: adjunct șef secție Propenoxid, S.C. OLTCHIM S.A., Râmnicu –Vâlcea
- **decembrie 2018 –prezent**: șef Instalație Propenoxid –frig, CHIMCOMPLEX Râmnicu –Vâlcea

ACTIVITATEA ȘTIINTIFICÃ :

- Participarea cu comunicări la Conferițele internaționale COMAT 2014, 2016 și COMEC 2015, 2017 din Brașov.
- Participarea cu comunicări la Simpozionul International Milenum, 2015, USAMV Cluj Napoca
- Publicare 7 lucrări științifice în Buletinele științifice ale Conferințelor internaționale COMEC (2015, 2017) și COMAT (2016, 2018)

DISTINCȚII

- **Medalie de aur,** la International Invention Fair in Middle East (”Process for propenoxide separation”), noiembrie 2011
- **Diplomă si medalie de aur**, la Congresul Național al Cercetătorilor și Inventatorilor din România, cu participare internațională mai 2012

LIMBI STRÃINE:

Franceză – avansat
Rusă– mediu

CURRICULUM VITAE

PERSONAL INFORMATION:

Name and first name: ZÃRNOIANU Daniela
Date and place of birth:
Marital status:
Address:

EDUCATION AND TRAINING:

1978 -1982: Mathematics and physics Highschool, Alexandria, Teleorman county, specialization Industrial Chemistry;
1983 - 1988: Polytechnic Institute of București, Faculty of Chemical Technology, specialization Organic Chemical Technology;
2012- 2019: PhD student Transilvania University of Brașov, field of Mechanical Engineering;
April 2014 - June 2015: PhD studies for project POSDRU ID134378, Transilvania University of Brașov.

PROFESSIONAL ACTIVITY

1988 - 1995: Chemist engineer, S.C. OLTCHIM S.A., Râmnicu –Vâlcea
1995 - 2002: Installation coordinator Propenoxid –Frig –Var, S.C. OLTCHIM S.A., Râmnicu –Vâlcea
2002 - 2018: Deputy head of production department Propenoxid, S.C. OLTCHIM S.A., Râmnicu –Vâlcea
December 2018 - present Installation coordinator Propenoxid –frig, HIMCOMPLEX Râmnicu –Vâlcea

SCIENTIFIC ACTIVITY:

Presentation of three research papers as part of the PhD programme, Transilvania University of Brașov;
Participation in the International Conferences COMAT , Brașov, 2014 and 2016;
Participation in the International Conferences COMEC, Brașov, 2015 and 2017;
Participation in the International Symposium Milenum, USAMV Cluj Napoca, 2015;
Publication of 7 scientific papers in scientific bulletins of the International Conferences COMEC (2015, 2017) and CONAT (2014, 2016), Brasov;
Project coordinator "*Installation modernization and capacity increase" Propenoxid*, S.C. OLTCHIM S.A., Râmnicu –Vâlcea.

AWARDS

- GOLD MEDAL awarded at the International Invention Fair in Middle East (*Process for propenoxide separation*"), November 2011;
- GOLD MEDAL awarded at the la National Congress of Researchers and Inventors in Romania, with international participation, May 2012;

FOREIGN LANGUAGES:

French – advanced
Russian – intermediate