

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE HIDROTEHNICĂ

ING. CONSTANTIN FLORESCU

TEZĂ DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR DE
LIMPEZIRE PRIN UTILIZAREA FILTRELOR RAPIDE
CU STRATURI MULTIPLE**

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” TIMIȘOARA	
BIBLIOTECA CENTRALĂ	
Nr. volum _____	
Dulap _____	Lit. _____

Conducător științific
Prof.dr.ing. ION MIREL

Timișoara 2005

CUPRINS

CAP. 1 INTRODUCERE		pag. 6
1.1.	Importanța procesului de filtrare rapidă	pag. 6
1.2.	Necesitatea și oportunitatea filtrării rapide cu straturi multiple	pag. 7
1.3.	Obiectivele cercetării	
CAP. 2 STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL FILTRĂRII APEI		pag.11
2.1.	Evoluția metodelor de filtrare	pag.11
2.2.	Clasificarea instalațiilor de filtrare	pag.13
2.3.	Cerințele proceselor de limpezire prin filtrarea rapidă	pag.16
2.4.	Concepte matematice utilizate în dezvoltarea proceselor de filtrare rapidă	pag.17
2.5.	Mecanismele proceselor de limpezire în filtrarea rapidă	pag.19
2.5.1.	Mecanismele de transport	pag.21
2.5.1.1.	Difuzia	pag.22
2.5.1.2.	Inerția	pag.25
2.5.1.3.	Sedimentarea	pag.26
2.5.1.4.	Efectele hidrodinamice	pag.27
2.5.2.	Mecanismul de fixare	pag.28
2.5.2.1.	Fenomenul de sită	pag.28
2.5.2.2.	Adsorția	pag.28
2.5.2.3.	Intercepția	pag.30
2.5.3.	Mecanismele de detașare (desprindere)	pag.30
2.5.4.	Efectele combinate ale mecanismelor de filtrare	pag.32
2.6.	Stadiile caracteristice ale ciclurilor de filtrare	pag.35
2.6.1.	Stadiul I - Perioada inițială de reținere	pag.38
2.6.2.	Stadiul II - Perioada de regim	pag.39
2.6.3.	Stadiul III – Perioada de colmatare	pag.39
2.7.	Modele matematice utilizate în filtrarea rapidă	pag.40
2.7.1.	Ecuatiile generale ale fluidelor prin medii poroase	pag.40

2.7.2. Ecuațiile generale ale mișcării suspensiilor prin medii poroase	pag.42
2.7.3. Ecuațiile generale ale filtrării rapide prin straturi omogene	pag.46
2.7.4. Integrarea ecuațiilor generale ale filtrării rapide	pag.49
2.7.4.1. Modelul matematic Mirel	pag.49
2.7.4.2. Modelul matematic Ives	pag.53
2.7.4.3. Modelul matematic Mintz	pag.55
2.7.4.4. Modelul matematic Lerk	pag.57

CAP. 3 FILTRAREA RAPIDĂ PRIN STRATURI MULTIPLE	pag.59
3.1. Filtrarea rapidă descendentă prin straturi multiple omogene	pag.59
3.1.1 Structura și caracteristicile materialelor omogene	pag.59
3.1.2. Modificările cantitative și calitative în procesul filtrării	pag.62
3.1.3. Parametri determinanți	pag.65
3.1.4. Modele matematice	pag.69
3.1.4.1. Modelul granulelor sferice	pag.69
3.1.4.2. Modelul tuburilor capilare	pag.71
3.1.4.3. Modelul suprafețelor specifice combinate	pag.73
3.1.4.4. Modelul vitezelor interstițiale	pag.73
3.1.4.5. Pierderea de sarcină în filtru	pag.75
3.1.5. Optimizarea proceselor de filtrare rapidă prin straturi multiple omogene	pag.76
3.2. Filtrarea rapidă descendentă prin straturi multiple neomogene	pag.80
3.2.1. Structura și caracteristicile materialelor neomogene	pag.80
3.2.2. Modificările cantitative și calitative la filtrarea descendentă multistrat	pag.84
3.2.3. Parametri determinanți	pag.86
3.2.4. Modelul matematic al filtrării rapide pe straturi multiple neomogene	pag.86
3.2.5. Optimizarea proceselor de filtrare prin straturi multiple neomogene	pag.88
3.3. Filtrarea rapidă ascendentă prin straturi multiple omogene și neomogene	pag.89

3.3.1. Considerații de ordin general	pag.89
3.3.2. Structura și caracteristicile stratelor multiple omogene	pag.92
3.3.3. Structura și caracteristicile straterlor multiple neomogene	pag.93
3.3.4. Modificările cantitative și calitative în procesul filtrării rapide ascendente	pag.94
3.3.5. Optimizarea filtrării ascendente prin straturi multiple omogene	pag.97

CAP. 4 CERCETĂRI EXPERIMENTALE **pag.99**

4.1. Programul experimental	pag.99
4.2. Descrierea instalației	pag.102
4.3. Elementele caracteristice ale instalației de filtrare	pag.107
4.3.1. Materiale omogene	pag.107
4.3.2. Materiale neomogene	pag.109
4.3.3. Regimuri de mișcare în medii filtrante omogene și neomogene	pag.110
4.3.4. Pierderi inițiale de sarcină	pag.111
4.3.5. Caracteristicile apei brute supusă filtrării ascendente	pag.113
4.4. Rezultatele cercetărilor experimentale	pag.114
4.4.1. Filtrare descendentă în straturi multiple omogene	pag.114
4.4.2. Filtrare ascendentă în straturi multiple omogene	pag.122
4.4.3. Filtrare descendentă în straturi multiple neomogene	pag.130
4.5. Prelucrarea rezultatelor experimentale	pag.133
4.5.1. Pierderea de sarcină	pag.133
4.5.2. Depozitul specific	pag.136
4.5.2.1. Filtrarea ascendentă ($\Delta x = 50$ cm)	pag.137
4.5.2.2. Filtrarea ascendentă ($\Delta x = 60$ cm)	pag.143
4.5.2.3. Filtrarea descendentă ($\Delta x = 50$ cm)	pag.149
4.6. Optimizarea instalațiilor ascendente de filtrare	pag.159
4.6.1. Modificările calitative	pag.160
4.6.2. Modificările cantitative	pag.163

**CAP. 5 RECOMANDĂRI PRIVIND PROIECTAREA, EXECUȚIA ȘI
EXPLOATAREA FILTRELOR RAPIDE ECHIPATE CU
STRATURI MULTIPLE**

		pag.166
5.1	Proiectarea filtrelor rapide cu straturi multiple	pag.166
5.2	Execuția filtrelor rapide cu straturi multiple	pag.169
5.3	Exploatarea filtrelor rapide cu straturi multiple	pag.171

CAP. 6 CONCLUZII GENERALE

pag.175

		pag.176
6.1	Conținutul lucrării	pag.176
6.2	Contribuții și originalitatea lucrării	pag.178
6.3	Perspective, propuneri și recomandări	pag.181

BIBLIOGRAFIE

pag.182

ANEXE

pag.196

CAP. 1. INTRODUCERE

1.1. Importanța procesului de filtrare

În cadrul programului complex de protecție a resurselor de apă și a mediului înconjurător, filtrarea rapidă reprezintă procedeul prin care se asigură desăvârșirea proceselor de limpezire a apelor de alimentare pentru scopuri potabile sau industriale. [8] [77] [88] [116] [121] [128] [141] [191] [192] [193]

De asemenea, filtrarea rapidă este folosită ca o soluție eficientă în cadrul epurării avansate a emisarilor, cât și pentru asigurarea unor cantități suplimentare necesare cerințelor din industrie și a celor din agricultură. [52] [97] [122] [131] [132] [147] [185] [188] [189] [190] [195]

Diversitatea mare a instalațiilor de filtrare, sub aspectul modului de alcătuire și a modului de funcționare impun cunoașterea în detaliu a fiecărui procedeu astfel încât printr-o alegere judicioasă și o exploatare rațională să se asigure o apă de bună calitate și la un preț de cost cât mai redus. [143]

Reținerea suspensiilor din apă în masa filtrantă se realizează printr-un ansamblu de procese complexe cu implicații fizice, chimice și biologice.

Filtrarea trebuie considerată ca fiind o componentă esențială a ansamblului de procese necesare limpezirii apei din sursele subterane și de suprafață, având menirea ca în condiții optime de desfășurare, favorizate și de procesele de predecantare (coagulare+decantare) să finalizeze desăvârșirea limpezirii apei.

Mecanismele proceselor de separare evidențiate în cadrul teoriilor fizice și fizico-chimice ale proceselor de filtrare scot în evidență multitudinea factorilor care acționează separat sau simultan pe parcursul ciclurilor de filtrare.

Procesul de separare a suspensiilor din apă, pe baza teoriilor existente, sunt constituite din trei faze: transportul particulelor, reținerea și detașarea acestora. Ipotezele făcute pentru investigarea fenomenului nu sunt în măsură să prezinte o teorie unitară, care să servească în mod direct la proiectarea și exploatarea instalațiilor de filtrare. [2] [22] [23] [46] [57] [58]

Din punct de vedere valoric, filtrele reprezintă în medie peste 30% din investițiile totale alocate stațiilor de tratare. Această constatare a determinat specialiștii, care activează în acest domeniu să acorde o atenție deosebită proceselor de filtrare, fapt care a generat numeroase studii și cercetări care au dus la perfecționarea continuă a construcțiilor și a instalațiilor de filtrare.

Cercetările se referă în special la cunoașterea și aprofundarea mecanismelor filtrării apei, la elaborarea unor modele matematice ale filtrării, la alegerea materialelor filtrante și la optimizarea vitezelor de filtrare, astfel încât apa obținută după filtrare să fie de cea mai bună calitate în cantitate suficientă și la prețurile de cost cât mai reduse. [92] [138] [156] [159]

1.2. Necesitatea și oportunitatea studiului

Filtrarea rapidă reprezintă operațiunea de bază în cadrul procesului de limpezire a apelor subterane și a celor de suprafață asigurând reținerea parțială sau totală a suspensiilor rămase după decantare.

Procesul de filtrare pe strat unic de nisip se caracterizează printr-o dotare și amenajare simplă și robustă, însă are ca dezavantaje, perioade utile de filtrare mai scurte. De asemenea, necesită suprafețe mari și admite sortări dăunătoare materialului filtrant la spălarea în contracurent.

Reținerea suspensiilor la aceste tipuri de filtre se face într-o proporție

Cap. 1	Introducere	7
--------	-------------	---

mai mare în zonele superioare ale masei filtrante ocupate de granulația mai fină, în timp ce masa filtrantă de granulație grosieră de la partea inferioară devine practic inutilizabilă.

Pentru a elimina acest neajuns și a da o utilizare integrală capacității de reținere a coloanelor filtrante, se va urmări o masă filtrantă alcătuită din mai multe straturi, astfel încât orizonturile superioare să fie ocupate din materiale ușoare de grosime și granulație mare iar cele inferioare, de materiale mai grele de granulație mică și granulație fină.

Ca și filtrarea clasică, eficiența filtrării pe straturi multiple este dependentă într-o măsură foarte mare de cantitatea de coagulat. [103] [112] [115] [119]

Amestecul și reacția fiind asigurate în straturile superioare de granulație și de grosime mare, determină o încărcare aproape uniformă cu suspensii a stratelor din zonele inferioare ale filtrului.

Printr-o alegere judicioasă a structurii stratelor filtrante se poate asigura un efluent de bună calitate, iar prin eliminarea camerelor de amestec și de reacție din cadrul liniilor tehnologice de tratare se pot obține economii importante atât la cheltuieli cât și la cele de exploatare [1].

1.3. Obiectivele cercetării

Obiectivele cercetării au urmărit valorificarea capacității de reținere a mediilor filtrante astfel încât ciclurile de filtrare să fie cât mai mari în condițiile în care calitatea apei filtrante să se mențină în limitele impuse de cerințele consumatorilor.

La filtrarea descendentă acest deziderat poate fi realizat prin utilizarea unor structuri filtrante (neomogene) constând din materiale cu densități diferite, care în raport cu densitatea acestora să se asigure o structură filtrantă permițând o încărcare relativ uniformă tuturor straturilor

componente.

Masele filtrante pot fi constituite din materiale omogene și neomogene.

Materialele omogene pot constitui straturi cu granulație crescătoare sau descrescătoare în funcție de sensul filtrării apei. Aceste materiale trebuie să fie suficient de rezistente, pentru ca la spălări repetate structura granulometrică să se mențină pe perioade cât mai mari de timp.

Materialele neomogene, pot fi constituite din materiale de densități diferite, de obicei descrescătoare, după sensul filtrării apei.

Materialele neomogene trebuie să fie suficient de rezistente la spălările impuse după fiecare ciclu de filtrare, să fie ușor de procurat și la un preț de cost cât mai redus.

Aceste structuri pot conduce în raport cu volumul, respectiv grosimea straturilor componente la corectarea coeficientului de uniformitate al maselor filtrante.

Din aceste considerente s-a încercat cercetarea amplificării capacității de reținere a mediilor filtrante constuite din nisipul cuarțos provenit din carierele existente în țara noastră, utilizând filtrarea ascendentă.

În cadrul acestui tip de filtrare (ascendentă), sortarea gravimetrică conduce la o structură de granulație descrescătoare după direcția curentului principal de filtrare.

Structurile filtrante de la suprafața filtrului mai fine, vor asigura eficiența dorită a limpezirii în condițiile majorării ciclurilor de filtrare de pe site.

Eficiența filtrării ascendente a fost studiată în paralel cu filtrarea descendentă.

UPT	Contribuții la studiul proceselor de limpezire prin utilizarea filtrelor rapide cu straturi multiple	Teză de doctorat
-----	--	------------------

Obiectivele urmărite în cadrul cercetării efectuate sunt:

- alegerea maselor filtrante din materiale omogene și neomogene;
- amplificarea capacității de reținere a mediilor filtrante;
- majorarea ciclurilor de filtrare;
- mărirea vitezelor de filtrare sub limita apariției fenomenului de fluidizare;
- reducerea prețului de cost pentru apa filtrată;
- realizarea unei exploatare simple și cu costuri reduse;
- optimizarea exploatareii filtrelor rapide ascendente în funcție de mărimea turbidității și a pierderilor de sarcină în condițiile unor cicluri de filtrare prelungite.

Cap. 1	Introducere	10
--------	-------------	----

CAP. 2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL FILTRĂRII APEI

2.1. Evoluția instalațiilor de filtrare

Filtrarea este un proces prin care materiile aflate în stare de suspensie în lichide sunt separate prin trecerea amestecului printr-un material poros (filtrant) care reține materiile organice și anorganice lăsând să treacă lichidul curat, denumit filtrat. [138] [143] [149] [158]

Filtrarea apei se practică din cele mai vechi timpuri.

În anul 1627, au fost publicate experiențele englezului Francis Bacon privind purificarea apei utilizând filtrarea, fierberea, distilarea și limpezirea prin coagulare.

Fizicianul italian Luc Antonio Porzio, a scris o carte în anul 1685 privind utilizarea filtrelor de nisip și avantajele acestora asupra stării de sănătate a soldaților în campaniile din timpul războiului turco-austriac. [143]

În anul 1791, apare în Anglia, prima instalație pentru potabilizarea apei, când James Peacock obține un patent pentru limpezirea apei prin filtrare, instalații echipate cu strat de nisip. Pe baza acestui patent John Gibb construiește în anul 1804 primul filtru lent utilizat pentru limpezirea apei, după care în anul 1829 James Simpson construiește primul filtru rapid cu funcționare continuă. [143]

Primul patent de filtru rapid a fost înregistrat în anul 1880 de Hyatt.

La noi în țară, primele instalații de limpezire prin filtre lente de nisip, s-au construit în anul 1889 la stația de tratare Arcuda destinată potabilizării apei captată din râul Dâmbovița pentru localitatea București. [143] [158]

Dacă la început s-au utilizat filtrele lente, caracterizate prin viteze reduse de filtrare care ocupau suprafețe mari de teren, odată cu dezvoltarea industriei, cerințele de apă au sporit, fapt ce a determinat

perfecționarea tehnicii de filtrare trecându-se astfel la utilizarea filtrării rapide și chiar a celei ultrarapide. [96] [143] [158]

Utilizarea tot mai largă pe care au căpătat-o filtrele rapide în tehnica sanitară a condus la efectuarea de studii și cercetări pe instalații de laborator sau direct pe filtre uzinale.

Astfel, în anul 1935, Eliassen studiază teoretic și experimental procesele de separare a suspensiilor din apă prin filtrele rapide echipate cu nisip. [27] [28]

În anul 1937, Iwasaki stabilește pentru prima dată legea care guvernează separarea suspensiilor din apă prin masele filtrante alcătuite din nisip. [54]

Cercetările din ultimii 60 de ani s-au ocupat, în mod deosebit de cunoașterea mecanismelor în cadrul procesului de filtrare a apei, elaborarea unor modele matematice care să descrie procesele de separare a suspensiilor din apă de limpezit, alegerea materialelor filtrante, stabilirea mărimii vitezelor de filtrare și a modul de spălare a filtrelor rapide, astfel încât prin aceste instalații să se obțină [143] cantități cât mai mari de apă, dar și de foarte bună calitate. [29] [39] [56] [57] [58] [60] [83] [96] [127] [145] [152] [162]

La filtrarea rapidă, de tip clasic, descendentă, suspensiile din apă supusă filtrării sunt reținute în cea mai mare parte de straturile superioare, ceea ce face ca într-o perioadă scurtă de timp, porii materialului filtrant, să ajungă la limita de colmatare cu mult înainte ca masa filtrantă să fie utilizată la întreaga sa capacitate. [170] [171]

Pentru eliminarea acestui neajuns s-au studiat procesele de limpezire prin utilizarea de mase filtrante constituite din straturi multiple neomogene la care granulele materialului filtrant aveau dimensiunile descrescătoare după direcția descendentă a curentului de curgere, sau prin utilizarea filtrării ascendente în cazul materialelor cu structură omogenă dar cu

granule având dimensiunile descrescătoare după direcția ascendentă a curentului de curgere. [38] [112] [114] [115] [123] [143] [154]

S-au experimentat o serie de filtre având masa filtrantă alcătuită din materiale cu diametre descrescătoare, dar cu densități crescătoare după direcția ascendentă a apei de limpezit. Pentru realizarea acestui deziderat materialele filtrante alcătuite pentru acest scop au fost alcătuite din cocs (antracit) și nisip respectiv din polistiren, antracit, nisip, granat și magnetit.

Acest gen de filtrare nu s-a putut extinde din cauza greutateilor intervenite în procurarea unor astfel de materiale, a costului lor ridicat și a neajunsurilor care pot interveni în exploatarea unor astfel de instalații, determinate în deosebi de pierderea prin spălare a materialelor filtrante mai ușoare de la suprafața filtrului.

Cu toate acestea, filtrarea descendentă prin două straturi cu materiale de granulații și densități diferite (antracit și nisip) și-a găsit un domeniu larg de aplicabilitate la obținerea de apă potabilă sau industrială. [152] [153]

Pentru o utilizare mai rațională a capacităților de reținere a mediilor filtrante s-au folosit instalații de filtrare cu dublu curent, la care se combină filtrarea descendentă cu cea ascendentă. [66] [73] [143] [157] [158]

2.2. Clasificarea instalațiilor de filtrare

Instalațiile de filtrare se pot clasifica în funcție de o multitudine de criterii: [51] [85] [86] [91] [126] [143] [158] [162]

1. După destinația filtrului [5] [6]:

- filtre pentru reținerea materiilor grosiere și a microorganismelor (site, site rotative, microsite);
- filtre pentru eliminarea unor cantități relativ mici de impurități solide sau coloidale aflate în stare de suspensie (membranele și microfiltrele);

- filtre pentru corectarea unor indicatori calitativi de natură fizico-chimică ai apelor în cadrul proceselor de deferizare, demanganizare, demineralizare sau pentru corectarea gustului și mirosului;

- filtre pentru reținerea fazei solide folosindu-se filtrarea prin turte.

2. După modul de funcționare [10] [52] [98] [99]:

- filtre gravitaționale descendente deschise cu nivel liber;

- filtre sub presiune echipate cu nisip, cu cărbune activ, cu cartușe filtrante, cu prestrat, cu țesături și filtrele presă;

- filtre cu vid (filtrele cu tambur rotativ, cu discuri, cu bandă);

- filtre centrifuge pentru deshidratarea nămolurilor;

- filtre cu funcționare discontinuă sau cu funcționare continuă.

3. După locul ocupat de filtru în ansamblu schemei tehnologice [41] [42]:

- filtre pentru prelimpezire;

- filtre ca treaptă unică de tratare;

- filtre ca treaptă intermediară de tratare;

- filtre ca treaptă finală de tratare;

- filtre ca procedee auxiliare de deshidratare nămolurilor.

4. După caracteristicile stratului filtrant [71] [72]:

- filtre granulare cu straturi multiple (nisip, antracit, granat, magnetită, polistiren etc.);

- filtre cu grătare sau cu site;

- filtre cu țesături textile sau din fire metalice;

- filtre cu materiale poroase;

- filtre cu materiale ajutătoare;

- filtre ca ansambluri de materiale combinate (cartușele filtrante, alcătuite din cărbune activ sau cărbune activ cu inserție de argint).

5. După modul de alcătuire al stratului filtrant:

- filtre cu strat unic;
- filtre cu dublu strat;
- filtre multistrat.

6. După sensul de curgere a apei:

- filtre descendente;
- filtre ascendente;
- filtre cu dublu sens;
- filtre radiale.

7. După mărimea vitezei de filtrare:

- filtre lente;
- filtre rapide;
- filtre ultrarapide.

8. După modul de alcătuire al filtrului [171] [178]:

- filtre deschise (cu nivel liber);
- filtre închise (sub presiune) orizontale sau verticale.

9. După modul de exploatare a filtrului:

9.1. Din punct de vedere al debitelor

- filtre cu debit constant;
- filtre cu debit variabil.

9.2. Din punct de vedere al nivelului apei

- filtru cu nivel constant;
- filtru cu nivel variabil.

9.3. Din punct de vedere al spălării filtrelor

- filtre cu spălare mecanică;
- filtre la care spălarea se face cu apă sau cu apă și aer;
- filtre la care spălarea se face cu apă și aer, suplimentată

de o agitare de suprafață sau în masa nisipului;

- filtre la care spălarea se face cu ejectore;

- filtre automate fără vane;
- filtre cu spălare continuă.

2.3. Cerințele proceselor de limpezire prin filtrarea rapidă

Studiile teoretice și cercetările experimentale, în cadrul proceselor de limpezire prin filtrarea rapidă urmăresc:

- mărirea capacității de reținere a stratelor filtrante;
- alegerea de materiale filtrante cu capacități absorbante ridicate, ieftine și ușor de procurat;
- creșterea vitezelor de filtrare în vederea majorării debitelor, fără a diminua calitatea efluentului;
- majorarea ciclurilor de filtrare la aceleași debite, dar fără a diminua calitatea efluentului;
- reducerea de exploatare a instalațiilor de filtrare;
- automatizarea instalațiilor de filtrare în vederea diminuării personalului și a cheltuielilor de exploatare;
- optimizarea proceselor de filtrare cu ajutorul instalațiilor de laborator și a celor pilot în vederea stabilirii parametrilor determinanți care concură la o repartiție cât mai uniformă a încărcărilor și a pierderilor de sarcină în masele filtrante;
- îmbunătățirea metodelor de proiectare printr-o alegere judicioasă a vitezelor de filtrare, a granulometriei și a înălțimii mediului filtrant astfel încât cantitatea și calitatea livrată la consumator să fie cât mai mare și la limita de calitate impusă de consumator;
- îmbunătățirea proceselor de spălare prin utilizarea spălării cu ejectoare de mică și mare capacitate, prin contracurent cu apă sau cu apă și aer sau prin utilizarea spălării la vid;

- utilizarea micrositelor, a mediilor filtrante formate din două sau mai multe straturi;
- alegerea pe baza unor criterii de ordin economic și funcțional a modului în care să funcționeze instalațiile de filtrare rapidă (cu debit constant sau cu debit variabil);
- elaborarea teoriilor de filtrare în vederea stabilirii criteriilor optime de proiectare și exploatare.

2.4. Concepte matematice utilizate în dezvoltarea proceselor de filtrare rapidă

Cercetările teoretice cât și cele experimentale întreprinse în domeniul filtrării rapide în ultimii 100 de ani, nu au reușit să dezvolte o teorie generală care să țină cont de influența tuturor factorilor din cadrul procesului de separare a suspensiilor din apă.

Pentru stabilirea parametrilor optimi care intervin în procesul de separare a suspensiilor din apă, este necesară cunoașterea intimă a tuturor fenomenelor care intervin la trecerea apei printr-un mediu apos.

Dacă se cunosc mecanismele care concură la procesul de limpezire se pot stabili vitezele optime de filtrare, grosimea și granulometria mediilor filtrante precum și dozele de reactivi, astfel încât durata de funcționare a filtrelor între două spălări să fie cât mai mare. [47] [48] [49]

Pentru descrierea completă a fenomenelor care intervin în desfășurarea procesului de filtrare rapidă este necesar să se considere simultan atât factorii de ordin fizic cât și a celor de ordin chimic.

Separarea particulelor în suspensie din apa de limpezit, după Eliassen [27] [28] este dată de:

- a. filtrarea mecanică și probabilitatea de contact;

- b. sedimentarea particulelor;
- c. adsorbția chimică prin reacție și prin interacțiuni;
- d. adsorbție fizică prin forțe electrocinetice și prin forțe moleculare;
- e. efectele adeziunii,
- f. acțiunea biologică,
- g. efectele floculării.

Mecanismele care intervin la eliminarea din apă a particulelor în suspensie sunt dependente de:

- densitatea mediului filtrant;
- granulometria mediului filtrant;
- grosimea mediului filtrant;
- viteza de filtrare;
- coloana de apă de deasupra mediului filtrant;
- concentrația particulelor în suspensie din apa brută;
- temperatura, densitatea și vâscozitatea fluidului.

Majoritatea cercetărilor consideră fenomenul de separare al suspensiilor din apa tratată pentru folosințe potabile, ca un proces fizico-chimic de aderență a particulelor, de suprafața granulelor mediului filtrant cât și de suprafața particulelor reținute anterior. [11] [14] [15] [17] [23] [24] [25] [35] [45] [59] [87] [118] [120] [130]

Din cercetările experimentale s-a constatat că granulele de cuarț sunt încărcate cu sarcini electro-negative, dar efectul acestui potențial electrostatic este redus de aderența flocoanelor de aluminiu sau fier. Dacă particulele au suficientă energie cinetică, atunci ele vor fi puternic atrase de suprafața granulelor.

Particulele astfel fixate pe suprafața granulelor vor crea un mediu de potențiale asemănătoare și ca urmare restul particulelor din apă nu pot să mai fie interceptate. Această situație marchează bariera de energie și va conduce la o filtrare de proastă calitate. [96] [130] [143]

Procesul de separare se poate accelera prin introducerea în apa de limpezit a unor reactivi de coagulare și alcalinizare.

Mackrle [78] [79] [80], consideră că adeziunea particulei în suspensie de suprafața mediului filtrant este controlată de forțele Van der Waals, iar forțele electrostatice le consideră neglijabile.

Lerk [74], consideră că dacă particulele în suspensie sunt foarte mici în comparație cu dimensiunile porilor, acțiunea de separare nu poate fi explicată decât prin prisma acțiunii electro-cinetice.

Mintz [90] [91] [92] [93], arată că adeziunea particulelor în suspensie de suprafața granulelor mediului filtrant și a particulelor reținute anterior este un proces de coagulare-floculare. Atracția și respingerea particulelor în suspensie de granulele mediului filtrant este identică cu interacțiunea particulelor dintr-o soluție de suspensii coloidale. Intensitatea adeziunii depinde de doza de coagulant în apă.

În cele din urmă, s-a căzut de acord că îndepărtarea particulelor din apa care traversează filtrul se datorește mecanismelor de transport, fixare și detașare.

2.5. Mecanismele proceselor de limpezire în filtrarea rapidă

Filtrarea este un fenomen deosebit de complex, condiționat de un important număr de parametri de natură fizico-chimică și biologică, determinați de caracteristicile apei de limpezit, de structura mediului filtrant, precum și de condițiile de ansamblu ale desfășurării procesului de limpezire. Complexitatea fenomenului a condus totuși la găsirea unui punct de vedere unanim acceptat, legat de faptul că reținerea suspensiilor din apă, este un proces de natură fizico-chimică. [124] [130] [133]

În general, teoriile filtrării care s-au dezvoltat până în prezent sunt clasificate în funcție de natura și mărimea parametrilor determinanți care

intervin în desfășurarea acestui proces. Se amintesc astfel, teoriile fizice ale filtrării, care pun în evidență performanțele procesului de limpezire în funcție de caracteristicile stratului filtrant și ale suspensiilor ce urmează a fi separate în raport cu metoda de filtrare folosită. În cadrul teoriilor fizico-chimice, se consideră ca mărimi determinante, caracteristicile chimice ale fazei apoase precum și caracteristicile fizice ale particulelor aflate în stare de suspensie și cele ale granulelor mediului filtrant.

Majoritatea cercetărilor sunt de acord că reținerea particulelor din apă este datorată efectului simultan a două mecanisme principale (transport și fixare):

- mecanismul transportului particulelor prin interspațiile intergranulare cu sau fără depozite pe suprafața granulelor ;
- mecanismul fixării sau reținerii particulelor pe suprafețele granulelor sau în porii materialului filtrant aduse prin efectul mecanismului de transport.

Există și un al treilea mecanism, de detașare sau de desprindere, care intervine după mecanismele de transport și de fixare, ca urmare a reducerii porozității și a creșterii vitezelor interstițiale ceea ce face ca o parte din particulele reținute să fie detașate sub efectul mecanismului de transport pentru a fi conduse către stratele inferioare, proces care se continuă succesiv până la ieșirea din ultima pătură a stratului filtrant. În cazul în care concentrația particulelor detașate depășește limita de calitate, filtrul se oprește pentru a fi spălat. Particulele transportate sunt constituite, în cea mai mare parte din particulele inițiale existente în apa brută cât și din depozitele desprinse din materialul reținut.

Mecanismele de transport determină deplasarea particulelor din apa supusă limpezirii prin porii materialului filtrant astfel încât să se poată apropia de suprafața granulelor sau de depozite existente. Transportul particulelor este un proces de natură fizică și fiind determinat în principal,

de acei parametrii care guvernează transferul de masă.

Mecanismele de fixare sau de reținere fac ca particulele să adere la suprafața granulelor, atașarea particulei fiind deci, un proces mai mult de natură chimică, influențat atât de parametrii fizici cât și de cei chimici.

Mecanismele de detașare sau de desprindere contribuie la deplasarea unora din suspensiile reținute în porii sau pe suprafața granulelor mediului filtrant, mecanism caracteristic îndeosebi stadiului de colmatare.

2.5.1. Mecanismele de transport

Mecanismul transportului cuprinde fenomenele care fac ca particulele solide în suspensie, să fie scoase de pe firele curentului de apă pentru a fi aduse în imediata vecinătate a granulelor patului filtrant sau a depozitelor spre a permite astfel inițierea mecanismului de fixare. [4] [9] [13] [60] [84] [94] [142] [154]

Cercetările făcute au confirmat faptul că în condiții normale ale filtrării rapide, mărimea granulelor este cuprinsă între 0,2 și 3,0 mm, vitezele de filtrare sunt cuprinse între 5 și 15 m / h, la o temperatură a apei între 4 și 30 ° C, regimul de scurgere poate fi considerat laminar. Relația de legătură dintre pierderea de sarcină și viteza de filtrare este liniară, scurgerea este de tip Poiseuille, iar termenii inerțiali ai fluidului din ec. Navier Stokes fiind considerate neglijabili. În aceste condiții viteza fluidului este maximă în centrul porilor și este nulă la marginea acestora deci lângă suprafața granulelor patului filtrant, situație care impune apariția unor forțe care să scoată particulele din firul de curent și să le aducă în apropierea suprafeței granulelor, acolo unde viteza fluidului tinde spre zero și deci unde se creează condiții pentru realizarea mecanismelor de fixare a particulelor pe

suprafața granulelor materialului filtrant sau pe depozitele formate anterior. Aceste forțe sunt generate de fenomenele care caracterizează mecanismul de transport. În raport cu natura și dimensiunile suspensiilor formele de manifestare ale mecanismului transportului sunt atribuite unor procese fizice generate de: mișcările proprii ale particulelor (difuzia, inerția și sedimentarea) și de mișcarea generală a curentului (intercepția și efectele hidrodinamice). [20] [84] [96] [148]

2.5.1.1. Difuzia

Este determinată de energia termică a materialelor de apă care înconjoară particulele foarte fine de suspensii supunându-le la mișcări foarte neregulate. Această mișcare browniană poate să aducă particulele aflate în mișcare în proximitatea imediată a suprafeței granulelor.

Fenomenul este dependent de temperatura apei, diametrul granulelor mediului poros, de diametrul particulelor aflate în stare de difuzie, de viteza de filtrare cât și de temperatura absolută a apei, fiind caracterizat în mod global prin numărul lui Peclet: [60] [82]

$$P = \frac{v \cdot d}{D} \quad (2.1)$$

$$D = \frac{k \cdot T}{3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot \delta} \quad (2.2)$$

în care:

- v este viteza de filtrare;
- d - diametrul granulelor mediului filtrant;
- D - coeficientul de difuzie al particulei;
- k - constanta lui Boltzman;
- T - temperatura absolută a apei;

μ - coeficientul dinamic de vâscozitate al apei;

δ - diametrul particulelor.

.....

Fig. 2.1. Schema simplificată a mecanismului de transport, difuzia

Particulele suspensionale din apele supuse limpezirii fiind de natură argiloasă și coloidală sunt înconjurată de o peliculă absorbită care împreună cu particula formează un așa - numit miceliu. Particula de lichid absorbită este alcătuită din două straturi: primul strat este format din cationi iar cel de al doilea din anioni.

Formarea acestui strat dublu electric se datorește ionizării moleculelor de pe suprafața particulelor, reacției chimice directe cu ionii din soluție având drept rezultat formarea de legături chimice și a absorbției chimice a ionilor din soluția produsă de legarea hidrogenului sub efectul forțelor Van der Waals. Ionii stratului difuz fiind mai puțin legați, pot intra în reacții de schimb cu ionii care se găsesc în solvent. Se poate admite că reținerea particulelor poate avea loc și în cazul unui contact între particulele absorbite la suprafața granulelor mediului filtrant, alcătuit din nisip sau din alt material. [43] [62] [78] [79] [80]

În cazul în care o particulă aflată în stare de suspensie traversează mediul filtrant, se poate întâmpla ca între particulele absorbite să existe un contact intim care poate conduce la deformarea celor două pelicule. Distanța dintre centrele de greutate ale granulei de nisip și cele ale particulei se poate exprima sub forma:

$$A \leq \frac{d + \delta}{2} + a_R + a_r \quad (2.3)$$

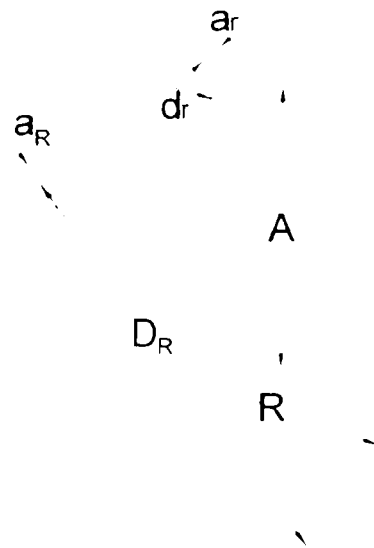


Fig. 2.2. Contactul dintre peliculele particulelor în suspensie și ale granulelor de nisip

Grosimile peliculei formată în jurul granulei de nisip fiind foarte mică în raport cu diametrul acesteia ($a_R \ll d$) se poate neglija, rezultând astfel condiția de reținere a particulei în suspensie la suprafața granulei:

$$d \geq 0,16 \cdot d - 2 a_r \quad (2.4)$$

Termenul a_R care intră în condiția de contact (relația 2.4), poate fi influențat de sărurile din apă, de compoziția mineralogică a granulelor mediului filtrant și a suspensiilor din apă ca factori de natură chimică, precum și de factorii hidrodinamici care contribuie la deformarea peliculelor de apă legată la suprafața granulelor, deformare ce s-a dovedit a fi proporțională cu viteza de filtrare.

În cadrul mediilor filtrante cu o granulație mai fină, posibilitatea de reținere este defavorizată de porozitatea mai redusă a acestuia, în schimb majoritatea vitezelor de filtrare contribuie la deformarea peliculelor de apă absorbite și deci la reducerea posibilităților de reținere. La filtrele cu granulație grosieră influența acestor factori este inversă.

Difuzia, ca fenomen în cadrul proceselor de limpezire, poate interveni numai în cazul în care diametrul particulelor $\delta < 1\mu$. [57] [59] [60] [96] [143]

2.5.1.2. Inerția

Este fenomenul care poate conduce la deplasarea particulelor în suspensie pe direcția inițială chiar dacă liniile de curent își schimbă direcția, permițând astfel acestor particule să ajungă în contact cu suprafața granulelor patului filtrant. Expresia parametrului inițial a fost stabilită de Ives sub forma:

$$M = \rho_p \cdot \frac{\delta^2 \cdot u_s}{9 \cdot \mu \cdot d} \quad (2.5)$$

unde:

ρ_p este masa specifică a particulei ;

u_s - viteza particulelor în suspensie care se deplasează într-un curent
cu viteza v ($u_s > v$);

δ - diametrul particulelor în suspensie;

μ - coeficient dinamic de vâscozitate a fluidului;

d - diametrul granulelor mediului filtrant.



Fig. 2.3. Schema simplificată a mecanismului de transport, inerția

Efectul inerției joacă un rol hotărâtor la filtrarea aerului în schimb, în cazul filtrării apei, datorită vâscozității, efectul acesteia este neglijabil. [39] [53] [59] [60]

2.5.1.3. Sedimentarea

Este mecanismul care afectează, în special, mișcarea particulelor cu diametre de peste 10μ și care se deplasează în câmpul gravitațional cu viteze reduse. Acest mecanism se poate exprima printr-o expresie de forma: [39] [53] [59] [60]

$$G = \frac{g \cdot (\rho_p - \rho) \cdot \delta^2}{18 \cdot \mu \cdot v} \quad (2.6)$$

unde:

- g este accelerația gravitațională;
- ρ_p - densitatea particulelor;
- ρ - masa specifică a fluidului;
- δ - diametrul particulei;
- μ - coeficient dinamic de vâscozitate a fluidului;
- v - viteza de filtrare.



Fig. 2.4. Schema simplificată a mecanismului de transport, sedimentarea

Sub influența acestui mecanism, aglomerarea particulelor se face în special pe suprafețele granulelor mediului filtrant. Majorarea vitezelor de filtrare conduce la valori mici ale parametrului de sedimentare și în consecință la obținerea unor randamente scăzute de filtrare.

2.5.1.4. Efectele hidrodinamice

Sunt determinate de forțele laterale rezultate prin compunerea translației și a rotației proprii a particulelor într-un câmp neuniform de viteze și accentuată datorită disimetriei și a deformabilității particulelor în suspensie. Sub acțiunea forțelor laterale, particulele în suspensie, tind să traverseze liniile de curent ajungând pe suprafața granulelor mediului filtrant unde se pot depune sub efectul forțelor de adeziune. În momentul în care starea de echilibru a suspensiilor depuse a ajuns la limita maximă, sub efectul forțelor hidrodinamice, suspensiile aflate în stare de mișcare pot antrena o parte din suspensiile depuse anterior conducându-le către stratele din adâncime sau direct în efluent. [40] [41] [42] [63] [76] [158]

Regimul de curgere este dat de mărimea numărului Reynolds exprimat prin:

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \quad (2.7)$$

unde:

ρ este densitatea fluidului

v - viteza de filtrare

d - diametrul echivalent al granulelor mediului filtrant

μ - coeficient dinamic de vâscozitate al fluidului



Fig. 2.5. Schema simplificată a mecanismului de transport, antrenarea hidrodinamică

2.5.2. Mecanismul de fixare

Mecanismul principal al întregului proces de limpezire îl reprezintă de fapt fixarea particulelor din suspensie pe suprafața granulelor stratului filtrant sau pe particule deja reținute.

Acest mecanism de adeziune este considerat ca fiind un proces de natură fizico - chimică, proces specific fenomenelor de suprafață ce au loc la contactul particulelor de suspensii și granulele mediului filtrant.

2.5.2.1. Fenomenul de sită

Constă din reținerea pe suprafața mediilor filtrante a particulelor în suspensie care au diametre mai mari decât cel al porilor mediului filtrant. În acest caz pe suprafața filtrului se formează un strat de depuneri care împreună cu materialul filtrant poate asigura un anumit grad de limpezire. Ca urmare a acestui efect, pierderile de sarcină au creșteri exponențiale în timp. Acest fenomen se manifestă cu efecte benefice, îndeosebi în cazul filtrării lente.

2.5.2.2. Adsorbția

Poate fi de natură chimică sau fizică. Adsorbția chimică intervine numai în cazul mediilor cu un conținut apreciat de săruri iar adsorbția fizică este atribuită forțelor electrocinetice și forțelor de interacțiune moleculară (fig. 2.6)

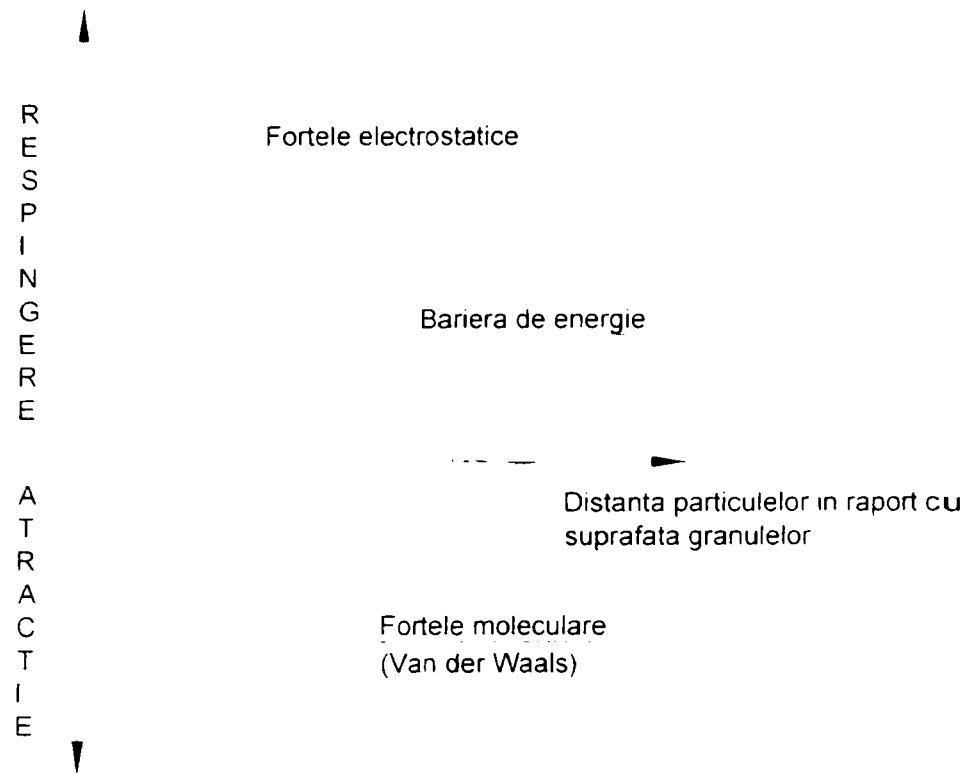


Fig. 2.6. Diagrama forțelor de suprafață dintre granula de nisip și particula în suspensie

Atât particulele în suspensie cât și granulele mediului filtrant fiind încărcate cu sarcini electro - negative, pentru particule cu potențiale ridicate și situate la distanțe mai mari de granulele mediului filtrant, apare forța electrostatică de respingere. Pentru învingerea barierei energetice și realizarea fixării este necesar ca particulele să dispună de o energie suplimentară cauzată de unul din mecanismele de transport, care să le aducă în apropierea granulelor, pentru ca forțele de atracție moleculară să poată acționa, sau ca energia potențială a particulelor să fie foarte mică în comparație cu energia potențială a granulelor pentru a se putea genera forța de atracție.

Mackrle atribuie mecanismul de fixare, în special, interacțiunii forțelor moleculare Van der Waals. Efectele mecanismelor de fixare sunt

accelerate atunci când apa de limpezit conține săruri dizolvate sau când în ea se introduc reactivi de coagulare și de alcalinizare. [60] [78] [79] [80] [81] [151]

2.5.2.3 Intercepția

O particulă în suspensie de diametru δ care se deplasează după direcția liniilor de curent, va atinge suprafața granulelor mediului filtrant numai dacă distanța la care se găsește particula este mai mică decât $\delta / 2$.

Efectul interceptor este dependent de forma și dimensiunea particulelor și independent de masa sau densitatea acestora, putându-se exprima prin raportul dintre diametrul particulelor (δ) și diametrul granulelor (d) printr-o relație de forma:

$$I = \frac{\delta}{d} \quad (2.8)$$



Fig. 2.7. Schema simplificată a mecanismului de transport, intercepția

2.5.3. Mecanismele de detașarea (desprindere)

Mecanismele de detașare sau de desprindere, includ acele fenomene care conduc la antrenarea depozitelor reținute pe suprafața granulelor de la un strat la altul sau chiar direct în efluent. Acest concept a fost observat și avansat pentru prima dată de către cercetătorul Mintz [90] [91] [92] [93]. În

timpul filtrării apei, concentrația de particule în suspensie se schimbă atât pe adâncimea stratului filtrant, fiecare strat elementar al patului filtrant contribuind astfel la creșterea capacității de reținere până la limita de saturație, după care, sub efectul mecanismelor de detașare calitatea filtratului se diminuează, efect ce se resimte prin creșterea turbidității apei filtrate. În momentul în care turbiditatea apei filtrate a depășit limita admisă de cerințele utilizatorului, filtrul se oprește pentru a fi supus spălării.

Scăderea în timp a capacității de reținere a straturilor patului filtrant, este cauzată de acumularea depozitelor pe suprafața granulelor cât și în porii materialului granular, dar modul în care aceste acumulări acționează asupra diminuării eficienței, este explicat în mod diferit de cercetătorii care au studiat acest proces. Ives [57] și Mackrle [79] [80] asociază reducerea capacității de reținere a apei filtrante schimbărilor cauzate de materialele depozitate care modifică structura geometrică a mediului poros, măbind astfel vitezele interstițiale ale curentului de apă prin pori și la micșorarea suprafeței specifice. Un alt grup de cercetători, în frunte cu Mintz, [92] [93] consideră că reducerea capacității de reținere este datorată schimbărilor condițiilor dinamice ale filtrării și consideră că rezistența mecanică a depozitelor joacă un rol diferit.

Depozitele acumulate pe grosimea mediului filtrant se consideră că au o structură foarte neuniformă astfel încât depozitele care se acumulează devin instabile, structura lor fiind parțial distrusă iar o parte din ele fiind detașate de pe granule sub influența efectelor hidrodinamice ale curentului de apă, transmise din aproape în apropiere straturilor următoare, iar după epuizarea capacității de reținere a stratului filtrant ele se vor regăsi în efluentul final în concentrații din ce în ce mai mari, care pot depăși limitele admise de normele de calitate. După Mintz efectul de limpezire poate fi considerat ca fiind rezultatul a două procese opuse și distincte: reținerea particulelor din apă prin fixarea acestora pe suprafața granulelor sub

acțiunea mecanismului de fixare și apoi desprinderea acestora de pe particulele aderate anterior și returnarea lor în curentul de apă. Acest concept presupune prezența unor mecanisme simultane de fixare ca apoi să se poată produce detașarea sau desprinderea. Teoria dezvoltată de Mintz și-a dovedit valabilitatea în cel de al treilea stadiu de încărcare a mediului filtrant.

2.5.4 . Efectele combinate ale mecanismelor de filtrare

Transportul particulelor în suspensie este un proces fizic hidraulic, afectat de acei parametri care guvernează transferul de masă. Prin cercetarea parametrilor care generează transferul de masă se pot obține date interesante pentru explicarea mecanismelor de transport și de fixare din filtrarea apei.

Friedlander [39] cercetând filtrarea aerosolilor prin medii poroase, a reușit ca în cazul unor viteze reduse de filtrare, să corecteze datele experimentale cu ipotezele teoretice stabilind o relație pentru determinarea eficienței de reținere sub forma:

$$E = 6 \cdot P^{-\frac{2}{3}} \cdot R_c^{-\frac{1}{6}} + 3 \cdot I^2 \cdot R_c^{-\frac{1}{2}} \quad (2.9)$$

Primul termen din această relație reprezintă eficiența de contact pentru particulele fine ($\delta < 1\mu$) controlată de difuzia moleculară (P), iar cel de-al doilea termen reprezintă eficiența de contact controlată de interceptia directă (I). În acest caz, impactul inerțial (M) și sedimentarea particulelor (G) nu sunt considerate.

Dacă numărul Peclet, $P \gg 1$, se presupune că forțele convective care controlează transportul sunt mult prea mari în comparație cu difuzia moleculară. Difuzia moleculară, se consideră predominantă în straturile marginale ale fibrei și controlează viteza de transfer.

Dacă $P < 1$, distribuția vitezelor se face după modelul propus de Lamb privind scurgerea unui fluid vâscos în jurul unui cilindru.

Dacă în relația (9), se introduc valorile cunoscute ale parametrilor I , P și R_e se obține eficiența de reținere a unei singure fibre sub forma:

$$E = \frac{1.34 \cdot k^2 \cdot T^2 \cdot \rho^1}{\mu^2 \cdot \delta^3 \cdot d_c^2 \cdot v^2} + \frac{3 \cdot \delta^2 \cdot \rho^1 \cdot v^2}{d_c^2 \cdot \mu^2} \quad (2.10)$$

Prin diferențierea acestei relații în raport cu diametrul particulei δ și egalând-o cu zero, se obține diametrul particulei cu eficiența de contact minimă:

$$\delta_m = 0.489 \cdot \frac{(k \cdot T)^1}{(\rho \cdot \mu)^1} \cdot \left(\frac{d_c}{v} \right)^3 \quad (2.11)$$

Aceste relații nu se pot aplica direct la filtrarea apei, deoarece granulele de nisip nu seamănă ca formă cu fibrele cilindrice. porozitatea fibrelor de pâslă este în jur de 0,9 iar nisipul cuarțos în jur de 0,4. Modelul propus de Friedlander nu face decât să lămurească mecanismele de transport care apar în filtrarea apei.

În baza cercetărilor întreprinse de O'Melia și Stumm [118] s-a ajuns la concluzia că eficiența minimă de contact se obține pentru particule cu diametre de aproximativ 3μ . Eficiența reținerii și modificările calitative într-un mediu filtrant fibros de grosime L , se poate exprima după O'Melia și Stumm printr-o relație de forma:

$$E = \frac{\pi \cdot d_c}{4 \cdot (1-p) \cdot L} \cdot \ln \frac{c_0}{c} \quad (2.12)$$

unde:

c_0 este concentrația suspensiilor de la intrarea din filtru;

c - concentrația suspensiilor de la ieșirea din filtru;

p - porozitatea mediului fibros;

d_c - diametrul colectoarelor cilindrice.

din care rezultă:

$$\ln \frac{c_0}{c} = \frac{4 \cdot (1-p)}{\pi \cdot d_c} \cdot E \cdot L \quad (2.13)$$

și parametrul filtrării:

$$\lambda = \frac{4 \cdot (1-p)}{\pi \cdot d_c} \cdot E \quad (2.14)$$

Expresia generală pentru determinarea coeficientului de rezistență al filtrului λ este:

$$\lambda = \frac{1.71 \cdot (1-p) \cdot k^2 \cdot T^2}{\delta^3 \cdot \mu^6 \cdot d_c^2 \cdot v^2} + \frac{3.82 \cdot (1-p) \cdot \delta^2 \cdot \rho^2 \cdot v^2}{\mu^2 \cdot d_c^2} \quad (2.15)$$

Parametrul filtrării variază direct proporțional cu $d_c^{3/2}$ și $v^{1/2}$ în cazul difuziei și cu $d_c^{5/2}$ și $v^{1/2}$ în cazul interceptiei directe. Cu alte cuvinte, pentru cazul filtrării unor suspensii neomogene unde contactele sunt produse prin difuzie și interceptia directă, nu poate exista o proporționalitate între eficiența de contact, mărimea granulelor mediului filtrant și viteza de filtrare.

Căutând eficiența filtrării în funcție de mărimea particulelor în suspensie se constată că parametrul filtrării este proporțional cu $\delta^{2/3}$ în cazul difuziei și cu δ^2 în cazul interceptiei directe. Mărimea particulelor în suspensie influențează direct eficiența filtrării și în consecință tratamentul preliminar al apei trebuie făcut cu foarte mare grijă.

Yao [161], în cercetările sale a extins acești parametri pentru a include și efectul mecansimului de sedimentare G , găsind astfel un minim al eficienței pentru particulele la care $\delta < 2\mu$, iar parametrul λ se propune a se determina cu o relație de forma:

$$\lambda = \text{const} \cdot \delta^n \quad (2.16)$$

unde: $n = -0,5 \dots 1,6$

Rezultatele experimentale ale lui Scholji [150], cu suspensii de microsferă de policlorură de vinil având diametrul particulelor $\delta = (0,1 \div 0,3)$

μ trecute printr-o masă filtrantă de nisip cu granulație uniformă, au scos în evidență dependența parametrului λ de viteza de filtrare v și de coeficientul dinamic de vâscozitate μ :

$$\lambda = \text{const} \cdot \frac{1}{\mu^2 \cdot v} \quad (2.17)$$

În cazul cel mai general, cu considerarea tuturor mecanismelor de transport și de fixare, parametrul filtrării se poate exprima printr-o relație de forma:

$$\lambda = f(I, P, M, G, R_e) \quad (2.18)$$

Pe baza acestor observații, eficiența procesului de filtrare depinde de simultaneitatea mecanismelor de transport și de fixare, de natura și mărimea particulelor aflate în stare de suspensie, de modul în care sunt echipate și exploatate filtrele.

2.6. Stadiile caracteristice ale ciclurilor de filtrare

Din cercetările efectuate până în prezent pe instalații de laborator sau pe filtre uzinale, s-a constatat că în prima parte a desfășurării ciclului de filtrare, turbiditatea efluentului se reduce treptat până la o valoare constantă, care se menține constantă în perioada de regim după care aceasta începe să crească, depășind la un moment dat, limita maximă de calitate impusă de consumator. [50] [61] [75] [95] [96] [155]

Pentru a evidenția acest fenomen s-a considerat un filtru rapid echipat cu nisip de cuarț de granulație constantă d și de grosime L , prin care se scurge de sus în jos un curent de apă de concentrație inițială C_0 . [96]

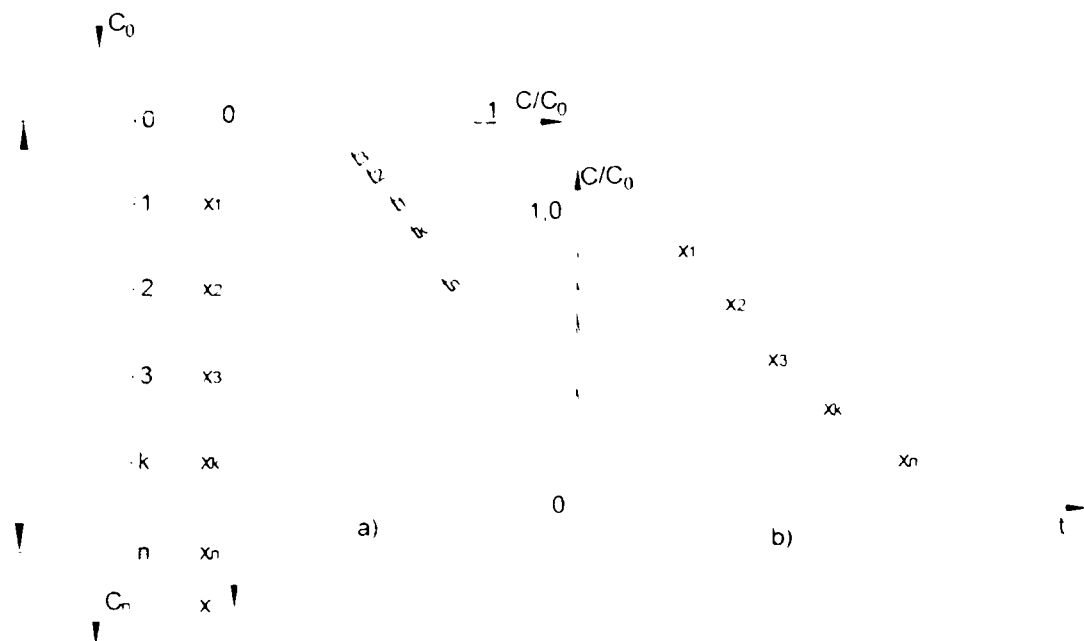


Fig. 2.8. Modificările calitative ale efluentului pe grosimea stratului filtrant de-a lungul ciclurilor de filtrare

Modificările calitative ale efluentului pe grosimea patului filtrant, la diferite momente ale ciclului de filtrare, sunt redată în fig. 2.8. a, iar în fig. 2.8. b sunt reprezentate modificările calitative ale efluentului în raport cu timpul de filtrare la nivelul diferitelor grosimi ale masei filtrante.

La începutul procesului de filtrare, pierderea de sarcină este H_0 , iar pe durata desfășurării filtrării, liniile de presiune se deformează ajungând să atingă valoarea presiunii atmosferice. În momentul în care mărimea pierderilor de sarcină devine egală cu presiunea atmosferică, filtrul se scoate din funcțiune pentru a se spăla. Pentru presiuni mai mici decât presiunea atmosferică, apar dificultăți în exploatarea filtrelor datorită gazelor care se separă din apă, mărind astfel rezistența hidraulică a filtrului. [37] [89] [90] [94] [126] [158]

Reprezentarea variației presiunilor într-un filtru rapid pe parcursul unui ciclu de filtrare este redată în fig. 2.9.

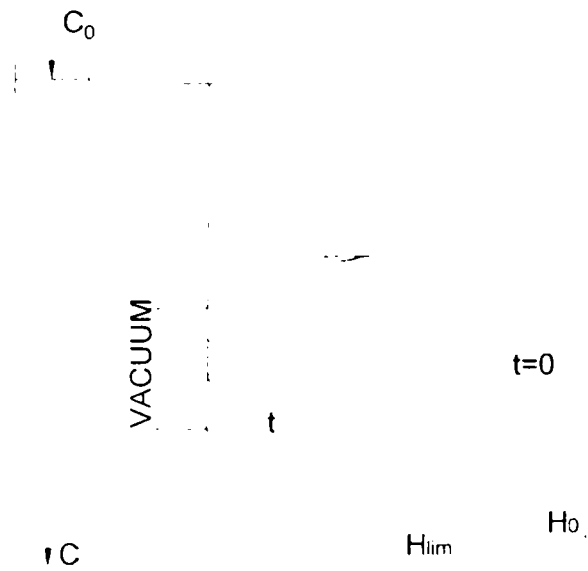


Fig. 2.9. Variația presiunilor pe parcursul unui ciclu de filtrare

Domeniile caracteristice unui ciclurilor de filtrare sunt redată în fig. 2.10, două alternative distincte: pentru funcția generală de separare $F(x)$, respectiv pentru funcția optimizată de separare $F(x_{opt.})$. [96]

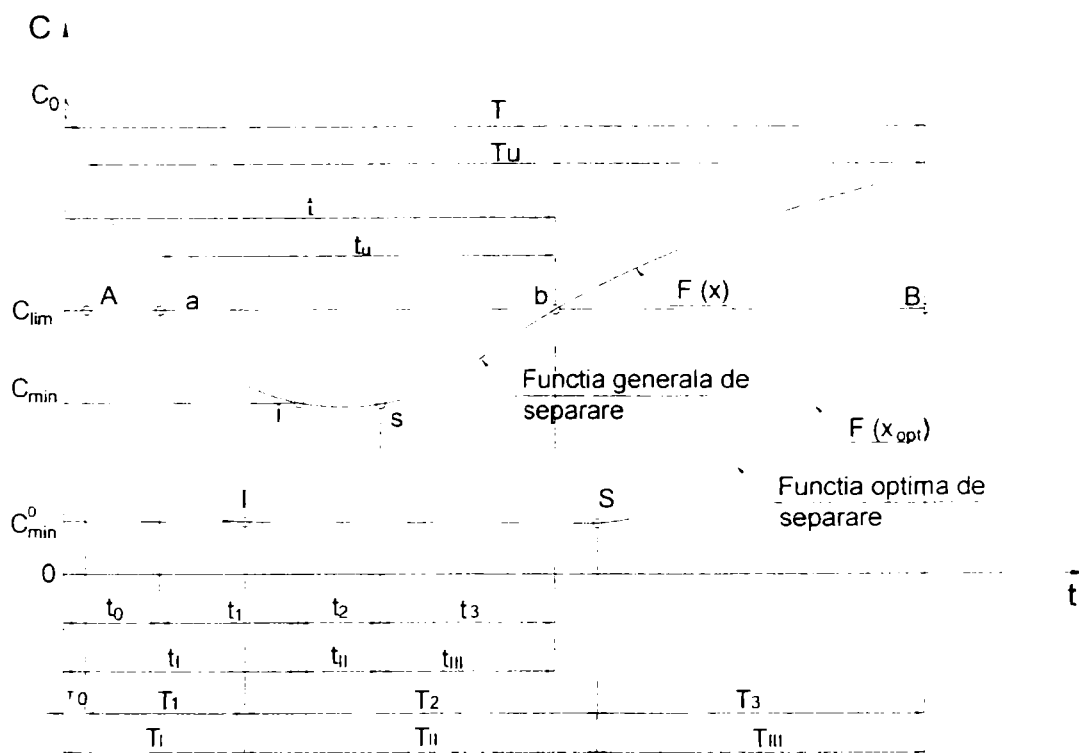


Fig. 2.10. Domeniile caracteristice unui anumit ciclu de filtrare, în situația generală și cea optimă de filtrare

Pentru a defini momentele caracteristice ciclului de filtrare, se introduc următoarele notații:

t_0 – perioada de timp în care concentrația suspensiilor din efluent scade de la C_0 la $C = C_{lim.}$ (punctul a), filtrat care de regulă se descarcă la canalizare;

t_1 - perioada de timp în care concentrația efluentului C , scade din punctul a de la $C_{lim.}$, până în punctul i, la o valoare $C = C_{min.}$;

t_2 - perioada de timp în care concentrația efluentului se menține constantă și egală cu $C_{min.}$ (punctele de la i la s);

t_3 - perioada de timp de la care concentrația efluentului crește de la $C_{min.}$, din nou la $C_{lim.}$ (punctele de la s la b);

t_u - ciclul util de filtrare; $t_u = t_1 + t_2 + t_3$

t - ciclul maxim de filtrare sau timpul necesar de funcționare între două spălări.

Pentru a putea stabili o teorie generală este necesar să se definească următoarele stadii caracteristice:

- Stadiul I, caracteristic perioadei inițiale de încărcare (C_0 , a, i);
- Stadiul II, caracteristic perioadei de regim (i-s);
- Stadiul III, caracteristic perioadei de colmatare (s-b).

2.6.1. Stadiul I – Perioada inițială de reținere

Perioada inițială de reținere, este intervalul de timp necesar filtrului de a reduce concentrația efluentului de la valoarea inițială C_0 la $C_{min.}$

În acest caz:

$$t_l = t_0 + t_1 \quad \text{sau} \quad T_1 = T_0 + T_1 \quad (2.19)$$

$$\text{unde: } C = C_0 \text{ atunci } t_l = 0 \quad (2.20)$$

$$C = C_{lim.} \text{ atunci } t_l = t_0 \quad (2.21)$$

$$C = C_{min.} \text{ atunci } t_l = t_0 + t_1 \quad (2.22)$$

Perioada inițială de reținere constituie treapta prin care se realizează amorsarea filtrului, influențând sensibil desfășurarea în continuare a procesului.

Efluentul obținut în primele 15+20 minute fiind de proastă calitate se evacuează de obicei la rețeaua de canalizare.

2.6.2. Stadiul II – Perioada de regim

Perioada de regim este intervalul de timp în care concentrația efluentului se menține constantă la o valoare $C = C_{\min.}$.

În acest caz:

$$t_{II} = t_2 \quad (2.23)$$

În mod obișnuit acest stadiu poate atinge o durată de 1 la 2 zile și numai în cazuri excepționale la 6-7 zile.

2.6.3. Stadiul III – Perioada de colmatare

Perioada de colmatare este intervalul de timp în care concentrația efluentului C crește de la $C_{\min.}$ la $C_{\lim.}$. Suspensiile reținute, la început în stratele superioare, sub efectul mecanismelor de transport se deplasează către stratele inferioare, ca apoi să fie transferate efluentului.

În acest caz:

$$t_{III} = t_3 \quad (2.24)$$

De cele mai multe ori, acest stadiu nu se utilizează la întreaga sa capacitate. Filtrul se scoate din funcțiune pentru a fi spălat în momentul în care a fost atinsă pierderea de sarcină maximă. Uneori spălarea începe chiar din stadiu II, eliminându-se funcționarea filtrului în stadiul III.

2.7. Modele matematice utilizate în filtrarea rapidă

2.7.1. Ecuațiile generale ale mișcării fluidelor în medii poroase

Se stabilesc pornind de la ecuațiile generale ale mișcării fluidelor reale. [13] [20] [36] [84] Dacă se face abstracție de forțele de vâscozitate, parametrii mișcării rezultă din rezolvarea sistemului neliniar:

- ec. Navier - Stokes
- ec. de continuitate
- ec. de stare fizică

$$\bar{F} - \frac{1}{\rho} \cdot \text{grad } p = \frac{d\bar{v}}{dt}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot \bar{v}) = 0 \quad (2.25; 2.26; 2.27)$$

$$f(\rho, p, T) = 0$$

în care:

- \bar{F} este forța masică unitară;
- p - presiunea fluidului normală;
- T - temperatura fluidului;
- \bar{v} - viteza aparentă de filtrare.

În cazul mișcării nepermanente, pentru un fluid incompresibil, omogen și izotrop la care densitatea fluidului se consideră constantă ($\rho_0 = \text{const.}$), ecuația de continuitate devine:

$$\text{div } \bar{v} = 0 \quad (2.28)$$

Neglijând forțele de inerție în raport cu cele masice și de frecare, în ipoteza că viteza derivă dintr-o funcție de potențial φ , rezultă ecuația dinamică a mișcării cunoscută sub numele de legea lui Darcy:

$$\bar{v} = -k \cdot \text{grad} \cdot h \quad (2.29)$$

în care:

- k este coeficientul de filtrație;

h - presiunea dinamică.

În general mișcarea apei printr-un mediu poros se caracterizează prin coeficientul de permeabilitate k_p și coeficientul de filtrație k . Legătura dintre acești coeficienți se exprimă printr-o relație de forma:

$$k = \frac{k_p \cdot g}{\nu} = \frac{k_p \cdot \gamma}{\mu} \quad (2.30)$$

în care:

ν este coeficientul cinematic de vâscozitate;

μ - coeficient dinamic de vâscozitate;

g - accelerația gravitațională;

γ - greutatea specifică.

Expresia vitezei aparente de filtrație se obține introducând expresia coeficientului de filtrație k în relația $\text{div } \bar{v} = 0$:

$$\bar{v} = -\frac{k_p}{\mu} \cdot \text{grad } P \quad (2.31)$$

pentru $k = \text{const.}$ și $\varphi = -k \cdot h + c$

$$\Delta\varphi = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} \quad (2.32; 2.33)$$

$$\Delta h = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2}$$

Dacă viteza \bar{v} derivă dintr-o funcție de potențial, funcțiile $\Delta\varphi$ și Δh sunt funcții armonice și în consecință satisfac ecuația lui Laplace.

Considerând un mediu poros, de suprafață unitară, alcătuit dintr-un fascicol de capilare sinuoase de secțiune circulară, a căror direcție este paralelă cu viteza de filtrare, porozitatea mediului se exprimă sub forma:

$$p = \pi \cdot r^2 \cdot N \cdot \xi = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} \cdot N \cdot \xi \quad (2.34)$$

UPT	Contribuții la studiul proceselor de limpezire prin utilizarea filtrelor rapide cu straturi multiple	Teză de doctorat
-----	--	------------------

în care:

r este raza capilară;

d_c - diametrul capilar;

N - numărul de capilare;

$\xi = \frac{l}{L}$ - coeficient de sinuozitate.

În cazul scurgerii de tip Poiseuille, debitul volumetric al unui capilar (q) se exprimă sub forma:

$$q = \frac{\pi}{8 \cdot \mu} \cdot \frac{\Delta p}{l} \cdot r^4 = \frac{\pi \cdot d_c^4}{128 \cdot \mu} \cdot \frac{\Delta p}{L} \quad (2.35)$$

Viteza medie de filtrație se exprimă sub forma:

$$v = N \cdot q = \frac{p}{8 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{r}{3}\right)^2 \cdot \frac{\Delta p}{L} = \frac{p \cdot d_c^2}{32 \cdot \mu \cdot \xi^2} \cdot \frac{\Delta p}{L} \quad (2.36; 2.37)$$

$$k = \frac{p}{8} \cdot \left(\frac{r}{3}\right)^2 = \frac{p}{32} \cdot \frac{d_c^2}{\xi^2}$$

Suprafața specifică a capilarelor se calculează cu relația:

$$S = 2\pi \cdot n \cdot \xi = \frac{2p}{r} = \frac{2p}{d_c} \cdot 2 = \frac{4p}{d_c} \quad (2.38)$$

Legătura dintre k , p și S este dată de relația:

$$k = \frac{p^3}{2\xi^2 \cdot S^2} \quad (2.39)$$

Expresia vitezei aparente de filtrație, în cazul scurgerii laminare este dată de relația Kozeny - Carman:

$$v = \frac{p^3}{2\mu \cdot \xi^2 \cdot S^2} \cdot \frac{\Delta p}{L} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{L} = k'_p \cdot \frac{\Delta H}{L} \quad (2.40)$$

2.7.2. Ecuațiile generale ale mișcării suspensiilor prin medii poroase

La trecerea unui fluid printr-un mediu poros, suspensiile din apă se

Cap. 2	Stadiul actual al cercetărilor în domeniul filtrării apei	42
--------	---	----

deplasează fie pe direcția liniilor de curent, fie pe traiectorii diferite.

Legile mișcării și separării suspensiilor din apă sunt determinate de: viteza fluidului, natura fluidului, mărimea, forma și natura suspensiei cât și a mediului filtrant. [96] [146]

Pentru stabilirea legii de mișcare a particulelor aflate în stare de suspensie conținute într-un fluid, se consideră mișcarea în jurul unui obstacol cilindric (fig. 2.11), la care traiectoriile de deplasare ale particulelor sunt diferite de cele ale liniilor de curent.

Se consideră că masa specifică a particulelor în suspensie ρ_s este mai mare ca masa specifică a fluidului ρ_f .

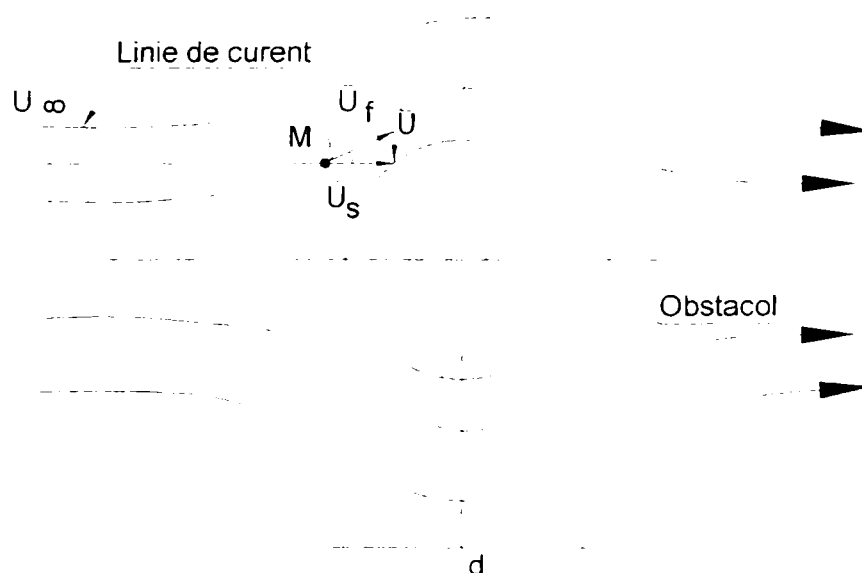


Fig. 2.11. Mișcarea fluidului în jurul unui obstacol

Ecuția generală a mișcării particulei aflată în punctul M se poate determina din ecuația de echilibru pentru toate categoriile de forțe ce acționează asupra particulei.

Pentru a stabili legea mișcării este necesar a se cunoaște caracteristicile particulelor în suspensie ale fluidelor și cele ale obstacolelor, granulare.

Particulele în suspensie sunt caracterizate prin:

- masa specifică (ρ_s);

- mărimea (δ);
- volumul (V_s);
- suprafața totală (S_s);
- coeficientul de formă (ψ_s).

Fluidul se caracterizează prin:

- masa specifică (ρ_f);
- viteza în amonte de obstacol (\bar{U}_r).

Obstacolul este caracterizat prin:

- mărimea obstacolului (d);
- coeficient de formă al obstacolului (ψ).

În punctul M, viteza particulei \bar{U} în raport cu obstacolul și fluidul este dată de relația:

$$\bar{U} = \bar{U}_s - \bar{U}_f \quad (2.41)$$

Dacă α este unghiul dinre cele două viteze:

$$U = \sqrt{U_s^2 - 2 \cdot U_s \cdot U_f \cdot \cos \alpha + U_f^2} \quad (2.42)$$

Ecuția de mișcare a particulei se scrie prin ecuația de echilibru a forțelor de inerție, presiune, rezistență și gravitaționale ce acționează asupra particulei în punctul M:

- forțele de inerție:

$$-\rho_s \cdot V_s \cdot \frac{d\bar{U}_s}{dt} \quad (2.43)$$

- forțele de presiune:

$$-\int_{S_p} \bar{n} \cdot p \cdot dS_p = -v_s \cdot \text{grad } p \quad (2.44)$$

- forțele de rezistență:

$$-\rho_f \cdot \frac{v_s \cdot U}{\delta} \cdot \bar{U}_0 \cdot f\left(\frac{U \cdot \delta}{\nu}\right) \quad (2.45)$$

- forțele gravitaționale:

$$-\rho_s \cdot V_s \cdot \bar{g} \quad (2.46)$$

$$\rho_s \cdot \frac{d\bar{U}_s}{dt} + \text{grad } p + \frac{\rho_f \cdot U}{\delta} \cdot \bar{U}_0 \cdot f\left(\frac{U \cdot \delta}{\nu}\right) - \rho_s \cdot \bar{g} = 0 \quad (2.47)$$

Ecuatia lui Euler, pentru mișcarea particulelor în echilibru relativ este:

$$\rho_f \cdot \frac{d\bar{U}_f}{dt} + \text{grad } p - \rho_f \cdot \bar{g} = 0 \quad (2.48)$$

Ecuatia generală ce caracterizează mișcarea particulelor în suspensie:

$$\rho_s \cdot \frac{d\bar{U}_s}{dt} - \rho_f \cdot \frac{d\bar{U}_f}{dt} - \frac{\rho_f \cdot U}{\delta} \cdot \bar{U}_0 \cdot f\left[\frac{U \cdot \delta}{\nu}\right] + [\rho_s - \rho_f] \cdot \bar{g} \quad (2.49)$$

a.) dacă $\rho_f \ll \rho_s$ rezultă:

$$\rho_s \cdot \frac{d\bar{U}_s}{dt} = -\rho_f \cdot \frac{U \cdot \bar{U}_0}{\delta} \cdot f\left[\frac{U \cdot \delta}{\nu}\right] + \rho_s \cdot \bar{g} \quad (2.50)$$

b.) dacă și viteza curentului devine foarte mare, atunci:

$$\rho_s \cdot \bar{g} \cong 0 \quad (2.51)$$

$$\rho_s \cdot \frac{d\bar{U}_s}{dt} = -\rho_f \cdot \frac{U \cdot \bar{U}_0}{\delta} \cdot f\left[\frac{U \cdot \delta}{\nu}\right] \quad (2.52)$$

c.) pentru valori a numărului lui Reynolds:

$$R_e = \frac{U \cdot S}{\nu} < 1 \quad (2.53)$$

rezultă că forța de rezistență este opusă mișcării particulei și este proporțională cu viteza relativă a acesteia:

$$f\left(\frac{U \cdot \delta}{\nu}\right) = \frac{k \cdot \nu}{U \cdot \delta} \quad (2.54)$$

în care: k – este o constantă ce depinde de forma particulei

d.) pentru particule sferice:

$$f\left(\frac{U \cdot \delta}{\nu}\right) = \frac{18 \cdot \nu}{U \cdot \delta} \quad (2.55)$$

\bar{U}_s - (viteza particulei) este funcție de: caracteristicile fluidului, caracteristicile suspensiei și regimul de mișcare exprimat prin mărimea numărului lui Reynolds

2.7.3. Ecuațiile generale ale filtrării rapide prin straturi omogene

Luând în considerare un pat filtrant constituit din nisip, cu grosimea x , prin care se filtrează un debit Q , cu o concentrație C_0 , experimental se constată că există o scădere proporțională a concentrației inițiale în raport cu grosimea stratului filtrant, scăderea fiind exprimată de Iwasaki [54] sub forma unei legi exponențiale:

$$C = C_0 \cdot e^{-\lambda x} \quad (2.56)$$

în care:

C_0 este concentrația inițială în suspensii a influentului, în mg/dm^3 ;

C - concentrația în suspensii a efluentului la o grosime x a stratului filtrant, mg/dm^3 ;

λ - parametrul reținerii sau al filtrării, în m^{-1} ;

x - grosimea stratului filtrant, în m.

Prin logaritmare relația (2.56) devine:

$$\ln \frac{C}{C_0} = -\lambda \cdot x \quad (2.57)$$

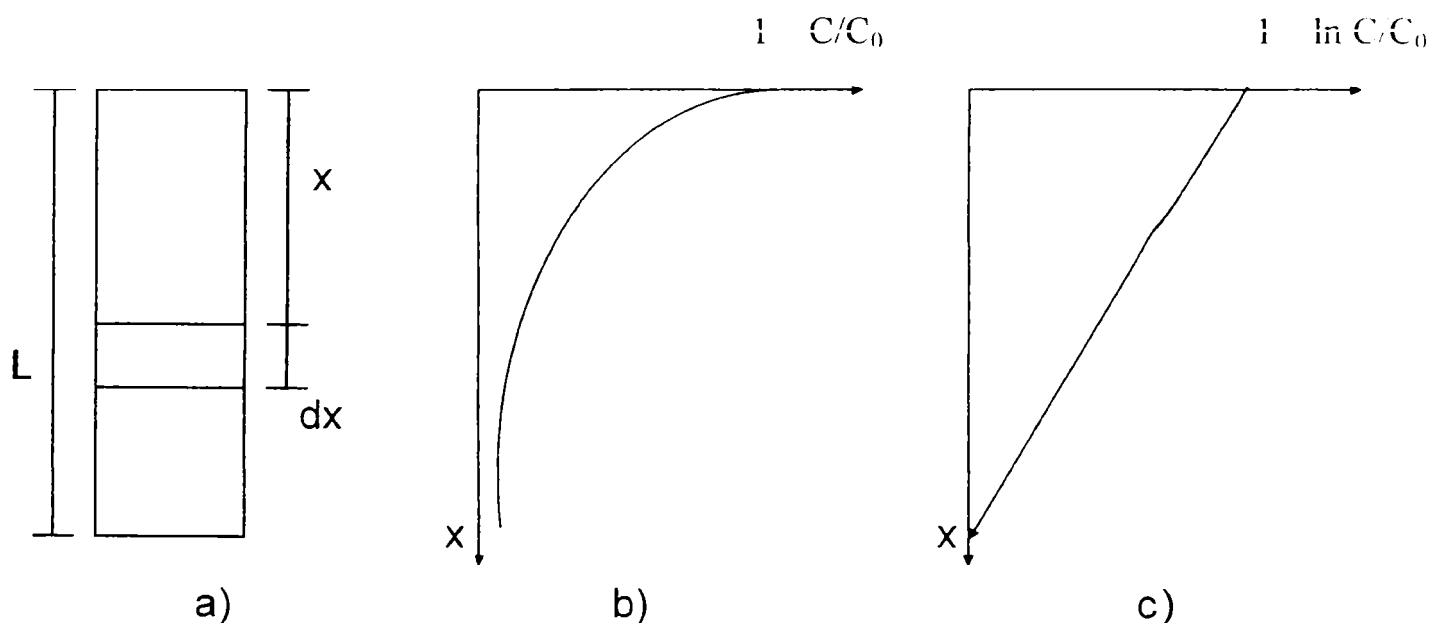


Fig. 2.12. Variația cu adâncimea a concentrației în suspensii a apei filtrate, la un strat filtrant cu granulație uniformă

Prin diferențiere relația devine:

$$\frac{\partial C}{\partial x} = -\lambda \cdot C \quad (2.58)$$

Această relație evidențiază faptul că gradientul reținerii suspensiilor în masa filtrantă, este proporțional cu concentrația impurităților din efluent.

Prin filtrare, în porii materialului filtrant și pe suprafața granulelor de nisip, apar depozite sau acumulări de impurități, a căror cantitate pe o grosime elementară de strat filtrant, dx și pe o perioadă elementară de timp dt , poate fi calculată aplicând legea bilanțului masic:

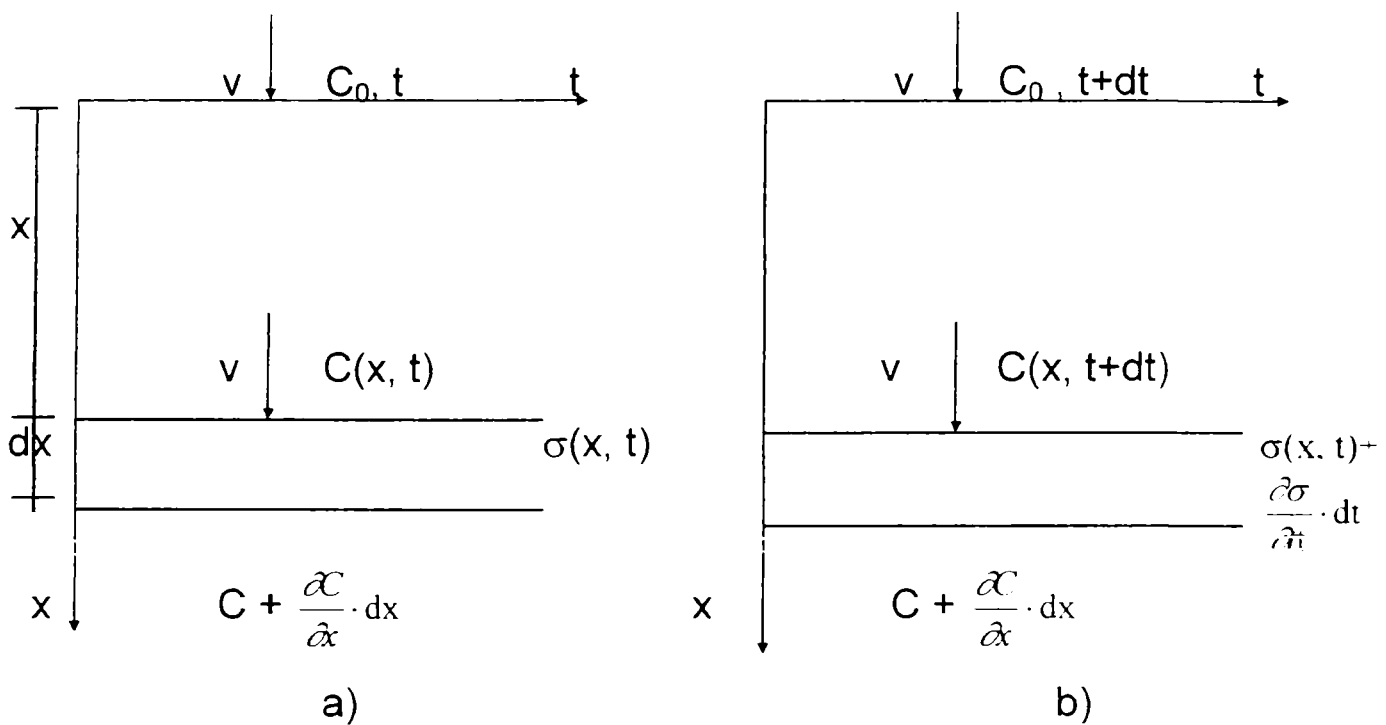


Fig. 2.13. Variația cu adâncimea a concentrației în suspensii a apei filtrate, în intervalul de timp t și $t + dt$

$$\rho_s \cdot v \cdot C \cdot dt - \rho_s \cdot \left(C + \frac{\partial C}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot v \cdot dt = -\rho_s \cdot \sigma \cdot dx + \rho_s \cdot \left(\sigma + \frac{\partial \sigma}{\partial t} \cdot dt \right) \cdot dx + \rho_s \cdot p \cdot \frac{\partial C}{\partial t} \cdot dt \cdot dx \quad (2.59)$$

După reduceri și simplificări ecuația 2.59 devine:

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{v} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial t} + \frac{p}{v} \cdot \frac{\partial C}{\partial t} \quad (2.60)$$

în care: σ este depunerea sau depozitul specific, definit ca fiind suspensia

reținută pe unitatea de volum a materialului filtrant;

$v = Q / F$ - viteza aparentă de filtrare;

ρ_s - masa specifică a suspensiei;

Termenul $\frac{\partial \mathcal{C}}{\partial t}$ fiind foarte mic, se poate neglija, obținându-se cea de a

doua ec. diferențială a filtrării rapide:

$$-\frac{\partial \mathcal{C}}{\partial x} = \frac{1}{V} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad (2.61)$$

Parametrul λ este un factor de proporționalitate care definește randamentul filtrării, fiind o funcție complexă, influențată de:

- caracteristicile mediului filtrant;
- caracteristicile lichidului care se filtrează;
- condițiile în care se desfășoară procesul de filtrare.

Majoritatea cercetătorilor au acceptat, pentru a descrie matematic procesul de filtrare rapidă, sistemul de ecuații diferențiale cu derivate parțiale 2.58 și 2.61, propus de Iwasaki:

$$\frac{\partial \mathcal{C}}{\partial x} = -\lambda \cdot C \quad (2.58)$$

$$-\frac{\partial \mathcal{C}}{\partial x} = \frac{1}{V} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad (2.61)$$

În procesul filtrării, concomitent cu mecanismele de transport și cele de fixare a suspensiilor, s-a remarcat și mecanismul de detașare a acestora, deci de desprindere a unor depozite deja fixate și de revenire în firele de curent ale lichidului, deplasându-se înspre stratele inferioare ale patului filtrant. În cazul acesta, Mintz [91] [92] a introdus în sistemul general de ecuații diferențiale, termenul $(\beta \cdot \sigma / v)$ prin care se ține cont de acest fenomen.

Ecuația propusă de Mintz se exprimă sub forma:

$$-\frac{\partial \mathcal{C}}{\partial x} = \lambda \cdot C - \beta \cdot \frac{\sigma}{v} \quad (2.62)$$

în care: λ este parametrul reținerii, în m^{-1} ;

β - parametrul desprinderii, în s^{-1} .

Sistemele de ecuații diferențiale cu derivate parțiale propuse pentru descrierea matematică a proceselor de filtrare rapidă, dau soluții analitice pentru valori particulare ale parametrilor λ și β .

Exprimarea teoretică a acestor parametri este extrem de complexă, datorită numărului mare de variabile care îi influențează precum și de numărul cercetătorilor care au avansat diferite formulări teoretice, pentru acești parametri.

2.7.4. Integrarea ecuațiilor generale ale filtrării rapide

2.7.4.1. Modelul matematic Mirel [96] [100] [105] [106]

Perioada inițială de încărcare este caracterizată de sistemul general de ecuații diferențiale cu derivate parțiale, în care acționează mecanismele reținerii, procesul de limpezire guvernat de sistemul de ecuații diferențiale propus de Iwasaki [54]:

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \lambda \cdot C \quad (2.58; 2.61)$$

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{v} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial t}$$

Concentrația efluentului C și depozitul specific σ sunt funcții dependente de x și t .

Pentru acest stadiu de filtrare, parametrul filtrării se poate exprima prin intermediul funcțiilor:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot (a \cdot t)^\alpha \quad \text{sau} \quad \lambda = \lambda_0 \cdot [1 + (a \cdot t)^\alpha] \quad (2.63)$$

în care:

$$\lambda_0 = A_1 \cdot v^{\alpha_1} \cdot d^{\alpha_2} \cdot \mu^{\alpha_3} = A \cdot v^{\alpha_1} \cdot d^{\alpha_2} \quad (2.64)$$

Dacă $C = C(x, t)$ și $\sigma = \sigma(x, t)$, prin diferențiere în raport cu variabilele

x și t se obține:

$$dC = \frac{\partial C}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial C}{\partial t} \cdot dt \quad (2.65; 2.66)$$

$$d\sigma = \frac{\partial \sigma}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial \sigma}{\partial t} \cdot dt$$

Dacă:

$$\frac{\partial C}{\partial t} \cong 0 \quad \text{și} \quad \frac{\partial \sigma}{\partial x} \cong 0 \quad \text{avem:}$$

$$\frac{dC}{dx} = \frac{\partial C}{\partial x}$$

(2.67; 2.68)

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial t}$$

Integrarea sistemului de ecuații diferențiale 2.58 și 2.61 pentru fiecare din formulările propuse:

1. - pentru $\lambda = \lambda_0 \cdot (a \cdot t)^\alpha$ ecuația diferențială devine:

$$\frac{dC}{C} = -\lambda_0 \cdot (a \cdot t)^\alpha dx \quad (2.69)$$

Iar soluția generală este:

$$\ln C = -\lambda_0 \cdot (a \cdot t)^\alpha x + \ln C_1(t) \quad \text{pentru:} \quad (2.70)$$

$$C = C_0, \quad x = 0 \quad \text{și} \quad C_1(t) = C_0$$

Dacă $\alpha = 1/3$, soluția ecuației diferențiale este de forma:

$$C = C_0 \cdot e^{-\lambda_0 \cdot x \cdot (a \cdot t)^{\frac{1}{3}}} \quad (2.71)$$

Determinarea funcției σ se face substituind ecuația $-\frac{dC}{dx} = \lambda \cdot C$ în

ecuația diferențială: $-\frac{dC}{dx} = \frac{1}{v} \cdot \frac{d\sigma}{dt}$

Integrând se obține:

$$\sigma = \lambda_0 \cdot v \cdot C_0 \cdot \int (a \cdot t)^\alpha \cdot e^{-\lambda_0 \cdot x \cdot (a \cdot t)^\alpha} dt + \sigma_1(x) \quad (2.72)$$

- pentru $\alpha = 1/3$ rezultă:

$$\sigma = -\frac{3 \cdot v \cdot C_0}{a \cdot \lambda_0^3 \cdot x^4} \cdot e^{-\lambda_0 \cdot x \cdot (a \cdot t)^{1/3}} \cdot E(x, t) + \sigma_1(x) \quad (2.73)$$

unde:

$$E(x, t) = \lambda_0^3 \cdot x^3 \cdot (a \cdot t) + 3 \cdot \lambda_0^2 \cdot x^2 \cdot (a \cdot t)^{2/3} + 6 \cdot \lambda_0 \cdot x \cdot (a \cdot t)^{1/3} + 6 \quad (2.74)$$

- pentru $t = 0$, $\sigma = 0$ avem valoarea constantei de integrare:

$$\sigma_1(x) = \frac{18 \cdot v \cdot C_0}{a \cdot \lambda_0^3 \cdot x^4} \quad (2.75; 2.76)$$

$$\sigma(x) = \frac{3 \cdot v \cdot C_0}{a \cdot \lambda_0^3 \cdot x^4} \cdot \left[6 - e^{-\lambda_0 \cdot x \cdot (a \cdot t)^{1/3}} \cdot E(x, t) \right]$$

2. - pentru $\lambda = \lambda_0 \cdot [1 + (a \cdot t)^\alpha]$ ecuația diferențială devine:

$$\frac{dC}{C} = -\lambda_0 \cdot [1 + (a \cdot t)^\alpha] \cdot c \quad (2.77)$$

Integrând și punând condițiile de margine pentru $\alpha = 1/3$ se obține:

$$C = C_0 \cdot e^{-\lambda_0 \cdot x \cdot [1 + (a \cdot t)^{1/3}]} \quad (2.78)$$

$$\begin{aligned} - \text{pentru } x = 0; & \quad C = C_0 \\ & \quad t = 0; \quad C = C_0 \cdot e^{-\lambda_0 \cdot x} \end{aligned}$$

Determinarea funcției σ se face substituind în ecuația $-\frac{dC}{dx} = \frac{1}{v} \cdot \frac{d\sigma}{dt}$,

ecuația $-\frac{dC}{dx} = \lambda \cdot C$ după care se trece la integrarea sistemului de ecuații

diferențiale cu derivate parțiale pentru $\alpha = 1/3$.

Soluția generală la care se ajunge este:

$$\sigma = -\frac{3 \cdot v \cdot C_0}{a \cdot \lambda_0^3 \cdot x^4} \cdot e^{-\lambda_0 \cdot x \cdot [1 + (a \cdot t)^{1/3}]} \cdot E_1(x, t) + \sigma_1(x) \quad (2.79)$$

în care:

$$\begin{aligned} E_1(x, t) = \lambda_0^3 \cdot x^3 \cdot (a \cdot t) + \lambda_0^2 \cdot x^2 \cdot (\lambda_0 \cdot x + 3) \cdot (a \cdot t)^{2/3} + 2 \cdot \lambda_0 \cdot x \cdot \\ (\lambda_0 \cdot x + 3) \cdot (a \cdot t)^{1/3} + 6 \quad (2.80) \end{aligned}$$

- pentru $t = 0$, $\sigma = 0$ avem valoarea constantei de integrare:

$$\sigma_1(x) = \frac{18 \cdot v \cdot C_0 \cdot e^{-\lambda_0 \cdot x}}{a \cdot \lambda_0^3 \cdot x^4} \quad (2.81; 2.82)$$

$$\sigma(x) = \frac{3 \cdot v \cdot C_0}{a \cdot \lambda_0^3 \cdot x^4} \cdot e^{-\lambda_0 \cdot x} \cdot \left[6 - e^{-\lambda_0 \cdot x \cdot (a \cdot t)^{1/3}} \cdot E_1(x, t) \right]$$

Funcțiile care guvernează desfășurarea procesului de filtrare rapidă în perioada inițială de reținere sunt:

$$C = C_0 \cdot e^{-\lambda_0 \cdot x \cdot [1 + (a \cdot t)^{1/3}]} \quad (2.83)$$

$$\sigma(x) = \frac{3 \cdot v \cdot C_0}{a \cdot \lambda_0^3 \cdot x^4} \cdot e^{-\lambda_0 \cdot x} \cdot \left[6 - e^{-\lambda_0 \cdot x \cdot (a \cdot t)^{1/3}} \cdot E_1(x, t) \right] \quad (2.84)$$

în care:

$$E(x, t) = \lambda_0^3 \cdot x^3 \cdot (a \cdot t) + \lambda_0^2 \cdot x^2 \cdot (\lambda_0 \cdot x + 3) \cdot (a \cdot t)^{2/3} + 2 \cdot \lambda_0 \cdot x \cdot (\lambda_0 \cdot x + 3) \cdot (a \cdot t)^{1/3} + 6 \quad (2.85)$$

Relațiile stabilite sunt valabile numai pentru stadiul I al procesului de filtrare, corespunzător timpului $0 < t \leq t_i$.

Pentru C_0 / C_{lim} și C_0 / C_{min} rezultă duratele t și t_1 caracteristice perioadei inițiale de încărcare:

$$t_0 = \frac{1}{a \cdot \lambda_0^3 \cdot x^3} \cdot \left(\ln \frac{C_0}{C_{min}} - \lambda_0 \cdot x \right)^3$$

$$t_i = \frac{1}{a \cdot \lambda_0^3 \cdot x^3} \cdot \left(\ln \frac{C_0}{C_{min}} - \lambda_0 \cdot x \right)^3 \quad (2.86; 2.87; 2.88)$$

$$t_1 = \frac{1}{a \cdot \lambda_0^3 \cdot x^3} \cdot \left\{ \left(\ln \frac{C_0}{C_{min}} - \lambda_0 \cdot x \right)^3 - \left(\ln \frac{C_0}{C_{min}} - \lambda_0 \cdot x \right)^3 \right\}$$

2.7.4.2. Modelul matematic Ives [60]

În cadrul modelului matematic Ives, sistemul de ecuații diferențiale care descrie procesul filtrării rapide este cel propus de Iwasaki [54]:

$$-\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \lambda \cdot C \quad (2.58; 2.61)$$

$$-\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{1}{v} \cdot \frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2}$$

Ives consideră parametrul reținerii λ ca fiind o variabilă dependentă de depozitul specific σ , exprimat sub forma:

$$\lambda = \lambda_0 + C \cdot \sigma - \frac{\phi \cdot \sigma^2}{p_0 - \sigma} \quad (2.89)$$

Anulând derivata în raport cu σ a funcției 2.94 se obțin soluțiile:

$$\sigma_{1,2} = p_0 \cdot \left[1 \pm \left(\frac{\phi}{C + p_0} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (2.90)$$

Valoarea maximă a parametrului λ_{\max} rezultă pentru soluția negativă:

$$\lambda_{\max} = \frac{\lambda_0 + C \cdot p_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{\phi}{C + p_0} \right)^{\frac{1}{2}} \right] + \phi \cdot p_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{\phi}{C + p_0} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2}{\left(\frac{\phi}{C + p_0} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.91)$$

Pentru $\lambda = 0$ rezultă $\sigma = \sigma_{\max} = \sigma_s$, valoare ce corespunde colmatării stratului filtrant. În acest caz, valoarea maximă a depunerii specifice se exprimă sub forma:

$$\sigma_{s1,2} = \frac{-(\lambda_0 - C \cdot p_0) \pm \sqrt{(\lambda_0 - C \cdot p_0)^2 + 4 \cdot \lambda \cdot (C + \phi)}}{2 \cdot (C + \phi)} \quad (2.92)$$

Pentru a se putea asigura integrarea sistemului de ecuații diferențiale, Ives propune o formă simplificată de exprimare a parametrului λ exprimată sub forma:

UPT	Contribuții la studiul proceselor de limpezire prin utilizarea filtrelor rapide cu straturi multiple	Teză de doctorat
-----	--	------------------

$$\lambda = a - b \cdot \sigma^2 \quad (2.93)$$

în care: $a = \lambda_0 + C \cdot \sigma \quad (2.99)$

$$b = \frac{\phi}{p_0 - \sigma} \quad (2.94)$$

Pentru $\sigma = 0$, $\lambda = \lambda_{\max}$ și $\lambda = 0$, $\sigma = \sigma_{\max} = \sigma_s$, mărimile a și b vor avea următoarele expresii:

$$a = \lambda_0 + C \cdot p_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{\phi}{c+p} \right)^{\frac{1}{2}} \right] + \phi \cdot p_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{\phi}{c+p} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2 \quad (2.95)$$

$$b = \frac{4 \cdot a \cdot (C + \phi)^2}{\left[C \cdot p_0 - \lambda_0 \pm \sqrt{(\lambda_0 - C \cdot p_0)^2 + 4 \cdot \lambda_0 \cdot p_0 \cdot (C + \phi)} \right]^2} \quad (2.96)$$

Integrarea sistemului de ecuații diferențiale conduce la următoarele și soluții:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{e^{-ax} \cdot \left(\frac{e^T + 1}{e^T - 1} \right)}{\left\{ \left[\frac{(e^T + 1)}{(e^T - 1)} \right]^2 + e^{-2ax} - 1 \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (2.97)$$

$$\sigma = \frac{\left(\frac{a}{b} \right)^{\frac{1}{2}}}{\left\{ 1 + e^{2ax} \cdot \left[\frac{(e^T + 1)}{(e^T - 1)} \right]^2 - 1 \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (2.98)$$

$$X = \frac{1}{2a} \cdot \ln \left\{ \frac{1 - \left(\frac{C}{C_0} \right)^2 \cdot \left[\frac{(e^T + 1)}{(e^T - 1)} \right]^2}{1 - \left[\frac{(e^T + 1)}{(e^T - 1)} \right]^2} \right\} \quad (2.99)$$

în care:

$$\tau = 2 \cdot C_0 \cdot v + \sqrt{a \cdot b} \quad (2.100)$$

- Pierderea de sarcină de-a lungul ciclului de filtrare se poate exprima sub forma:

$$H = H_0 + \frac{k}{2 \cdot (a \cdot b)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.101)$$

în care:

$$k = \frac{A}{v \cdot C_0} \quad \text{și} \quad A = \frac{H - H_0}{t} \quad (2.102; 2.103)$$

Pentru $x = 0$ și $t = 0$ avem:

$$C = C_0$$

$$\sigma_0 = \left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{e^{\tau} - 1}{e^{\tau} + 1}\right) \quad (2.104)$$

$$C = C_0 \cdot e^{-ax} \quad \text{și} \quad \sigma = 0$$

2.7.4.3. Modelul matematic Mintz [92]

Mintz, consideră că procesul de separare prin filtrarea rapidă de următorul sistem de ecuații diferențiale:

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{v} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial x} \quad (2.105; 2.106)$$

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \lambda \cdot C - \beta \cdot \frac{\sigma}{v}$$

Soluțiile acestui sistem de ecuații $\lambda = \text{const.}$ și $\beta = \text{const.}$ sunt de forma:

$$\frac{C}{C_0} = \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\lambda x} \cdot \frac{(\lambda \cdot x)^{n-1}}{(n-1)!} \cdot A_n \cdot e^{-\beta t} \quad (2.107; 2.108)$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_s} = \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\lambda x} \cdot \frac{(\lambda \cdot x)^{n-1}}{(n-1)!} \cdot (B_n - B_{n-1})$$

unde:

$$A_n = A_{n-1} - \frac{(\beta \cdot t)^{n-2}}{(n-2)!} \quad (2.109)$$

$$A_1 = e^{\beta \cdot t} \quad (2.110)$$

$$B_n = B_{n-1} - A_n \cdot e^{-\beta \cdot t} \quad (2.111)$$

$$B_1 = \beta \cdot t \quad (2.112)$$

Introducem mărimile adimensionale X și T:

$$X = \lambda \cdot x \quad \text{și} \quad T = \beta \cdot t \quad (2.113; 2.114)$$

Pentru cazul în care $C / C_0 = \text{constant}$:

$$X \cong X_0 + k \cdot T \quad (2.115)$$

Combinând relațiile:

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{v} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial x} \quad \text{și} \quad (2.105; 2.106)$$

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \lambda \cdot C - \beta \cdot \frac{\sigma}{v}$$

rezultă sistemul de ecuații cu derivate parțiale de tip hiperbolic, prin care se descrie analitic procesul de filtrare rapidă:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x \cdot \partial t} + \beta \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + \lambda \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = 0 \quad (2.116; 2.117)$$

$$\frac{\partial^2 \sigma}{\partial x \cdot \partial t} + \beta \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial x} + \lambda \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial t} = 0$$

Soluția ecuației 2.124 este de forma:

$$C(X, T) = C_0 \cdot \left\{ e^{\lambda \cdot X} \cdot \left(1 + X + \frac{X^2}{2!} + \frac{X^3}{3!} \right) - e^{(T \cdot X)} \cdot \left[X + \frac{X^2}{2!} \cdot (1 + T) + \frac{X^3}{3!} \cdot \left(1 + T + \frac{T^2}{2} \right) \right] \right\} \quad (2.118)$$

Modelul matematic propus de Mintz caracterizează în special stadiul III de filtrare.

2.7.4.4. Modelul matematic Lerk [74]

Pentru descrierea matematică a procesului de filtrare rapidă, Lerk acceptă același sistem de ecuații diferențiale (2.58; 2.61) propus de Iwasaki:

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \lambda \cdot C \quad (2.58; 2.61)$$

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{v} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial t}$$

Parametrul filtrării se consideră ca fiind o funcție dependentă de depozitul specific și porozitatea inițială a mediului filtrant. Soluțiile sistemului de ecuații diferențiale sunt:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{e^{A \cdot t}}{e^{A \cdot t} + e^{\lambda_0 \cdot x} - 1}$$

$$\sigma = p_0 \cdot \frac{e^{A \cdot t} - 1}{e^{A \cdot t} + e^{\lambda_0 \cdot x} - 1} \quad (2.119; 2.120; 2.121)$$

$$X = \frac{1}{\lambda_0} \cdot \ln \left\{ \frac{C_0}{C} \cdot e^{A \cdot t} - e^{A \cdot t} - 1 \right\}$$

unde:

$$A = \frac{\lambda_0 \cdot v \cdot C_0}{p_0} \quad (2.122)$$

Dacă modelul propus de Lerk ar corespunde și perioadei inițiale de încărcare, duratele t_0 și t_1 ar rezulta din soluția obținută:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{e^{\lambda t}}{e^{\lambda t} + e^{\lambda_0 \lambda} - 1} \quad (2.123)$$

punând condițiile corespunzătoare de calitate a efluentului.

rezultă:

$$t_0 = \frac{1}{A} \cdot \ln \left\{ \frac{e^{\lambda_0 \cdot x} - 1}{\frac{C_0}{C_{lim}} - 1} \right\} \quad (2.124; 2.125)$$

$$t_1 = \frac{1}{A} \cdot \ln \left\{ \frac{e^{\lambda_0 \cdot x} - 1}{\frac{C_0}{C_{min}} - 1} \right\}$$

în care: $t_1 = t_1 - t_0$

$$t_1 = \frac{1}{A} \cdot \ln \left\{ \left(\frac{C_{min}}{C_0} \right) \cdot \left(\frac{C_0 - C_{lim}}{C_0 - C_{min}} \right) \right\} \quad (2.126)$$

Grosimea optimă a stratului filtrant se poate determina cu expresia:

$$L = \frac{1}{\lambda_0} \cdot \ln \left\{ e^{\frac{\lambda_0 \cdot v \cdot t_{opt}}{P_0}} \cdot \left[\frac{C_0}{C_{min}} - 1 \right] - 1 \right\} \quad (2.127)$$

CAP.3 FILTRAREA RAPIDĂ PRIN STRATURI MULTIPLE

3.1. Filtrarea rapidă descendentă prin straturi multiple omogene

3.1.1. Structura și caracteristicile materialelor omogene

Filtrarea rapidă reprezintă procesul prin care se realizează separarea suspensiilor minerale și organice rămase după treapta de decantare.

Procesul de reținere este un fenomen deosebit de complex determinat de caracteristicile apei supuse limpezirii, de caracteristicile mediului filtrant, precum și de condițiile de exploatare a instalațiilor de filtrare.

Structura și caracteristicile materialelor filtrante, determină gradul de limpezire, gradul de colmatare și durata ciclurilor de filtrare.

Faier și Geyer în lucrările [29] și [30] se prezintă pentru diferite forme de granule, valorile coeficientului de sfericitate al granulelor $\psi = d_i/d_o$, coeficientul specific al suprafeței $S=A_i/V_i$, coeficient de formă m și porozitatea inițială p_o .

Valorile acestor coeficienți sunt redate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1

Forma	Denumirea	$\psi = d_i/d_o$	$S=A_i/V_i$	m	P_o
a	Sferică	1,00	6,0	1,00	0,38
b	Rotunjită	0,98	6,1	1,01	0,98
c	Alungită	0,94	6,4	1,02	0,39
d	Colțuroasă	0,81	7,4	1,23	0,40
e	Colțuros – Ascuțită	0,78	7,7	1,29	0,43
f	Concasată	0,70	8,5	1,41	0,48

în care: d_o este diametrul granulelor sferice;

d_i – reprezintă diametrul unei granule de formă oarecare;

$S = A_i/V_i$ – suprafața specifică exprimată prin raportul dintre aria granulelor de nisip și volumul acestora;

În baza cercetărilor efectuate de Mintz și Șubert [90], [91] factorul de formă al granulelor se alege după cum urmează: $m=1,05$ - pentru granule rotunde; $m=1,2 \div 1,3$ - pentru granule obișnuite; și $m=1,7 \div 1,8$ - pentru granule foarte neregulate (fig. 3.1).



Fig. 3.1. Forma granulelor din alcătuirea stratelor filtrante

Structura materialelor granulare este caracterizată de coeficientul de sfericitate (ψ), de suprafața specifică a granulelor (S), de coeficientul de formă (m) și de coeficientul de porozitate (P_o).

Structurile omogene pot fi realizate din materiale cu granulație uniformă având $d=\text{const.}$ pe grosimea stratului filtrant și densitate constantă ($\rho=\text{ct}$) sau din materiale cu granulație neuniformă în care diametrul granulelor variază pe grosimea stratului filtrant, iar densitatea este constantă, structura fiind alcătuită din același material (nisip de cuarț, antracit, cărbune activ, etc.).

La structurile omogene cu granulație neuniformă, pentru conductele hidraulice se utilizează diametrul echivalent d_{ec} , definit din structura

granulometrică.

Diametrul mediu echivalent al granulelor de nisip se determină pe baza curbei granulometrice a materialului, cu formula:

$$\frac{1}{d_{ec}} = \sum_1^n \frac{a_i}{d_i} \quad (3.1)$$

în care: a_i este cantitatea de material corespunzătoare diametrului d_i , exprimată în % din greutatea totală a probei ($i = 1 \dots n$). (fig. 3.2).

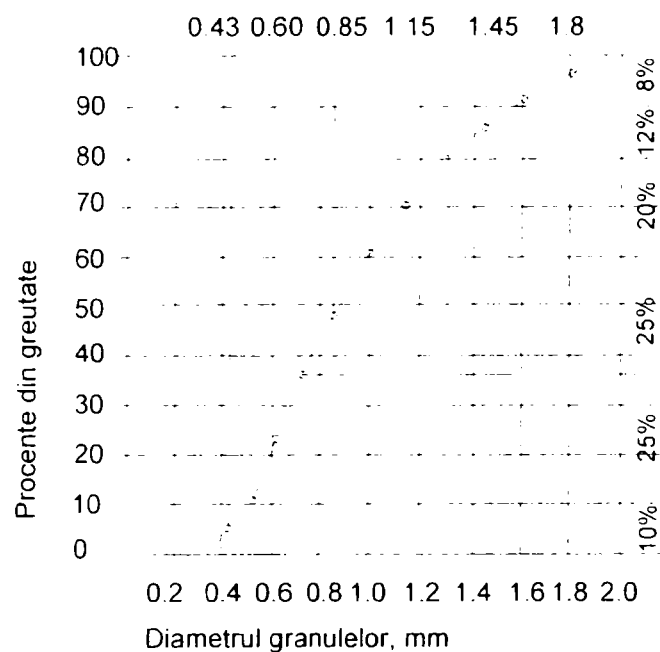


Fig. 3.2. Curba granulometrică a unui nisip filtrant cu indicarea modului de determinare a diametrului echivalent.

Relația dintre proprietățile fizice ale lichidului și caracteristicile mediului poros, și limitele ei de folosire la filtrarea apei. Lichidul care se filtrează poate fi caracterizat prin densitatea ρ , viteza reală medie u , viteza aparentă (de filtrare), v și vâscozitatea dinamică μ , iar materialul filtrant poate fi caracterizat printr-un parametru liniar l , exprimat de raza hidraulică a materialului poros. [158]

Legătura dintre toți acești factori se exprimă prin *pierderea de sarcină*.

Pe baza teoriei similitudinii, folosind teorema π se găsește relația

generală:

$$\varphi(Re) = \frac{P \cdot l}{L \cdot u^2} \quad (3.2.)$$

în care: P este pierderea de sarcină;

L – grosimea stratului de nisip;

$\varphi(Re)$ - o funcțiune ce caracterizează rezistența hidraulică a stratului filtrant, depinzând de numărul Reynolds;

ρ – densitatea lichidului;

u – viteza reală a lichidului;

l – parametrul liniar care caracterizează materialul filtrant.

Pentru scurgerea lichidelor prin medii poroase se poate lua ca parametru liniar raza hidraulică a materialului poros, exprimată prin raportul dintre volumul porilor și suprafața laterală a granulelor; pentru unitatea de volum expresia este:

$$l = \frac{P}{\omega} \quad (3.3.)$$

$$\omega = 6 \cdot m(1-p)/d_{ec} \quad (3.4)$$

în care: p este coeficientul de porozitate al materialului filtrant;

ω – suprafața laterală a granulelor pe unitatea de volum.

Parametrul l, exprimat în funcție de diametrul mediu echivalent al granulelor, are expresia:

$$l = \frac{\rho d_{ec}}{6m(1-p)} \quad (3.5.)$$

3.1.2. Modificările cantitative și calitative în procesul filtrării

Analizând rezultatele obținute pe instalațiile de laborator sau pe filtre uzinale, prin prisma repartiției cantitative a suspensiilor reținute în masa nisipului filtrant [44] [55] [64] [68] [70] [92] [99] [108] [109] [110] [112] [113]

[117] [147] se constată, în prima parte a desfășurării ciclului de filtrare o reducere treptată a turbidității afluentului până la o valoare constantă sau aproape constantă, după care turbiditatea acestuia începe să se oprească depășind la un moment dat limita maximă de calitate impusă de normele tehnice [180] [194]. Pentru a ilustra acest fenomen în fig. 3.3. s-a considerat un filtru rapid echipat cu nisip cuarțos de granulometrie constantă d și grosime L , prin care se scurge de sus în jos un curent de apă de concentrație inițială C_0 .

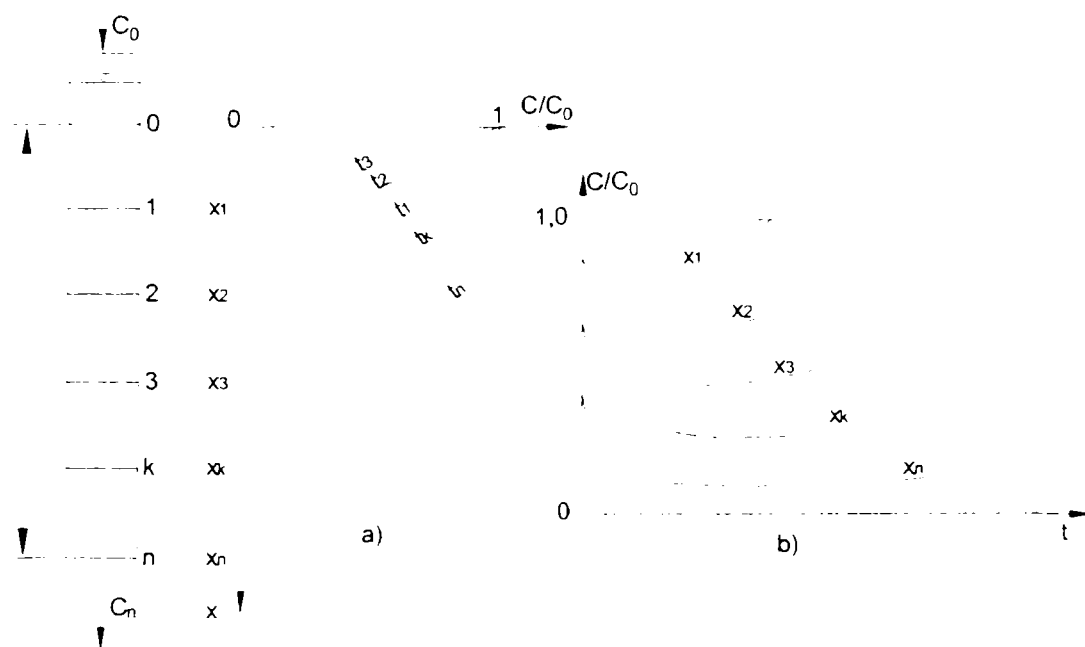


Fig. 3.3. Modificările calitative ale efluentului pe grosimea stratului filtrant de-a lungul ciclurilor de filtrare

Modificările calitative ale efluentului pe grosimea patului filtrant, pentru diferite momente ale ciclului de filtrare, sunt redate în fig. 3.3.a iar în fig. 3.3.b sunt reprezentate modificările calitative ale efluentului în raport cu timpul de filtrare la nivelul diferitelor grosimi ale masei filtrante.

Calitatea efluentului obținut cât și durata ciclului de filtrare sunt dependente în primul rând de grosimea, granulometria și natura mediului filtrant, viteza de filtrare, concentrația, mărimea și natura suspensiilor din apa de limpezit, natura și doza reactivilor folosiți cât și de o serie de alți

factori de natură fizică, chimică sau electrochimică. [67]

În decursul desfășurării procesului de filtrare rapidă, suspensiile din apă, reținute în porii sau pe suprafața granulelor mediului filtrant, prin acțiunea simultană a mecanismelor de transport, fixare și detașare, conduc la creșterea rezistenței hidraulice a stratului filtrant.

La începutul procesului, pierderea de sarcină este H_0 iar pe măsura colmatării stratului, liniile de presiune se deformează ajungând să atingă valoarea presiunii atmosferice. În momentul în care mărimea pierderilor de sarcină devine egală cu presiunea atmosferică, filtrul se scoate din funcțiune pentru a se spăla. Funcționarea filtrului la presiuni mai mici decât presiunea atmosferică conduce la dificultăți în exploatare datorită gazelor ce se separă din apă, măbind sensibil rezistența hidraulică a filtrului.

Reprezentarea diagramei de variație a presiunilor într-un filtru rapid în timpul funcționării este redată în fig. 3.4.

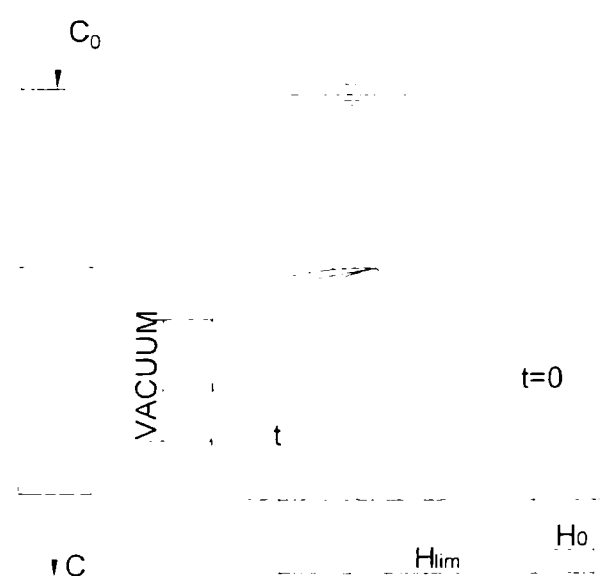


Fig. 3.4. Modificarea pierderilor de sarcină de-a lungul ciclurilor de filtrare

Acest fenomen a fost ilustrat pentru prima dată de Miohau, fiind acceptat și de alți autori care s-au ocupat cu cercetarea rezistențelor hidraulice în cadrul procesului de filtrare rapidă.

Rezistența hidraulică a unui strat filtrant cu granule de mărime uniformă este cu atât mai mare, cu cât structura granulometrică este mai fină. Pe de altă parte, stratele superioare (fig. 3.3.a), se încarcă cu o mare parte din suspensiile reținute deoarece ele vin în contact cu apa cea mai tulbure. Rezultă deci, că rezistența hidraulică maximă se atinge într-un moment în care partea inferioară a stratului filtrant nu a contribuit aproape cu nimic la realizarea procesului de limpezire. [92] [147]

3.1.3. Parametri determinanți.

Procesul de limpezire prin filtrarea rapidă este un fenomen complex determinat de:

- relația dintre proprietățile fizice ale lichidului și caracteristicile mediului poros;
- influența vitezei de filtrare și a mărimii granulelor stratului filtrant asupra duratei ciclurilor de filtrare;
- de repartiția cantitativă a suspensiilor reținute în masa materialului filtrant;
- de rezistența hidraulică totală a stratului filtrant;
- de relația dintre intensitatea de spălare și gradul de expandare a stratului filtrant la materiale cu granule uniforme și omogene și la materiale cu granule neuniforme.

Procesul reținerii particulelor fine din apa de limpezit prin procesele de filtrare rapidă se compune din două faze principale:

- transportul particulelor;
- reținerea particulelor.

În faza de transport, particulele antrenate de apă în porii materialului filtrant se apropie mai mult sau mai puțin de granulele de nisip sau de depozitele produse pe acestea.

În faza de reținere particulele aderă la suprafața granulelor.

La filtrarea rapidă regimul de mișcare este cel laminar, ceea ce face aplicabilă legea Darcy, deoarece numărul Reynolds are valori $R_e = 2 \div 5$.

În procesul mecanismului de transport al particulelor aflate în stare de suspensie prin porii materialelor granulare apar următoarele fenomene: Intercepția; difuzia ; inerția; sedimentarea și antrenarea hidraulică.

În cazul intercepției particulele cu diametrul δ care urmăresc o linie de curent ce trece la o distanță de suprafața granulei mai mică decât $\frac{\delta}{2}$ va atinge această suprafață prin efectul de adeziune.

Efectul de interceptare este independent de masa și densitatea particulei, dar depinde de forma și mărimea acesteia exprimat prin diametrul mediu și diametru granulei materialului filtrant.

Fenomenul de difuzie, în cazul particulelor foarte fine $\delta < 1\mu$, se produce datorită energiei termice a sistemului, iar mișcarea browniană poate aduce particulele în mișcare în vecinătatea imediată a granulelor mediului filtrant.

Inerția particulelor în mișcarea de filtrare face ca traiectoriile acestora să difere mult de liniile de curent. Acest fenomen este influențat de mărimea vitezelor particulelor de fluid ($u_s > v_f$) și de vâscozitatea lichidului, particulele tinzând să se apropie de suprafața granulelor mediului filtrant, traversând sau intersectând liniile de scurgere.

La filtrarea apei datorită vâscozității lichidului, inerția este neglijabilă, pe când la filtrarea aerului aceasta are un rol determinant.

Sedimentarea este mecanismul care afectează în special mișcarea particulelor de dimensiuni mari ($\delta > 10\mu$).

Deplasarea particulelor în suspensie după direcția accelerației gravitaționale cu o viteză de decantare Stokes face ca după traversarea liniilor de curent să vină în contact cu suprafața granulelor, cu

preponderență pe calotele superioare ale acestora.

Sub influența acestui mecanism, aglomerarea particulelor se face îndeosebi în păturile superioare, determinând reducerea porozității mediului filtrant, fapt ce conduce la majorarea vitezelor interstițiale și în consecință la obținerea unor randamente mai scăzute de filtrare, în paralel cu diminuarea ciclului.

Efectele hidrodinamice sunt determinate de forțele laterale rezultate prin compunerea translației și a rotației proprii a particulelor într-un câmp neuniform de viteze și accentuată datorită disimetriei și deformabilității particulelor în suspensie.

Sub acțiunea forțelor laterale particulele în suspensie tind să traverseze liniile de curent ajungând pe granulele materialului filtrant unde se pot depune.

În cazurile practice aceste mecanisme se combină între ele, preponderente fiind acelea care corespund mărimii, formei și densității particulelor din apă.

Difuzia acționează de regulă la particulele sub 1μ , sedimentarea în porii particulelor $> 10\mu$, având densitatea sensibil mai mare decât a apei, particulele mai mari sunt influențate mai mult de interceptie, iar acțiunea forțelor dinamice este mai accentuată la particulele mai alungite.

Procesul mecanismului de fixare a particulelor de suspensie pe suprafața granulelor materialului filtrant este atribuit fenomenului de sită și de adsorție.

Fenomenul de sită constă în reținerea la suprafața filtrului a particulelor în suspensie al cărui diametru depășește diametrul porilor filtranți ($\delta > d_p$).

În acest caz, la suprafața filtrului se formează un strat de depuneri, care împreună cu masa filtrantă participă la realizarea procesului de separare. Ca urmare a fenomenului de aglomerare a particulelor în stare

de suspensie pe suprafața mediului granular, pierderea de sarcină va avea o creștere exponențială în timp, determinând micșorarea rapidă a ciclurilor de filtrare deși materialul filtrant practic rămâne curat.

În practica filtrării rapide acest fenomen poate să apară în situații accidentale (viituri), când instalațiile de decantare nu pot să asigure turbiditățile admise pentru o funcționare normală a instalațiilor de filtrare ($\zeta > 50 \div 100$ UNT).

Adsorția este un fenomen de natură chimică sau fizică. Adsorbția chimică intervine numai în cazul mediilor cu un conținut apreciabil în săruri, iar adsorția fizică este atribuită în general forțelor electrocinetice și ele de interacțiune intermoleculară (Van der Waals).

Faptul că particulele în suspensie și granulele mediului filtrant sunt încărcate cu sarcini electromagnetice, pentru particulele cu potențiale ridicate și situate la distanțe mai mari de granulele mediului filtrant apare forța electrostatică de respingere.

Pentru învingerea barierei energetice și realizarea fixării este necesar ca particulele să dispună de o energie suplimentară cauzată de unul din mecanismele de transport care să le aducă în apropierea granulei, pentru ca forțele de atracție moleculară să poată acționa, sau ca energia potențială a particulelor să fie foarte mică în comparație cu energia potențială a granulelor, pentru a se putea genera forțele de atracție necesare separării.

Efectele mecanismului de fixare se accelerează în cazul în care apa de limpezit conține suficiente săruri dizolvate sau atunci când în apa curată se introduc reactivi de coagulare și de alcalinizare.

Suspensiile proaspete nematurizate vor fi reținute în procente reduse, particulele fine deplasându-se cu ușurință prin porii mediului filtrant ca urmare a faptului că particulele în suspensie au potențiale asemănătoare cu cele ale granulelor mediului filtrant. Acest fenomen a fost observat după

viitura din 16.03.2005 din Timișoara, când la instalația experimentală eficiențele de filtrare au fost foarte reduse.

Mecanismele de detașare sunt fenomenele care determină antrenarea depunerilor reținute pe suprafața granulelor din masa filtrantă sau de antrenare directă în efluent, efect determinat de interacțiunea forțelor de suprafață și a celor hidrodinamice.

Mecanismul de detașare a fost evidențiat de către D.M.Mintz și reprezintă stadiul în care masa filtrantă a atins capacitatea de reținere determinată de particulele reținute pe suprafața granulelor ce au condus la micșorarea volumelor porilor și la creșterea vitezelor interstițiale. Acest mecanism se produce după perioada filtrării de regim prin creșterea turbidității în apa filtrată.

Procesul de detașare este precedat de o fază necesară procesului de amorsare de obicei relativ scurtă, variind între 15÷ 20 min. Dar care poate atinge și 2÷3 h, după care urmează faza de regim cu o durată cuprinsă între 24 h ÷ 7 zile.

Pentru a se produce mecanismul de detașare este necesar ca să existe simultan mecanismul de fixare condiționat de existența fazelor de amorsare și de regim.

Mecanismele procesului de filtrare sunt rezultatul efectelor combinate a proceselor fizice, chimice, biologice și hidrodinamice. [3] [69] [101] [104] [130] [136] [143]

3.1.4. Modele matematice

3.1.4.1. Modelul granulelor sferice

Mediul filtrant s-a considerat de grosime unitară alcătuit din granule sferice cu diametru d_0 și porozitate p_0 .

La trecerea apei brute încărcată cu suspensii, masa filtrantă reține o

parte din aceste suspensii pe suprafața granulelor determinând creșterea volumului inițial al granulelor concomitent cu reducerea porozității de la p_0 la p .

$$V_0 = \frac{\pi \cdot d_0^3}{6} \quad (3.6) \qquad V = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \quad (3.7)$$

$$S_0 = \pi \cdot d_0^2 \quad (3.8) \qquad S = \pi \cdot d^2 \quad (3.9)$$

$$n_g = \frac{1-p}{V_0} \quad (3.10) \qquad V_d = \frac{\sigma \cdot V_0}{1-p} \quad (3.11)$$

în care: V_0 este volumul unei granule sferice curate;

V - volumul unei granule sferice încărcate;

S_0 - suprafața granulelor sferice curate;

S - suprafața granulelor sferice încărcate cu depozite;

n_g - numărul de granule sferice pe unitatea de volum a filtrului;

V_d - volumul depozitului pe numărul granulelor;

d_0 și d – diametrul granulelor sferice curate respectiv încărcate cu depozite;

p – porozitatea mediului filtrant;

σ – volumul depozitului pe unitatea de volum a filtrului.

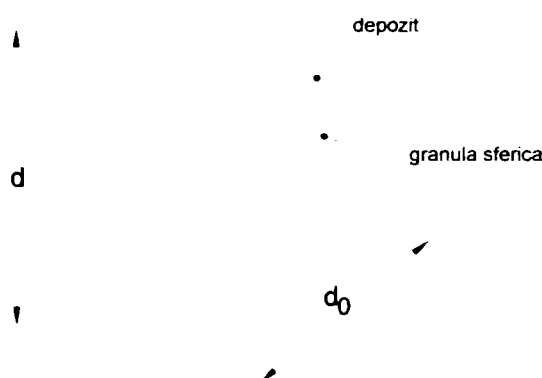


Fig.3.5. Granula sferică încărcată cu suspensii

Volumul granulelor sferice încărcate cu suspensii se poate exprima prin relația:

$$V = V_0 + V_d = V_0 \left(1 + \frac{\sigma}{1-p} \right) = V_0 \left(1 + \frac{p}{1-p} \cdot \frac{\sigma}{p} \right) \quad (3.12)$$

Folosind relația: $\varepsilon = \frac{P}{1-p}$ (3.13)

rezultă: $V = V_0 \left(1 + \varepsilon \frac{\sigma}{p} \right)$ (3.14)

sau: $\frac{V}{V_0} = \left(1 + \varepsilon \frac{\sigma}{p} \right)$ (3.15)

Făcând legătura dintre raportul suprafețelor specifice S/S_0 și cel al volumelor specifice V/V_0 se obține expresia:

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{V}{V_0} \right)^{2/3} = \left(1 + \varepsilon \frac{\sigma}{p} \right)^{2/3} \quad (3.16)$$

Această relație se poate exprima și sub forma generalizată:

$$\frac{S}{S_0} = \left(1 + \varepsilon \frac{\sigma}{p} \right)^y \quad (3.17)$$

În cazul granulelor sferice $y=2/3$.

3.1.4.2. Modelul tuburilor capilare.

Considerând că reținerea suspensiilor din apa brută se face pe suprafața laterală a granulelor și respectiv în spațiile unghiulare dintre granule, mișcarea fluidului se asimilează cu o scurgere prin tuburile capilare create în masa filtrantă, având o formă sinuasă pe direcția de scurgere a curentului.



Fig.3.6. Schema modelului capilar

În fig. 3.6. se reprezintă schema modelului capilar conceput de Ives [56,147], în care se folosesc următoarele notații:

N este numărul capilarelor pentru o suprafață unitară;

l - lungimea capilarelor pentru unitatea de volum a filtrului;

r - raza tubului capilar;

p - porozitatea mediului filtrant;

σ - depunerea specifică;

θ - grosimea depozitelor în secțiunea unui por;

S_0 - suprafața specifică inițială a tuburilor capilare de rază r și lungime l ;

S - suprafața specifică a tuburilor capilare rămasă disponibilă la momentul t , de la începerea ciclului de filtrare.

În baza acestor notații se determină:

$$S_0 = 2\pi Nl \quad (3.18)$$

$$S = 2\pi(r - \theta)^2 Nl \quad (3.19)$$

$$\sigma = \pi r^2 Nl - \pi(r - \theta)^2 Nl \quad (3.20)$$

$$P = \pi r^2 Nl \quad (3.21)$$

$$\theta = r \left[1 - \left(1 - \frac{\theta}{p} \right)^{1.2} \right] \quad (3.22)$$

rezultând:
$$\frac{S}{S_0} = \left[1 - \frac{\sigma}{p} \right]^{1.2} \quad (3.23)$$

Prin generalizare, raportul S/S_0 se poate pune sub forma:

$$\frac{S}{S_0} = \left[1 - \frac{\sigma}{p} \right]^z \quad (3.24)$$

3.1.4.3. Modelul suprafețelor specifice combinate

Combinând cele două modele se obține:

$$S = S_0 \left(1 + \varepsilon \frac{\sigma}{p} \right)^y \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{p} \right)^z \quad (3.25)$$

Dacă: $\sigma=p$ rezultă $S=S_0$.

Această condiție nu este în concordanță cu realitatea. Filtrul iese din funcțiune înainte ca porii să fie complet blocați. Din acest considerent este necesar ca relația (3.12.) să fie corectată de un factor care să țină cont de modificarea vitezelor interstițiale ce are loc în timpul desfășurării procesului de filtrare.

3.1.4.4. Modelul vitezelor interstițiale

Folosindu-se notațiile:

V este viteza aparentă de filtrare; $V_r = V/p$ – viteza reală de filtrare;

σ – depunerea specifică la un moment dat; σ_n – depunerea specifică maximă în momentul în care filtrul devine ineficace;

$V_c = \frac{V}{p - \sigma_m}$ - viteza critică de filtrare la care nu se mai produc alte

depuneri; p – porozitatea la un moment dat a filtrului.

Ives [56] [143] admite că randamentul filtrării, exprimat prin parametrul λ , este proporțional cu diferența vitezelor interstițiale la o putere oarecare x :

$$\lambda \approx \left[\frac{1}{V_i} - \frac{1}{V_c} \right]^x \approx \left[\frac{P - \sigma}{V} - \frac{P - \sigma_n}{V} \right]^x \approx \left[\frac{\sigma_n - \sigma}{V} \right]^x \quad (3.26)$$

La începutul procesului, când filtrul este curat $\sigma = 0$ iar $\lambda = \lambda_0$, rezultă:

$$\lambda_0 \approx \left[\frac{\sigma_n}{V} \right]^x \quad (3.27)$$

sau în exprimare adimensională.

În baza acestor observații parametrul filtrării λ este o funcție dependentă de suprafețele specifice combinate și de vitezele interstițiale:

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \left(1 + \varepsilon \frac{\sigma}{p} \right)^y \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{p} \right)^z \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_n} \right)^x \quad (3.28)$$

În cazul în care $\sigma \rightarrow \sigma_n$; $\lambda = 0$.

Prin particularizarea experiențelor din expresia (3.28) se deduc relațiile pentru determinarea coeficientului de rezistență al filtrului, utilizate în modelele matematice ale diferiților cercetători.

1. Dacă: $x=y=z=1$, se obține relația propusă de K.I.Ives:

$$\lambda = \lambda_0 + c \cdot \sigma - \frac{\phi \sigma^2}{p - \sigma} \quad (3.29)$$

2. Dacă: $x=0$ ecuația generală se reduce la modelul Mockrle:

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \left(1 + \beta \frac{\sigma}{p} \right)^y \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{p} \right)^z \quad (3.30)$$

3. Dacă: $x=y=0$ și $z=1$ se obține relația propusă de Lerk și Schectman:

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \left(1 - \frac{\sigma}{p} \right) \quad (3.31)$$

4. Dacă: $y=z=0$ și $x=1$ rezultă modelul propus de D.M.Minț, pornind

de la ecuația:

$$-\frac{\partial c}{\partial x} = \lambda_0 \cdot C - \frac{\beta \sigma}{v} \quad (3.32)$$

și introducând notațiile:

$$\beta = \lambda_0 \cdot v \frac{C_0}{\sigma_m} \quad (3.33)$$

$$\beta = \beta^1 \cdot C \quad (3.34)$$

ecuația (3.19.) se transcrie sub forma:

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \lambda_0 \left(1 - \frac{\beta^1 \cdot \sigma}{v \lambda_0} \right) \cdot C \quad (3.35)$$

de unde rezultă:

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \left(1 - \frac{\beta^1 \cdot \sigma}{v \lambda_0} \right) = \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_m} \right) \quad (3.36)$$

3.1.4.5. Pierderea de sarcină în filtru

Considerând scurgerea într-un mediu poros de tip laminar, relația pentru calculul pierderilor de sarcină pentru un fluid lipsit de suspensii se poate determina cu ecuația propusă de Koseny-Carman [4] [5] [96] [114] [118] [148]

$$\frac{\partial H}{\partial L} = K \frac{\mu V S^2}{\rho g p^3} \quad (3.37)$$

Introducând în expresia 3.37 relația 3.23 și ținând cont că porozitatea mediului filtrant încărcat cu depozite este de forma:

$$p = p_0 \left(1 - \frac{\sigma}{p_0} \right) \quad (3.38)$$

se obține:

$$\frac{\partial H}{\partial L} = K \frac{\mu V S_0^2}{\rho g p^3} \left(1 + \varepsilon \frac{\sigma}{p} \right)^{2z} \left(1 - \frac{\sigma}{p} \right)^{2x-3} \quad (3.39)$$

pentru $t=0$; $\sigma =0$ rezultă pierderea de sarcină la începutul procesului de filtrare sub forma:

$$\frac{\left[\frac{\partial H}{\partial L}\right]}{\left[\frac{\partial H}{\partial L}\right]_0} = \left[1 + \varepsilon \frac{\sigma}{p}\right]^{2\varepsilon} \left[1 - \frac{\sigma}{p}\right]^{2\varepsilon + 3} \quad (3.40)$$

pentru $y=z=1$; se obține:

$$\frac{\left[\frac{\partial H}{\partial L}\right]}{\left[\frac{\partial H}{\partial L}\right]_0} = \frac{\left(1 + \varepsilon \frac{\sigma}{p}\right)^2}{\left(1 - \frac{\sigma}{p}\right)} \quad (3.41)$$

În cazul în care $\sigma \ll p$, termenul din dreapta se poate dezvolta în serie stabilind expresia de calcul a pierderilor de sarcină în filtru:

$$\frac{\left[\frac{\partial H}{\partial L}\right]}{\left[\frac{\partial H}{\partial L}\right]_0} = 1 + (2\varepsilon + 1)\frac{\sigma}{p} + (\varepsilon + 1)^2 \left(\frac{\sigma}{p}\right)^2 + (\varepsilon + 1)^3 \left(\frac{\sigma}{p}\right)^3 + \dots \quad (3.42)$$

Expresia 3.29. s-a dovedit valabilă, în cazul în care concentrația efluentului este sub 5% din concentrația inițială a apei brute. În acest caz, pierderile de sarcină au o creștere liniară pe toată durata ciclului de filtrare.

Relația 3.29. evidențiază legăturile între modelele granulelor sferice, tuburilor capilare și a vitezelor interstițiale.

3.1.5. Optimizarea proceselor de filtrare prin straturi multiple omogene

Optimizarea procesului de filtrare se realizează atunci când construcția și exploatarea determină realizarea concomitentă a condițiilor limită de rezistență și de calitate fără ca debitul să fie diminuat pe durata ciclului de filtrare. [125] [134] [135]

Scoaterea din funcțiune a unui filtru pentru a fi spălat se face atunci

când:

1. rezistența hidraulică a filtrului atinge limita maximă;
2. calitatea efluentului depășește limita maximă de calitate admisă de normele tehnice;
3. debitul filtrului scade cu mai mult de 50% din debitul inițial.

Optimul procesului de filtrare se obține atunci când se modifică viteza de filtrare, granulometria sau grosimea patului filtrant.

Pentru o granulometrie și o viteză de filtrare dată, în diagrama din fig. 3.8., se reprezintă diferitele alternative de funcționare a unui filtru rapid considerând modificarea concomitentă de-a lungul ciclului de filtrare, atât a pierderilor de sarcină cât și a calității efluentului.

Dacă grosimea stratului filtrant $X_n = X_{opt}$, concentrația în suspensii a efluentului $C=C_{lim}$ și pierderea de sarcină $H=H_{lim}$ sunt atinse concomitent la timpul $t=t_m$, durată ce poartă denumirea de ciclu optim de filtrare.

Dacă $X_k = X_{opt}$, concentrația limită a suspensiilor din efluent este atinsă la timpul $t_N=t_M$, cu mult înainte de a se consuma întreaga sarcină disponibilă. În acest caz, filtrul se oprește pentru a se spăla, deoarece filtratul obținut în continuare este de proastă calitate.

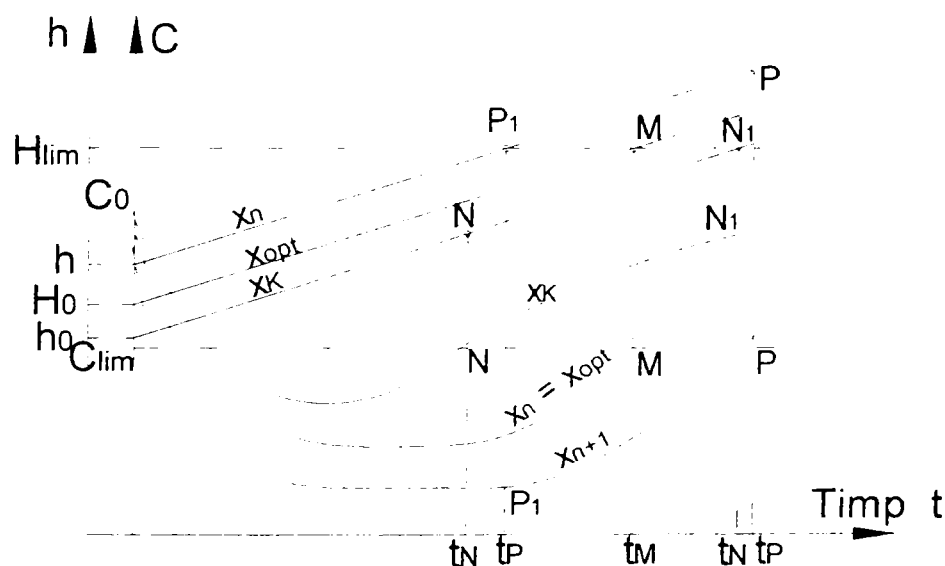


Fig. 3.7. Modificarea concomitentă a pierderilor de sarcină și a calității efluentului de-a lungul ciclului de filtrare

Dacă $X_{n+1} > X_{opt}$, scoaterea din funcțiune a filtrului se face la timpul $t'_p < t_M$ dictat de atingerea pierderii de sarcină H_{lim} , deși capacitatea de reținere a filtrului n-a fost în întregime exploatată.

Datorită numărului mare de parametri care intervin în desfășurarea procesului de separare prin filtrele rapide de nisip, teoriile care s-au dezvoltat până în prezent nu se pot utiliza decât în condiții particulare la proiectarea și exploatarea instalațiilor de filtrare. Din aceste considerente se impune cercetarea procesului pentru fiecare stadiu caracteristic ciclului de filtrare în vederea stabilirii, din punct de vedere tehnic și economic, a criteriilor optime pentru proiectarea și exploatarea instalațiilor.

Pentru descrierea matematică a procesului de limpezire prin filtrare este necesar să se delimiteze stadiile caracteristice pentru un anumit ciclu de filtrare. [38] [105] [106] [102]

La filtrarea descendentă prin straturi omogene au loc trei faze distincte care se întrepătrund și împreună configurează derularea procesului de limpezire. [95] [96] [107] [111]

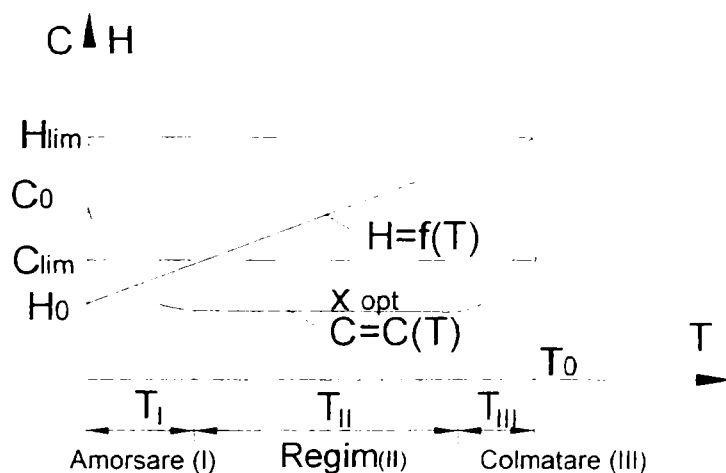


Fig.3.8. Stadiile caracteristice pentru un anumit ciclu de filtrare

În cazul unei structuri filtrante optimizate, modificările de ordin calitativ parcurg trei faze distincte:

- faza inițială (T_I) necesară pentru amorsarea procesului;

- faza de regim (T_{II}) în care concentrația efluentului se menține constantă;
- faza de colmatare (T_{III}) este perioada de timp în care concentrația efluentului tinde să crească, iar când a fost atinsă limita admisă (C_{lim}) filtrul se oprește pentru a fi spălat.

În mod obișnuit, la uzinarea filtrelor rapide, efluentul obținut în primele 15-20 minute fiind de proastă calitate se elimină prin rețeaua de canalizare, urmând a fi reținută în rezervoarele de uzinaj, apa obținută după trecerea acestui timp t_0 . Mărimea timpului t_0 , în ipoteza că toți ceilalți parametri care concură la desfășurarea procesului nu se schimbă, este dependentă de grosimea stratului filtrant, structura granulometrică a acestuia și viteza de filtrare. Pe măsură ce grosimea patului filtrant crește, timpul t_0 se poate reduce, teoretic până la zero. Același efect se poate obține prin reducerea vitezei de filtrare sau a coeficientului de neuniformitate al masei filtrante. Ca urmare a acestor efecte există o tendință de reducere și a duratei t_1 și în consecință a întregii perioade de reținere. Reducerea perioadei inițiale de reținere contribuie la majorarea ciclului real de filtrare și tot odată la sporirea volumului de apă livrat consumatorilor.

Perioada de reținere constituie treapta prin care se realizează așa zisa amorsare a filtrului și influențează sensibil desfășurarea în continuare a procesului.

În mod obișnuit, la uzinarea filtrelor rapide de nisip, perioada de regim se poate atinge o durată de 1 la 2 zile și numai în cazuri cu totul excepționale după 6-7 zile.

Pentru a prelungi perioada de regim se necesită stabilirea parametrilor fizici, chimici sau electrochimici care influențează direct sau indirect desfășurarea procesului de filtrare rapidă.

Perioada de colmatare este perioada de timp în care concentrația

efluentului C crește de la C_{\min} la C_{\lim} . Acest stadiu caracterizează limita maximă de reținere a mediului filtrant. Suspensiile reținute, la început în stratele superioare, sub efectul mecanismelor de transport, înaintează treptat către stratele inferioare, ca apoi să fie transferate efluentului.

În exploatare, de cele mai multe ori, acest stadiu nu se utilizează la întreaga sa capacitate. Filtrul se scoate din funcțiune pentru a fi spălat în momentul în care a fost atinsă pierderea de sarcină maximă, deși capacitatea de reținere a mediului filtrant n-a atins limita maximă. Din acest motiv, uneori, spălarea se începe chiar în stadiul II, eliminându-se astfel funcționarea filtrului în stadiul III. Cazul ideal de funcționare ar corespunde momentului T_0 (fig. 3.9.) în care odată cu atingerea limitei maxime de calitate a efluentului a fost consumată întreaga sarcină disponibilă a filtrului. Corelarea celor două alternative se poate obține printr-o alegere judicioasă a grosimii și structurii granulometrice a mediului filtrant, a vitezei de filtrare cât și a înălțimii de construcție a cuvei filtrului.

3.2. Filtrarea rapidă descendentă prin straturi multiple neomogene

3.2.1. Structura și caracteristicile materialelor neomogene

Filtrarea rapidă reprezintă operațiunea de bază în cadrul procesului de limpezire a apelor de suprafață asigurând reținerea parțială sau totală a suspensiilor rămase după decantare.

Procesul de filtrare pe strat unic de nisip se caracterizează printr-o dotare și amenajare simplă și robustă, însă are, ca dezavantaje, perioade utile de filtrare dar scurte, necesită suprafețe mari și admite sortări dăunătoare materialului filtrant, mai ales la spălarea în contracurent. Reținerea suspensiilor la aceste tipuri de filtre se face într-o proporție mai mare în zonele superioare ale masei filtrante ocupate de granulație mai

fină, în timp ce, masa filtrantă de granulație grosieră de la partea inferioară devine practic inutilizabilă. Pentru a elimina acest neajuns și deci pentru a da o utilizare a întregii capacități de reținere a coloanelor filtrante, s-a conceput o masă filtrantă alcătuită din mai multe straturi astfel încât orizonturile superioare să fie ocupate din materiale ușoare de grosime și granulație mare iar cele inferioare, de materiale mai grele de grosime mică și granulație fină.

Acest gen de filtrare poartă denumirea de filtrare pe straturi multiple sau de filtrare în adâncime [103] [112] [115]. Reactivii chimici, de coagulare și de alcalinitate necesari accelerării procesului de limpezire se introduc direct în filtru odată cu apa de limpezit.

Amestecul și reacția fiind asigurate în stratele superioare de granulație și grosime mare, determină o încărcare aproape uniformă cu suspensii a stratelor din zonele inferioare ale filtrului. Printr-o alegere judicioasă a structurii stratelor filtrante se poate asigura un efluent de bună calitate iar prin eliminarea camerelor de amestec și de reacție din cadrul liniilor tehnologice de tratare se pot obține economii importante atât la cheltuielile de investiție cât și la cele de exploatare.

Echipare filtrelor rapide cu materiale filtrante neomogene are rolul de a utiliza mai bine capacitatea de reținere a mediului filtrant.

Materialele utilizate se aleg în funcție de capacitatea de reținere în raport cu mărimea densității. [119]

Alegerea structurii mediului filtrant trebuie făcută în raport cu mărimea granulelor astfel încât paturile superioare să fie ocupate de materialele ușoare dar cu granulație mare, urmând ca straturile inferioare să fie constituite din granulații mai mici dar cu densități crescătoare.

Materialele filtrante care pot fi utilizate la echiparea filtrelor rapide multistrat se pot menționa: polistirenul, antracitul, cocsul metalurgic, cărbunele activ, nisipul de cuarț, dolomita, granatul, magnetita, etc. [12]

[143] [177]

În tabelul 3.2. sunt redate materialele filtrante dintr-o structură cu straturi multiple utilizate în cadrul proceselor de filtrare rapidă, cu valorificarea în adâncime a capacității de reținere a mediului filtrant. [112]

Tabelul 3.2

Nr. crt.	Mediul filtrant	Diametrul granulelor d<mm>	Densitatea $\rho<g/cm^3>$	Porozitatea p
1	POLISTIREN (P)	2,500	1,04	0,350
2	ANTRACIT (A)	1,530	1,40	0,425
3	NISIP DE CUARȚ (N)	0,773	2,65	0,465
4	GRANAT (G)	0,546	3,83	0,470
5	MAGNETITĂ (M)	0,460	4,90	0,420

Filtrele rapide descendente multistrat pot fi concepute cu diferite structuri. În figura 3.9. sunt redate câteva alternative a filtrelor multistrat.

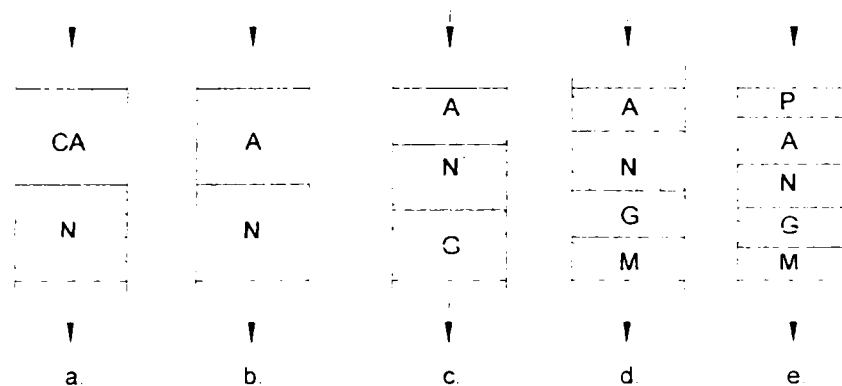


Fig. 3.9. Filtre cu straturi multiple

Fig. 3.9 a. Filtru dublu strat, cu cărbune activ (CA) și nisip (N)

Fig. 3.9 b. Filtru dublu strat, antracit (A) și nisip (N)

Fig. 3.9 c. Filtru cu trei straturi, antracit (A), nisip (N), granat (G)

Fig. 3.9 d. Filtru cu patru straturi, antracit (A), nisip (N), granat (G), magnetită (M)

Fig. 3.9 e. Filtru cu cinci straturi, polistiren (P) antracit (A), nisip (N), granat (G), magnetită (M)

În straturile cu medii duble combinația cea mai des folosită este de a utiliza antracitul deasupra stratului de nisip cuarțos. [16] [18]

Greutatea specifică a antracitului variază între $1400\div 1700 \text{ daN/m}^3$, iar cea a nisipului cuarțos este de 2650 daN/m^3 .

Pentru filtrele cu medii multiple s-au folosit granule de PVC deasupra antracitului sau granule de polistiren. La baza stratului filtrant, mediul filtrant este constituit din granule cu densitate mare și diametre mici.

Sub stratul de nisip se utilizează de regulă granatul și magnetitul. Grosimea totală a stratelor filtrante variază între $1,3\div 1,5 \text{ m}$, ajungând uneori chiar la 2 m , iar grosimea fiecărui strat variază între $0,3\div 0,7 \text{ m}$.

În stratele echipate cu materiale de compoziție granulometrică mai fină posibilitatea de reținere, este pe de o parte mărită datorită micșorării porozității, iar pe de altă parte este micșorată din cauza măririi vitezei interstițiale, care deformează mai mult particulele de apă absorbite.

La reținerea suspensiilor în ansamblul stratului filtrant se pot evidenția următoarele aspecte:

- fiecare fracțiune elementară a stratului are o capacitate determinată de reținere a suspensiilor;
- după epuizarea acestei capacități suspensiile din apă sunt reținute de fracțiunea următoare din grosimea stratului filtrant;
- după epuizarea capacității de reținere a ultimei fracțiuni din grosimea stratului filtrant, în efluent încep să apară suspensii peste limitele admise de norme.

Spre deosebire de filtrarea descendentă în straturi omogene unde încărcarea este de natură exponențială, mai mare în stratele superioare și relativ mică în cele inferioare, în schimb la filtrarea descendentă prin straturi multiple, alura curbei de reținere se modifică substanțial astfel încât încărcarea stratelor filtrante devine mai uniformă, utilizându-se în felul acesta mai mult capacitățile de reținere ale fiecărui strat component.

Majorarea capacității de reținere rezultă prin stabilirea compoziției stratelor filtrante pe bază de încercări experimentale.

Straturile filtrante din materiale neomogene prezintă și unele neajunsuri determinate de gradul de rezistență la ciclurile repetate de spălare, dar și din cauza unor costuri deosebit de ridicate pentru unele tipuri de materiale (granat, magnetită, antracit).

La aceste neajunsuri se mai adaugă pierderile de material granular din timpul proceselor de spălare.

3.2.2. Modificările cantitative și calitative la filtrarea descendentă multistrat

Filtrele multistrat sunt alcătuite din materiale granulare de naturi diferite cu două până la cinci straturi (fig. 3.10).

Aceste instalații au apărut pentru prima dată în Anglia în anul 1916, utilizate apoi în S.U.A. sub forma filtrelor cu dublu strat, iar în prezent sunt utilizate experimental și filtre cu cinci straturi.

Sistemul de filtrare descendent multistrat prezintă avantaje importante mai ales în cazul utilizării unei viteze mari de filtrare.

La alcătuirea acestor tipuri de instalații trebuie să se țină seama de următoarele aspecte:

1. stabilirea înălțimii fiecărui strat;
2. alegerea dimensiunilor granulelor;
3. controlul calității flacoanelor.

Modificările cantitative și calitative la filtrele rapide multistrat sunt determinate de structura mediului filtrant, de caracteristicile apei brute supuse limpezirii și de mărimea vitezei de filtrare.

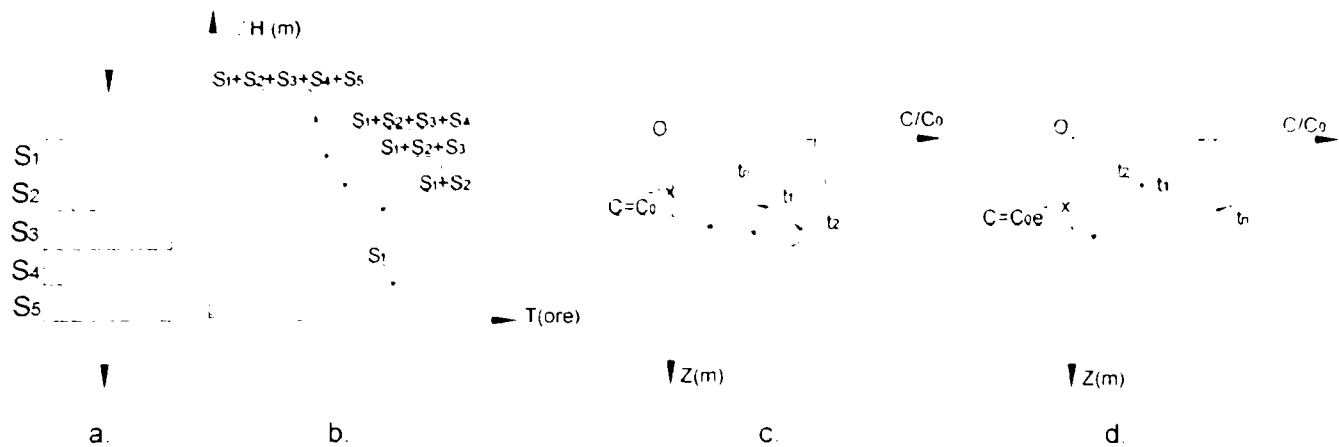


Fig. 3.10. Modificările cantitative și calitative la filtrele cu straturi multiple

Pierderile de sarcină pe durata ciclurilor de filtrare au creșteri mai mici în straturile grosiere de la suprafață și mult mai mari în straturile mai fine care ocupă orizonturile inferioare (fig. 3.10. a și b). Modificările calitative se reflectă prin încărcarea straturilor grosiere de la suprafață, modificări care au o dezvoltare de formă exponențială.

Această modalitate de reținere se manifestă prin tendința de încărcare lentă a stratelor superioare ceea ce face ca să se utilizeze întreaga capacitate de reținere a mediului filtrant.

Spre deosebire de filtrarea descendentă prin straturi omogene (fig. 3.10 d), la care reținerea este exponențială la începutul procesului, la filtrarea prin straturi multiple reținerea este de natură tot exponențială aplicabilă către sfârșitul procesului (fig. 3.10. c).

Desigur că eficiența procesului de filtrare prin structurile multistrat este determinată de alegerea judicioasă a structurii și grosimii stratelor filtrante de mărimea stratelor componente, dar și de costurile alocate pentru obținerea lor.

Răspunsul la aceste probleme va fi obținut prin cercetări experimentale pe filtre de laborator sau pe instalații semiindustriale.

3.2.3. Parametri determinanți la filtrarea descendentă multi strat

Procesul de limpezire la filtrarea rapidă descendentă cu straturi multiple este analog cu cel de la filtrarea descendentă cu straturi omogene uniforme și neuniforme.

Elementele determinante ale procesului de separare sunt caracterizate de relația dintre proprietățile fizice ale apei de limpezit și caracteristicile mediului filtrant, de mărimea vitezei de filtrare și de modul de exploatare.

În funcție de mărimea particulelor în suspensie, precum și de mărimea porilor materialului filtrant, efectele de interceptie, difuzie, inerție, sedimentare și hidrodinamice vor acționa cu o pondere mai mare sau mai mică influențând eficiența procesului, modul de încărcare și durata ciclului de filtrare. [114]

3.2.4. Modelul matematic al proceselor descendente de filtrare rapidă pe straturi multiple neomogene

Relațiile analitice care definesc procesul reținerii cantitative la filtrele cu straturi multiple se obțin prin generalizarea modelului matematic propus de T. Iwasaki [51] pentru filtrarea rapidă pe strat unic:

$$C = C_0 \cdot e^{-\lambda x} \quad (3.43)$$

în care: C_0 , C sunt concentrațiile în suspensii la intrarea și ieșirea din filtru,
în mg/l;

x – grosimea stratului filtrant, în m;

λ – parametrul filtrării rapide în m^{-1} .

Generalizând relația (3.43) pentru filtrarea rapidă cu straturi multiple rezultă:

$$C_1 = C_0 \cdot e^{-\lambda_1 x_1}; \quad C_2 = C_1 \cdot e^{-\lambda_2 x_2}; \quad \dots; \quad C_{i-1} \cdot e^{-\lambda_i x_i} \quad (3.44)$$

sau:

$$C = C_0 \exp[-(\lambda_1 x_1 + \lambda_2 x_2 + \dots + \lambda_i x_i)] = C_0 \exp(-\lambda L) \quad (3.45)$$

iar:

$$\lambda_{ech} = \frac{\sum \lambda_i x_i}{\sum x_i} = \frac{\sum \lambda_i x_i}{L} \quad (3.46)$$

$$L = x_1 + x_2 + \dots + x_i \quad (3.47)$$

în care: C_1, C_2, \dots, C_i sunt concentrațiile în suspensii la ieșirea din fiecare strat, în mg/l;

x_1, x_2, \dots, x_i – grosimile stratelor componente, în m;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i$ – parametrii filtrării caracteristici stratelor componente, în m^{-1} ;

λ_{ech} – parametrul filtrării cu straturi multiple, caracteristic unui filtru cu strat unic de grosime L și este egală cu suma grosimilor stratelor elementare.

Gradientul reținerii impurităților în stratele componente ale mediului filtrant este proporțional cu concentrația impurităților din efluent și se poate exprima sub forma:

$$\frac{\Delta C_i}{\Delta X_i} = -\lambda_{ech} \cdot C \quad (3.48)$$

Aplicând legea bilanțului unic pentru o masă filtrantă de secțiune unitară obținem legătura dintre gradientul reținerii și variația depozitului specific în raport cu durata filtrării, sub forma:

$$\frac{\Delta C_i}{\Delta X_i} = -\frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta \sigma_i}{\Delta t_i} \quad (3.49)$$

Depozitul specific pe grosimea stratelor componente se poate exprima sub forma:

$$\Delta \sigma_i = -V \frac{\Delta C_i}{\Delta X_i} \Delta t_i \quad (3.50)$$

Depozitul specific pe grosimea $L = \sum X_i$, se poate exprima sub forma:

$$\sigma = \sum_{i=1}^n \Delta\sigma_i = +K \sum_{i=1}^n \lambda_{ech} \cdot C_i \cdot \Delta X_i \quad (3.51)$$

3.2.5. Optimizarea proceselor descendente de filtrare rapidă prin straturi multiple neomogene

La filtrarea descendentă cu straturi multiple este recomandabil să se utilizeze structuri granulare cu diametre descrescătoare constituite din materiale cu densități crescătoare, în scopul de a se utiliza întreaga capacitate de reținere a mediului filtrant.

Cercetările experimentale au pus în evidență efectele reținerii suspensiilor din apa brută prin fiecare strat component.

În straturile cu medii duble, combinația cea mai des folosită este antracitul amplasat deasupra nisipului cuarțos. Spălarea materialelor filtrante constituite din antracit și nisip se recomandă a se face cu apă și aer folosindu-se pentru aer o viteză de 80÷100 m/h timp de 1÷3 min., după care se introduce apa de spălare cu o viteză de 60÷80 m/h timp de 1÷3 min. După acest timp se oprește accesul aerului și se continuă spălarea cu apă încă 3÷5 min.

La filtrele rapide multistrat alcătuite din materiale granulare de naturi diferite: polistiren (P), antracit (A), nisip cuarțos (N), granat (G) și magnetit (M), eficiența este mare datorită stratelor inferioare de granat și magnetit.

Procesul de spălare cu apă sau cu apă și aer trebuie conduse cu foarte mare atenție pentru a nu se pierde materialul ușor din orizonturile superioare.

Pentru aceasta este necesar ca suprafața jgheburilor colectoare apei de spălare să se acopere cu plase din sârmă sau din material plastic având ochiurile mai mici decât cele mai fine granule din stratele

componente.

Structura materialelor filtrante va fi stabilită de așa manieră încât coeficientul de uniformitate (u) să fie mai mic decât 2,5-3,0, iar $d_e=d_{10}=0,4-0,5\text{mm}$. Aceste cerințe se impun a fi respectate pentru situația în care turbiditatea apei brute nu depășește 50-60 mg/l în condițiile unor viteze de 5 la 15 m/h.

Gradul de limpezire se poate îmbunătăți prin tratare directă a apei cu diferiți reactivi de coagulare alcalinizare.

Utilizarea reactivilor este determinată de caracteristicile suspensiilor din apa supusă limpezirii.

În procesul de optimizare un rol determinant îl joacă și grosimea stratului filtrant, corelată cu calitatea apei filtrate și cu mărimea rezistențelor hidraulice și duratele ciclurilor de filtrare.

Optimizarea structurilor filtrante cu straturi multiple se poate face pentru fiecare instalație prin cercetări prealabile la scară de laborator și chiar direct pe filtre uzuale, punându-se în evidență eficiența fiecărui strat prin corelație cu mărimea pierderilor de sarcină și a ciclurilor de filtrare.

În cadrul proceselor de exploatare structura mediului filtrant trebuie controlată periodic, completându-se pierderile de material granular cu sorturile granulometrice pentru realizarea condițiilor inițiale stabilite în cadrul proceselor de optimizare.

3.3. Filtrarea rapidă ascendentă prin straturi multiple omogene și neomogene

3.3.1. Considerații de ordin general

Filtrarea rapidă a fost utilizată pentru prima dată în jurul anului 1930, iar mai târziu această metodă de filtrare a fost utilizată în Rusia ca filtre de contact prin utilizarea reactivilor de coagulare administrați la intrarea în

filtru. [143]

Filtrele de contact s-au limpezitoarele de contact sunt destinate pentru filtrarea apei cu un conținut de suspensii care să nu depășească 150 mg/l.

Apa de limpezit împreună cu coagulantul și adjuvantul se introduce sub stratul de suport astfel încât să se realizeze o reținere cât mai uniformă a mediului filtrant.

Filtrele rapide ascendente (fig. 3.11) se pot echipa fie cu materiale omogene ($\rho = \text{constant}$), fie cu materiale neomogene ($\rho = \text{variabil}$), având granulațiile descrescătoare după direcția curentului de curgere.

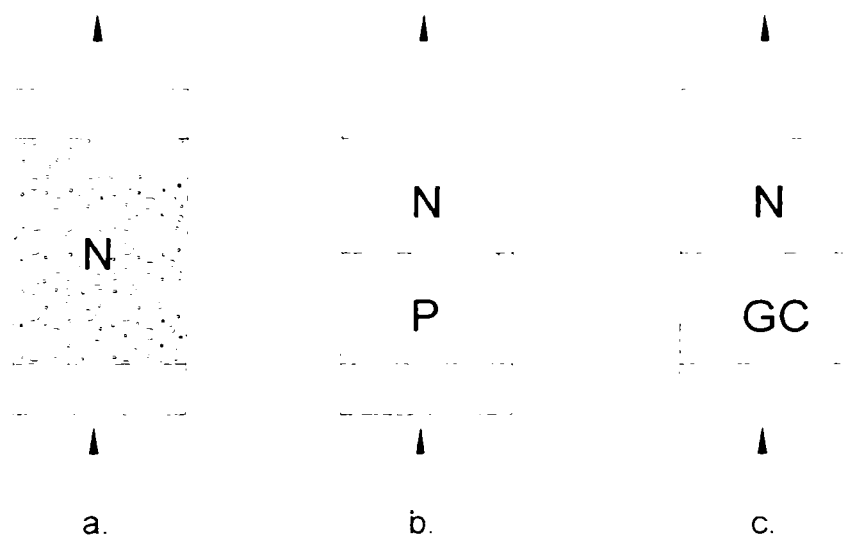


Fig. 3.11. Filtre rapide ascendente cu start unic și dublu strat, omogene și neomogene

La o dimensiune medie a granulelor de 0,8 mm viteza de filtrare nu trebuie să depășească $5 \div 5,5$ m/h, [133].

Vitezele mai mari de filtrare determină fluidizarea nisipului din stratul filtrant, stratul suport fiind constituit din pietriș (P) sau din granit concasat (GC) având granulația și densitatea mai mare decât a nisipului nu intră sub efectul fenomenului de fluidizare.

Pericolul fluidizării nisipului crește pe măsura colmatării porilor cu

impuritățile conținute în apă. Din acest motiv productivitatea unui filtru rapid cu un curent ascendent de apă este limitată de pericolul fluidizării părții superioare a stratului filtrant cu granulație mai fină, ceea ce face ca din punct de vedere al mărimii vitezei de filtrare să nu se poată atinge performanțe mai ridicate comparativ cu cele obținute prin filtrele rapide, de tip obișnuit, descendente.

Pentru evitarea acestui neajuns se recomandă amenajarea pe suprafața filtrelor a unor plase pe suport de grilă, care în timpul procesului de spălare să se poată ridica pentru a se asigura expandarea necesară pe toată durata spălării.

Cu o astfel de amenajare, filtrarea ascendentă se poate extinde și pentru viteze mai mari de $10 \div 15$ m/h.

Se poate asimila procesul de limpezire de la filtrarea ascendentă cu cel ca are loc în cazul limpezirii apei prin decantoarele suspensionale.

Pornind de la legea fundamentală a separării suspensionale pentru cazul proceselor de limpezire prin decantoarele suspensionale cu secțiune progresivă [19], exprimată sub forma:

$$C = C_0 \cdot e^{-\frac{bC_s}{v_1} \left(z + \frac{1}{r_1 \operatorname{tg} \alpha} z^2 + \frac{1}{3r_1^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} z^3 \right)} = C_0 \cdot e^{-Z} \quad (3.52)$$

$$\text{iar: } Z = \frac{bC_s}{v_1} \left(z + \frac{1}{r_1 \operatorname{tg} \alpha} z^2 + \frac{1}{3r_1^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} z^3 \right) \quad (3.53)$$

în care: C , C_0 sunt concentrațiile intrare și la ieșire în suspensii, în mg/l;

b – factorul de separare, în $\text{dm}^3/\text{mg} \cdot \text{s}$;

C_s – concentrația în suspensii a stratului suspensional, în mg/dm^3 ;

v_1 – viteza ascensională, în m/s;

z – înălțimea corespunzătoare, în m;

r_1 – raza separatorului la intrarea apei, în m;

α – înclinarea față de orizontală a pereților separatorului, în $^\circ$;

Z – complexul adimensional.

se obține legea de separare a suspensiilor în cazul filtrării ascendente de secțiune constantă și pereți verticali ($\alpha = 90^0$) sub forma:

$$C = C_0 \cdot e^{-\frac{bC_s}{v} z} = C_0 \cdot e^{-Z} \quad (3.54)$$

Compexul adimensional Z din relația (3.54) se notează sub forma:

$$Z = \frac{bC_s}{v} z = \lambda \cdot x \quad (3.55)$$

$$\text{în care: } \lambda = \frac{bC_s}{v} \quad (3.56)$$

Cu ajutorul observațiilor și a notațiilor făcute mai sus se ajunge la relația (3.43) stabilită de Iwasaki în cazul filtrării rapide descendente:

$$C = C_0 \cdot e^{-\lambda \cdot x} \quad (3.43)$$

Deosebirea între separatoarele suspensionale și filtrarea ascensională constă în aceea, că masa suspensională la filtrarea ascendentă este constituită din materialele filtrante granulare și dintr-o anumită parte a suspensiilor reținute în porii stratului granular, iar la separatoarele suspensionale masa filtrantă este alcătuită numai din particulele reținute din apa supusă limpezirii.

Dacă la filtrarea ascendentă amorsarea procesului de limpezire reținerea este asigurată imediat după punerea în funcțiune a filtrului, la decantoarele suspensionale amorsarea procesului este dictată de formarea stratului suspensional care necesită zile și chiar săptămâni, timp în care apa este evacuată la rețeaua de canalizare.

Procesul de limpezire pentru filtrarea ascendentă este determinat de calitatea suspensiilor respectiv de aderența acestora la mediul filtrant.

3.3.2. Structura și caracteristicile stratelor multiple omogene

Stratele multiple omogene pot fi constituite din același material (nisip

de cuarț, în care $\rho = \text{constant}$ cu granulația descrescătoare după direcția curentului ($d = \text{variabil}$).

În acest caz granulele de diametre mai mari vor ocupa orizonturile inferioare, iar cele cu diametre mai mici orizonturile superioare.

O asemenea structură s-a dovedit avantajoasă atât sub aspect economic cât și sub aspect tehnologic.

Nisipul de cuarț cu o granulație cuprinsă între 0,3 și 3,5 mm poate constitui o alternativă pentru o structură filtrantă din material omogen, care să întrunească cerințele impuse pentru o valorificare cât mai uniformă a mediului filtrant.

Și în cazul acestui gen de filtrare natura particulelor în suspensie joacă un rol determinant în cadrul proceselor de limpezire. Particulele mature au un grad mai mare de aderență la granulele mediului filtrant evitând apariția fenomenului de fluidizare chiar și în cazul unor viteze mai mari de filtrare (10-15 m/h).

În cazul particulelor proaspete lipsite de aderență procesul de limpezire se poate intensifica numai prin tratarea apei cu reactivi chimici de coagulare și alcalinizare, reactivi introduși în apa brută în prealabil decantată sau chiar direct sub stratul grosier de suport.

În ambele situații se recomandă amenajarea sitei pe suport de grilă pentru a evita apariția fenomenului de fluidizare, în scopul unor viteze de filtrare de până la 10÷15 m/h.

3.3.3. Structura și caracteristicile stratelor multiple neomogene

La filtrarea rapidă ascendentă cu structuri neomogene constituite din două sau mai multe straturi ($\rho = \text{variabil}$), în care granulația este descrescătoare după direcția curentului de scurgere ($d = \text{variabil}$).

Granulele grosiere (fig. 5.1) constituite din pietriș sau granit concasat

cu granule de diametru mare vor ocupa stratul suport, iar cele mai fine vor ocupa părțile superioare creindu-se în felul acesta o structură în care distribuția depunerii pe grosimea stratului devine mai uniformă, valorificându-se astfel întreaga capacitate de reținere a mediului filtrant.

În cadrul procesului de filtrare ascendentă caracteristicile particulelor în suspensie joacă un rol determinant în ceea ce privește apariția fenomenului de fluidizare. Acest fenomen devine nesemnificativ în cazul particulelor mature cu un grad pronunțat de aderență la granulele materialului filtrant, proces care se dezvoltă asemănător cu cel de la limpezirea apei prin decantoare suspensionale.

În cazul particulelor în suspensie, lipsite de aderență, proaspete (nematurizate), fenomenul de fluidizare joacă un rol determinant, iar eficiența procesului este nesemnificativă. Eliminarea acestui neajuns se poate realiza prin tratarea apei cu reactivi de coagulare – alcalinizare introduși sub stratul de suport constituit din pietriș, granit concasat, etc. În acest caz pe suprafața filtrului se impune amenajarea sitei pe suport de grilă pentru evitarea fenomenului de fluidizare, în cazul vitezelor de filtrare mai ridicate 10-15 m/h.

La viteze de filtrare de 5-5,5 m/h sita pe suport de grilă nu mai devine necesară.

Sita pe suport de grilă trebuie concepută de așa manieră încât pe durata spălării cu apă și aer, aceasta să poată fi ridicată pentru a se asigura exploatarea necesară procesului de spălare.

3.3.4. Modificările cantitative și calitative în procesele filtrării rapide ascendente

La filtrarea ascendentă în strat omogen ($\rho = \text{ct.}$ și $d = \text{variabil}$), în care granulația mediului filtrant descrește după direcția curentului de scurgere

(fig. 5.1), modificările calitative $C=f(t)$ și cele cantitative $\Delta H=f(t)$ sunt determinate de structura granulometrică și grosimea mediului filtrant, de caracteristicile suspensiilor din apa de limpezit, cât și de mărimile vitezelor de filtrare.

În figurile 3.13 și 3.14 sunt redate, în cazul filtrării ascendente, modificările calitative $C=f(t)$ și cele cantitative $\Delta H=f(t)$ pentru o structură granulară multistrat omogenă (fig. 3.12).

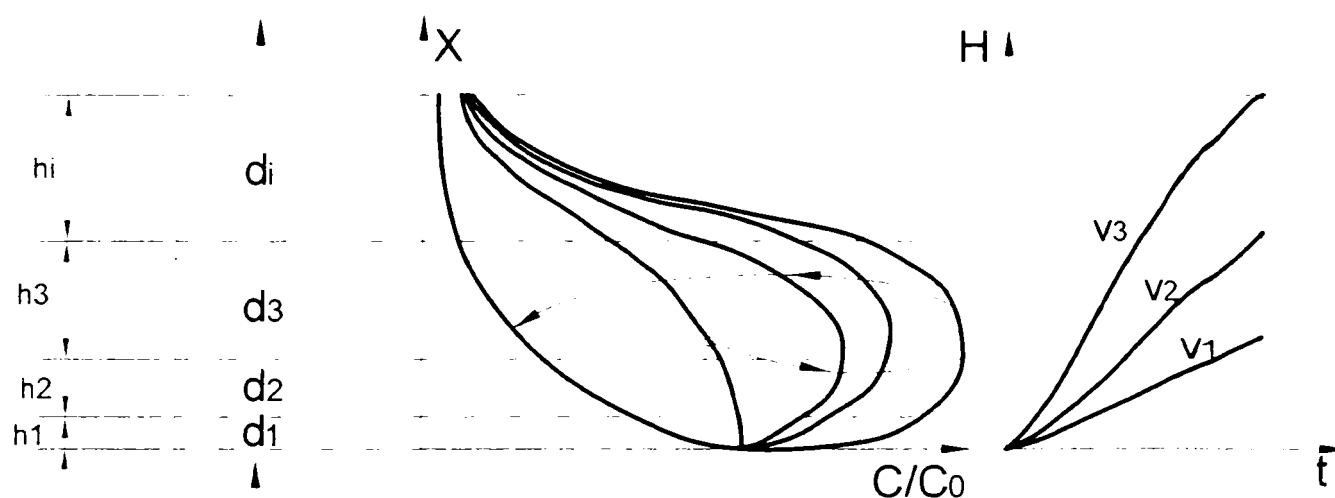


Fig. 3.12.

Fig. 3.13.

Fig. 3.14.

Structura granulometrică multistrat omogenă a fost alcătuită din nisip de cuarț având diametrele descrescătoare după direcția curentului cu scopul de a se realiza o încărcare uniformă în condițiile în care coeficientul de uniformitate are o valoare mai mică decât cea admisă ($u = d_{60}/d_{10} < 2,5$).

În cadrul procesului de filtrare ascendentă separarea suspensiilor din apa de limpezit se realizează printr-un proces complex asemănător, în cea mai mare parte cu cele de la limpezirea apei prin decantoarele suspensionale.

Pentru acesta a fost necesar să se asigure o perioadă de amorsare, după care s-a trecut la faza de regim menținându-se o turbiditate la intrare constantă pe toată durata ciclului de filtrare.

Suspensiile parțial reținute în stratele grosiere de bază, au contribuit

la modificarea structurală a mediului filtrant, determinând rețineri importante în adâncime cu variații de peste 50÷60% din capacitatea totală de reținere a stratului, prin comparație cu filtrarea rapidă descendentă la care reținerea este de până la 25÷30% din adâncimea stratului.

Reținerile acumulate în straturile grosiere acționează ca un pseudofiltru, având o distribuție de formă exponențială.

Vitezele ascendente de filtrare sunt însă limitate de evitarea fenomenului de fluidizare, astfel încât la ieșirea din masa filtrantă turbiditatea apei să se situeze în limitele admise de normele în vigoare și deci să nu antreneze particulele reținute.

Fenomenul de fluidizare, respectiv antrenarea unei părți din suspensiile reținute în apa de limpezit se poate evita prin amenajarea la suprafața filtrului a unei site pe suport grilă sau prin asigurarea unei saltele de apă care să limiteze accesul în efluent a particulelor fine din apa brută.

Acest fenomen, în cazul filtrării rapide ascendente este diminuat de faptul că stratul filtrant "suspensional" este constituit în cea mai mare parte din nisip de cuarț având densitatea ($\rho = 2600 \text{ kg/m}^3$) mult mai mare decât cea a particulelor din alcătuirea stratului suspensional ($\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$), ceea ce face ca viteza de regim a curentului ascendent să fie de 3÷3,5 mm/s și chiar de 4÷5 mm/s, față de 1,9÷2,0mm/s în cazul decantoarelor suspensionale cu secțiuni progresivă și respectiv de 1 mm/s în cazul decantoarelor suspensionale cilindrice evidențiate de Prof. G. Crețu. [19]

Stratul de limpezire fiind similar cu cel de la separatoarele suspensionale de (1÷1,5) m, conducând la o creștere a volumului lucrărilor de investiție pentru amenajarea cuvelor de filtrare.

Vitezele de regim la filtrele ascendente fără amenajări suplimentare se situează în jurul valorilor de 2÷2,5 mm/s, iar în cazul amenajărilor cu site pe suport grilă, aceste viteze de filtrare pot atinge valori de 4÷5 mm/s.

Filtrarea ascendentă prin straturi duble, triple și multistrat constituite

din materiale neomogene la care orizonturile inferioare sunt constituite din materiale a căror granule descresc după direcția de curgere a curentului.

Fenomenele de reținere sunt similare cu cele de la filtrarea ascendentă prin straturi omogene.

Modificările cantitative și calitative prezintă totuși anumite discontinuități la trecerea de la un strat la altul.

Eficiența filtrării ascendente este determinată de modul în care s-a făcut alegerea structurii materialelor filtrante, astfel încât coeficienții de neuniformitate să se încadreze în limitele admise de cerințele consumatorilor.

Stabilirea coeficienților de neuniformitate se face în funcție de curba granulometrică a materialelor componente.

3.3.5. Optimizarea filtrării ascendente prin straturi multiple omogene ($\rho=\text{constant}$ și $d=\text{variabil}$)

Procesul de optimizare a filtrelor ascendente este determinat de mărimea vitezelor de filtrare și de structura mediului filtrant astfel încât pe parcursul ciclurilor de filtrare limitele admise de calitate și cele ale pierderilor de sarcină să fie concomitent atinse la sfârșitul fiecărui ciclu de filtrare ($T_1 = T_2$).

În figurile 3.12, 3.13, 3.14 se prezintă spectrul modificărilor calitative și cantitative pentru o structură filtrantă dată, care pentru anumite viteze de filtrare se obține o apă filtrată cu caracteristicile admise de normativele tehnice în vigoare.

Structurile și grosimile optimizate ale stratelor filtrante omogene se obțin prin studii și încercări de laborator pentru diferite concentrații și viteze de filtrare.

Experiențele de filtrare se pot efectua cu structuri filtrante din același

material ($\rho = \text{constant}$) și cu granulometrie descrescătoare după direcția curentului.

Materialul recomandat pentru acest gen de filtrare este nisipul cuarțos cu granulometria cuprinsă între $0,3 \div 3,5$ mm pentru care se asigură un coeficient de uniformitate $u = d_{60}/d_{10} < 2,5$, pentru care $d_{10} = 0,9 \dots 1,2$ mm, material ale căror caracteristici sunt asemănătoare cu cele de la filtrarea descendentă.

CAP. 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE

4.1. Programul experimental

Cercetarea experimentală a fost efectuată pe un filtru rapid la scară de laborator echipat cu nisip de cuarț de grosimi și sorturi granulometrice diferite.

În raport cu scopul propus s-a urmărit sporirea capacității de reținere a mediilor filtrante prin utilizarea de materiale omogene și neomogene, cu densități constante sau variabile după direcția de curgere a curentului.

În cazul filtrării descendente sporirea capacității de reținere a mediilor filtrante se asigură prin utilizarea mediilor filtrante alcătuite din straturi multiple neomogene, a căror granulație este descrescătoare după direcția de curgere a curentului, iar în cazul filtrării ascendente capacitatea de reținere a mediilor filtrante poate fi sporită prin utilizarea de materiale omogene sau neomogene cu granulația descrescătoare după direcția de curgere a curentului.

Materialele filtrante trebuie să prezinte următoarele caracteristici:

- capacitate ridicată de adsorbție;
- rezistență sporită la operațiunile de spălare;
- să fie ieftine și ușor de procurat.

Materialele filtrante constituite din straturi multiple cu densități diferite, se pot sorta hidraulic după direcția de curgere astfel încât materialele ușoare cu densități mici și granule de diametru mare vor ocupa orizonturile superioare, iar cele cu densități mari și diametre mici vor ocupa orizonturile inferioare. O astfel de structură asigură o reținere mai mare în adâncime astfel încât stratele inferioare ocupate de materialele cu densități mari și de granulometrie mai fină vor asigura desăvârșirea procesului de limpezire. [37] [112]

În comparație cu materialele omogene la care stratificația se

realizează gravimetric, orizonturile superioare vor fi constituite din granulații mai fine, iar orizonturile inferioare din granulele grosiere. Acest aspect determină reținerea particulelor din apa supusă limpezirii într-o proporție mult mai ridicată în stratele de suprafață astfel încât stratele din orizonturile inferioare ajung la o cotă de reținere foarte redusă.

Materialele neomogene (polistiren, antracit, magnetită) sunt greu de procurat, relativ scumpe și ușor degradabile în procesul de spălare, fapt ce modifică substanțial structura materialului filtrant și deci majorarea coeficientului de uniformitate (u).

Greutățile întâmpinate în procurarea unor astfel de materiale ne-a condus la găsirea unei alternative care să reducă dezavantajele mai sus menționate.

Pentru eliminarea acestor neajunsuri s-a recurs la folosirea filtrării ascendente la care mediul filtrant este alcătuit din nisipul de cuarț utilizat în mod obișnuit la filtrarea descendentă. Nisipul de cuarț utilizat se sortează în funcție de mărimea granulelor astfel încât orizonturile inferioare vor fi ocupate de granulele cu diametre mari, iar cele superioare de granulele cu diametre mai mici.

Alegerea structurii granulometrice se va face în funcție de utilizarea capacității de reținere pe toată grosimea stratului filtrant.

Nisipul de cuarț ne conferă o serie de avantaje determinate de faptul că granulele au duritatea ridicată (7), se pot procura din carierele consacrate (Făget, Agrieș, Aleșd, Filipești, etc.), sunt ușor de sortat și au un preț de cost mult mai mic decât structurile multistrat astfel: polistirenul este un material mai ușor care se poate pierde la spălare, antracitul este un material care se degradează foarte ușor la spălare, iar granatul și magnetita sunt materiale greu procurabile și foarte scumpe.

Programul de cercetare a urmărit:

- comportarea în timp a unor structuri filtrante constituite din nisip de

- cuart de diferite granulații;
- studiu comparativ între filtrarea rapidă descendentă cu materiale omogene și cu materiale neomogene;
 - studiu comparativ între filtrarea ascendentă și filtrarea descendentă cu materiale omogene;
 - optimizarea structurilor filtrante pentru filtrarea descendentă și cea ascendentă;
 - stabilirea intensităților și a duratelor proceselor de spălare;
 - determinarea ciclurilor optime de filtrare, dimensionarea și exploatarea instalațiilor de filtrare.

Toate aceste aspecte au fost urmărite în condițiile în care secțiunea de scurgere a filtrului după direcția de curgere, s-a considerat constantă.

Filtrarea ascendentă a fost comparată cu filtrarea descendentă în condițiile acelorași structuri filtrante, pentru aceleași turbidități și aceleași viteze de filtrare, punându-se în evidență eficiențele și duratele ciclurilor de filtrare.

Cercetările proprii s-au efectuat pe o instalație experimentală echipată cu materiale omogene cu densitate constantă – nisip de cuarț, conform programului redat în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

Nr. crt.	Concentrația la intrare C_0 (NTU)	Înălțimea stratului de nisip L (cm)	Viteza de filtrare v (m/h)	Tipul filtrării	
				Ascendentă	Descendentă
0	1	2	3	4	5
1	15	50	5	-	-
			10	-	x (E3)
			15	x (E2)	x (E1)
	52÷58		5	x (E7)	x (E9)
			10	x (E6)	x (E8)
			15	x (E5)	x (E4)
2	14÷21	60	5	x (E15)	-
			10	x (E14)	-
			15	x (E13)	-
	55÷59		5	x (E12)	-
			10	x (E10)	-
			15	x (E11)	-

LEGENDĂ: x (E) experiențe efectuate;
- experiențe neefectuate.

Cercetările experimentale pentru materialele neomogene au fost preluate din literatura de specialitate. [38] [112] [114] [115]

Programul experimental s-a realizat în perioada iunie 2000 – mai 2005.

4.2. Descrierea instalației

Cercetările experimentale au fost efectuate în laboratorul de alimentări cu apă, chimia și biologia apei din cadrul Facultății de Hidrotehnică de la Universitatea Politehnică din Timișoara în perioada iunie 2000 – mai 2005.

Standul experimental este alcătuit dintr-un tub de plexiglas având diametrul interior $D = 150$ mm și înălțimea $H = 1100$ mm, prevăzut cu 10 prize duble pentru măsurarea pierderilor de sarcină și a calității apei pe straturi de 10 cm grosime (fig. 4.1).

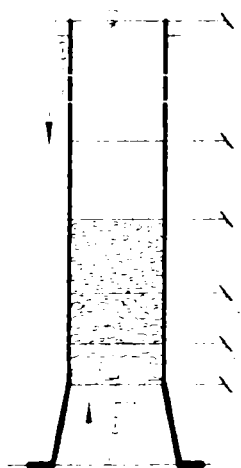


Fig. 4.1. Schema standului experimental

Pentru măsurarea pierderilor de sarcină pe fiecare grosime de strat, prizele au fost racordate prin tuburi de material plastic la un panou piezometric, iar prizele pentru colectarea probelor de apă filtrată au fost

prevăzute cu cleme pentru a ușura prelevarea probelor.

Pentru a menține constant debitul de filtrare pe conducta de alimentare s-a prevăzut un aparat de măsură cu reglare a debitului de apă vezi (foto 4.1.).



Foto 4.1 Debitmetru cu plutitor

Pentru cercetările experimentale s-a utilizat apa de Bega, captată în bazinul de aspirație al stației de pompare pentru alimentarea circuitelor hidraulice a laboratorului de hidrotehnică.

În acest bazin s-au pregătit cu ajutorul suspensiilor maturizate chimic și biologic concentrațiile necesare pentru realizarea programului experimental 15÷20 și 52÷58 NTU.

Aceste suspensii având o capacitate de adsorbție ridicată a permis ca întregul program experimental să fie realizat fără adaos de reactivi chimici.

Experiențele efectuate cu suspensii proaspete aduse pe cursul Bega după o ploaie recentă (experiențele 13, 14, 15) neavând capacitate de adsorbție, nu s-au putut reține de masele filtrante experimentate.

În cadrul programului experimental s-au utilizat viteze de filtrare, care să nu determine depășirea capacității de fluidizare a mediului filtrant. Evitarea fenomenului de fluidizare se asigură la viteze de filtrare mai mici de 10 m/h.

Pentru spălarea depunerilor reținute în masa filtrantă de nisip, s-a folosit apă potabilă din rețeaua publică, trimisă pe la partea inferioară cu o intensitate de $18\div 20$ l/sxm² timp de $15\div 20$ min., apa murdară fiind evacuată la rețeaua de canalizare a laboratorului.

Stratul de apă de deasupra nisipului a fost de 50 și 60 cm, iar pentru reținerea granulelor de nisip mai fine, jghebul colector a fost prevăzut cu o sită.

Pentru a evita pierderea materialului filtrant în procesul de spălare, pe jghebul colector s-a prevăzut cu o sită de reținere cu ochiurile mai mici decât diametrul nisipului.

Echiparea filtrului s-a făcut cu nisip cuarțos obținut de la cariera Făget, având granulometria cuprinsă între 0,3 la 0,7 mm; 0,7 la 1,5 mm; 1,5 la 2,0 mm; și 2,0 la 3,0 mm, structura echivalentă având $d_{ec} = 0,85$ m pentru stratul de grosime $\Delta x = 50$ cm și $d_{ec} = 0,78$ m pentru stratul de grosime $\Delta x = 60$ cm.

Caracteristicile geometrice ale instalației sunt redate în figura 4.1. În foto 4.2. și 4.3. sunt prezentate imagini din timpul cercetărilor experimentale.



Foto 4.2 Stand experimental

Experiențele pe acest stand s-au efectuat pentru patru grosimi distincte ale stratului filtrant de 5; 7,5; 17,5; 20 cm și respectiv de 5; 7,5; 17,5; 30 cm, echipate cu patru sorturi de nisip cuarțos având granulometria de 3 la 2 mm; 2 la 1,5 mm; 1,5 la 0,7 mm și 0,7 la 0,3 mm, prin care s-au filtrat ape cu concentrații medii de 15 și 52÷58 NTU.

Vitezele de filtrare utilizate în cadrul programului experimental au fost

în medie de 5, 10, 15 m/h.

În paralel cu măsurătorile privind modificările calitative pe grosimile caracteristice ale stratului filtrant s-au determinat și pierderile de sarcină, cu ajutorul unui panou piezometric (foto 4.3.).



Foto 4.3 Determinarea pierderilor de sarcină

Temperatura apei pe durata experimentelor s-a situat între 18 și 20°C.

Turbiditățile apei s-au determinat cu ajutorul unui turbidimetru HACH model 2100 A (foto 4.4.).

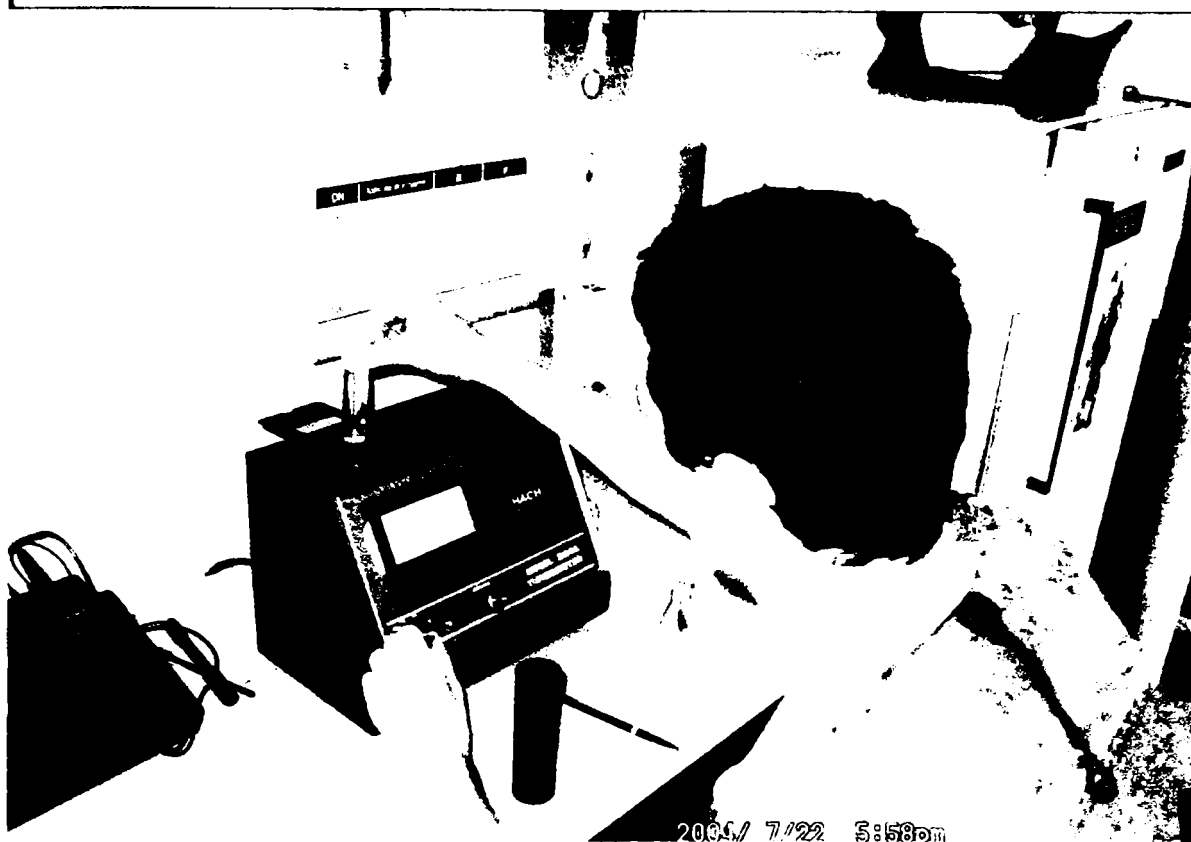


Foto 4.4 Turbidimetru HACH 2100

4.3. Elemente caracteristice ale instalației de filtrare

4.3.1. Materiale omogene ($\rho = \text{constant}$ și $d = \text{variabil}$)

Materialele filtrante au fost constituite în cadrul filtrării ascendente din nisip de cuarț cu granulometria cuprinsă între 0,3 și 3 mm, rezultând prin probele de cernere, diametrul echivalent ($d_{ec.}$) și porozitatea (p_0), pentru structurile filtrante de 50 cm și respectiv de 60 cm, măsurători redată în tabelele 4.2 și 4.3.

Tabelul 4.2.

Nr. crt.	Diametrul granulelor d (mm)	Grosimea stratului Δx (cm)	Procentul %	Diametrul echivalent $d_{ec.}$ (mm)	Coef. de uniform. $u = d_{60}/d_{10}$	Porozitate p_0
0	1	2	3	4	5	6
1	3 ÷ 2	5	10	0,85	1,935	0,391
2	2 ÷ 1,5	7,5	15			
3	1,5 ÷ 0,7	17,5	35			
4	0,7 ÷ 0,3	20	40			
Total		50	100	-	-	-

Tabelul 4.3.

Nr. crt.	Diametrul granulelor d (mm)	Grosimea stratului Δx (cm)	Procentul %	Diametrul echivalent d _{ec.} (mm)	Coef. de uniform. u= d ₆₀ /d ₁₀	Porozitate p ₀
0	1	2	3	4	5	6
1	3 ÷ 2	5	9	0,78	2,0	0,385
2	2 ÷ 1,5	7,5	12			
3	1,5 ÷ 0,7	17,5	29			
4	0,7 ÷ 0,3	30	50			
Total		60	100	-	-	-

Diametrul echivalent și coeficientul de uniformitate s-au stabilit pe baza curbelor granulometrice folosind relațiile:

$$\frac{1}{d_{ec}} = \sum_{i=1}^n a_i / d_i \quad (4.1)$$

$$u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (4.2)$$

În care: d_{ec.} este diametrul mediu echivalent al granulelor stratului component, în mm;

a_i - cantitatea de material având diametrul d_i, exprimată în % din greutatea totală a probei;

u - coeficientul de uniformitate a nisipului;

d₆₀ este diametrul granulației corespunzătoare procentului de 60 %, în mm;

d₁₀=d_e - diametrul granulelor de nisip corespunzător procentului de 10 %, în mm;

d_e - diametrul eficace, în mm.

Coeficientul de uniformitate se stabilește în funcție de calitatea materialului filtrant, cât și de scopul pentru care sunt utilizate masele filtrante (apă potabilă sau apă industrială). Grosimea stratului de nisip filtrant trebuie să fie de 0,7 ÷ 1,2 m, iar coeficientul de uniformitate de 1,5 ÷ 2,5.

Diametrul eficace d_e/d₁₀ trebuie să fie de 0,4 ÷ 0,8 mm.

Porozitatea materialelor filtrante a fost stabilită pentru fiecare sort

din componența structurilor de 50 și 60 cm, cu ajutorul relației:

$$p_0 = \frac{S_0 \sum_{i=1}^n p_i x_i}{S_0 \sum_{i=1}^n x_i} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (4.3)$$

în care: p_i este porozitatea stratului de grosime x_i

4.3.2. Materiale neomogene (ρ =variabil și d =variabil)

Structurile filtrante, în cazul filtrării descendente, au fost constituite din: polistiren (P), antracit (A), nisip de cuarț (N), granat (G) și magnetită (M), materiale având densitățile crescătoare după direcția curentului de curgere.

În tabelul 4.4 sunt redate pentru fiecare grosime de strat (Δx), diametrul granulelor (d_i), densitatea materialului (ρ_i), diametrul echivalent (d_{ec}), coeficientul de uniformitate (u) și porozitatea medie (p).

Tabelul 4.4.

Nr crt	Material filtrant	Grosime strat		Diametru l granulelor d_i (mm)	Densitate ρ_i (kg/dm ³)	Porozitate p_i	Diametrul echivalent d_{ec} (mm)	Coef. uniformitate $u = d_{60}/d_{10}$	Porozitatea medie p
		Δx (cm)	%						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Polistiren(P)	22	28,2	2,500	1,04	0,350	1,02	2,7	0,418
2	Antracit (A)	22	28,2	1,530	1,40	0,425			
3	Nisip de cuarț (N)	20	25,6	0,773	2,65	0,465			
4	Granat (G)	8	10,3	0,546	3,86	0,470			
5	Magnetită(M)	6	7,7	0,460	4,90	0,420			
Total		78	100	-	-	-	-	-	-

În cazul filtrării descendente prin materiale neomogene, coeficientul de uniformitate (u) se recomandă a fi cuprins între 2,5 și 3,5 mm. Acest rezultat este determinat de faptul că materialele filtrante grosiere de la suprafața filtrului reprezintă 28 %, iar la filtrarea ascendentă ponderea acestora este de numai 10 %.

4.3.3. Regimurile de mișcare în medii filtrante omogene și neomogene

În cazul curgerii apei curate (fără suspensii) prin mediile poroase omogene și neomogene, regimul de curgere trebuie să fie laminar $0,001 < Re < 2$, exprimat sub forma:

$$Re = \frac{ul}{v} \quad (4.4)$$

$$l = \frac{pd_{ec}}{6m(1-p)} \quad (4.5)$$

$$u = \frac{I}{p} \quad (4.6)$$

în care: u este viteza reală;

v - viteza aparentă;

l - parametrul liniar care caracterizează materialul filtrant;

v - coeficientul cinematic de vâscozitate dependent de temperatura apei;

p - coeficientul de porozitate al materialului filtrant;

d_{ec} - diametrul echivalent,

m - coeficientul de formă al granulelor materialelor filtrante ($m = 1,2$ – granule obișnuite și $m = 1,7$ – pentru granule neregulate).

Numerele Reynolds, pentru evidențierea regimurilor de mișcare s-au stabilit atât pentru filtrarea ascendentă în cazul structurilor omogene ($\Delta x = 50$ și 60 cm) cât și pentru filtrarea descendentă în cazul structurilor neomogene, ($\Delta x = 78$ cm) valori redată în tabelul 4.5.

Tabelul 4.5

v (m/h)	p	d _{ec} (mm)	l (mm)	Re	Δx (cm)	m
0	1	2	3	4	5	6
5	0,391	0,85	0,0758	0,0939	50	1,2
	0,385	0,78	0,0678	0,0839	60	1,2
	0,418	1,02	0,0718	0,089	78	1,7
10	0,391	0,85	0,0758	0,1880	50	1,2
	0,385	0,78	0,0678	0,1679	60	1,2
	0,418	1,02	0,0718	0,178	78	1,7
15	0,391	0,85	0,0758	0,2820	50	1,2
	0,385	0,78	0,0678	0,252	60	1,2
	0,418	1,02	0,0718	0,267	78	1,7
30	0,391	0,85	0,0758	0,564	50	1,2
	0,385	0,78	0,0678	0,5037	60	1,2
	0,418	1,02	0,0718	0,534	78	1,7

Valorile nr. Re se încadrează în limitele regimului laminar 0,001÷2.

4.3.4. Pierderile inițiale de sarcină

Pierderile inițiale de sarcină s-au stabilit în cazul filtrării apei curate prin medii omogene și neomogene în cazul a trei viteze distincte ale căror valori sunt redată în tabelul 4.6 și verificate cu relația stabilită de Mintz-Șubert relația 4.7. [88]

$$H_0 = 0,188 \cdot v \cdot m^2 \cdot \frac{V(1-p)^2}{d_{ec}^2 p^3} \cdot \Delta x \quad (4.7)$$

Tabelul 4.6

V (m/h)	Δx (cm)	H ₀ măsurat (cm)	H ₀ calculat (cm)	Diferențe %	Natura materialului
0	1	2	3	4	5
5	50	7,5	6,5	13	omogen
	60	10,5	9,9	6	
	78	12	10,6	12	neomogen
10	50	16	13	18	omogen
	60	22	19,8	10	
	78	25	21,15	15	neomogen
15	50	21	19,53	7	omogen
	60	35	29,7	10	
	78	34	31,73	6,6	neomogen

Pierderile de sarcină inițiale în cazul filtrelor descendente și ascendente, echipate cu materiale omogene și neomogene pentru

grosimile: $\Delta x = 50$ cm, $\Delta x = 60$ cm și $\Delta x = 78$ cm (filtru multistrat), sunt redată în fig. 4.3, fig. 4.4 și respectiv fig. 4.5.

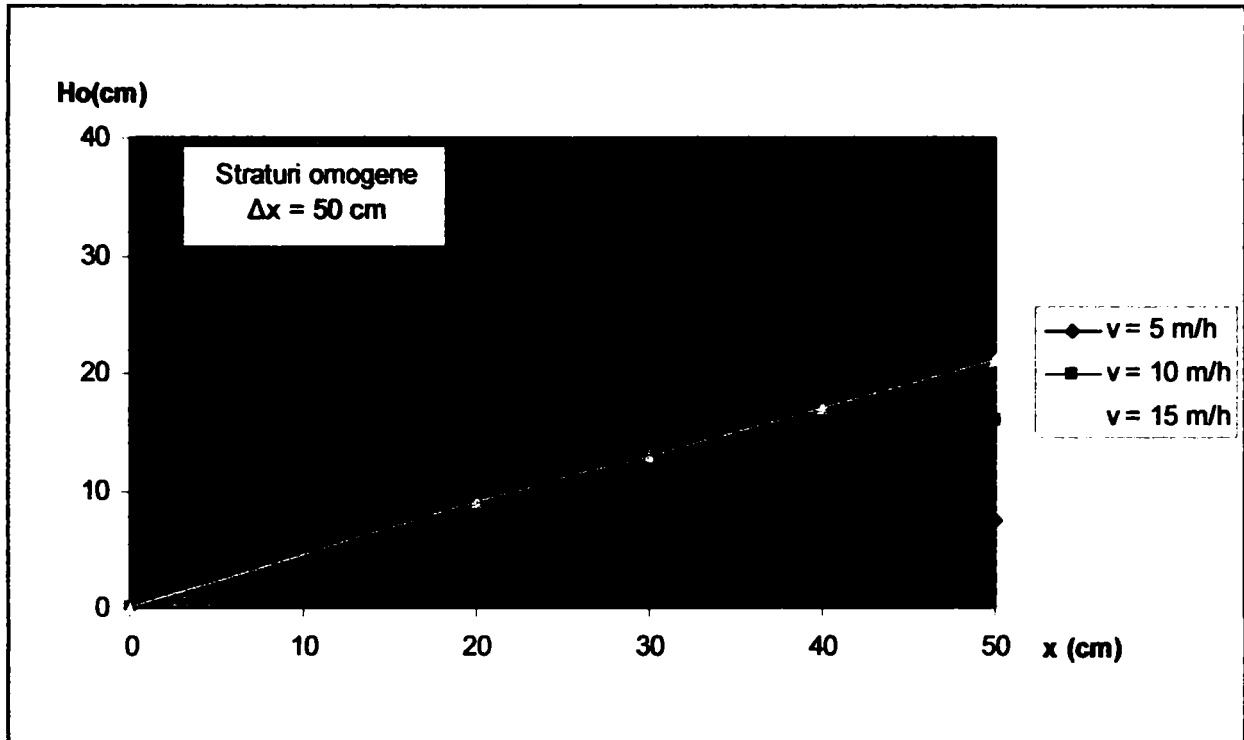


Fig. 4.3. Pierderile de sarcină inițiale pentru straturile omogene având $\Delta x = 50$ cm

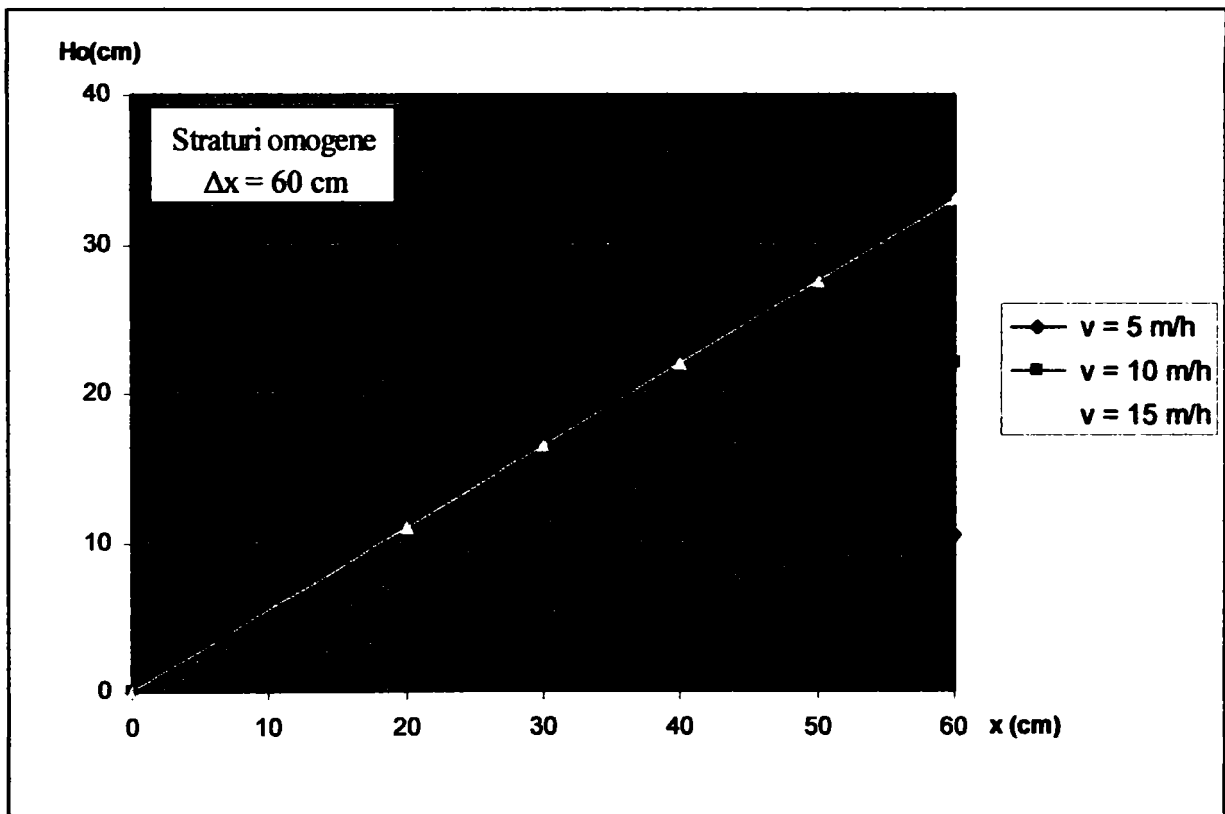


Fig. 4.4. Pierderile de sarcină inițiale pentru straturile omogene având $\Delta x = 60$ cm

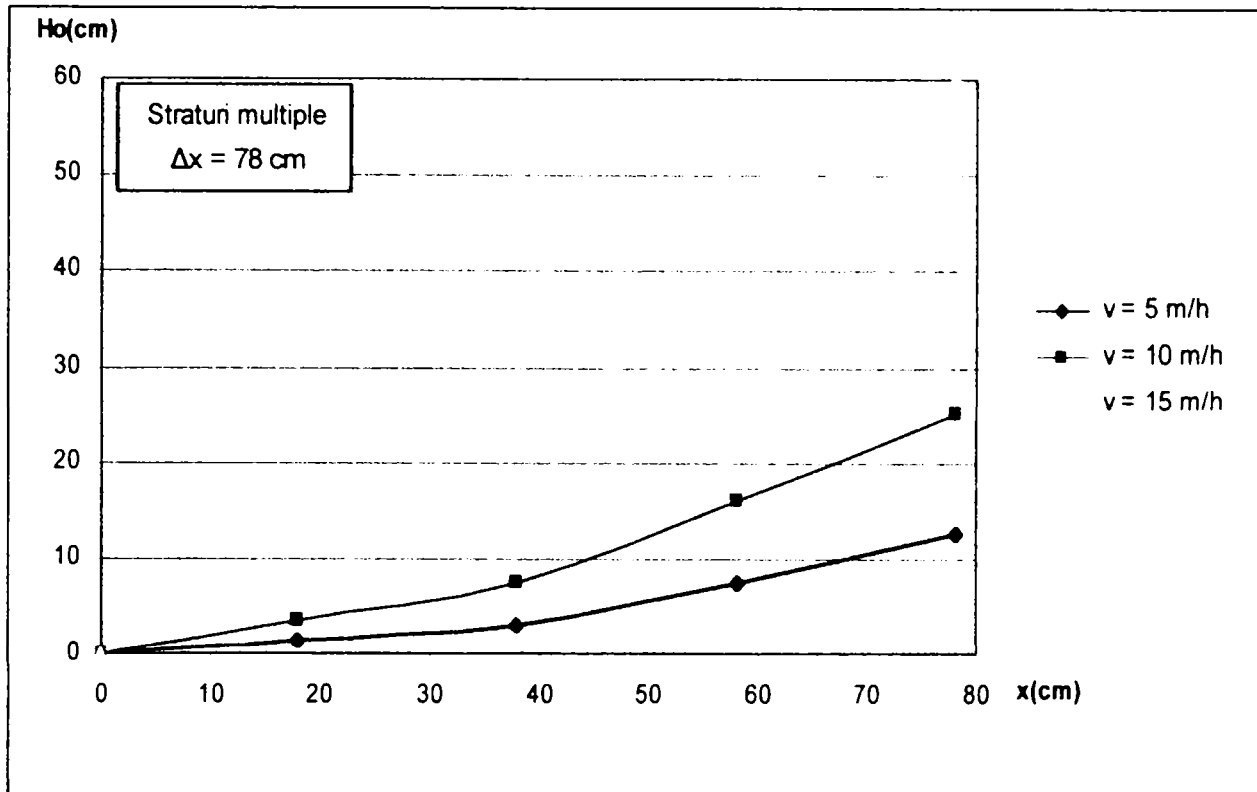


Fig. 4.5. Pierderile de sarcină inițiale pentru straturile multiple neomogene având $\Delta x = 78 \text{ cm}$

4.3.5. Caracteristicile apei brute supusă filtrării ascendente

Tabelul 4.7. – Filtrare ascendentă, $v = 5 \text{ m/h}$, $C_0 = 53 \text{ NTU}$, $\Delta x = 50 \text{ cm}$

Concentrație intrare/ieșire	Temperatură ($^{\circ} \text{C}$)	pH (mg/l)	Conductivitate (ms/cm)	NO_2 (mg/l)	NO_3 (mg/l)	NH_4 (mg/l)	PO_4 (mg/l)
0	1	2	3	4	5	6	7
$C_0 = 53\text{NTU}$	19	6,6	0,29	0,05	3,82	0,276	0,507
$C = 18\text{NTU}$	19	6,6	0,29	0,03	3,25	0,211	0,193
Randamentul rezultat %							
66	-	-	-	40	15	23,5	72

Tabelul 4.8. - Filtrare ascendentă, $v = 10 \text{ m/h}$, $C_0 = 55 \text{ NTU}$, $\Delta x = 50 \text{ cm}$

Concentrație intrare/ieșire	Temperatură ($^{\circ} \text{C}$)	pH (mg/l)	Conductivitate (ms/cm)	NO_2 (mg/l)	NO_3 (mg/l)	NH_4 (mg/l)	PO_4 (mg/l)
0	1	2	3	4	5	6	7
$C_0 = 55\text{NTU}$	18	6,59	0,36	0,136	2,64	0,355	0,452
$C = 20\text{NTU}$	18	6,67	0,35	0,117	2,53	0,329	0,152
Randamentul rezultat %							
63	-	-	-	14	4,2	7,4	66,3

Tabelul 4.9. - Filtrare ascendentă, $v = 15$ m/h, $C_0 = 52$ NTU, $\Delta x = 50$ cm

Concentrație intrare/ieșire	Temperatură (° C)	pH (mg/l)	Conductivitate (ms/cm)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)
0	1	2	3	4	5	6	7
$C_0 = 52$ NTU	20	6,58	0,32	0,112	2,12	0,365	0,57
$C = 21$ NTU	20	6,66	0,32	0,100	2,05	0,352	0,22
Randamentul rezultat %							
51	-	-	-	10	3	5	60

Din analiza rezultatelor obținute în cazul filtrării ascendente s-a putut observa o reducere a nitriților NO₂, NO₃ și PO₄, fenomene datorate îndeosebi proceselor de nitrificare-denitrificare care apar în mod deosebit la filtrarea ascendentă. Aceste reduceri sunt influențate de turbiditatea și temperatura filtrantului și de mărimea vitezelor de filtrare.

În tabelele 4.7, 4.8 și 4.9 sunt evidențiate toate aceste modificări pe parcursul ciclurilor de filtrare pentru cele 3 regimuri de viteze studiate.

La viteza de 5 m/h s-au obținut reduceri de 66 % la turbiditate, 40 % la NO₂, 15 % la NO₃, 23,5 % la NH₄ și de 72 % la PO₄.

În cazul vitezelor de 10 și 15 m/h s-au obținut reduceri de 51÷63 % la turbiditate, 10÷14 % la NO₂, 3÷4,2 % la NO₃, 5÷7,5 % la NH₄ și de 60÷66,3 % la PO₄.

4.4. Rezultatele cercetărilor experimentale

4.4.1. Filtrarea descendentă în straturi omogene (nisip de cuarț)

În cazul filtrării descendente prin straturi omogene s-au pus în evidență prin cercetările experimentale modificările calitative în raport cu mărimea vitezelor de filtrare.

Modificările calitative pentru o structură filtrantă alcătuită din nisip de cuarț de grosime 50 cm, în cazul unor turbidități de 52 ÷ 57 NTU și viteze de 5,10 și 15 m/h sunt redată în figurile 4.6., 4.7. și 4.8.

Din analiza rezultatelor obținute, îndeosebi de vitezele de 10 și 15

m/h s-au remarcat desprinderi (spălări) după (6÷7) h de la punerea în funcțiune a filtrului.

Modificările pierderilor de sarcină de-a lungul ciclurilor filtrării descendente în paralele cu cele ale modificărilor calitative au pus în evidență creșteri ușor aplatizate în jos la vitezele de 5 m/h cu creșteri ușor exponențiale pentru viteze de 10 și 15 m/h cu valori cuprinse între (20÷60) cm după (18÷19) h la viteze de 5 și 10 m/h și respectiv de 10 h la viteze de 15 m/h.

În figurile 4.12, 4.13 și 4.14 sunt evidențiate prin măsurători experimentale, modificări calitative între stratele superioare și inferioare prin care ni se confirmă faptul că mediul filtrant este utilizat necorespunzător pe întreaga grosime, ceea ce pune în evidență faptul că stratele filtrante din păturile inferioare sunt în mai mică măsură valorificate.

În paralel cu separarea suspensiilor la nivelul diferitelor orizonturi sunt evidențiate creșteri de presiune ca urmare a acestor modificări calitative.

Modificările cantitative redate în figurile 4.15, 4.16 și 4.17 pun în evidență creșterile pierderilor de sarcină pe parcursul ciclurilor de filtrare, chiar și peste limita maximă atinsă de funcționarea filtrului la vid, valorile pierderilor de sarcină obținute pentru cele trei viteze de filtrare sunt de 19 cm pentru $v=5$ m/h; 42 cm pentru $v=10$ m/h și 62,5 cm pentru $v=15$ m/h.

Limitele obținute la vitezele de 10 și 15 m/h corespund funcționării la vid. Pentru a se evita funcționarea la vid a filtrelor rapide se poate acționa prin majorarea coloanei de apă deasupra stratului filtrant, ceea ce face să se majoreze presiunea coloanei de apă până la o limită maximă de 2÷2,5 m, înălțime dictată de cheltuielile de investiție corelate cu cele de exploatare.

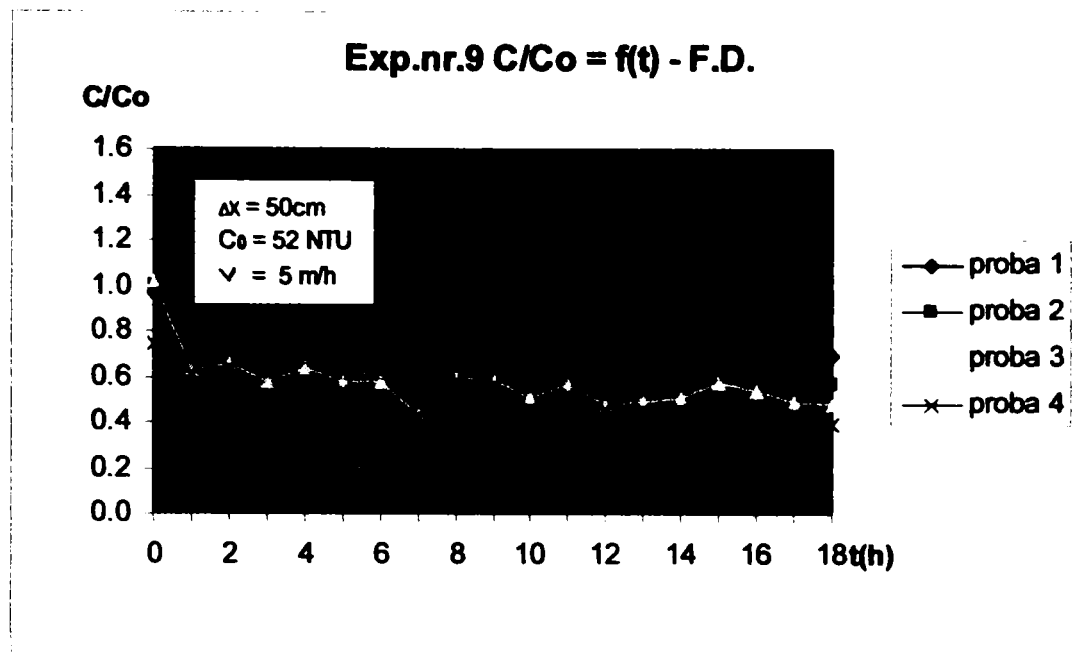


Fig. 4.6. Modificările calitative la filtrarea descendentă cu $v = 5\text{ m/h}$ în raport cu durata ciclului de filtrare

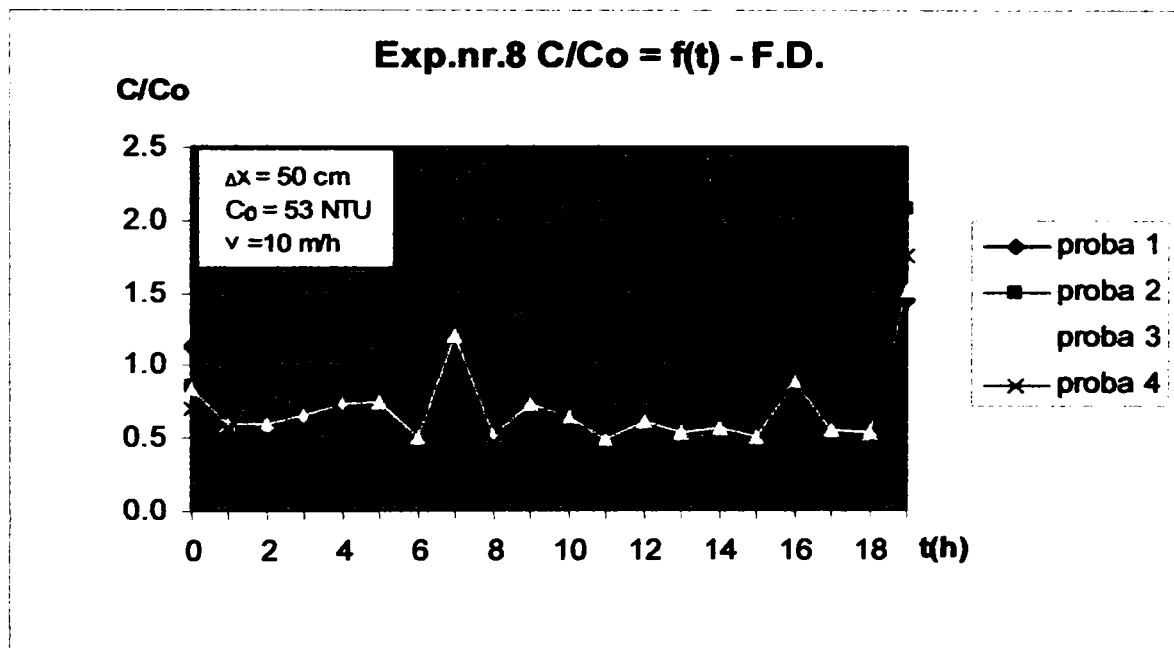


Fig. 4.7. Modificările calitative la filtrarea descendentă cu $v = 10\text{ m/h}$ în raport cu durata ciclului de filtrare

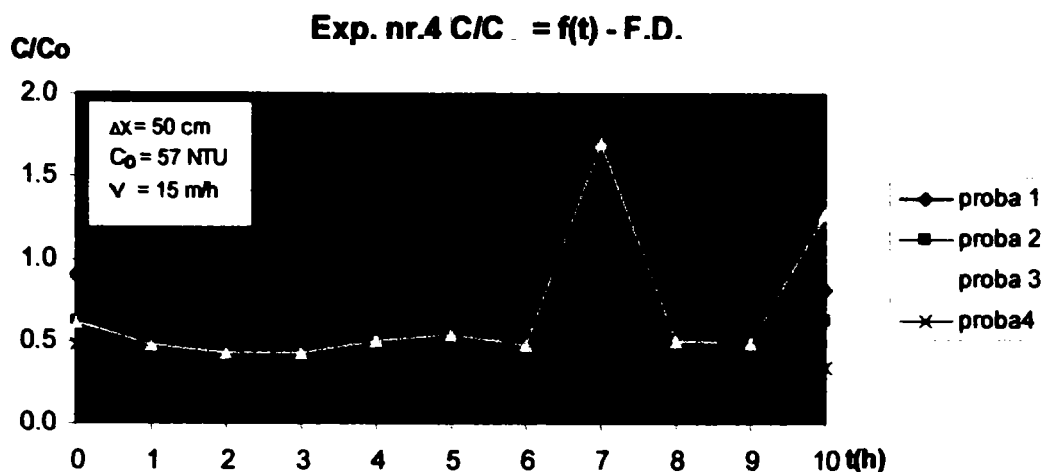


Fig. 4.8. Modificările calitative la filtrarea descendentă cu $v = 15 \text{ m/h}$ în raport cu durata ciclului de filtrare

Salturile evidențiate în cadrul cercetărilor experimentale pentru filtrarea descendentă (figurile 4.7 și 4.8), sunt determinate de desprinderile depozitelor pe stratele din orizonturile superioare, ca urmare a creșterii vitezelor interstițiale ce au condus la amplificarea fenomenelor de transport.

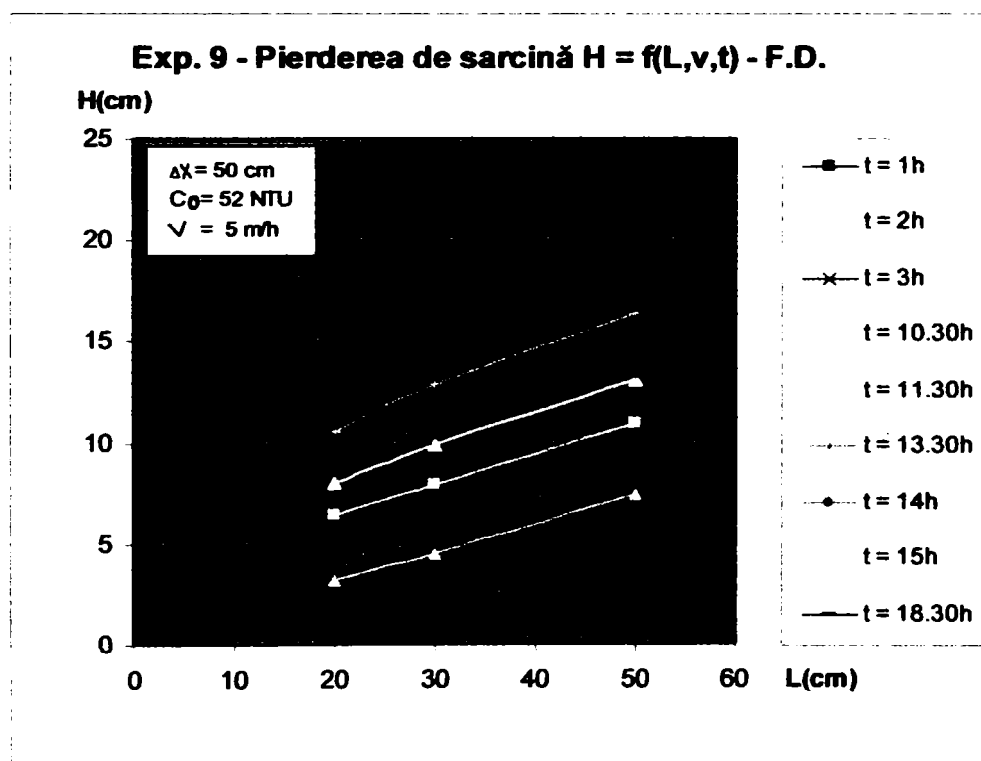


Fig.4.9. Pierderile de sarcină la filtrarea descendentă cu $v=5 \text{ m/h}$ în raport cu grosimea stratului filtrant

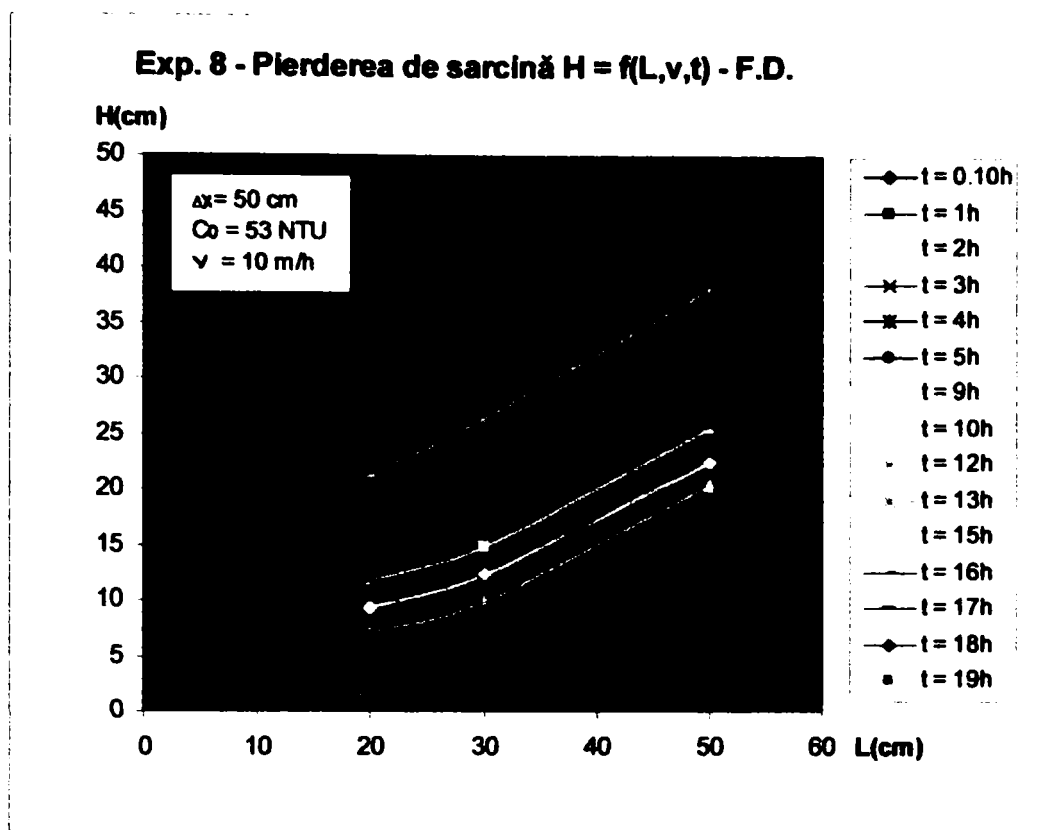


Fig. 4.10. Pierderile de sarcină la filtrarea descendentă cu $v = 10$ m/h
în raport cu grosimea stratului filtrant

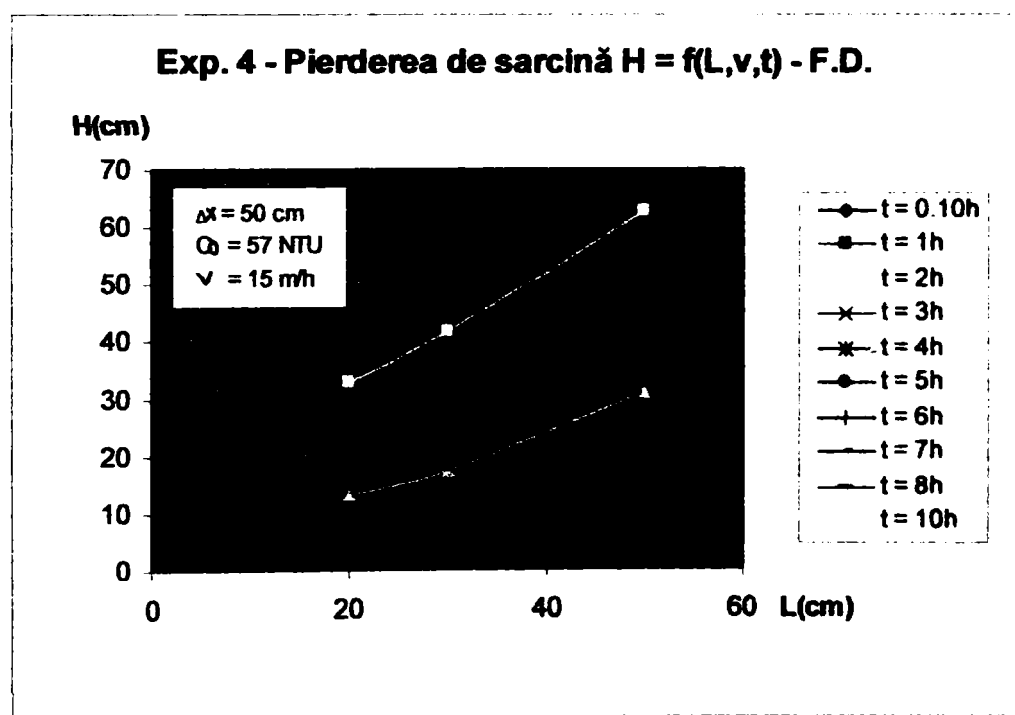


Fig. 4.11. Pierderile de sarcină la filtrarea descendentă cu $v = 15$ m/h
în raport cu grosimea stratului filtrant

Creșterile pierderilor de sarcină în masele filtrante, sunt determinate de rezistențele suplimentare date de depozitele reținute în masele filtrante.

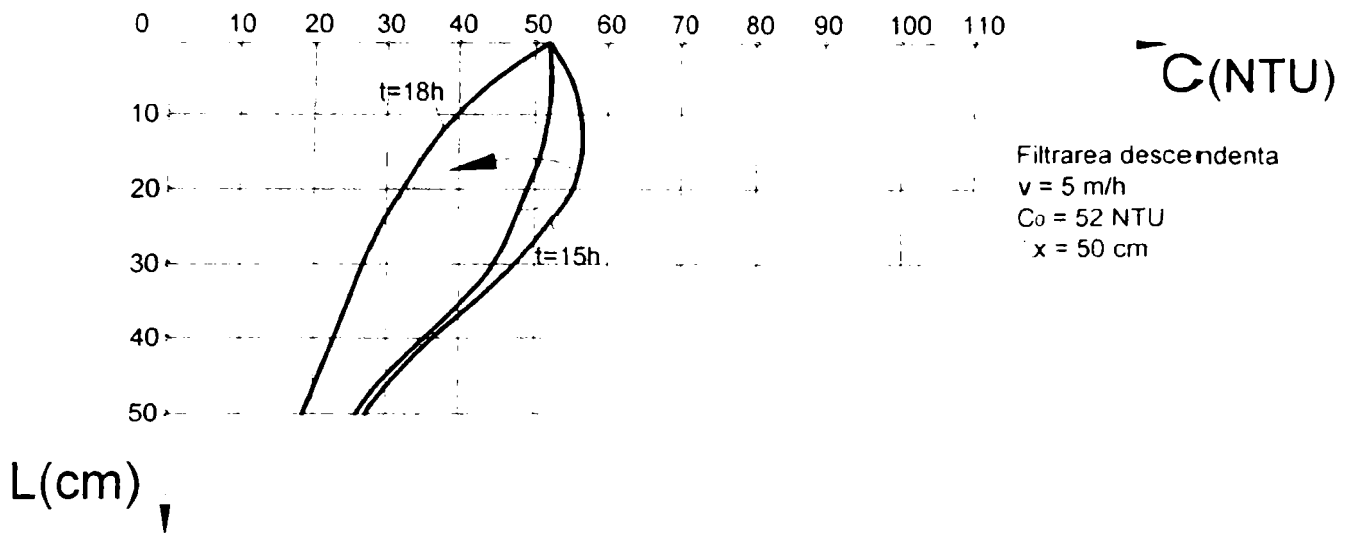


Fig. 4.12. Modificările calitative ale efluentului pe grosimea stratului filtrant pentru filtrarea descendentă cu $v = 5 \text{ m/h}$

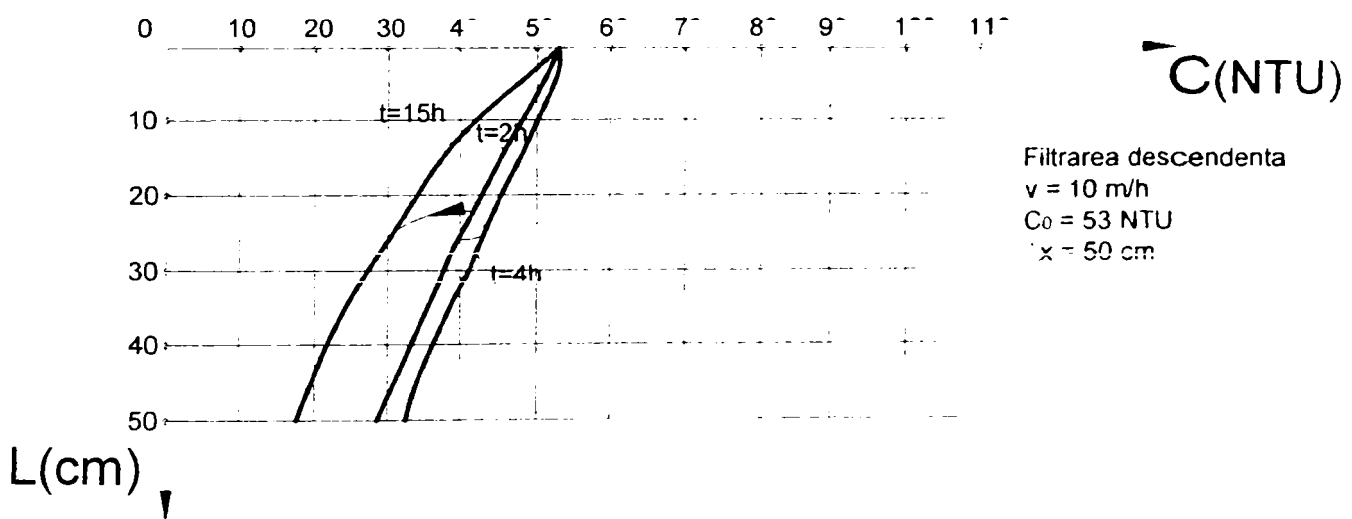


Fig. 4.13. Modificările calitative ale efluentului pe grosimea stratului filtrant pentru filtrarea descendentă cu $v = 10 \text{ m/h}$

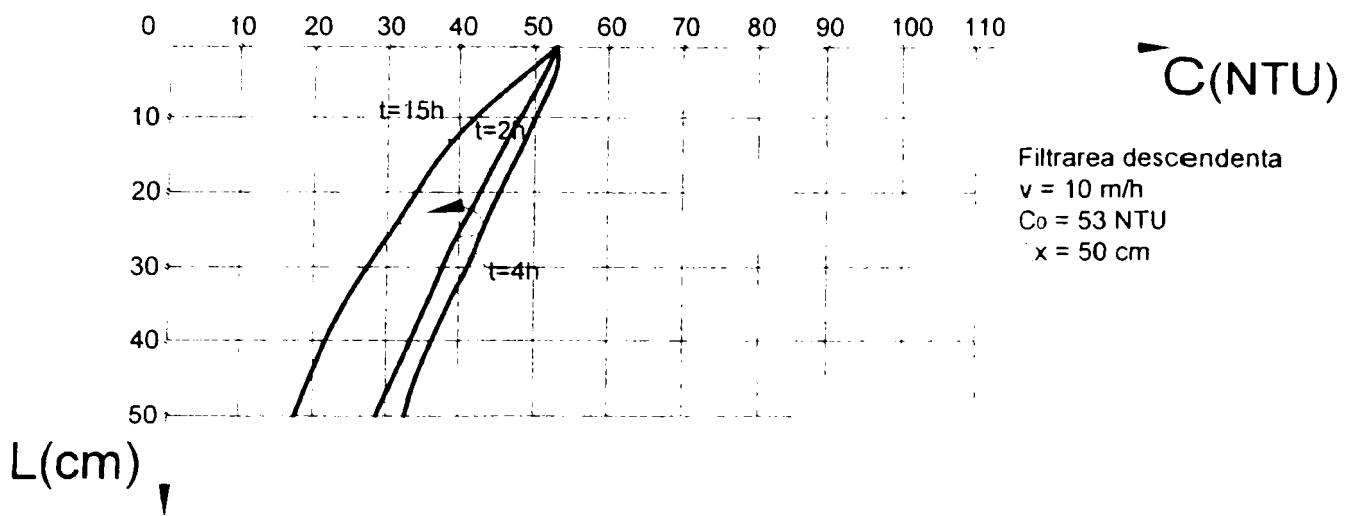


Fig. 4.14. Modificările calitative ale efluentului pe grosimea stratului filtrant pentru filtrarea descendentă cu $v = 15 \text{ m/h}$

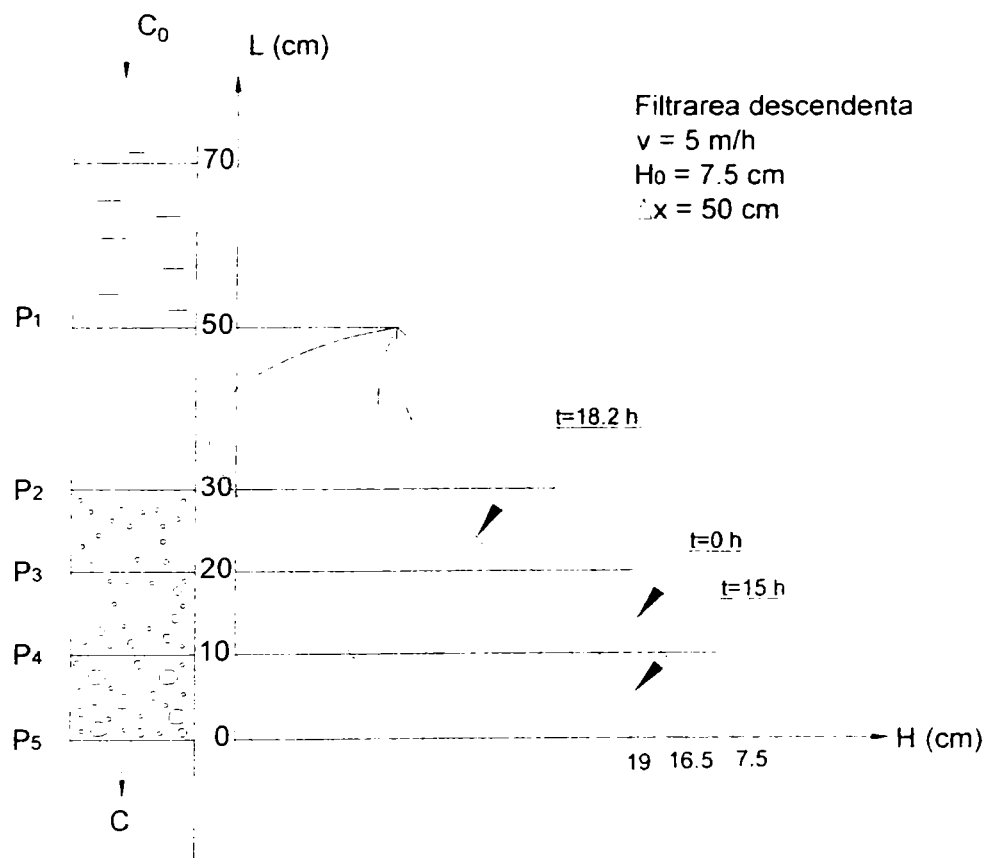


Fig. 4.15. Variația presiunilor pe parcursul unui ciclu de filtrare pentru filtrarea descendentă având viteza de 5 m/h

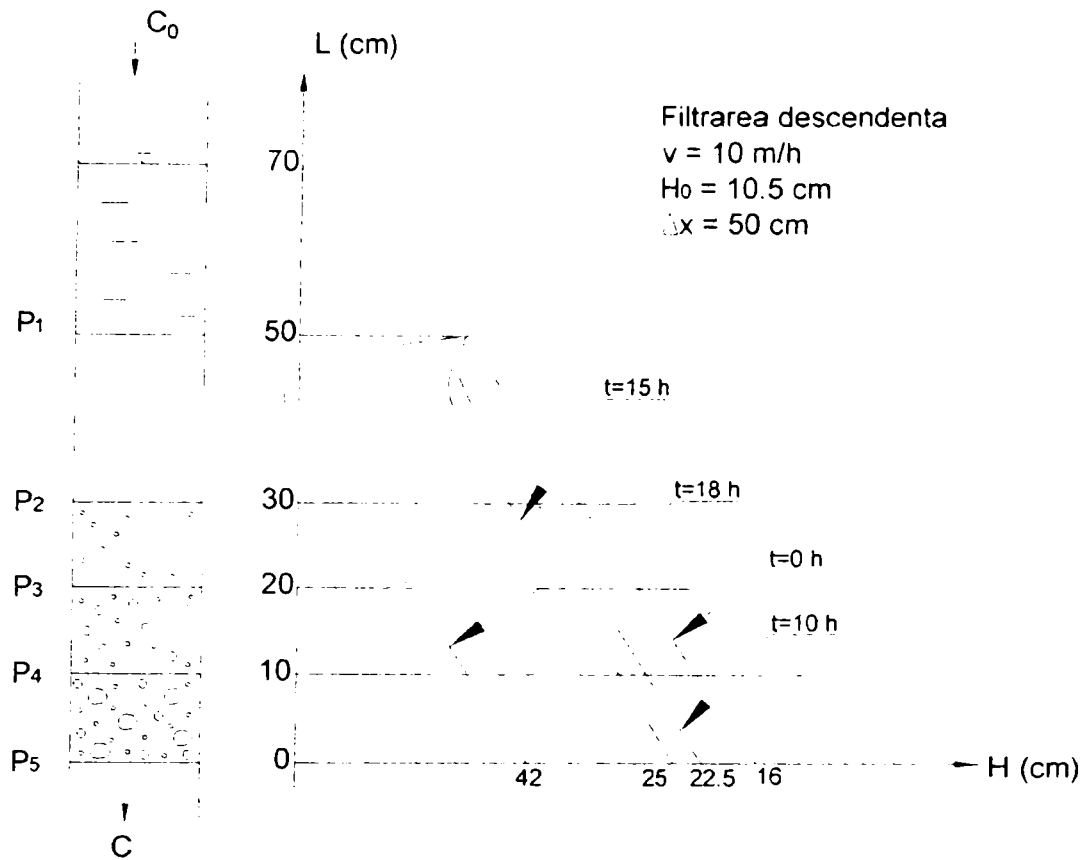


Fig. 4.16. Variația presiunilor pe parcursul unui ciclu de filtrare pentru filtrarea descendentă având viteza de 10 m/h

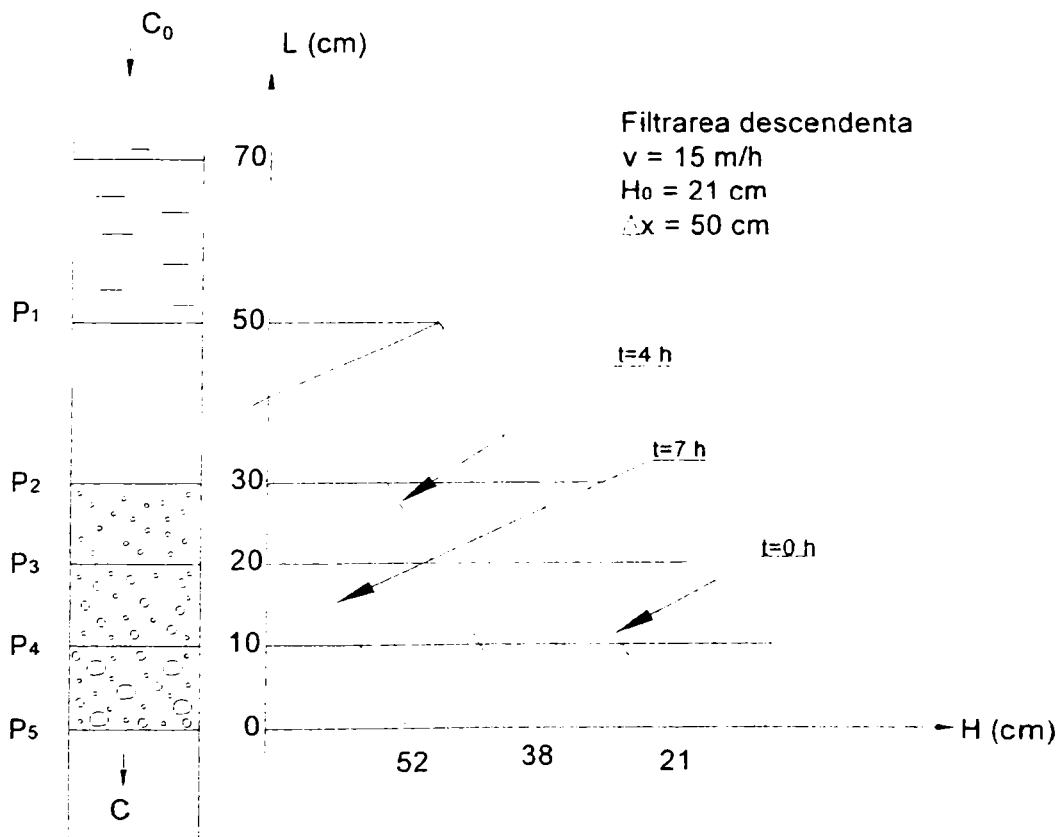


Fig. 4.17. Variația presiunilor pe parcursul unui ciclu de filtrare pentru filtrarea descendentă având viteza de 15 m/h

4.4.2. Filtrarea ascendentă în straturi omogene (nisip de cuarț)

În cazul filtrelor ascendente, rezultatele cercetărilor experimentale au pus în evidență modificările calitative pe parcursul ciclurilor de filtrare în funcție de mărimea vitezelor de filtrare.

La viteze de 5 m/h ciclul de filtrare a fost de 32 h la viteza de 10 m/h, s-a redus la 18 h, iar la viteza de 15 m/h mărimea ciclului de filtrare a fost de numai 9 h.

Calitatea filtratului s-a situat în medie sub 30% la viteza de 5 m/h și (40÷50)% la vitezele de 10 și 15 m/h.

Din analiza rezultatelor obținute s-a desprins observația legată de faptul că stratele filtrante mai fine de la suprafața filtrului s-au încărcat mai mult determinând după aproximativ 15÷16 h de funcționare o desprindere din masa filtrantă a suspensiilor reținute, fenomen care s-a repetat treptat în următoarele ore (19÷21)h în straturile imediat următoare de la suprafața filtrului.

Modificările cantitative în cazul filtrării rapide ascendente au scos în evidență modificările pierderilor de sarcină pe parcursul ciclurilor de filtrare cu valori de 35 cm după 32 h de funcționare la viteza de 5 m/h, de 46 cm după 14 h de funcționare la viteza de 10 m/h și de 42 cm după 4 h de funcționare la viteza de 15 m/h.

În toate cazurile, pierderile de sarcină au avut alura unor curbe cu concavitatea în jos.

Modificările cantitative și calitative exprimate prin reprezentări grafice din figurile 4.24, 4.25 și 4.26 respectiv 4.27, 4.28 și 4.29 au pus în evidență gradul de încărcare a maselor filtrante din orizonturile inferioare, făcând ca masa filtrantă să fie mai uniform încărcată.

Acest fenomen a fost evidențiat pentru prima dată în cazul decantoarelor suspensionale, în care masa filtrantă era constituită numai

din suspensiile reținute, spre deosebire de filtrarea ascendentă, la care masa filtrantă este constituită din granulele materialului filtrant (nisip de cuarț) și respectiv de suspensiile reținute.

Faptul că materialul grosier situat la partea de intrare a apei în filtru având porozitatea mai mare favorizează reținerea unei părți importante din suspensiile aduse și antrenate la curentul de apă.

Aceste performanțe obținute prin filtrarea ascendentă sunt limitate de evitarea fenomenului de fluidizare, prin care o parte din suspensiile reținute în păturile superioare să fie antrenate în efluent.

Pentru a se evita fenomenul desprinderi se recomandă ca salteaua de apă de deasupra stratului de nisip să fie de cel puțin 1÷1,5 m grosime, astfel încât înălțimea totală a filtrului să nu depășească 2÷2,5 m.

Din analiza pierderilor de sarcină evidențiate în figurile 4.27, 4.28 și 4.29 a reieșit faptul că curbura acestora are concavitățile în sus.

Pierderile de sarcină au atins valoarea de 35 cm la viteza de 5 m/h după 31 h de funcționare, de 47,5 cm la viteze de 10 m/h după 14 h de funcționare și de 42 cm la viteza de 15 m/h după 4 h de funcționare.

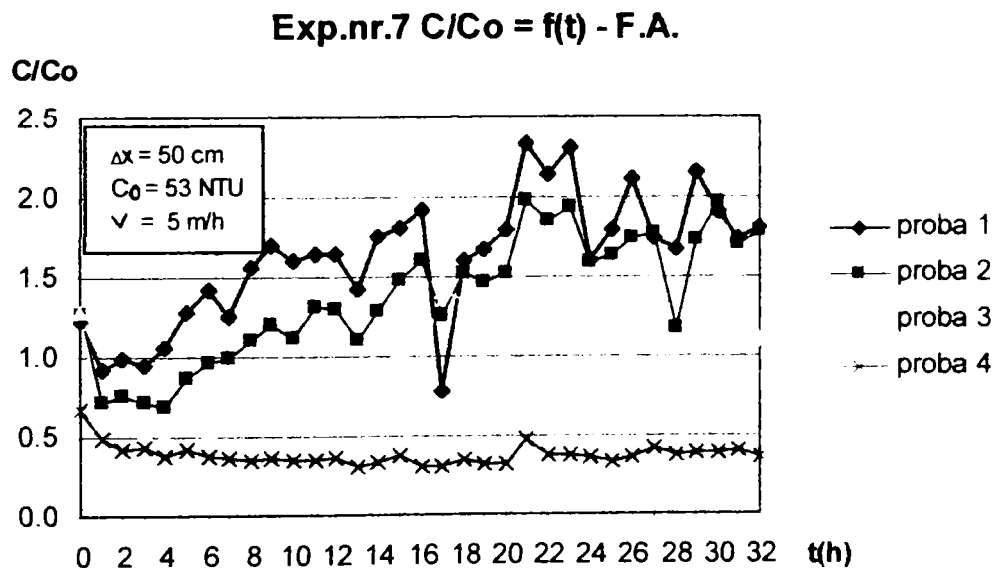


Fig. 4.18. Modificările calitative la filtrarea ascendentă cu $v = 5$ m/h în raport cu durata ciclului de filtrare

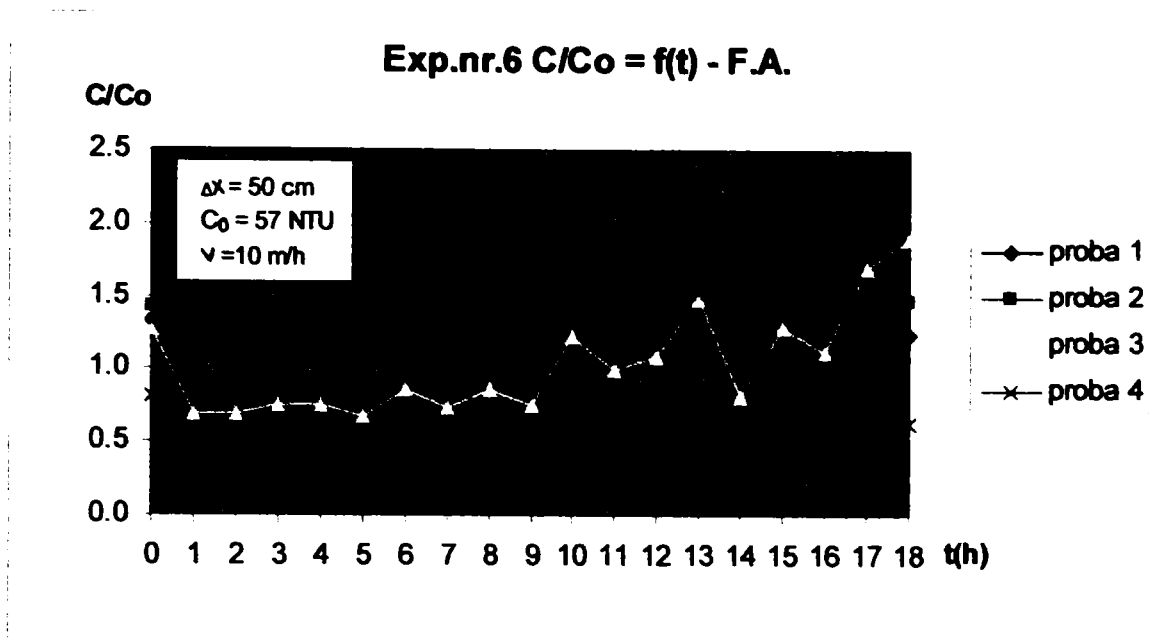


Fig. 4.19. Modificările calitative la filtrarea ascendentă cu $v = 10 \text{ m/h}$ în raport cu durata ciclului de filtrare

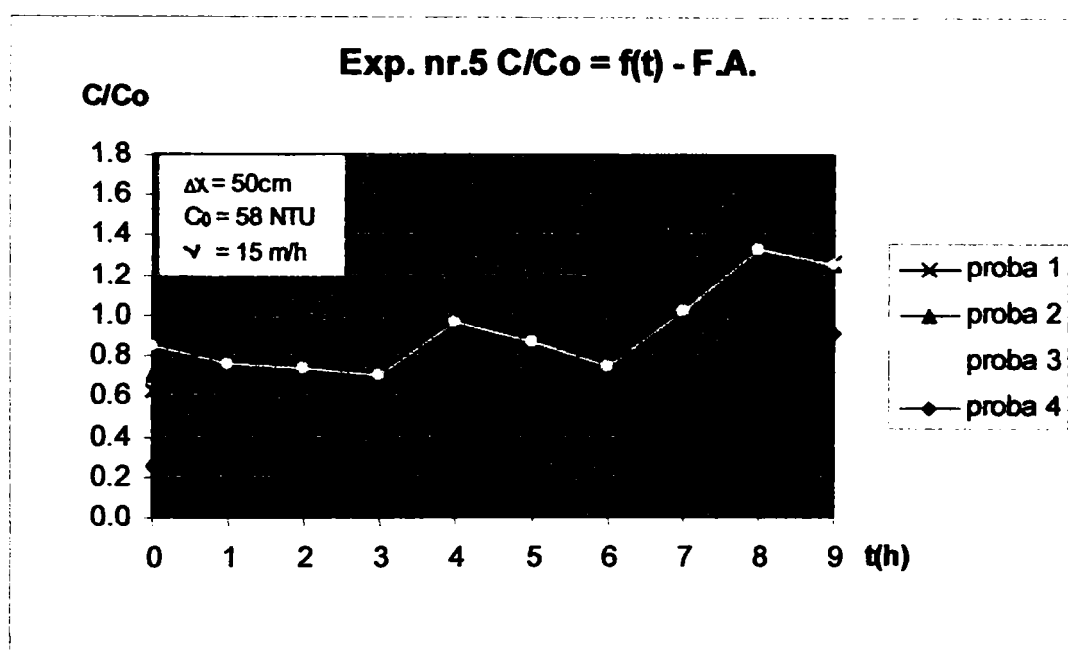


Fig. 4.20. Modificările calitative la filtrarea ascendentă cu $v = 15 \text{ m/h}$ în raport cu durata ciclului de filtrare

Salturile evidențiate în cadrul cercetărilor experimentale pentru filtrarea ascendentă (figurile 4.18, 4.19 și 4.20), sunt determinate de desprinderile depozitelor pe stratele din orizonturile inferioare, ca urmare a creșterii vitezelor interstițiale ce au condus la amplificarea fenomenelor de

transport.

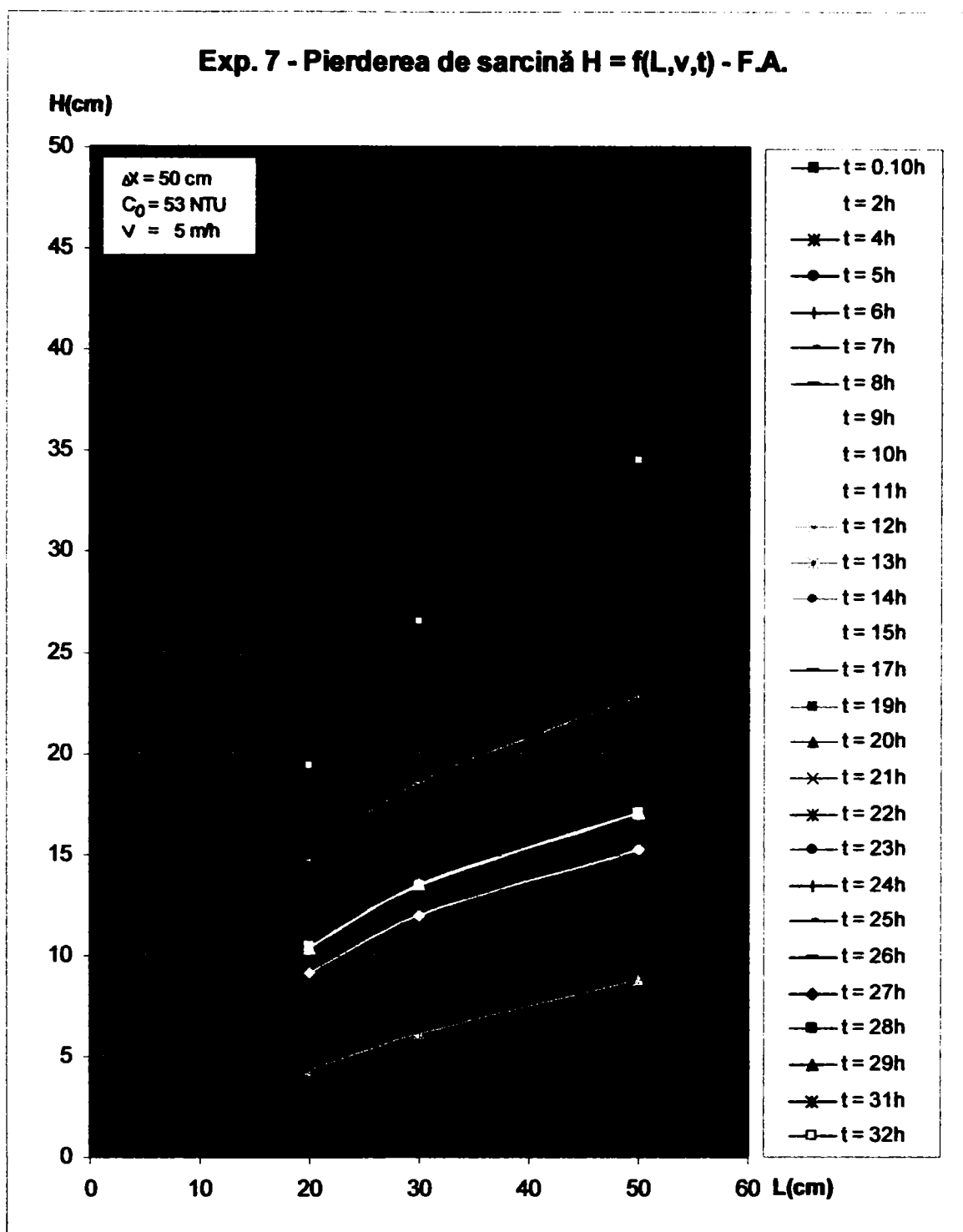


Fig. 4.21. Pierderile de sarcină la filtrarea ascendentă cu $v=5 \text{ m/h}$
în raport cu grosimea stratului filtrant

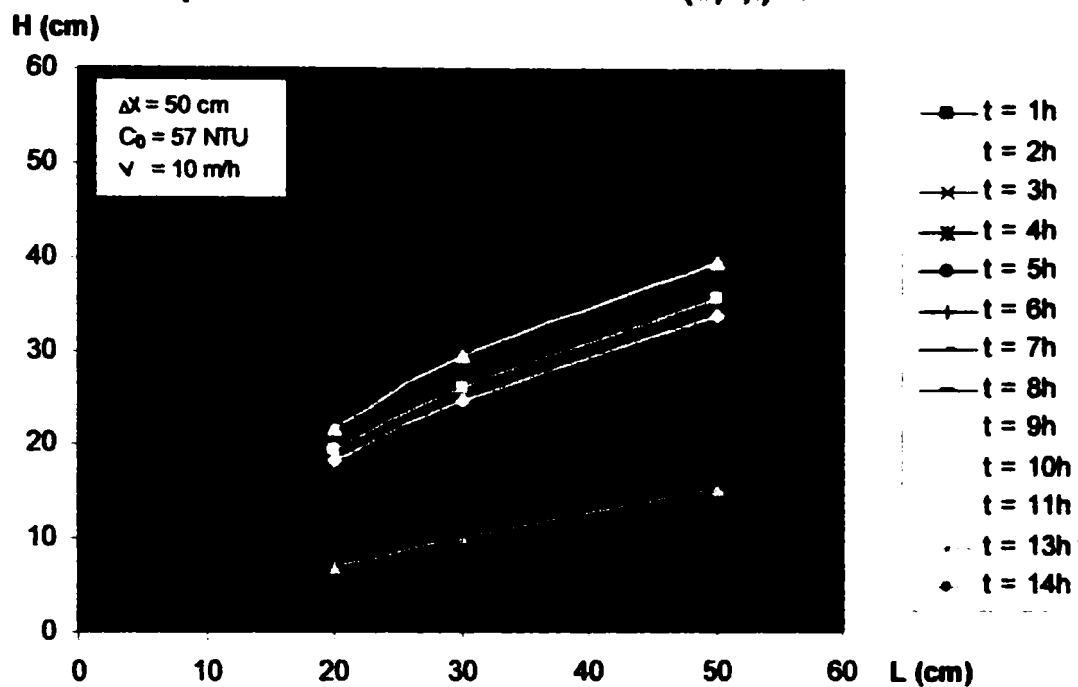
Exp. 6 - Pierderea de sarcină $H = f(L, v, t)$ - F.A.

Fig. 4.22. Pierderile de sarcină la filtrarea ascendentă cu $v=10$ m/h în raport cu grosimea stratului filtrant

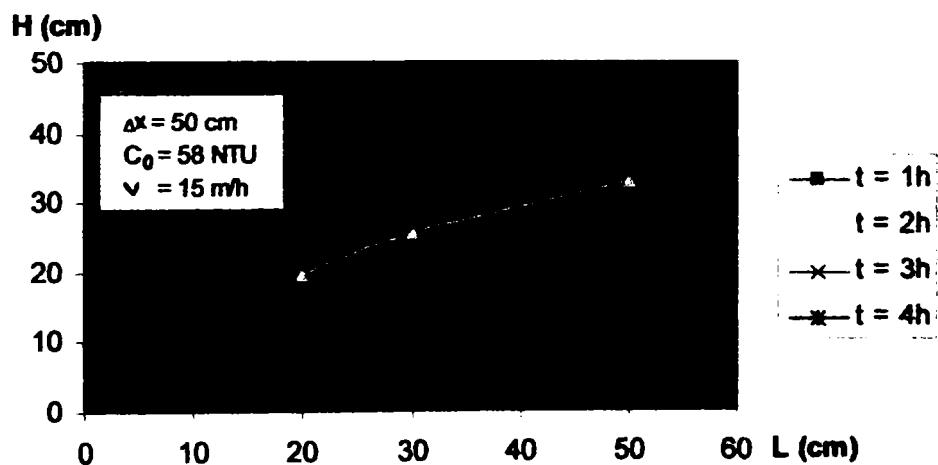
Exp. 5 - Pierderea de sarcină $H = f(L, v, t)$ - F.A.

Fig. 4.23. Pierderile de sarcină la filtrarea ascendentă cu $v=15$ m/h în raport cu grosimea stratului filtrant

Creșterile pierderilor de sarcină în masele filtrante, sunt determinate de rezistențele suplimentare date de depozitele reținute în masele filtrante.

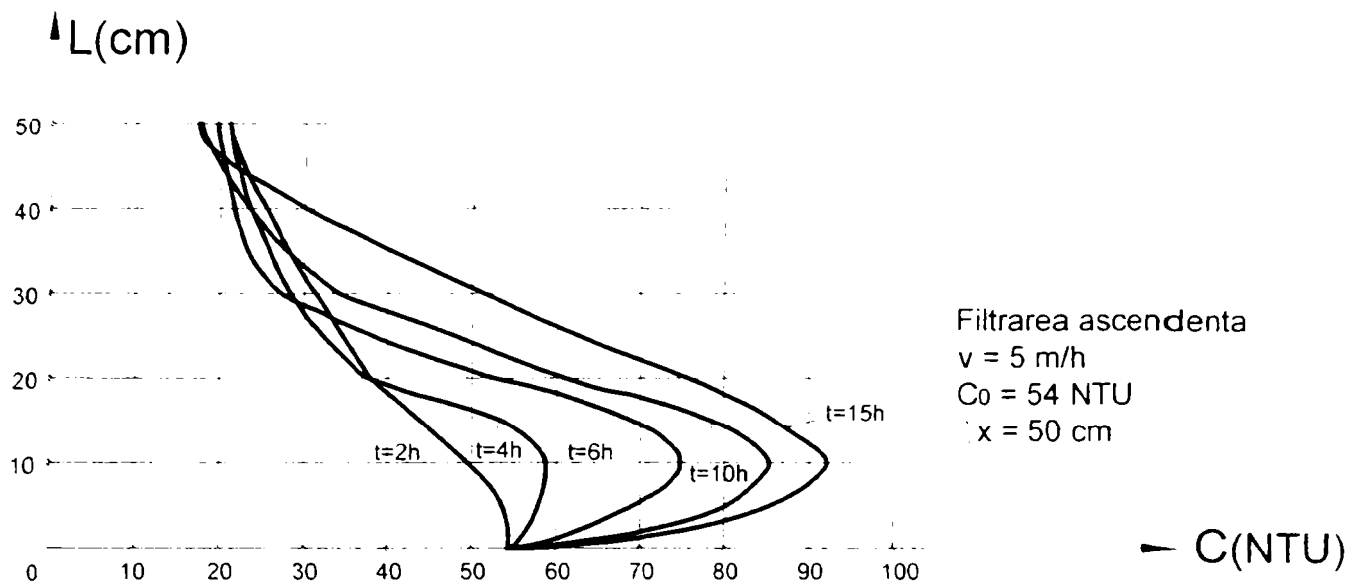


Fig. 4.24. Modificările calitative ale efluentului pe grosimea stratului filtrant pentru filtrarea ascendentă cu $v = 5 \text{ m/h}$

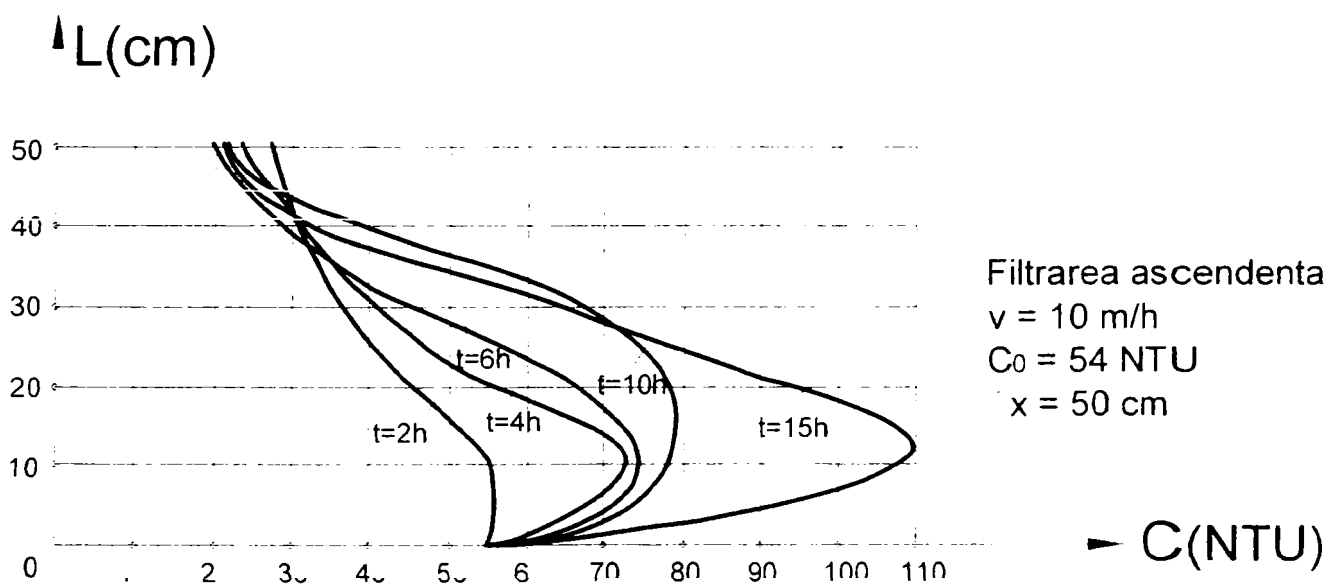


Fig. 4.25. Modificările calitative ale efluentului pe grosimea stratului filtrant pentru filtrarea ascendentă cu $v = 10 \text{ m/h}$

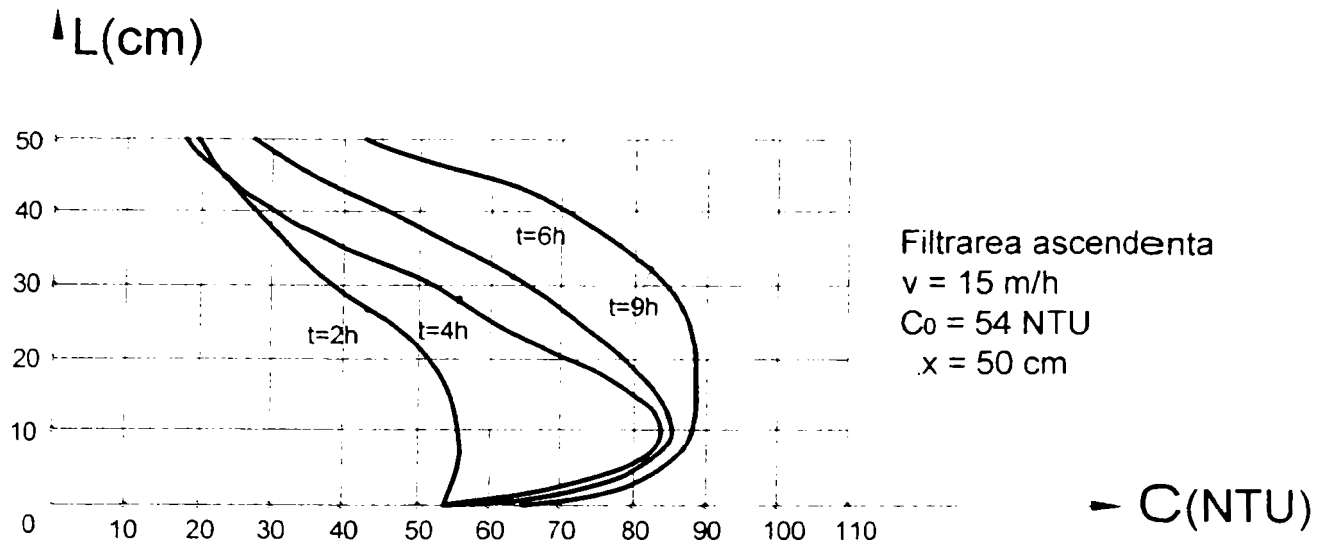


Fig. 4.26. Modificările calitative ale efluentului pe grosimea stratului filtrant pentru filtrarea ascendentă cu $v = 15 \text{ m/h}$

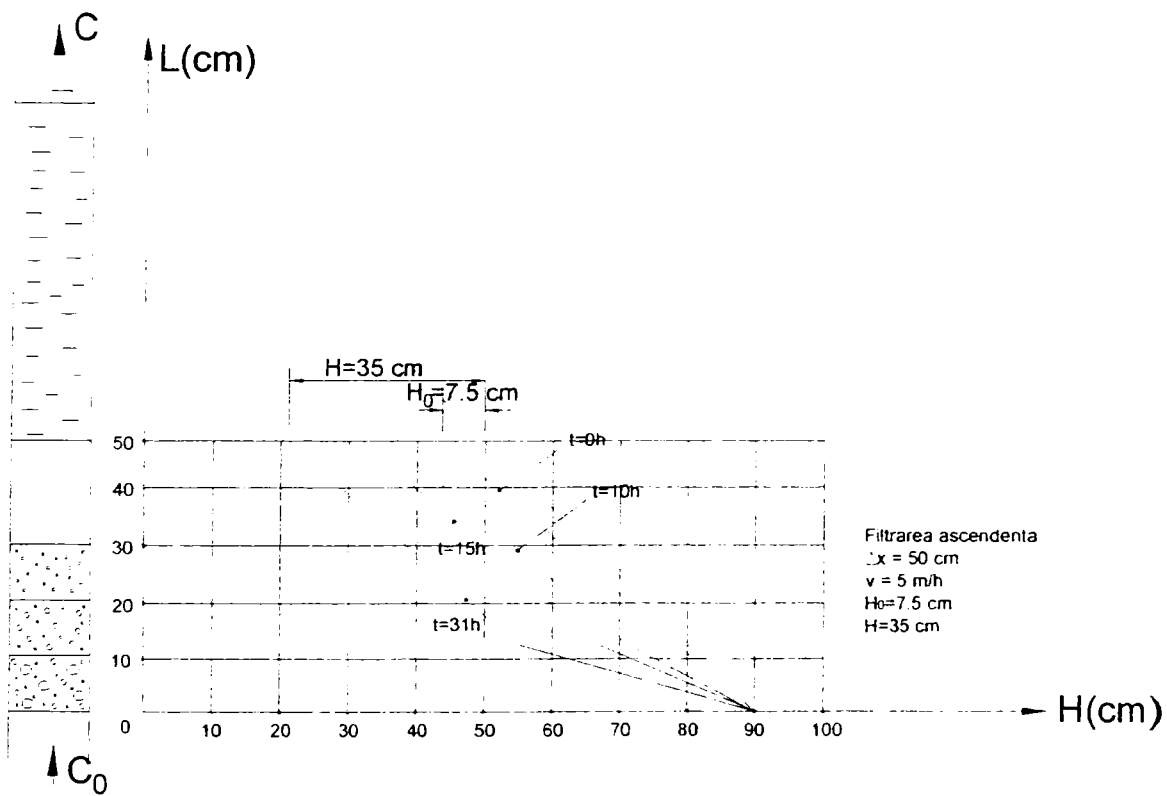


Fig. 4.27. Variația presiunilor pe parcursul unui ciclu de filtrare pentru filtrarea ascendentă având viteza de 5 m/h

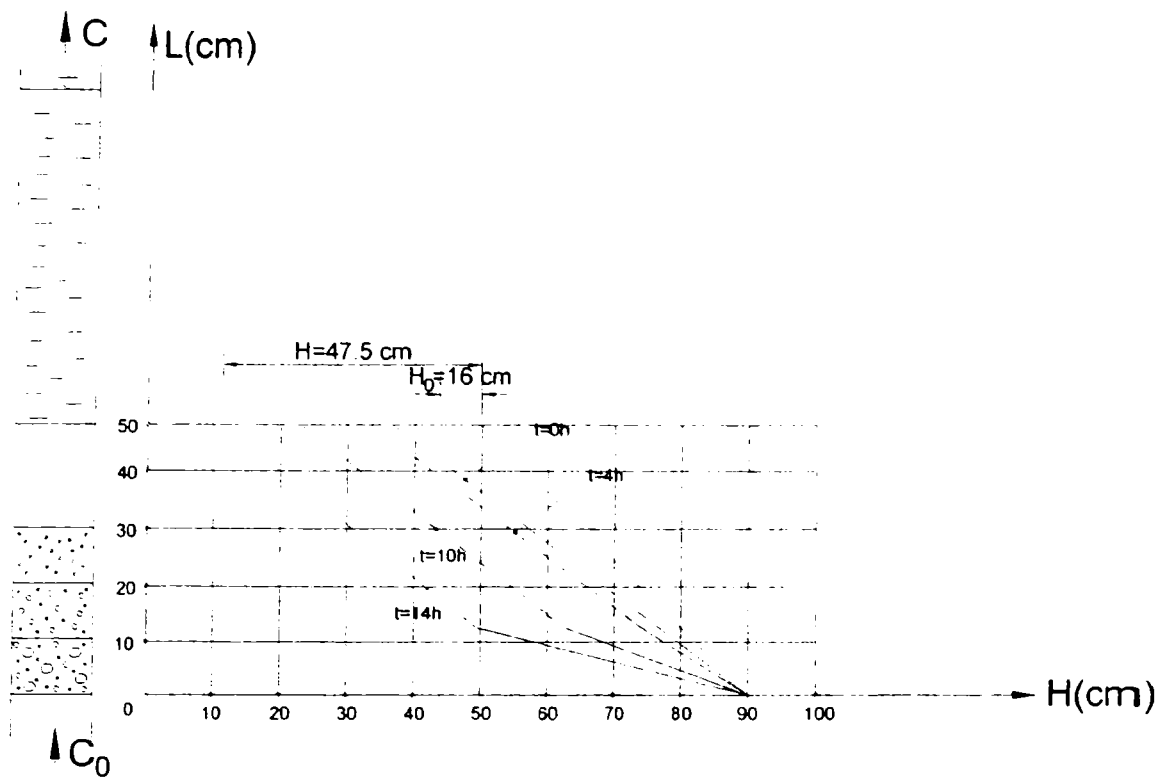


Fig. 4.28. Variația presiunilor pe parcursul unui ciclu de filtrare pentru filtrarea ascendentă având viteza de 10 m/h

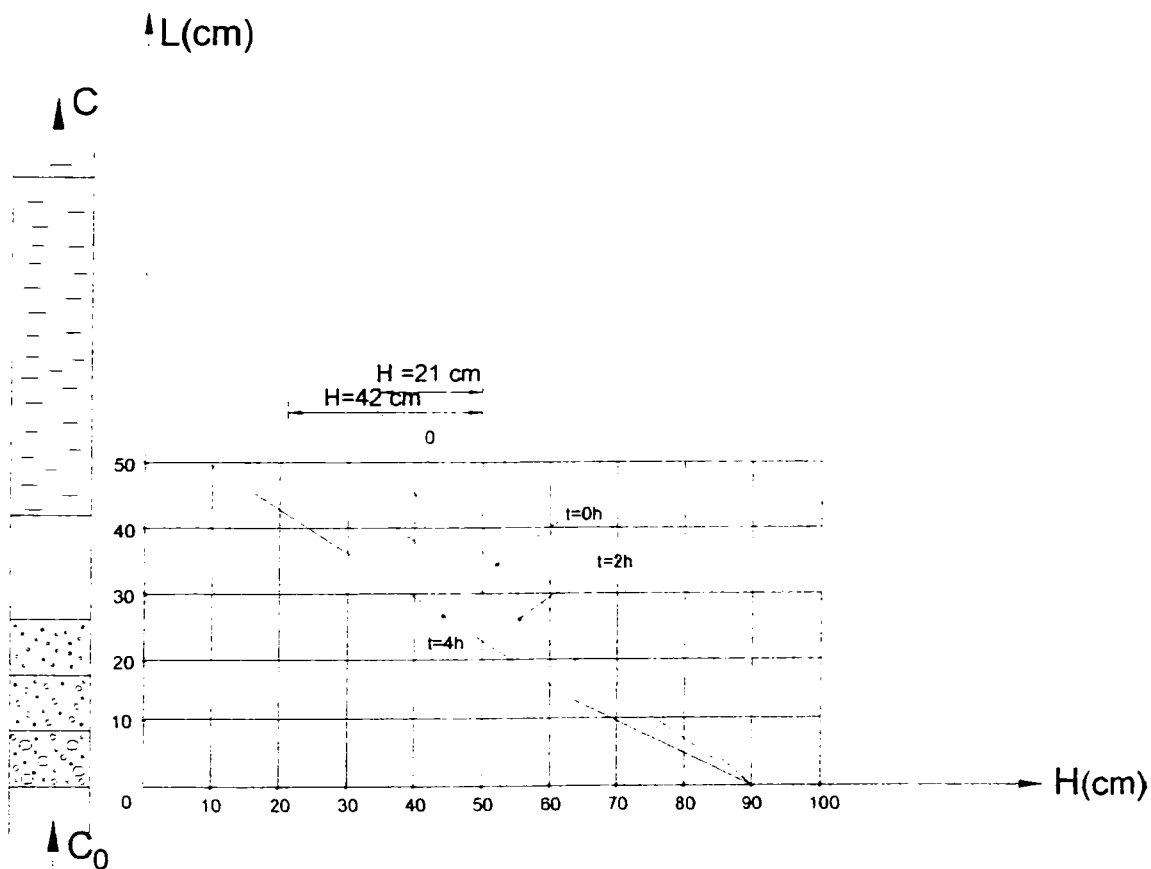


Fig. 4.29. Variația presiunilor pe parcursul unui ciclu de filtrare pentru filtrarea descendentă având viteza de 15 m/h

Salteaua de apă, impusă la (1 ÷ 1,5) m grosime din condiții de exploatare, favorizează duratele ciclurilor de filtrare întârziind astfel funcționarea filtrului la vid.

4.4.3. Filtrarea descendentă în straturi multiple neomogene

Cercetările experimentale efectuate pe o instalație de laborator redată în fig. 4.30 au pus în evidență capacitatea de reținere a maselor filtrante constituite din polistiren (P), antracit (A), nisip de cuarț (N), Granat (G) și magnetită (M), materiale procurate de la exploatările miniere Bocșa și Schela Gorj, folosindu-se apă de Bega cu turbidități cuprinse între 58 ÷ 75 NTU, pentru viteze de filtrare de 5, 10 și 15 m/h [108,112].

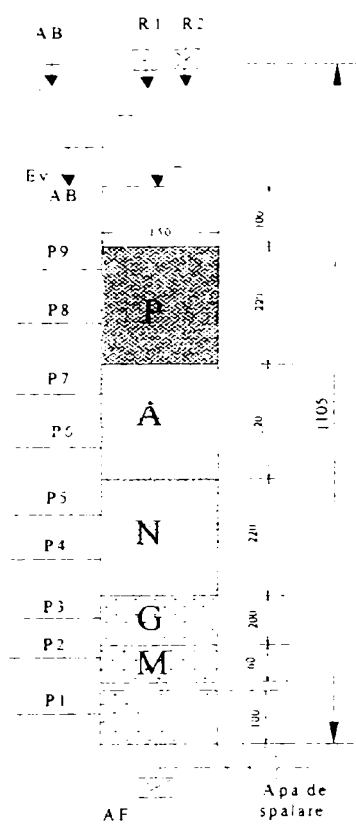


Fig. 4.30. Schema instalației de laborator cu straturi multiple neomogene

Apa supusă limpezirii a fost tratată chimic cu reactivi de coagulare – alcalinizare folosindu-se în acest scop Al_2SO_4 pentru coagulare în doze de 5, 10, 15 mg/l și carbonatul de sodiu cu 4 ÷ 8 mg/l.

Rezultatele măsurătorilor experimentale sunt redată pentru pierderile de sarcină în funcție de vitezele de filtrare, de grosimea stratului filtrant la sfârșitul ciclului de filtrare respectiv modificările pierderilor de sarcină pe parcursul unui ciclu de filtrare (fig. 4.31 și fig. 4.32).

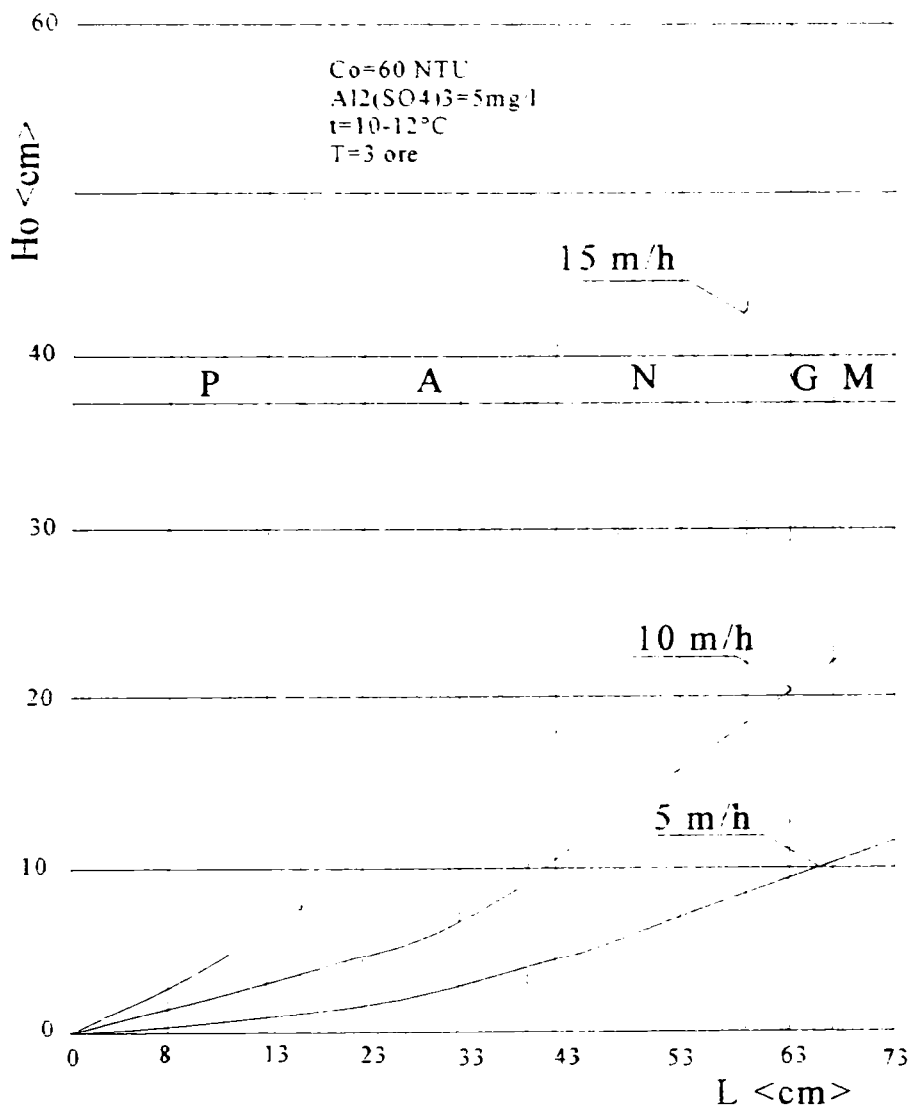


Fig. 4.31. Pierderile de sarcină totale prin cele cinci straturi filtrante în raport cu grosimea stratului filtrant

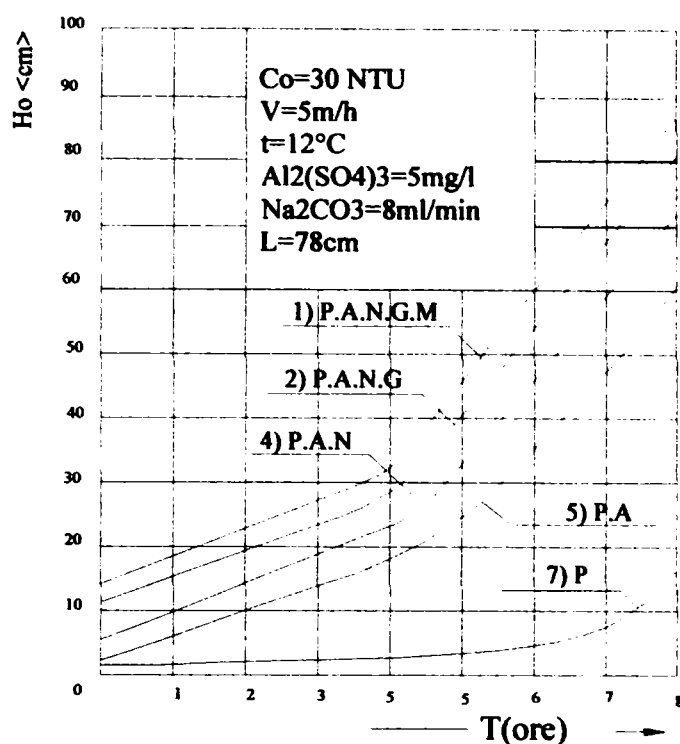


Fig. 4.32. Pierderile de sarcină efective prin cele cinci straturi filtrante în raport cu durata ciclului de filtrare

În fig. 4.33. sunt redată modificările calitative la sfârșitul ciclurilor de filtrare pentru concentrații ale reactivilor de coagulare-alkalinizare.

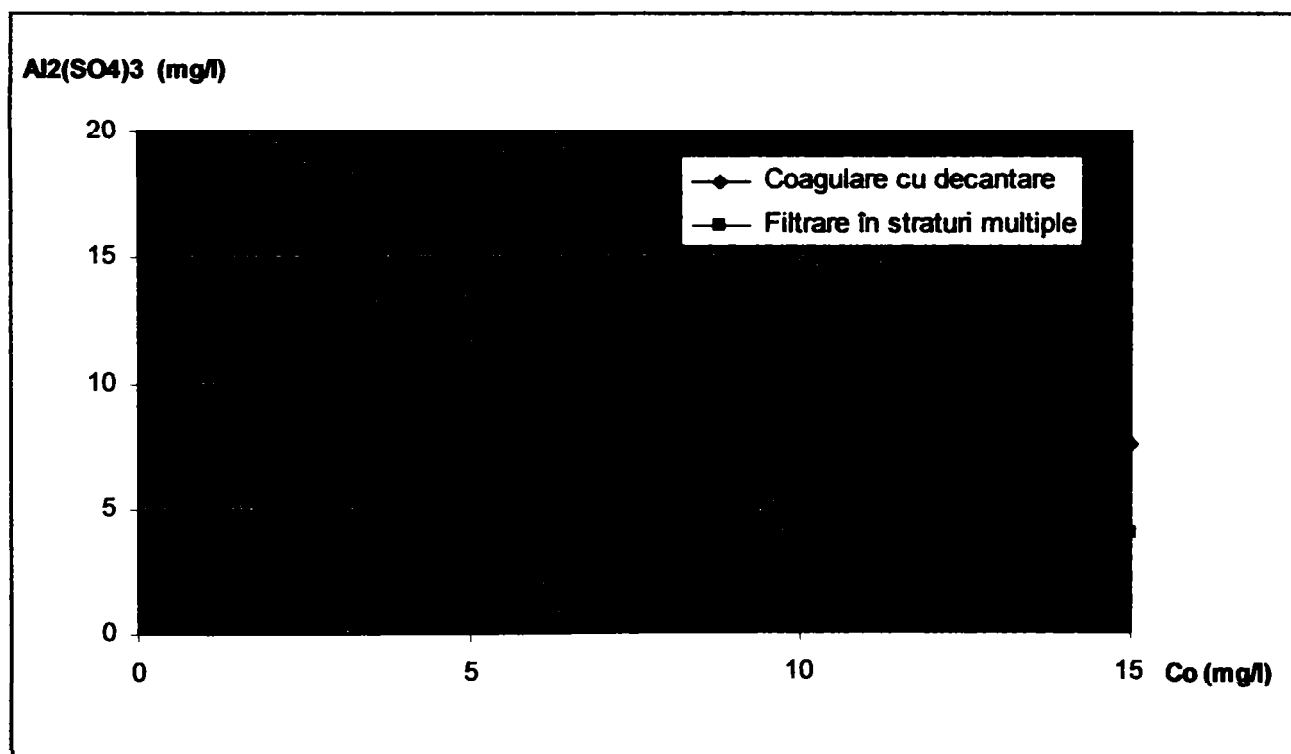


Fig. 4.33. Modificările calitative pentru diferite concentrații ale reactivilor de coagulare-alkalinizare

4.5. Prelucrarea rezultatelor experimentale

4.5.1 PIERDEREA DE SARCINĂ

- Pierderea de sarcină ($H = f(v, t)$)

Din datele obținute s-au determinat pierderile de sarcină atât pentru filtrarea ascendentă cât și pentru cea descendentă pe durata ciclului de filtrare în funcție de vitezele de filtrare (fig. 4.34, 4.35, 4.36 și 4.37).

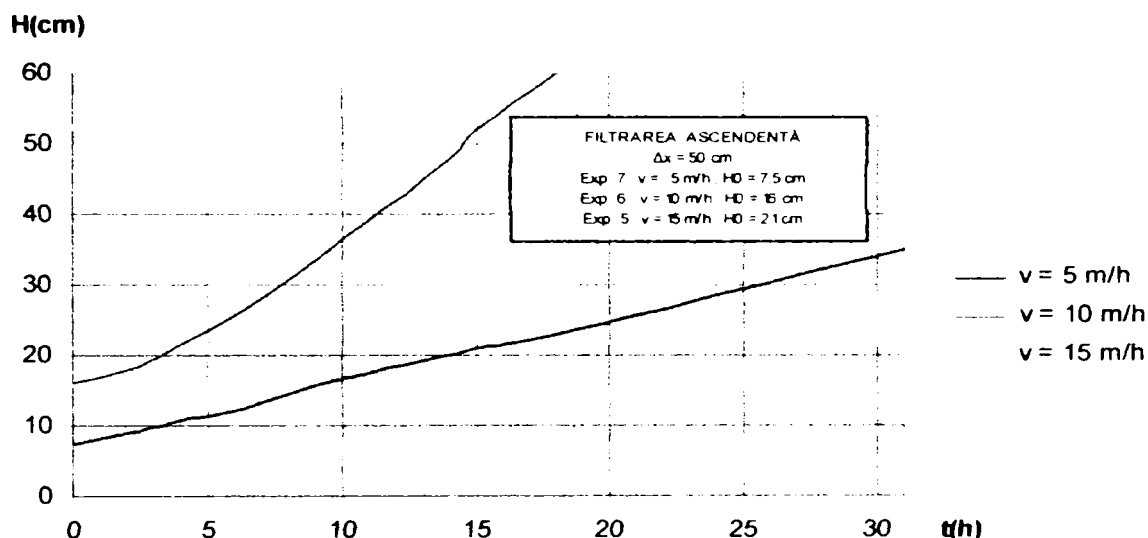


Fig. 4.34 Pierderile de sarcină pe durata ciclului de filtrare, în cazul filtrării ascendente cu $\Delta x = 50$ cm

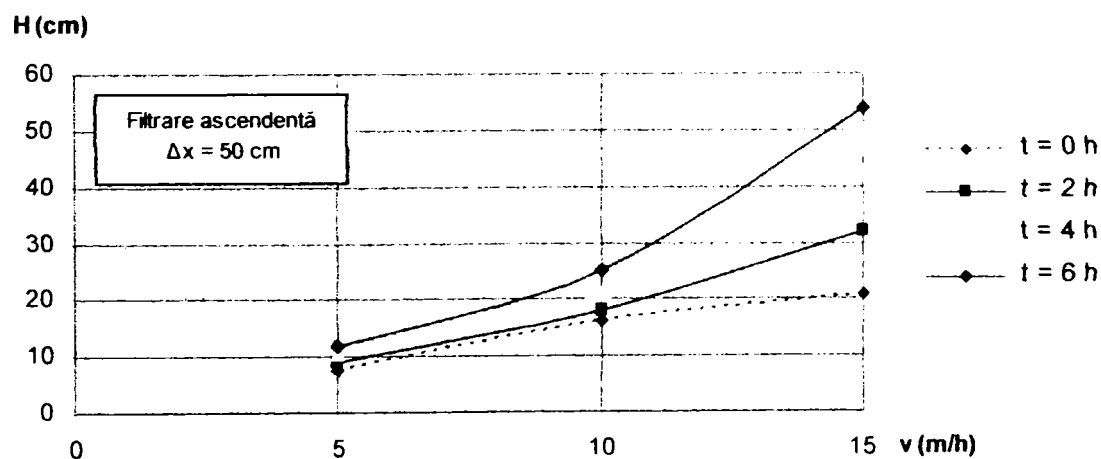


Fig. 4.35 Pierderile de sarcină în raport cu mărimea vitezelor de filtrare, în cazul filtrării ascendente cu $\Delta x = 50$ cm

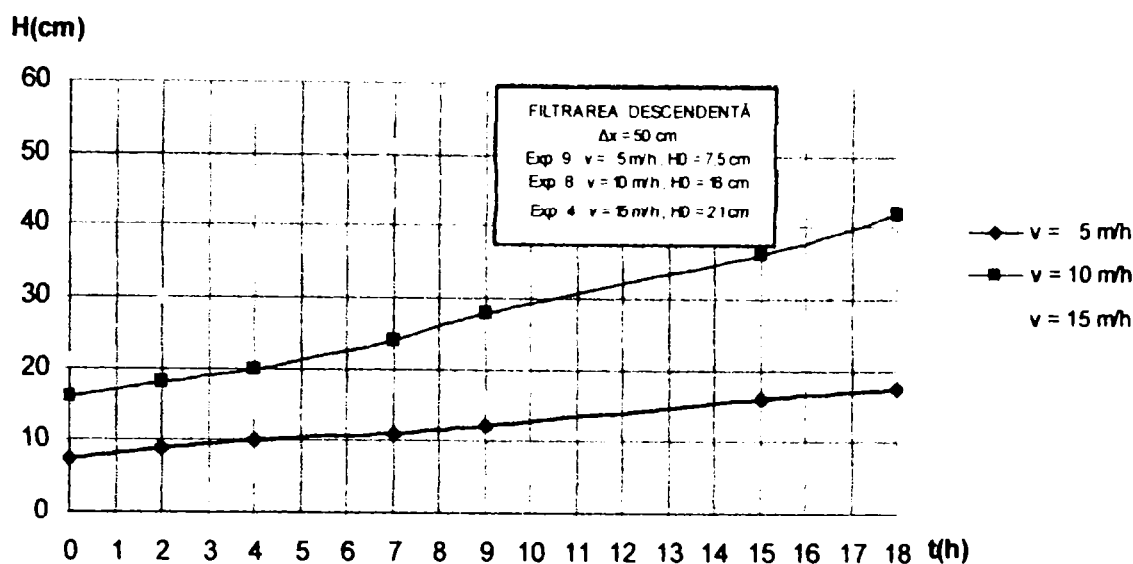


Fig. 4.36. Pierderile de sarcină pe durata ciclului de filtrare, în cazul filtrării descendente cu $\Delta x = 50$ cm

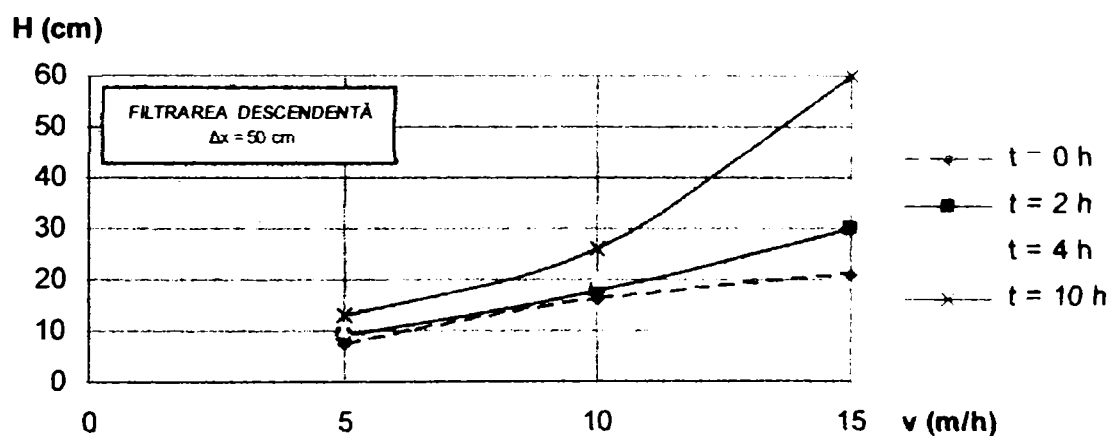


Fig. 4.37. Pierderile de sarcină în raport cu mărimea vitezelor de filtrare, în cazul filtrării ascendente cu $\Delta x = 50$ cm

Pentru determinarea unei relații de calcul, reprezentarea pierderii de sarcină în raport cu mărimea vitezelor de filtrare s-a efectuat în scară dublu logaritmică, considerând:

$$H = f(v,t) \quad (4.8)$$

Pierderea de sarcină se poate scrie sub forma:

$$H = a \cdot v^a \quad (4.9)$$

în care: H este pierderea de sarcină, în m;

v - viteza de filtrare, în m/h;

a - un coeficient ce depinde de durata ciclului de filtrare;

Coeficientul a se poate scrie sub forma:

$$a = k \cdot t^\beta \quad (4.10)$$

în care: t este durata timpului de filtrare, în h;

k și β - coeficienți ce depind de durata ciclului de filtrare.

Relația de calcul propusă pentru determinarea pierderilor de sarcină este de forma:

$$H = H_0 + k \cdot t^\beta \cdot v^a \quad (4.11)$$

În cazul filtrării descendente ($\Delta x = 50$ cm, $C_0 = 52 \div 57$ NTU), verificată pentru cele trei viteze de filtrare 5, 10 și 15 m/h, relația de calcul a pierderilor de sarcină este de forma:

$$H = H_0 + 0,016 \cdot t^{0.082} \cdot v^{1.1} \quad (4.12)$$

În cazul filtrării ascendente ($\Delta x = 50$ cm, $C_0 = 54 \div 58$ NTU), verificată pentru cele trei viteze de filtrare 5, 10 și 15 m/h, relația de calcul a pierderilor de sarcină este de forma:

$$H = H_0 + 0,012 \cdot t^{0.228} \cdot v^{1.1} \quad (4.13)$$

- **Pierderea de sarcină $H = f(C,t)$** în cazul filtrării descendente și ascendente pentru vitezele de filtrare de 5, 10 și 15 m/h, la turbidități cuprinse între 52÷57 NTU sunt redată în fig. 4.24.

- **Pierderea de sarcină $H = f(L,t)$** în cazul filtrării descendente și ascendente, în funcție de durata ciclurilor de filtrare la turbidități de 52÷57 NTU, în raport cu presiunea maximă admisă se urmărește evitarea funcționării instalațiilor de filtrare la vid, redată în figurile 4.15, 4.16, 4.17, 4.27, 4.28 și 4.29.

4.5.2. DEPOZITUL SPECIFIC

În urma prelucrării rezultatelor experimentale s-au determinat depozitele specifice de-a lungul ciclurilor de filtrare pentru grosimi de $\Delta x = 50$ cm și respectiv $\Delta x = 60$ cm pentru viteze de 5,10 și 15 m/h, rezultate care au pus în evidență mărimea parametrului λ de depozitul specific.

În figurile 4.38 și 4.42 sunt evidențiate în cazul filtrării ascendente pe baza rezultatelor din tabelele 4.10 și 4.11 modificările parametrilor λ și λ_0 în funcție de mărimea vitezelor de filtrare utilizate, iar în figura 4.46 sunt evidențiate modificările parametrului λ în cazul filtrării descendente a filtrului de grosime $\Delta x = 50$ cm, modificările parametrului λ în funcție de depozitul σ pentru aceeași gamă de viteze.

Reprezentările grafice din figurile 4.38, 4.42 și 4.46 au scos în evidență faptul că parametrul λ în funcție de depunerea specifică σ , sunt funcții parabolice cu următoarele caracteristici:

- $\lambda_0 = 0,6 \div 1,75 \text{ m}^{-1}$; $\lambda_{\max} = 0,9 \div 2,3 \text{ m}^{-1}$ – în cazul filtrării descendente;
- $\lambda_0 = 0,75 \div 1,6 \text{ m}^{-1}$; $\lambda_{\max} = 1,3 \div 1,8 \text{ m}^{-1}$ - în cazul filtrării ascendente.

Din reprezentarea rezultatelor experimentale pentru filtrarea descendentă cât și pentru filtrarea ascendentă parametrul λ în funcție de depozitul specific se poate exprima sub forma:

$$\lambda = a + b \cdot \sigma - c \cdot \sigma^2 \quad (4.14)$$

iar în formă simplificată

$$\lambda = a^* - b^* \cdot \sigma^2 \quad (4.15)$$

Parametrii a , b , c , a^* și b^* se obțin pe baza rezultatelor experimentale.

Relația aproximativă (4.15) pentru parametrul λ este utilizată la integrarea sistemelor de ecuații cu derivate parțiale (2.58 și 2.61).

Dependența depozitului specific în funcție de mărimea vitezelor de filtrare pentru grosimi de 50 și 60 cm la concentrații de 52÷59 NTU pentru filtrarea ascendentă și descendentă este redată în figurile 4.50 și 4.51.

Deasemenea au fost evidențiate modificările depozitelor specifice pe durata ciclurilor de filtrare în raport cu mărimea vitezelor experimentale utilizate, aspecte evidențiate în figurile 4.54 și 4.55.

Masele reținute de stratele filtrante cu $\Delta x=50$ cm și respectiv 60 cm în raport cu mărimea vitezelor de filtrare sunt redată în figurile 4.52 și 4.53.

Comparând rezultatele obținute între filtrarea ascendentă și cea descendentă a rezultat faptul că încărcările specifice cât și masele reținute sunt cu 5÷10% mai mari în cazul filtrării ascendente față de filtrarea descendentă. Acest aspect este rezultatul încărcării mai uniforme a stratelor filtrante.

Această concluzie a fost desprinsă și în cazul filtrării descendente cu straturi multiple neomogene.

Depozitele specifice au valori importante la vitezele mici de filtrare, valori care se reduc pe măsură ce se majorează vitezele de filtrare.

4.5.2.1. Filtrarea ascendentă ($\Delta x = 50$ cm)

Pentru filtrarea ascendentă ($\Delta x = 50$ cm), cu concentrații de 54 ÷ 58 NTU, s-a urmărit determinarea unei ecuații matematice care să descrie în orice moment, coeficientul de rezistență λ în raport cu depozitul specific σ , pentru cele trei viteze considerate 5, 10 și 15 m/h. (tabelul 4.10 și fig. 4.38)

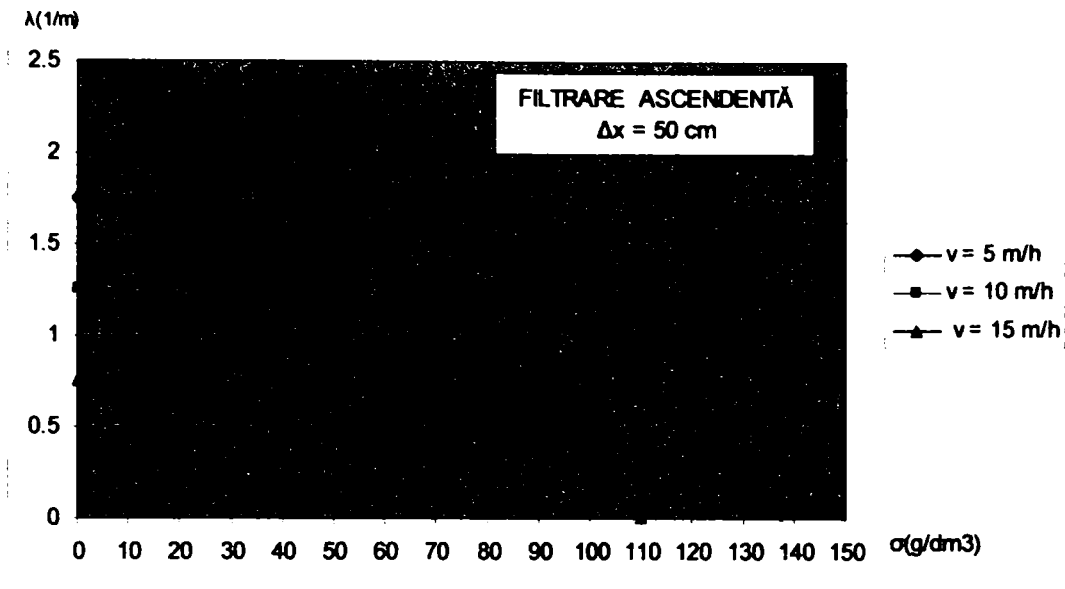


Fig. 4.38. Dependența parametrului λ de depozitul specific σ , pentru filtrarea ascendentă având $\Delta x = 50$ cm

Tab. 4.10

dech. (mm)	v (m/h)	λ (m^{-1}) $\Delta\sigma$ (g/dm^3)	TIMP (min.) $\Delta x = 50$ cm								λ_0 (m^{-1})
			100	200	300	400	500	600	900	1100	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.85	5	λ	1.85	1.95	2.10	2.15	2.2	2.2	2.12	2.0	1.75
		$\Sigma \Delta\sigma$	4.5	10	15.4	23	27.5	33.1	50.6	63	-
0.85	10	λ	1.5	1.65	1.70	1.75	1.70	1.60	1.2	0.65	1.25
		$\Sigma \Delta\sigma$	10.5	16	26.6	38.1	47.6	58.2	88.7	106.5	-
0.85	15	λ	1.1	1.2	1.1	0.8	0.65	-	-	-	0.75
		$\Sigma \Delta\sigma$	17.1	35.8	54.9	70.8	84	-	-	-	-

Pentru filtrarea ascendentă ($\Delta x = 50$ cm), cu concentrații de $54 \div 58$ NTU, s-a urmărit determinarea unei ecuații matematice care să descrie în orice moment, coeficientul de rezistență λ în raport cu depozitul specific σ , pentru cele trei viteze considerate 5, 10 și 15 m/h. (tabelul 4.10 și fig. 4.38)

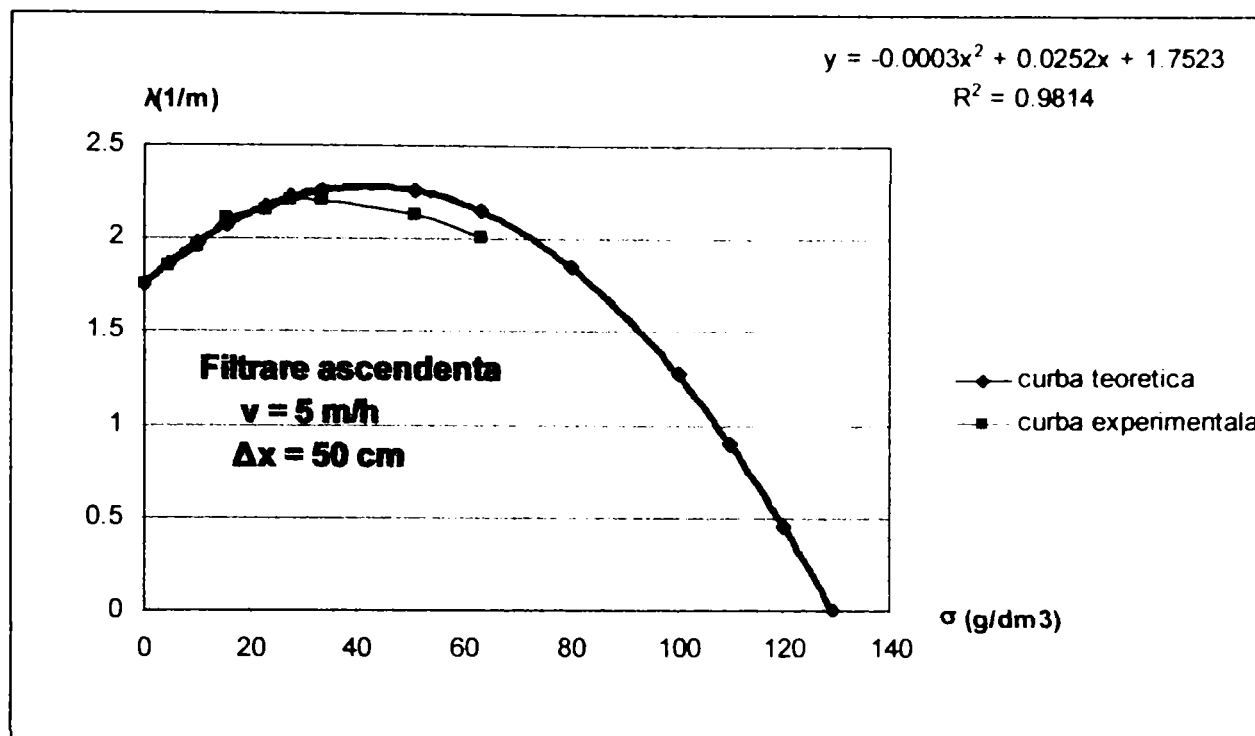


Fig. 4.39. Determinarea ecuației matematice pentru $\lambda=f(\sigma)$ în cazul filtrării ascendente cu $v=5\text{m/s}$ și $\Delta x=50\text{ cm}$

Din reprezentarea grafică a rezultatelor experimentale pentru filtrarea ascendentă cu $v = 5\text{ m/s}$ și $\Delta x=50\text{ cm}$, parametrul $\lambda=f(\sigma)$, se poate exprima sub forma generală:

$$\lambda = a + b \cdot \sigma - c \cdot \sigma^2 \quad (4.14)$$

În fig. 4.39, se poate observa curba care descrie o ecuație matematică de forma:

$$\lambda = 1,7523 + 0,0252 \cdot \sigma - 0,0003 \cdot \sigma^2 \quad (4.16)$$

în care: $a = 1,7523$; $b = 0,0252$; $c = 0,0003$

- pentru $\sigma = 0$, $\lambda = \lambda_0 = 1,7523$;
- pentru $\lambda = 0$, $\sigma_{1,2} = \frac{-0.0252 \pm \sqrt{0.0252^2 + 4 \cdot 0.0003 \cdot 1.7523}}{-2 \cdot 0.0003}$

$$\sigma_1 = 129,2\text{ g/dm}^3 \text{ și } \sigma_2 = -45,20\text{ g/dm}^3 \text{ rezultând:}$$

$$\sigma_{\max.} = \sigma_s = 129,20\text{ g/dm}^3$$

- pentru a determina $\lambda_{\max.}$, se anulează derivata în raport cu σ obținându-se: $\lambda_{\max.} = 2,28$

Pentru a ușura integrarea sistemului de ecuații diferențiale, funcția propusă pentru determinarea parametrului λ se reduce la forma:

$$\lambda = a^* - b^* \cdot \sigma^2 \quad (4.15)$$

Diferențele dintre măsurătorile reale și cele teoretice ale parametrului λ se pot observa în tabelul 4.11.

Tabelul 4.11

Nr. crt.	Valorile lui λ în funcție de σ , în cazul filtrării ascendente cu $v = 5\text{m/s}$ și $\Delta x = 50\text{ cm}$		Diferențe	Procentual %
	Valorile reale	Valorile teoretice		
0	1	2	3	4
1	1,75	1,752	0,002	0,1
2	1,85	1,859	0,009	0,4
3	1,95	1,97	0,024	1,0
4	2,1	2,07	0,03	1,4
5	2,15	2,17	0,023	0,9
6	2,2	2,21	0,018	0,4
7	2,2	2,25	0,057	2,2
8	2,12	2,26	0,13	6,2
9	2	2,14	0,15	6,5

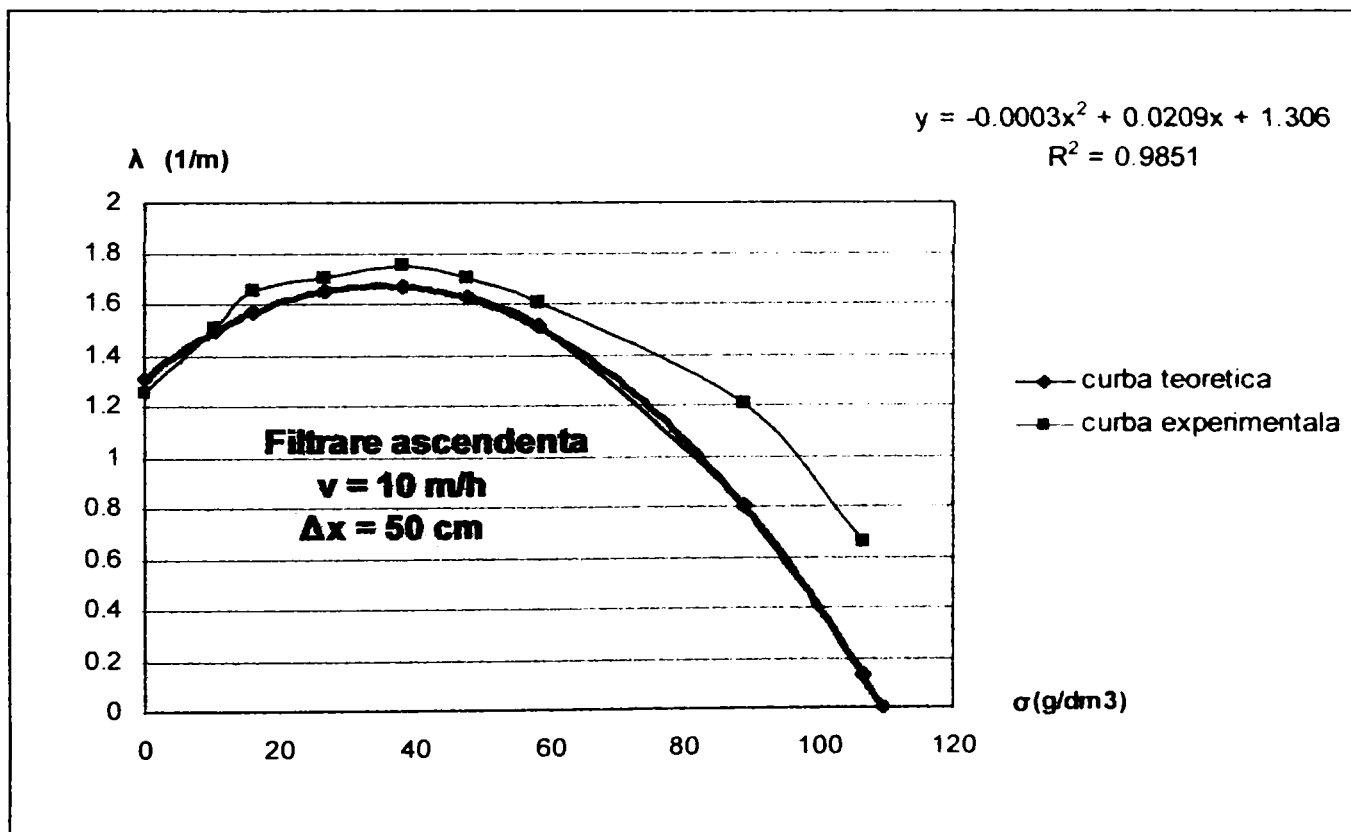


Fig. 4.40. Determinarea ecuației matematice pentru $\lambda=f(\sigma)$ în cazul filtrării ascendente cu $v=10\text{m/s}$ și $\Delta x=50\text{ cm}$

Din reprezentarea grafică a rezultatelor experimentale pentru filtrarea ascendentă cu $v = 10$ m/s și $\Delta x = 50$ cm, parametrul $\lambda = f(\sigma)$, se poate exprima sub forma generală:

$$\lambda = a + b \cdot \sigma - c \cdot \sigma^2 \quad (4.14)$$

În fig. 4.40, se poate observa curba care descrie o ecuație matematică de forma:

$$\lambda = 1,3046 + 0,0209 \cdot \sigma - 0,0003 \cdot \sigma^2 \quad (4.17)$$

în care: $a = 1,3046$; $b = 0,0209$; $c = 0,0003$

- pentru $\sigma = 0$, $\lambda = \lambda_0 = 1,3046$;
- pentru $\lambda = 0$, $\sigma_{1,2} = \frac{-0.0209 \pm \sqrt{0.0209^2 + 4 \cdot 0.0003 \cdot 1.3046}}{-2 \cdot 0.0003}$
 $\sigma_1 = 109,41$ g/dm³ și $\sigma_2 = -39,74$ g/dm³ rezultând:
 $\sigma_{\max.} = \sigma_s = 109,41$ g/dm³
- pentru a determina $\lambda_{\max.}$, se anulează derivata în raport cu σ obținându-se: $\lambda_{\max.} = 1.66$

Pentru a ușura integrarea sistemului de ecuații diferențiale, funcția propusă pentru determinarea parametrului λ se reduce la forma:

$$\lambda = a^* - b^* \cdot \sigma^2 \quad (4.15)$$

Diferențele dintre măsurătorile reale și cele teoretice ale parametrului λ se pot observa în tabelul 4.12.

Tabelul 4.12

Nr. crt.	Valorile lui λ în funcție de σ , în cazul filtrării ascendente cu $v = 10$ m/s și $\Delta x = 50$ cm		Diferențe	Procentual %
	Valorile reale	Valorile teoretice		
0	1	2	3	4
1	1,25	1,30	0,05	3,8
2	1,5	1,49	0,009	0,6
3	1,65	1,56	0,08	5,4
4	1,7	1,64	0,05	3,5
5	1,75	1,66	0,08	5,1
6	1,7	1,62	0,08	4,7
7	1,6	1,50	0,095	6,2
8	1,2	0,79	0,40	34
9	0,65	0,12	0,52	81

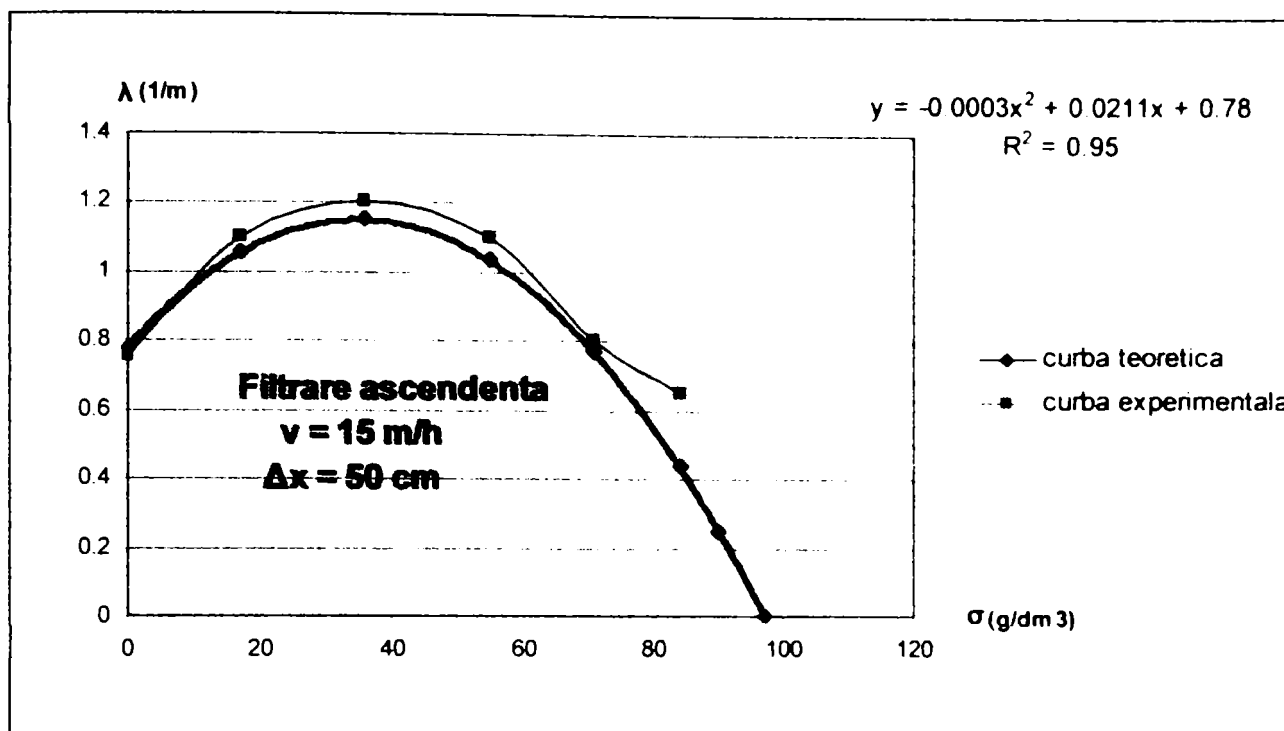


Fig. 4.41. Determinarea ecuației matematice pentru $\lambda=f(\sigma)$ în cazul filtrării ascendente cu $v=15\text{m/s}$ și $\Delta x=50\text{ cm}$

Din reprezentarea grafică a rezultatelor experimentale pentru filtrarea ascendentă cu $v = 15\text{ m/s}$ și $\Delta x=50\text{ cm}$, parametrul $\lambda=f(\sigma)$, se poate exprima sub forma generală:

$$\lambda = a + b \cdot \sigma - c \cdot \sigma^2 \quad (4.14)$$

În fig. 4.41, se poate observa curba care descrie o ecuație matematică de forma:

$$\lambda = 0,78 + 0,0211 \cdot \sigma - 0,0003 \cdot \sigma^2 \quad (4.18)$$

în care: $a = 0,78$; $b = 0,0211$; $c = 0,0003$

- pentru $\sigma = 0$, $\lambda = \lambda_0 = 0,78$;
- pentru $\lambda = 0$, $\sigma_{1,2} = \frac{-0.0211 \pm \sqrt{0.0211^2 + 4 \cdot 0.0003 \cdot 0.78}}{-2 \cdot 0.0003}$

$\sigma_1 = 97,10\text{ g/dm}^3$ și $\sigma_2 = -26,77\text{ g/dm}^3$ rezultând:

$$\sigma_{\text{max.}} = \sigma_s = 97,10\text{ g/dm}^3$$

- pentru a determina $\lambda_{\text{max.}}$, se anulează derivata în raport cu σ obținându-se: $\lambda_{\text{max.}} = 1,15$

Pentru a ușura integrarea sistemului de ecuații diferențiale, funcția

propusă pentru determinarea parametrului λ se reduce la forma:

$$\lambda = a^* - b^* \cdot \sigma^2 \quad (4.15)$$

Diferențele dintre măsurătorile reale și cele teoretice ale parametrului λ se pot observa în tabelul 4.13.

Tabelul 4.13

Nr. crt.	Valorile lui λ în funcție de σ , în cazul filtrării ascendente cu $v = 15$ m/s și $\Delta x = 50$ cm		Diferențe	Procentual %
	Valorile reale	Valorile teoretice		
0	1	2	3	4
1	0,75	0,78	0,03	3,8
2	1,1	1,05	0,04	3,6
3	1,2	1,15	0,05	4,1
4	1,1	1,03	0,06	5,4
5	0,80	0,77	0,03	3,7
6	0,65	0,43	0,21	32

4.5.2.2. Filtrarea ascendentă ($\Delta x = 60$ cm)

Pentru filtrarea ascendentă ($\Delta x = 60$ cm), cu concentrații de $55 \div 59$ NTU, s-a urmărit determinarea unei ecuații matematice care să descrie în orice moment, coeficientul de rezistență λ în raport cu depozitul specific σ , pentru cele trei viteze considerate 5, 10 și 15 m/h. (tabelul 4.14 și fig. 4.42)

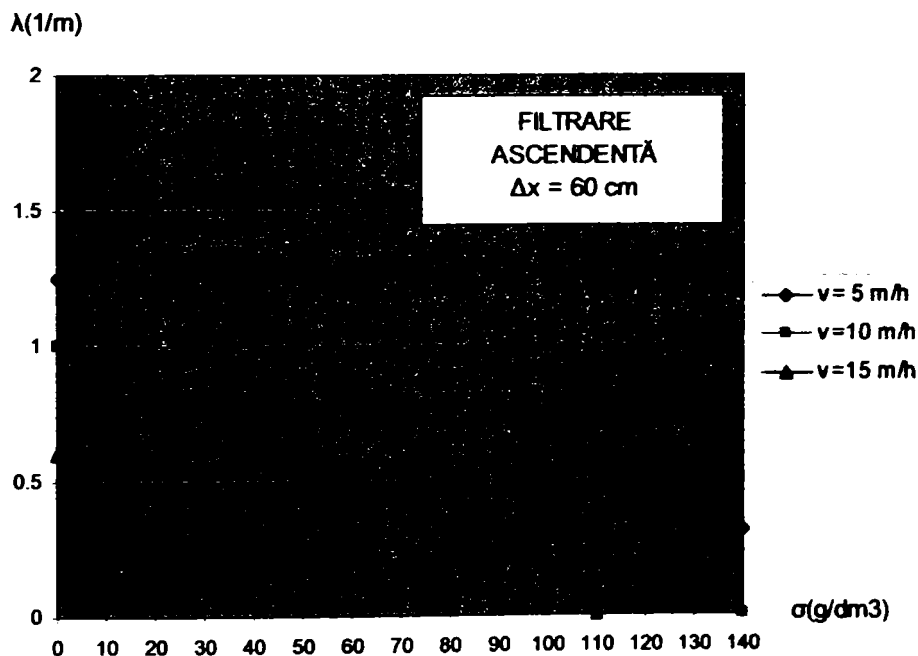


Fig. 4.42. Dependența parametrului λ de depozitul specific σ , pentru filtrarea ascendentă având $\Delta x = 60$ cm

Tab. 4.14

dech. (mm)	v (m/h)	λ (m ⁻¹) $\Delta\sigma$ (g/dm ³)	TIMP (min.) $\Delta x = 60$ cm								λ_0 (m ⁻¹)
			100	200	300	400	500	600	900	1100	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.78	5	λ	1.3	1.4	1.45	1.5	1.55	1.60	1.63	1.60	1.25
		$\Sigma \Delta\sigma$	3	6.6	10.4	14.5	18.3	22	35.5	46	-
0.78	10	λ	1.15	1.25	1.30	1.30	1.25	1.20	0.77	0.50	1.00
		$\Sigma \Delta\sigma$	9.3	19.7	30.3	40.6	49.8	60	87.8	104.4	-
0.78	15	λ	0.8	0.85	0.75	0.55	0.38	0.25	-	-	0.60
		$\Sigma \Delta\sigma$	16	37	58	75	88	95	-	-	-

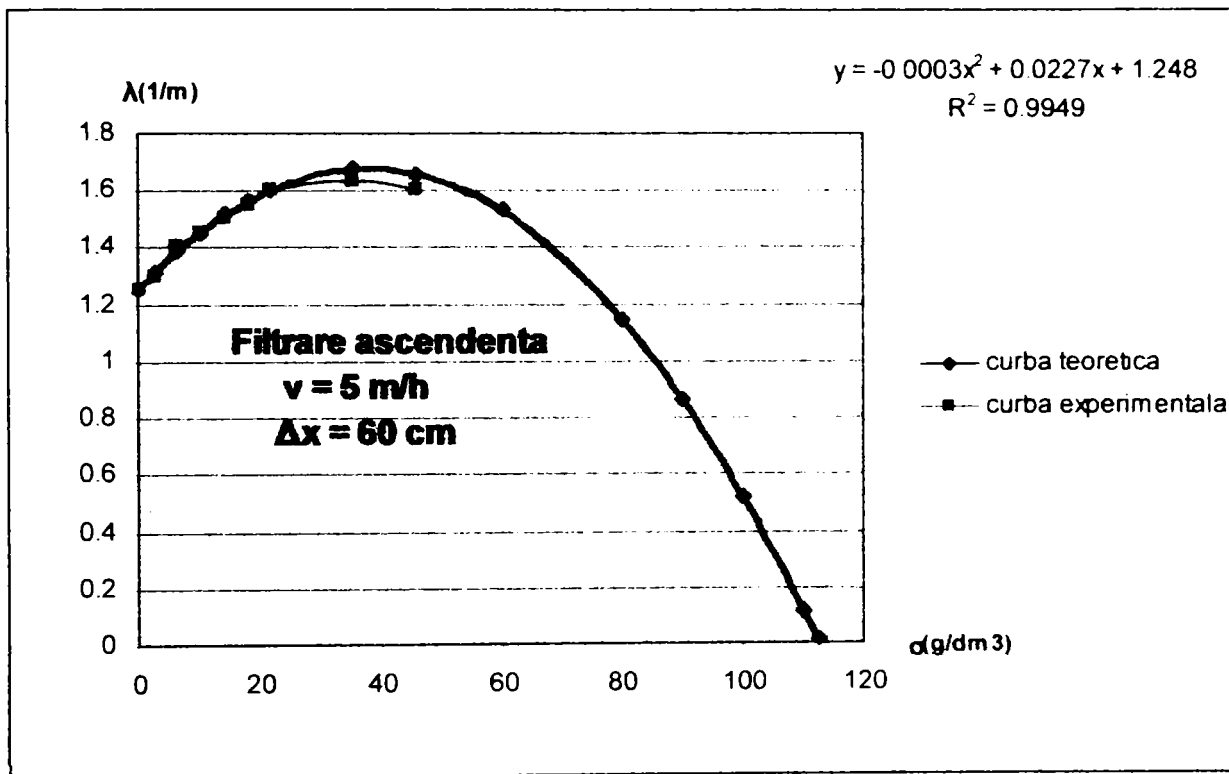


Fig. 4.43. Determinarea ecuației matematice pentru $\lambda=f(\sigma)$ în cazul filtrării ascendente cu $v=5\text{m/s}$ și $\Delta x=60$ cm

Din reprezentarea grafică a rezultatelor experimentale pentru filtrarea ascendentă cu $v = 5$ m/s și $\Delta x=60$ cm, parametrul $\lambda=f(\sigma)$, se poate exprima sub forma generală:

$$\lambda = a + b \cdot \sigma - c \cdot \sigma^2 \tag{4.14}$$

În fig. 4.43, se poate observa curba care descrie o ecuație matematică de forma:

$$\lambda = 1,248 + 0,0227 \cdot \sigma - 0,0003 \cdot \sigma^2 \quad (4.19)$$

în care: $a = 1,248$; $b = 0,0227$; $c = 0,0003$

- pentru $\sigma = 0$, $\lambda = \lambda_0 = 1,248$;
- pentru $\lambda = 0$, $\sigma_{1,2} = \frac{-0,0227 \pm \sqrt{0,0227^2 + 4 \cdot 0,0003 \cdot 1,248}}{-2 \cdot 0,0003}$
 $\sigma_1 = 112,60 \text{ g/dm}^3$ și $\sigma_2 = -36,94 \text{ g/dm}^3$ rezultând:
 $\sigma_{\max.} = \sigma_s = 112,6 \text{ g/dm}^3$
- pentru a determina $\lambda_{\max.}$, se anulează derivata în raport cu σ obținându-se: $\lambda_{\max.} = 1,677$

Pentru a ușura integrarea sistemului de ecuații diferențiale, funcția propusă pentru determinarea parametrului λ se reduce la forma:

$$\lambda = a^* - b^* \cdot \sigma^2 \quad (4.15)$$

Diferențele dintre măsurătorile reale și cele teoretice ale parametrului λ se pot observa în tabelul 4.15.

Tabelul 4.15

Nr. crt.	Valorile lui λ în funcție de σ , în cazul filtrării ascendente cu $v = 5$ m/s și $\Delta x = 60$ cm		Diferențe	Procentual %
	Valorile reale	Valorile teoretice		
0	1	2	3	4
1	1,25	1,24	0,0017	0,1
2	1,3	1,313	0,0137	1,0
3	1,4	1,385	0,015	1,0
4	1,45	1,452	0,0019	0,1
5	1,5	1,514	0,014	0,9
6	1,55	1,563	0,013	0,8
7	1,6	1,602	0,0025	0,1
8	1,63	1,676	0,046	2,7
9	1,6	1,657	0,057	3,4

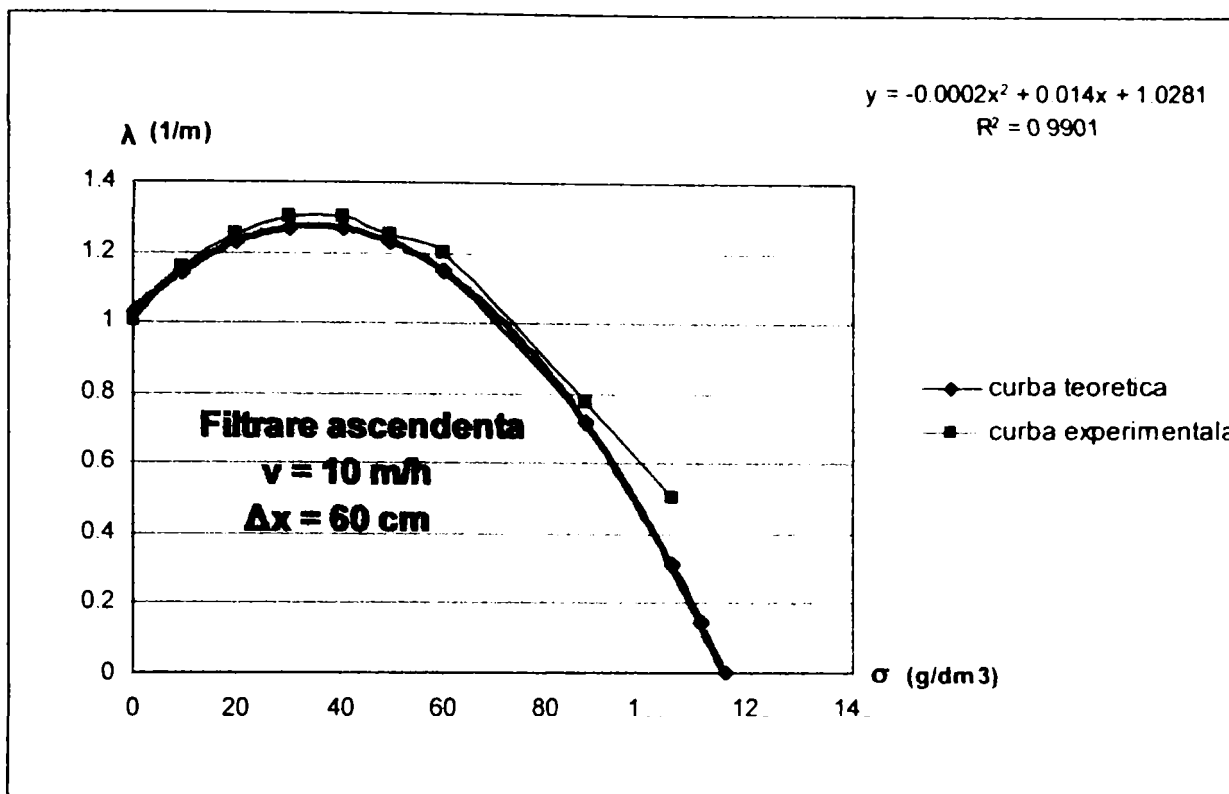


Fig. 4.44. Determinarea ecuației matematice pentru $\lambda=f(\sigma)$ în cazul filtrării ascendente cu $v=10\text{m/s}$ și $\Delta x=60\text{ cm}$

Din reprezentarea grafică a rezultatelor experimentale pentru filtrarea ascendentă cu $v = 10\text{ m/s}$ și $\Delta x=60\text{ cm}$, parametrul $\lambda=f(\sigma)$, se poate exprima sub forma generală:

$$\lambda = a + b \cdot \sigma - c \cdot \sigma^2 \quad (4.14)$$

În fig. 4.44, se poate observa curba care descrie o ecuație matematică de forma:

$$\lambda = 1,028 + 0,014 \cdot \sigma - 0,0002 \cdot \sigma^2 \quad (4.20)$$

în care: $a = 1,028$; $b = 0,014$; $c = 0,0002$

- pentru $\sigma = 0$, $\lambda = \lambda_0 = 1,028$;
- pentru $\lambda = 0$, $\sigma_{1,2} = \frac{-0.014 \pm \sqrt{0.014^2 + 4 \cdot 0.0002 \cdot 1.028}}{-2 \cdot 0.0002}$
 $\sigma_1 = 114,78\text{ g/dm}^3$ și $\sigma_2 = -44,78\text{ g/dm}^3$ rezultând:
 $\sigma_{\text{max.}} = \sigma_s = 114,78\text{ g/dm}^3$
- pentru a determina $\lambda_{\text{max.}}$, se anulează derivata în raport cu σ

obținându-se: $\lambda_{\max} = 1,273$

Pentru a ușura integrarea sistemului de ecuații diferențiale, funcția propusă pentru determinarea parametrului λ se reduce la forma:

$$\lambda = a^* - b^* \cdot \sigma^2 \quad (4.15)$$

Diferențele dintre măsurătorile reale și cele teoretice ale parametrului λ se pot observa în tabelul 4.16.

Tabelul 4.16

Nr. crt.	Valorile lui λ în funcție de σ , în cazul filtrării ascendente cu $v = 10$ m/s și $\Delta x = 60$ cm		Diferențe	Procentual %
	Valorile reale	Valorile teoretice		
0	1	2	3	4
1	1	1,028	0,028	2,8
2	1,15	1,156	0,006	0,5
3	1,25	1,299	0,049	3,7
4	1,30	1,446	0,146	10
5	1,30	1,588	0,288	18,1
6	1,25	1,715	0,465	27,1
7	1,2	1,856	0,656	35,3
8	0,77	2,239	1,469	65,6
9	0,5	2,468	1,968	79,7

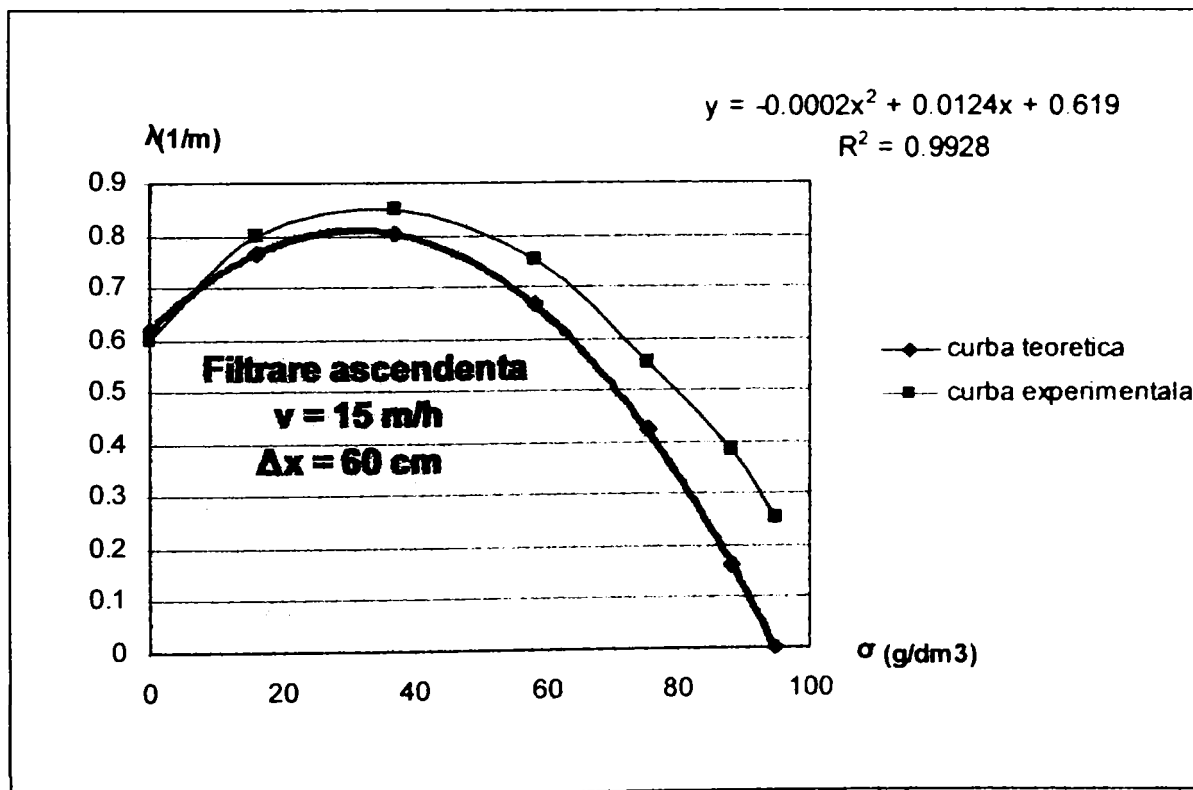


Fig. 4.45. Determinarea ecuației matematice pentru $\lambda=f(\sigma)$ în cazul filtrării ascendente cu $v=15$ m/s și $\Delta x=60$ cm

Din reprezentarea grafică a rezultatelor experimentale pentru filtrarea ascendentă cu $v = 15 \text{ m/s}$ și $\Delta x = 60 \text{ cm}$, parametrul $\lambda = f(\sigma)$, se poate exprima sub forma generală:

$$\lambda = a + b \cdot \sigma - c \cdot \sigma^2 \quad (4.14)$$

În fig. 4.45, se poate observa curba care descrie o ecuație matematică de forma:

$$\lambda = 0,619 + 0,0124 \cdot \sigma - 0,0002 \cdot \sigma^2 \quad (4.21)$$

în care: $a = 0,619$; $b = 0,0124$; $c = 0,0002$

- pentru $\sigma = 0$, $\lambda = \lambda_0 = 0,619$;
- pentru $\lambda = 0$, $\sigma_{1,2} = \frac{-0,0124 \pm \sqrt{0,0124^2 + 4 \cdot 0,0002 \cdot 0,619}}{-2 \cdot 0,0002}$
 $\sigma_1 = 94,68 \text{ g/dm}^3$ și $\sigma_2 = -32,68 \text{ g/dm}^3$ rezultând:
 $\sigma_{\max.} = \sigma_s = 94,68 \text{ g/dm}^3$
- pentru a determina $\lambda_{\max.}$, se anulează derivata în raport cu σ obținându-se: $\lambda_{\max.} = 0,811$

Pentru a ușura integrarea sistemului de ecuații diferențiale, funcția propusă pentru determinarea parametrului λ se reduce la forma:

$$\lambda = a^* - b^* \cdot \sigma^2 \quad (4.15)$$

Diferențele dintre măsurătorile reale și cele teoretice ale parametrului λ se pot observa în tabelul 4.17.

Tabelul 4.17

Nr. crt.	Valorile lui λ în funcție de σ , în cazul filtrării ascendente cu $v = 15 \text{ m/s}$ și $\Delta x = 60 \text{ cm}$		Diferențe	Procentual %
	Valorile reale	Valorile teoretice		
0	1	2	3	4
1	0,6	0,619	0,019	3
2	0,8	0,766	0,033	4,1
3	0,85	0,804	0,045	5,2
4	0,75	0,665	0,084	11,2
5	0,55	0,424	0,125	22,7
6	0,38	0,161	0,218	57,3
7	0,25	0,007	0,243	97,2

Aceste variații se datorează în special gradului de precizie a măsurătorilor și a modificărilor în timp a turbidității apei la intrarea în filtru.

4.5.2.3. Filtrarea descendentă ($\Delta x = 50$ cm)

Pentru filtrarea descendentă ($\Delta x = 50$ cm), cu concentrații de 52 + 57 NTU, s-a urmărit determinarea unei ecuații matematice care să descrie în orice moment, coeficientul de rezistență λ în raport cu depozitul specific σ , pentru cele trei viteze considerate 5, 10 și 15 m/h. (tabelul 4.18 și fig. 4.46)

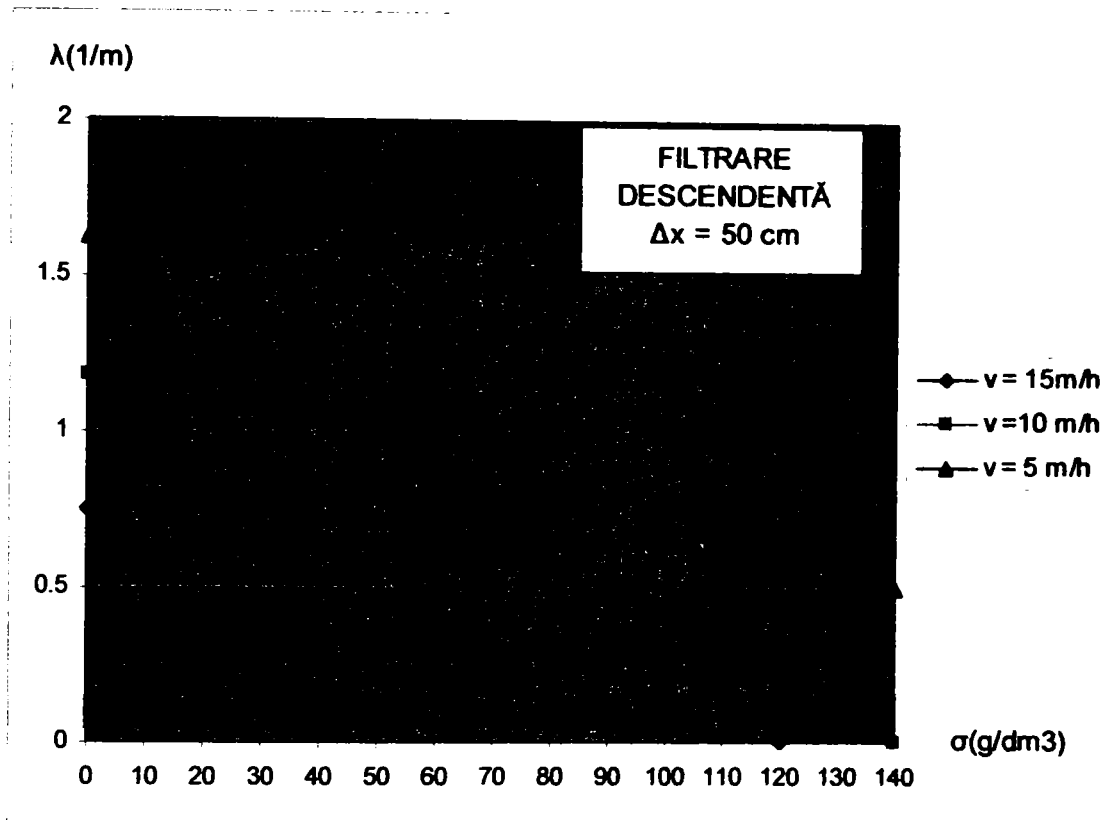


Fig. 4.46. Dependența parametrului λ de depozitul specific σ , pentru filtrarea descendentă având $\Delta x = 50$ cm

Tab. 4.18

dech. (mm)	v (m/h)	λ (m^{-1}) $\Delta\sigma$ (g/dm^3)	TIMP (min.) $\Delta x = 50$ cm								λ_0 (m^{-1})
			100	200	300	400	500	600	900	1100	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.85	5	λ	1.65	1.75	1.82	1.85	1.90	1.90	1.85	1.80	1.60
		$\Sigma \Delta\sigma$	3.3	7.5	12.4	17.3	25	27	42.3	57.3	
0.85	10	λ	1.27	1.35	1.50	1.52	1.52	1.45	1.0	0.70	1.20
		$\Sigma \Delta\sigma$	7.2	15.2	21.7	32.8	41	49.3	81.5	104.9	
0.85	15	λ	1.05	1.18	1.05	0.85	0.75	-	-	-	0.75
		$\Sigma \Delta\sigma$	16	32	50	65	78	-	-	-	

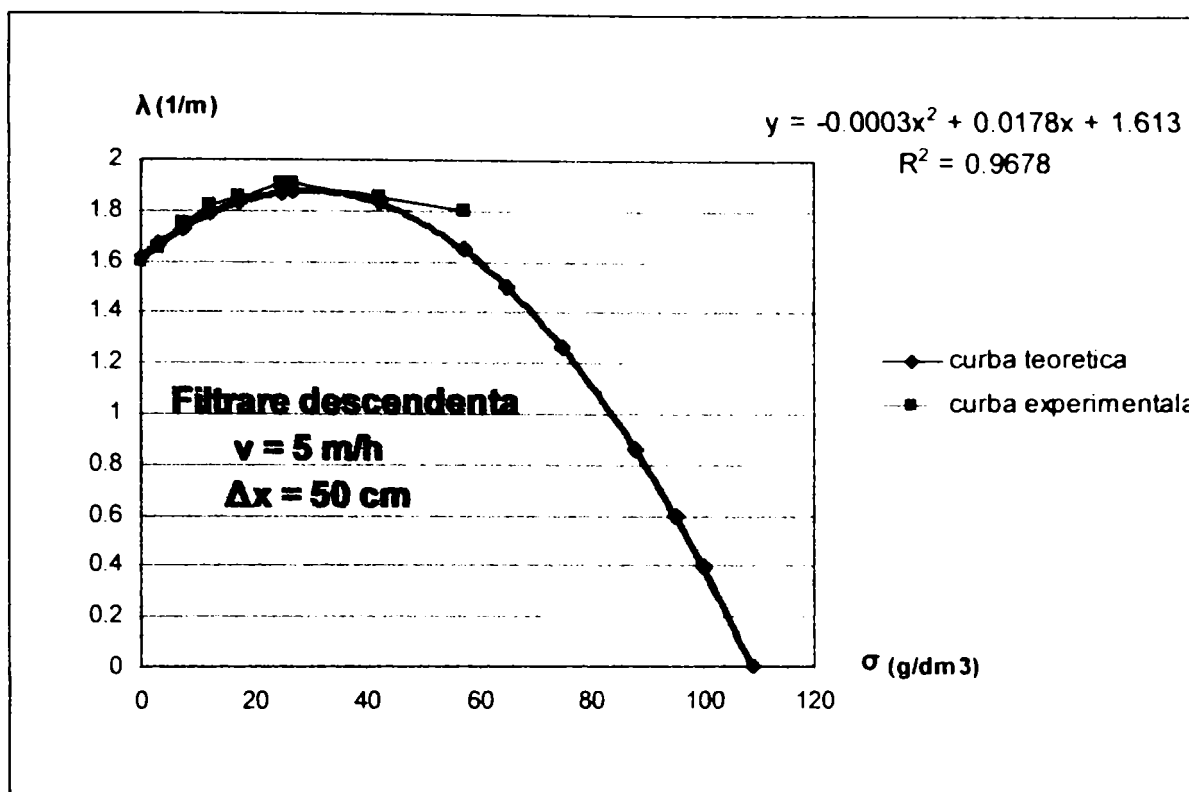


Fig. 4.47. Determinarea ecuației matematice pentru $\lambda=f(\sigma)$ în cazul filtrării descendente cu $v=5$ m/s și $\Delta x=50$ cm

Din reprezentarea grafică a rezultatelor experimentale pentru filtrarea descendentă cu $v = 5$ m/s și $\Delta x=50$ cm, parametrul $\lambda=f(\sigma)$, se poate exprima sub forma generală:

$$\lambda = a + b \cdot \sigma - c \cdot \sigma^2 \quad (4.14)$$

În fig. 4.47, se poate observa curba care descrie o ecuație matematică de forma:

$$\lambda = 1,613 + 0,0178 \cdot \sigma - 0,0003 \cdot \sigma^2 \quad (4.12)$$

în care: $a = 1,613$; $b = 0,0178$; $c = 0,0003$

- pentru $\sigma = 0$, $\lambda = \lambda_0 = 1,613$;
- pentru $\lambda = 0$, $\sigma_{1,2} = \frac{-0,0178 \pm \sqrt{0,0178^2 + 4 \cdot 0,0003 \cdot 1,613}}{-2 \cdot 0,0003}$

$\sigma_1 = 108,76$ g/dm³ și $\sigma_2 = -49,43$ g/dm³ rezultând:

$$\sigma_{\max.} = \sigma_s = 108,76$$
 g/dm³

- pentru a determina $\lambda_{\max.}$, se anulează derivata în raport cu σ

obținându-se: $\lambda_{\max} = 1,87$

Pentru a ușura integrarea sistemului de ecuații diferențiale, funcția propusă pentru determinarea parametrului λ se reduce la forma:

$$\lambda = a^* - b^* \cdot \sigma^2 \quad (4.15)$$

Diferențele din măsurătorile reale și cele teoretice ale parametrului λ se pot observa în tabelul 4.19.

Tabelul 4.19

Nr. crt.	Valorile lui λ în funcție de σ , în cazul filtrării descendente cu $v = 5 \text{ m/s}$ și $\Delta x = 50 \text{ cm}$		Diferențe	Procentual %
	Valorile reale	Valorile teoretice		
0	1	2	3	4
1	1,60	1,613	0,013	0,8
2	1,65	1,668	0,018	1
3	1,75	1,729	0,02	1,1
4	1,82	1,787	0,032	1,7
5	1,85	1,831	0,018	0,9
6	1,9	1,870	0,029	1,5
7	1,9	1,875	0,024	1,2
8	1,85	1,829	0,040	2,1
9	1,8	1,648	0,151	8,3

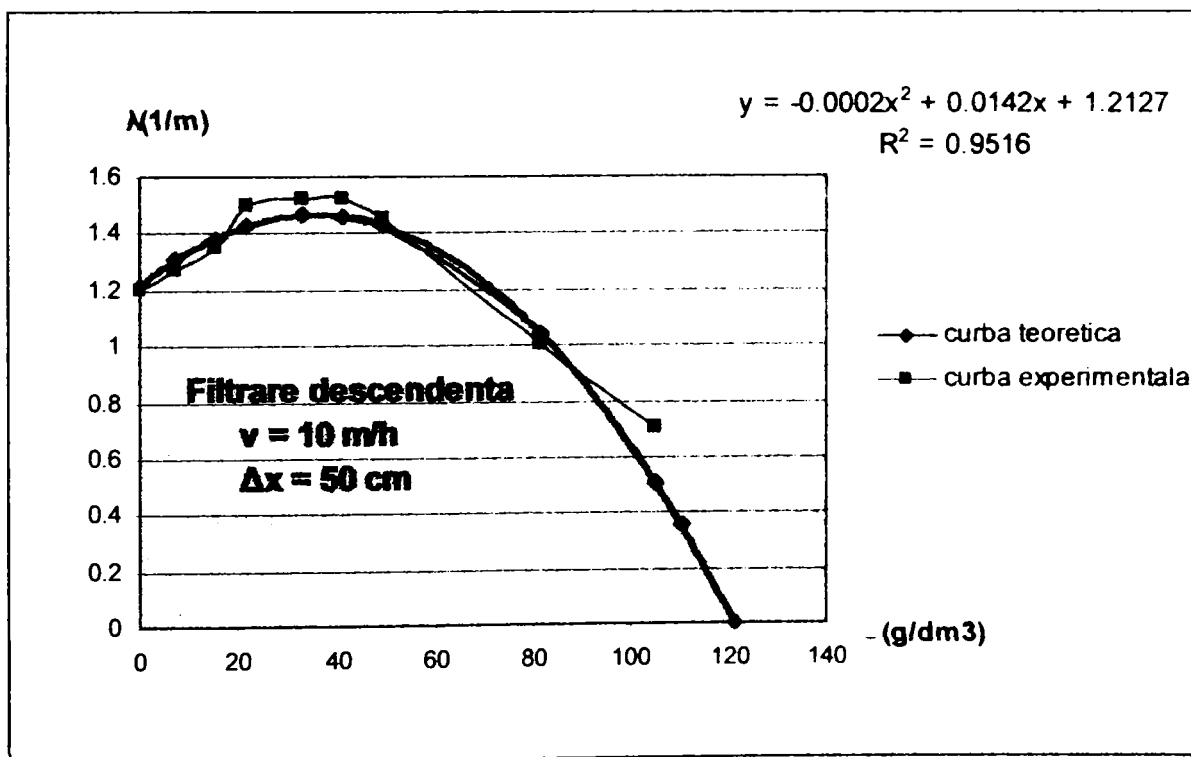


Fig. 4.48. Determinarea ecuației matematice pentru $\lambda=f(\sigma)$ în cazul filtrării descendente cu $v= 10 \text{ m/s}$ și $\Delta x=50 \text{ cm}$

Din reprezentarea grafică a rezultatelor experimentale pentru filtrarea descendentă cu $v = 10 \text{ m/s}$ și $\Delta x = 50 \text{ cm}$, parametrul $\lambda = f(\sigma)$, se poate exprima sub forma generală:

$$\lambda = a + b \cdot \sigma - c \cdot \sigma^2 \quad (4.14)$$

În fig. 4.48, se poate observa curba care descrie o ecuație matematică de forma:

$$\lambda = 1,212 + 0,0142 \cdot \sigma - 0,0002 \cdot \sigma^2 \quad (4.23)$$

în care: $a = 1,212$; $b = 0,0142$; $c = 0,0002$

- pentru $\sigma = 0$, $\lambda = \lambda_0 = 1,212$;
- pentru $\lambda = 0$, $\sigma_{1,2} = \frac{-0,0142 \pm \sqrt{0,0142^2 + 4 \cdot 0,0002 \cdot 1,212}}{-2 \cdot 0,0002}$
 $\sigma_1 = 100,21 \text{ g/dm}^3$ și $\sigma_2 = -50 \text{ g/dm}^3$ rezultând:
 $\sigma_{\max.} = \sigma_s = 100,21 \text{ g/dm}^3$
- pentru a determina $\lambda_{\max.}$, se anulează derivata în raport cu σ obținându-se: $\lambda_{\max.} = 1,46$

Pentru a ușura integrarea sistemului de ecuații diferențiale, funcția propusă pentru determinarea parametrului λ se reduce la forma:

$$\lambda = a^* - b^* \cdot \sigma^2 \quad (4.15)$$

Diferențele din măsurătorile reale și cele teoretice ale parametrului λ se pot observa în tabelul 4.20.

Tabelul 4.20

Nr. crt.	Valorile lui λ în funcție de σ , în cazul filtrării descendente cu $v = 10 \text{ m/s}$ și $\Delta x = 50 \text{ cm}$		Diferențe	Procentual %
	Valorile reale	Valorile teoretice		
0	1	2	3	4
1	1,2	1,212	0,012	0,9
2	1,27	1,304	0,034	2,6
3	1,35	1,382	0,032	3,2
4	1,50	1,426	0,073	4,8
5	1,52	1,463	0,056	3,6
6	1,52	1,458	0,061	4
7	1,45	1,426	0,023	1,5
8	1,0	1,041	0,041	3,9
9	0,7	0,501	0,198	28,2

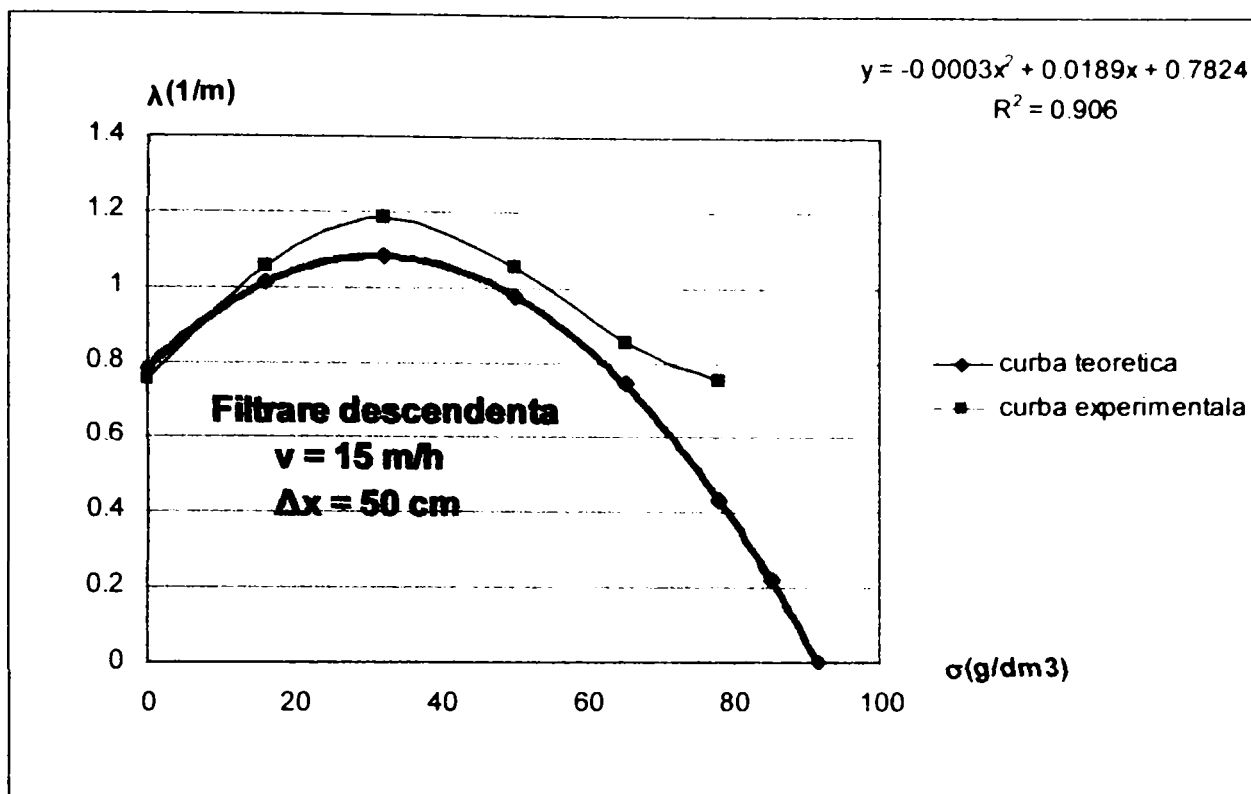


Fig. 4.49. Determinarea ecuației matematice pentru $\lambda=f(\sigma)$ în cazul filtrării descendente cu $v= 15$ m/s și $\Delta x=50$ cm

Din reprezentarea grafică a rezultatelor experimentale pentru filtrarea descendentă cu $v = 15$ m/s și $\Delta x=50$ cm, parametrul $\lambda=f(\sigma)$, se poate exprima sub forma generală:

$$\lambda = a + b \cdot \sigma - c \cdot \sigma^2 \quad (4.14)$$

În fig. 4.49, se poate observa curba care descrie o ecuație matematică de forma:

$$\lambda = 0,782 + 0,0189 \cdot \sigma - 0,0003 \cdot \sigma^2 \quad (4.24)$$

în care: $a = 0,782$; $b = 0,0189$; $c = 0,0003$

- pentru $\sigma = 0$, $\lambda = \lambda_0 = 0,782$;
- pentru $\lambda = 0$, $\sigma_{1,2} = \frac{-0,0189 \pm \sqrt{0,0189^2 + 4 \cdot 0,0003 \cdot 0,782}}{-2 \cdot 0,0003}$

$\sigma_1 = 91,49$ g/dm³ și $\sigma_2 = -28,49$ g/dm³ rezultând:

$$\sigma_{\max.} = \sigma_s = 91,49$$
 g/dm³

- pentru a determina $\lambda_{\max.}$, se anulează derivata în raport cu σ

obținându-se: $\lambda_{\max.} = 1,07$

Pentru a ușura integrarea sistemului de ecuații diferențiale, funcția propusă pentru determinarea parametrului λ se reduce la forma:

$$\lambda = a^* - b^* \cdot \sigma^2 \quad (4.15)$$

Diferențele dintre măsurătorile reale și cele teoretice ale parametrului λ se pot observa în tabelul 4.21.

Tabelul 4.21

Nr. crt.	Valorile lui λ în funcție de σ , în cazul filtrării descendente cu $v = 15 \text{ m/s}$ și $\Delta x = 50 \text{ cm}$		Diferențe	Procentual %
	Valorile reale	Valorile teoretice		
0	1	2	3	4
1	0,75	0,782	0,032	4,1
2	1,05	1,008	0,042	4
3	1,18	1,08	0,1	8,4
4	1,05	0,977	0,07	6,6
5	0,85	0,743	0,106	12,4
6	0,75	0,431	0,318	42,4

Aceste variații se datorează în special gradului de precizie a măsurătorilor și a modificărilor în timp a turbidității apei la intrarea în filtru.

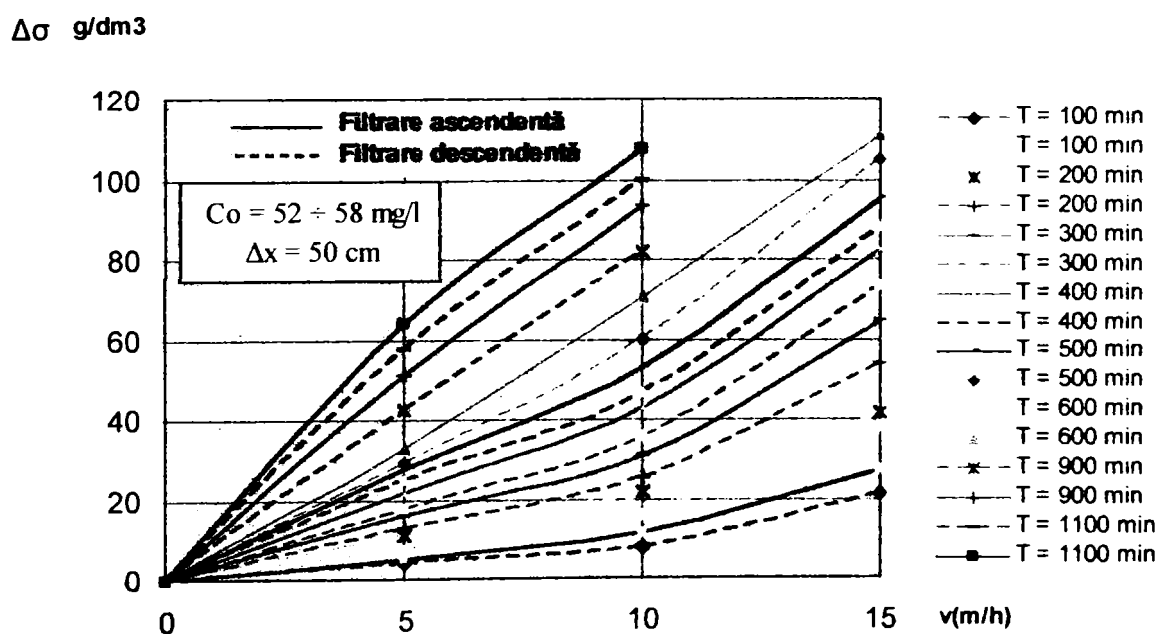


Fig. 4.50. Dependența depozitului specific în raport cu mărimea vitezei de filtrare ($\Delta x = 50 \text{ cm}$)

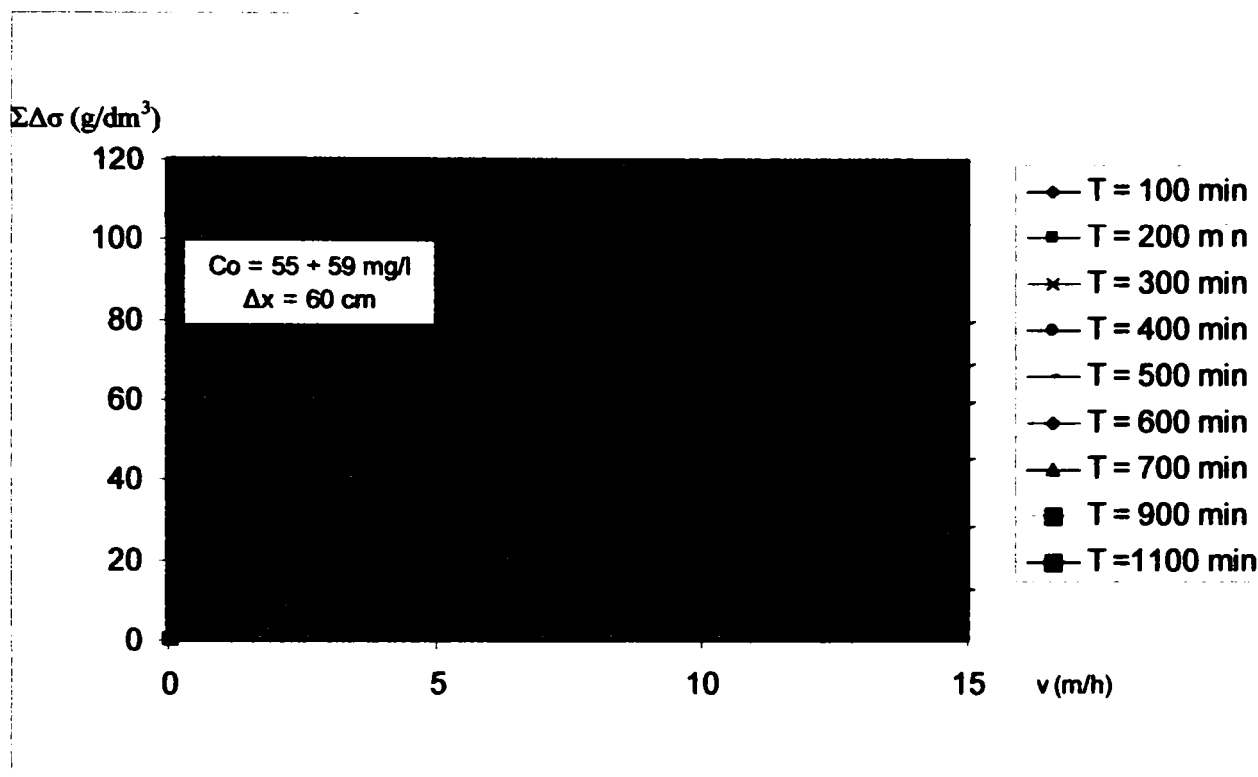


Fig. 4.51. Dependenta depozitului specific în raport cu mărimea vitezei de filtrare ($\Delta x = 60$ cm)

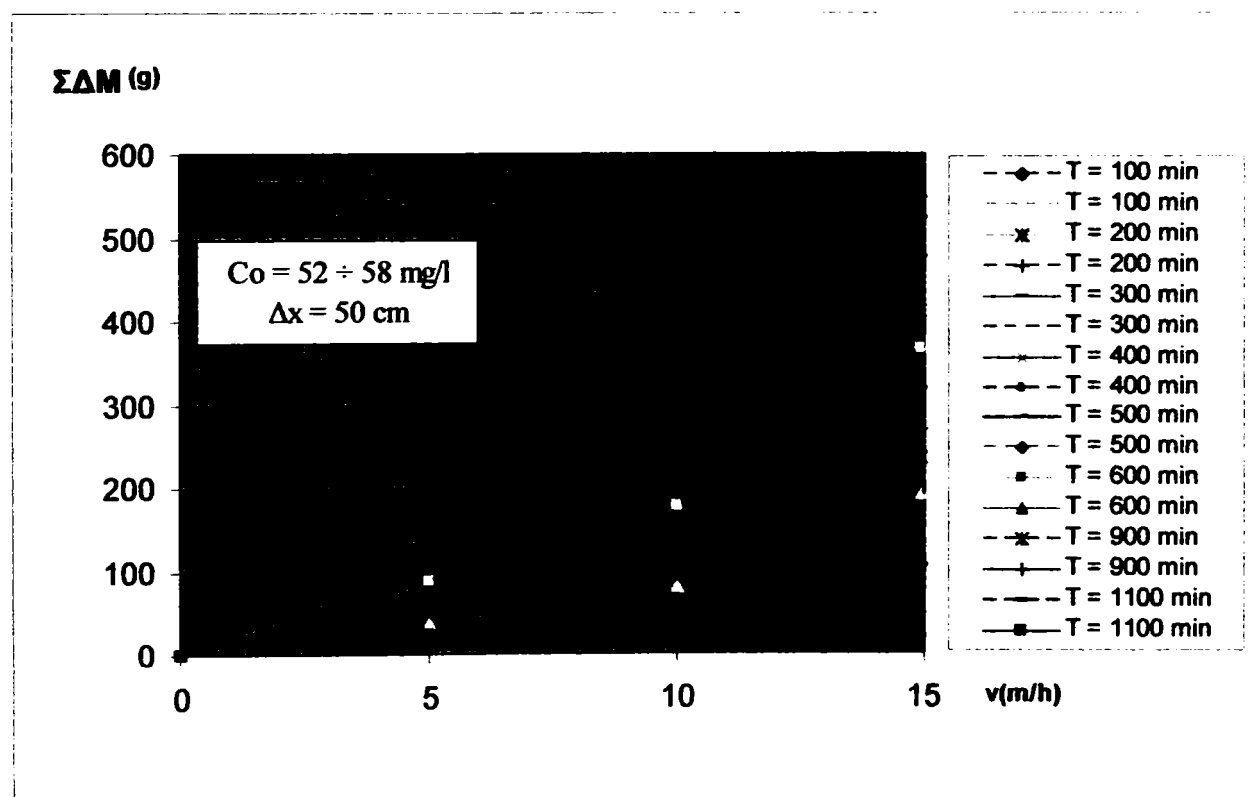


Fig. 4.52. Masa reținută de stratul filtrant ($\Delta x = 50$ cm) în raport cu mărimea vitezei de filtrare

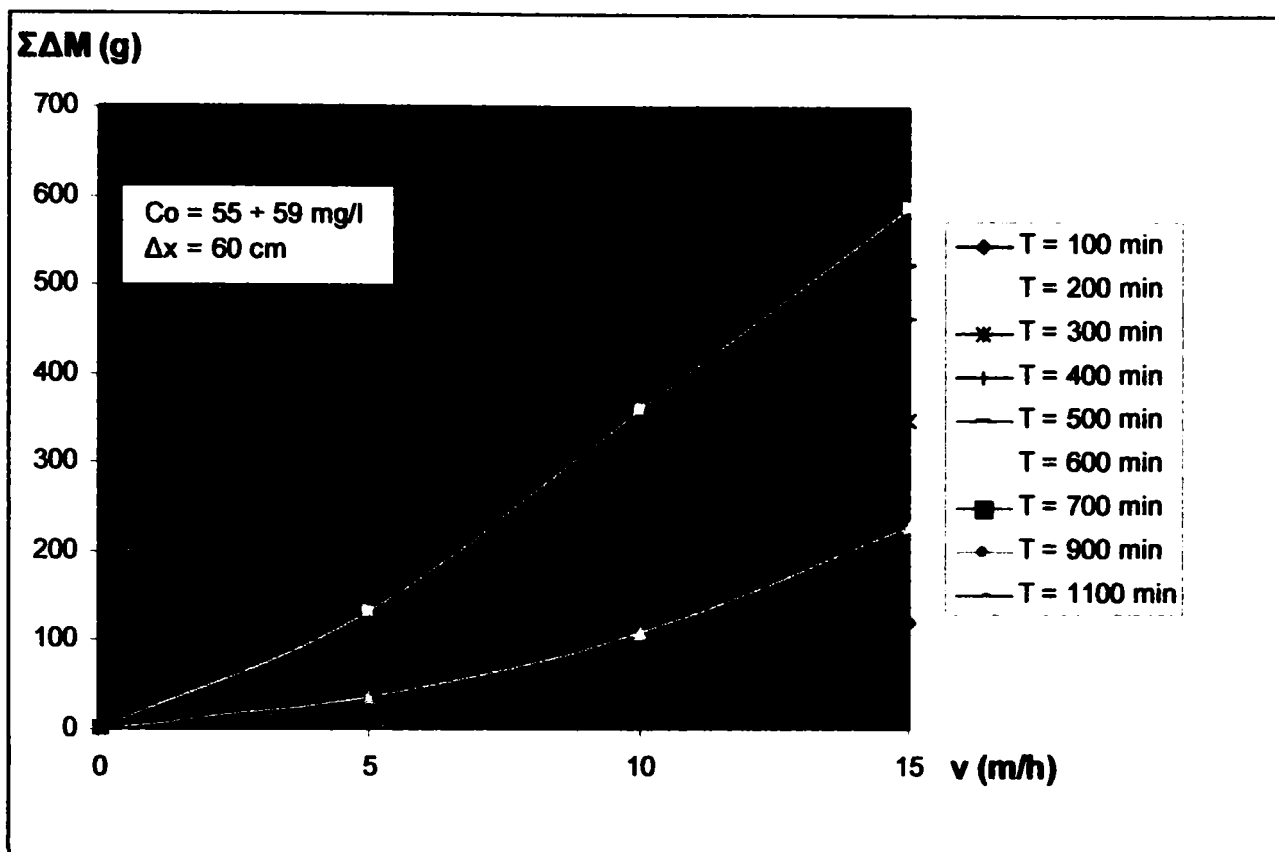


Fig. 4.53. Masa reținută de stratul filtrant ($\Delta x = 60$ cm) în raport cu mărimea vitezei de filtrare

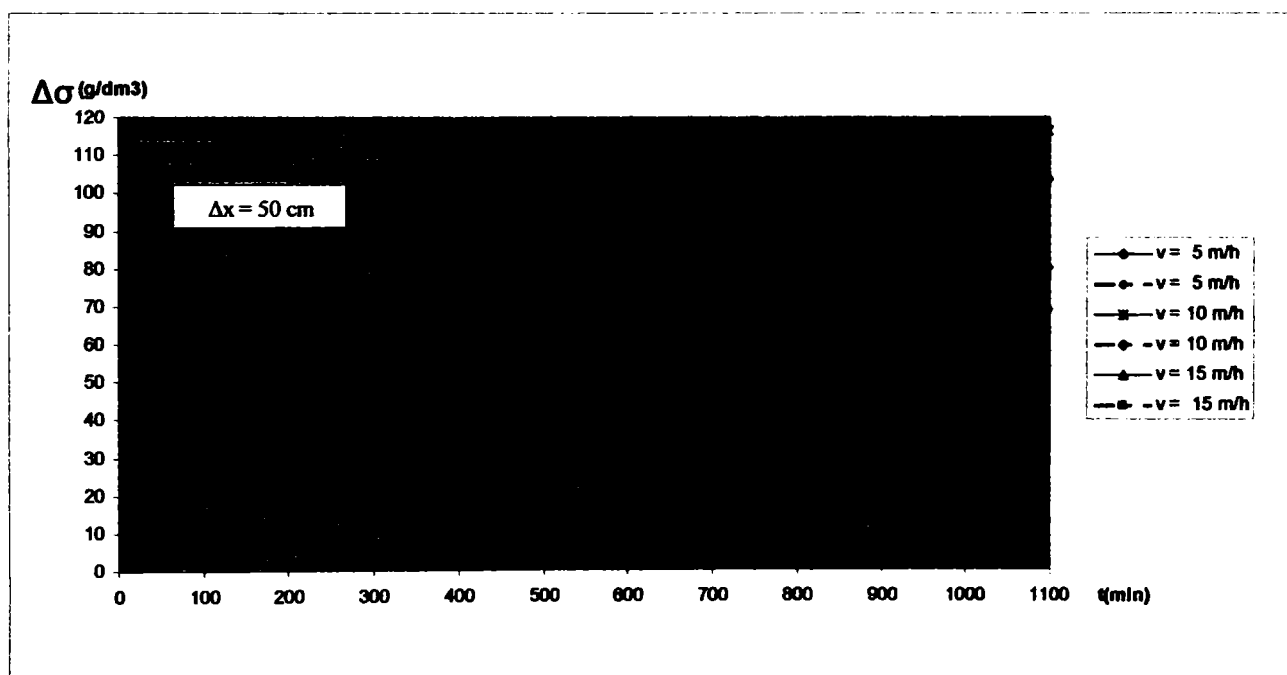


Fig. 4.54. Dependența depozitului specific pe durata ciclurilor de filtrare pentru diferite viteze de filtrare ($\Delta x = 50$ cm)

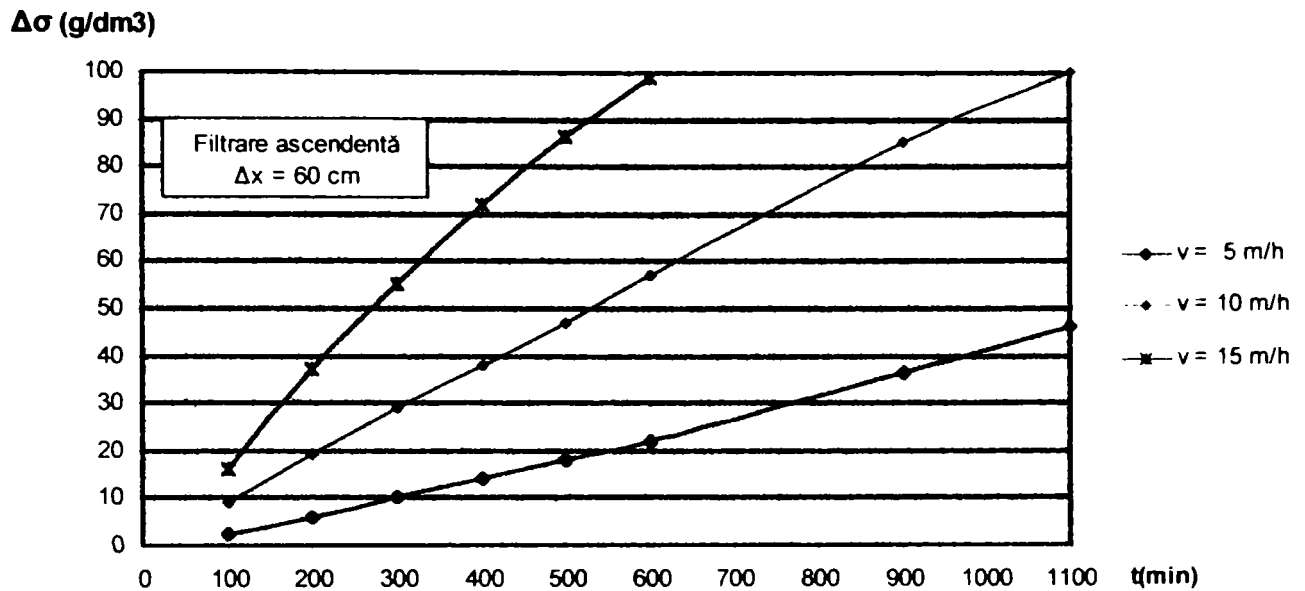


Fig. 4.55. Dependența depozitului specific pe durata ciclurilor de filtrare pentru diferite viteze de filtrare ($\Delta x = 60$ cm)

În urma prelucrării datelor experimentale s-au pus în evidență, prin comparație, valorile parametrilor λ_0 , $\lambda_{max.}$, a, b, c de la filtrarea ascendentă cu cea de la filtrarea descendentă, cu aceeași structură granulară. (tabelul 4.22 și 4.23)

Tabelul 4.22

Nr. crt.	λ_0	$\lambda_{max.}$	σ_1	$\sigma_s = \sigma_{max.}$	a	b	c
0	1	2	3	4	5	6	7
1	1,7523	2,28	42	129,2	1,7523	0,0252	0,0003
2	1,3046	1,66	34,8	109,41	1,3046	0,0209	0,0003
3	0,78	1,15	35,1	97,1	0,78	0,0211	0,0003

Tabelul 4.23

Nr. crt.	λ_0	$\lambda_{max.}$	σ_1	$\sigma_s = \sigma_{max.}$	a	b	c
0	1	2	3	4	5	6	7
1	1,613	1,87	29,6	108,76	1,613	0,0178	0,0003
2	1,212	1,46	30,5	100,21	1,212	0,0142	0,0002
3	0,78	1,07	31,5	91,49	0,78	0,0189	0,0003

Din analiza efectuată a rezultat că depozitul specific la saturație în cazul filtrării ascendente este cu 15,8 % mai mare decât la filtrarea descendentă pentru viteza de 5 m/h și se reduce până la 5,7 % pentru viteza de 15 m/h.

Modelele matematice utilizate pentru descrierea fenomenelor de separare de la filtrarea descendentă s-au regăsit și la filtrarea ascendentă, asemănări evidențiate prin mărimile parametrilor caracteristici. Astfel parametrul λ_0 evidențiat sub forma:

$$\lambda_0 = k \cdot v^{-1} \quad (4.25)$$

a scos în evidență faptul că acest coeficient k , are valori apropiate în cazul celor două tipuri de filtrare. S-au remarcat totuși diferențe, în cazul parametrului b din cadrul ecuației: $\lambda = a + b \cdot \sigma - c \cdot \sigma^2$ (relația 4.14).

Această funcție de tip parabolic a fost exprimată sub o formă simplificată, pentru a putea fi utilizată la integrarea sistemului cu derivate parțiale:

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \lambda \cdot C \quad (2.58; 2.61)$$

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{v} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial t}$$

Diferențele remarcate între funcția propusă pentru λ și cea rezultată din determinările experimentale (tabelele 4.11, 4.12, 4.13, 4.15, 4.16, 4.17, 4.19, 4.20 și 4.21), determină abateri în general mici.

Duratele ciclurilor de filtrare pentru filtrarea descendentă și ascendentă sunt evidențiate în figura 4.56.

Din compararea filtrării descendente cu cea ascendentă, pentru aceeași viteză de filtrare și aceeași concentrație, rezultă că durata ciclului de filtrare pentru filtrarea rapidă ascendentă este aproape de două ori mai mare decât cea pentru filtrarea rapidă descendentă.

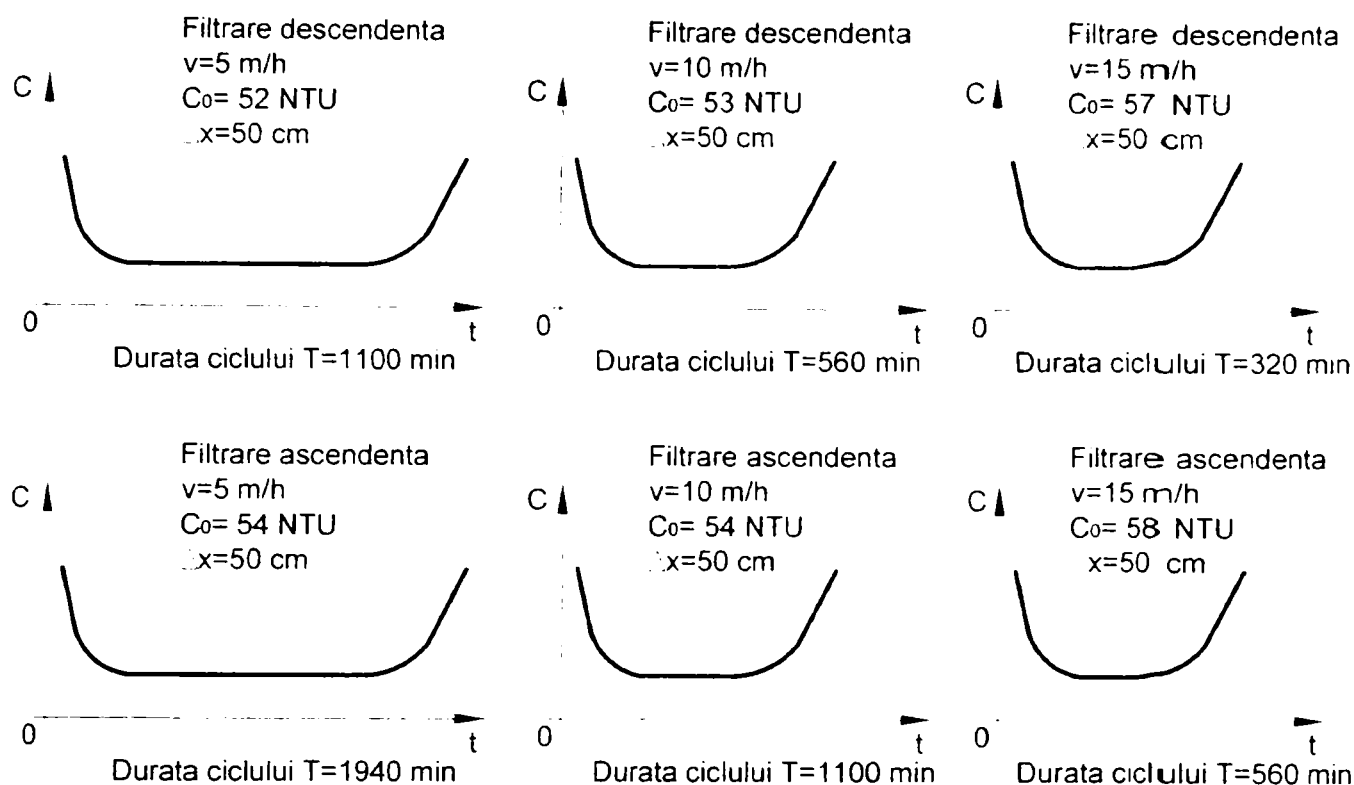


Fig. 4.56 Duratele ciclurilor de filtrare pentru filtrarea rapidă descendentă și ascendentă, funcție de mărimea vitezei de filtrare

Acest aspect pune în evidență faptul că modelele propuse necesită în continuare perfecționări privind corespondența dintre rezultatele experimentale și cele teoretice.

Performanțele obținute prin filtrarea ascendentă constituie un pas important în ceea ce privește cunoașterea și perfecționarea tehnologiilor prin filtrare.

4.6. Optimizarea instalațiilor ascendente de filtrare

Reprezentarea grafică a modificărilor calitative pe grosimea stratelor filtrante de-a lungul ciclurilor de filtrare au pus în evidență grosimile optime ce se impun a fi utilizate în cazul filtrării ascendente în vederea obținerii unor cantități importante de apă filtrată cu costuri de exploatare reduse.

Modificările calitative de-a lungul ciclurilor de filtrare trebuie să fie

corelate cu modificările pierderilor de sarcină pentru o structură filtrantă dată.

Dependența ciclurilor de filtrare de modificările calitative $C=C(x)$ și modificările cantitative $H=H(t)$ pe o structură și o viteză de filtrare dată, pune în evidență ciclul optim care se poate atinge atunci când $T_1=T_2$ (figura 4.47). Această durată este corespunzătoare grosimii optime pentru structura mediului filtrant.

În cazul în care grosimea stratului $X_k < X_0$, situație care apare în exploatare ca urmare a pierderilor de materiale fine în timpul spălării, face ca ciclul de filtrare să se reducă ($t_{N1} < T_1$) datorită depășirii limitei de calitate ($C > C_{lim.}$).

În acest caz pierderea de sarcină disponibilă nu este complet utilizată existând în acest sens o rezervă nevalorificată.

În cazul în care $X_N > X_{opt.}$, ciclul de filtrare se întrerupe în momentul atingerii pierderii de sarcină limită (t_N), deși capacitatea de reținere a mediului filtrant nu a fost integral utilizată.

Pentru a se evita apariția de funcționare în cazul acestor extremități este necesar ca periodic structura materialului filtrant să fie verificată atât sub aspectul granulației respectiv a coeficientului de uniformitate (u), cât și din punct de vedere al grosimii optime rezultate în urma cercetării experimentale pe filtre model sau pe filtre industriale.

4.6.1. Modificările calitative

Modificările calitative redate în figurile 4.57, 4.58, 4.59 și 4.60 au pus în evidență grosimile optime care se impun în cazul filtrării ascendente la filtrarea cu viteze de 5, 10 și chiar de 15 m/h.

Din analiza rezultatelor grosimilor optime în cazul filtrării ascendente prin mase filtrante de nisip a rezultat o grosime cuprinsă între 110 și 130 cm.

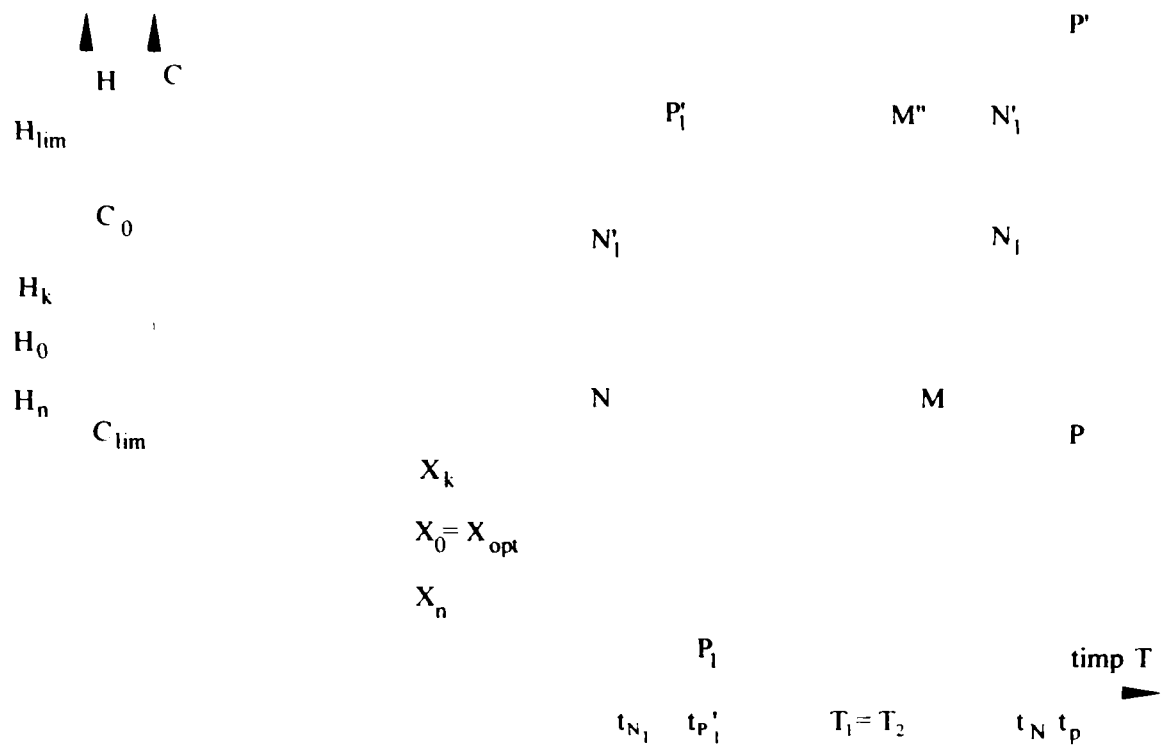


Fig.4.56. Dependența grosimilor optime, timpului optim de filtrare, de mărimea vitezelor de filtrare

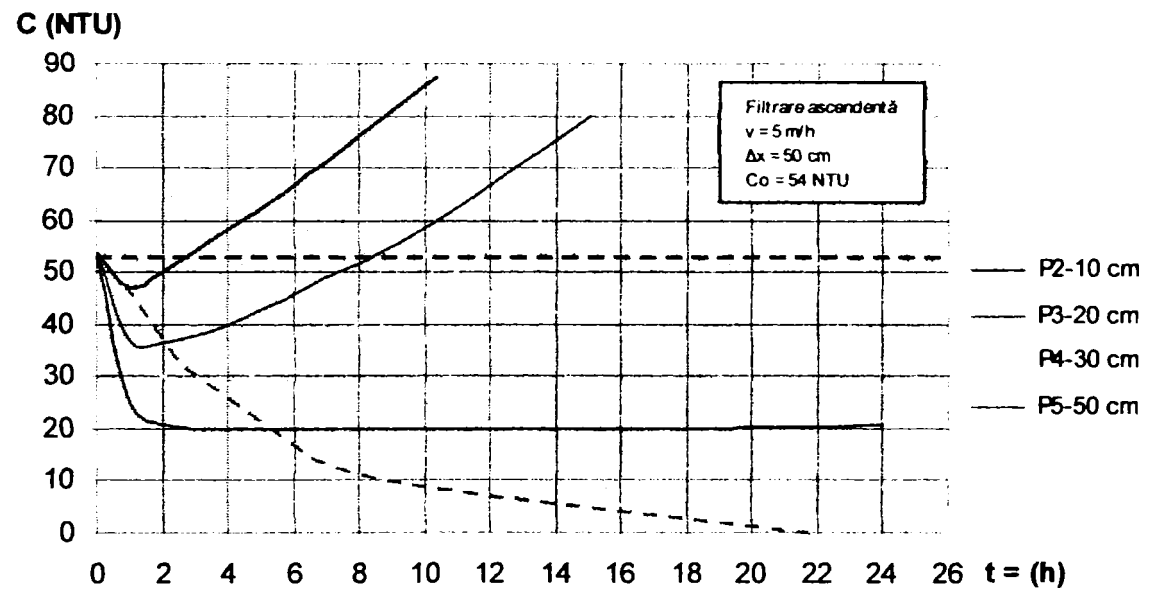


Fig. 4.57. Modificările calitative în timp pe grosimea stratelor filtrante la viteza de 5 m/h

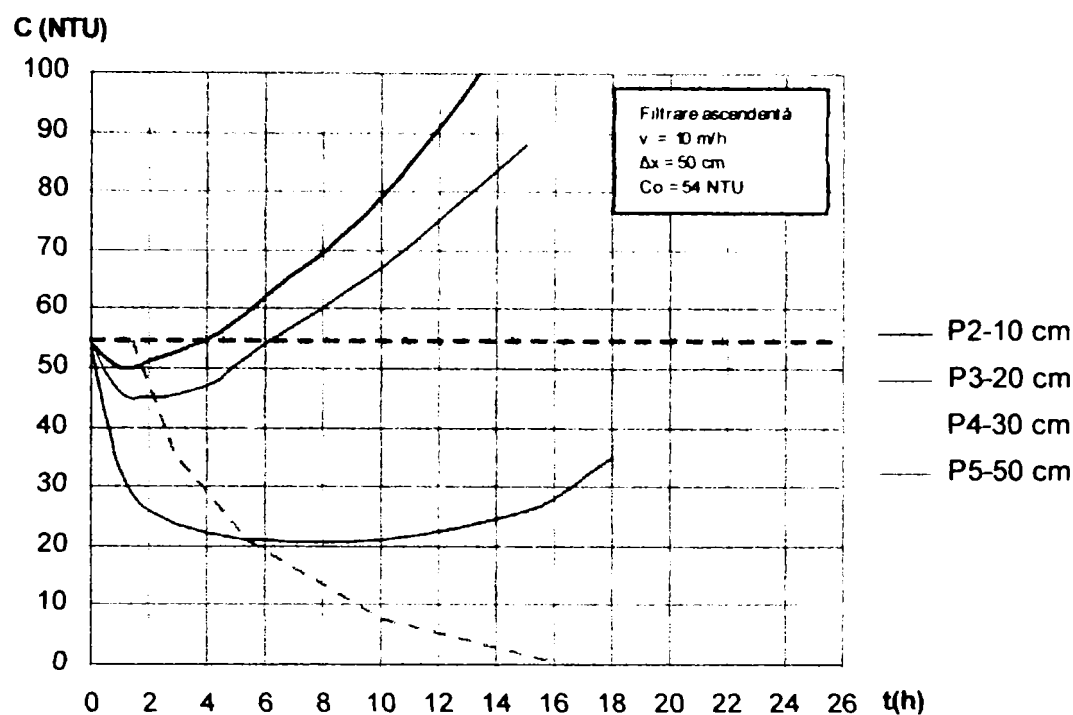


Fig. 4.58. Modificările calitative în timp pe grosimea stratelor filtrante la viteza de 10 m/h

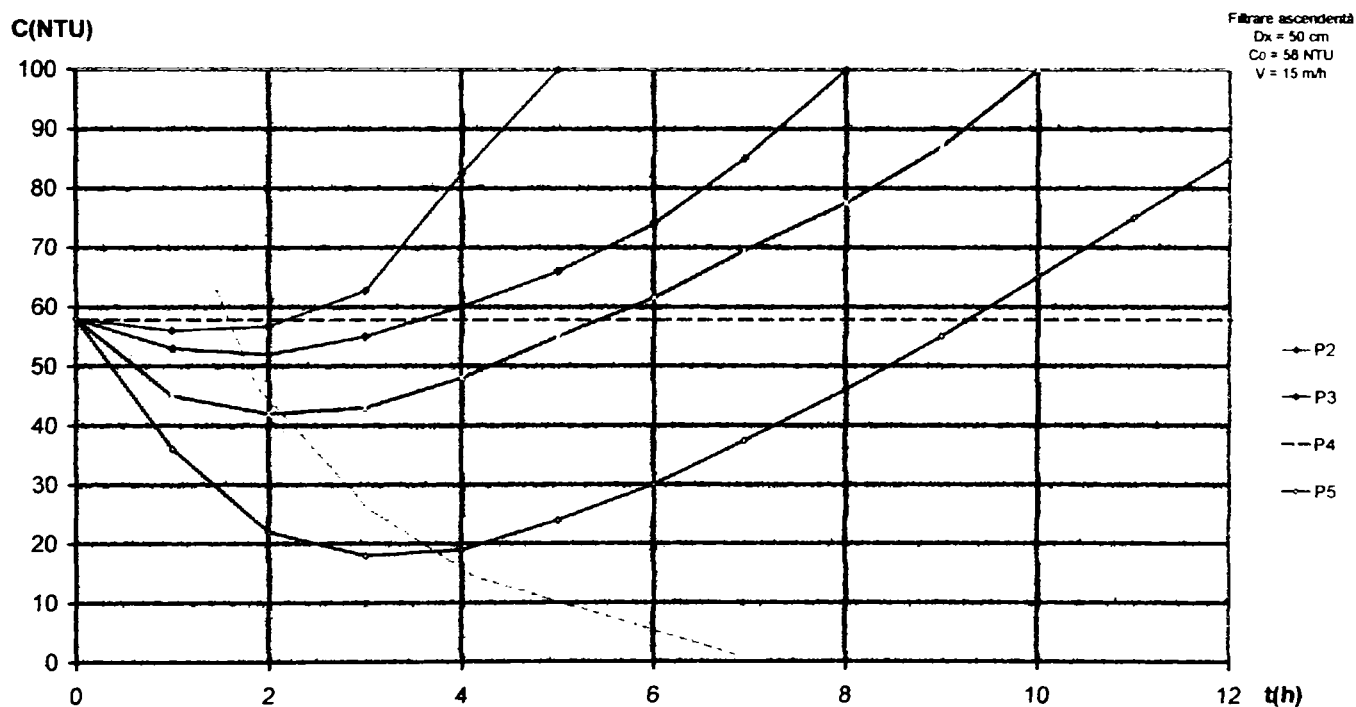


Fig. 4.59. Modificările calitative în timp pe grosimea stratelor filtrante la viteza de 15 m/h

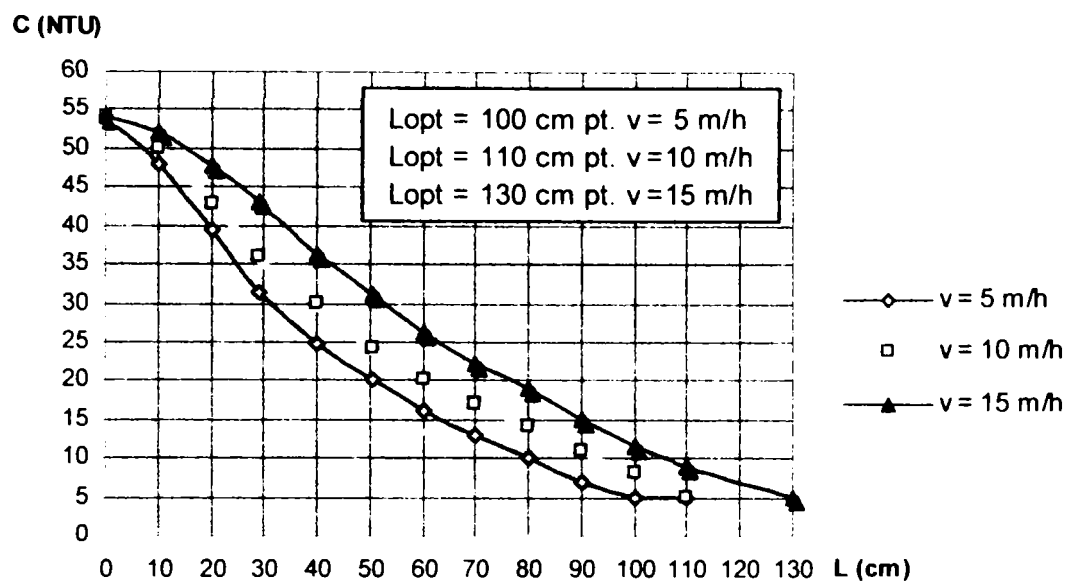


Fig. 4.60. Dependența grosimilor optime, de mărimea vitezelor de filtrare

4.6.2. Modificările cantitative

Modificările cantitative exprimate prin mărimea pierderilor de sarcină pe grosimea stratului filtrant în raport cu mărimea vitezelor și a ciclurilor de filtrare sunt redată pentru filtrarea ascendentă cu straturi multiple omogene în fig. 4.61, 4.62 și 4.63.

Pierderile de sarcină în cazul turbidităților de 54...58 NTU pentru $t = 250$ min. au fost de 10, 20 și 48 cm la vitezele de filtrare de 5, 10 și 15 m/h. În cazul filtrării cu $v = 5$ m/h, durata ciclului de filtrare a fost de 1800 min., ciclu care s-a redus la 900 min. pentru viteza de 10 m/h și la 250 min. pentru viteza de 15 m/h.

Pierderile de sarcină, cât și duratele ciclurilor de filtrare sunt determinate de mărimea depozitelor reținute, fenomen evidențiat și de expresia:

$$H = H_0 + \beta \cdot \int_0^L \sigma_v \cdot dx \quad (4.25)$$

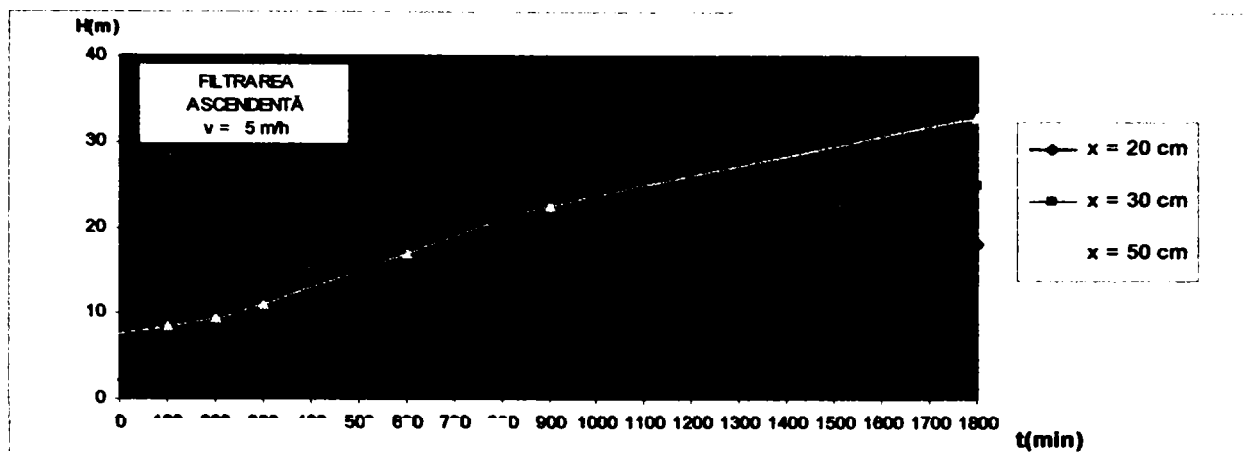


Fig. 4.61. Modificările pierderilor de sarcină în timp pentru diferitele grosimi ale stratului filtrant la viteza de 5 m/h

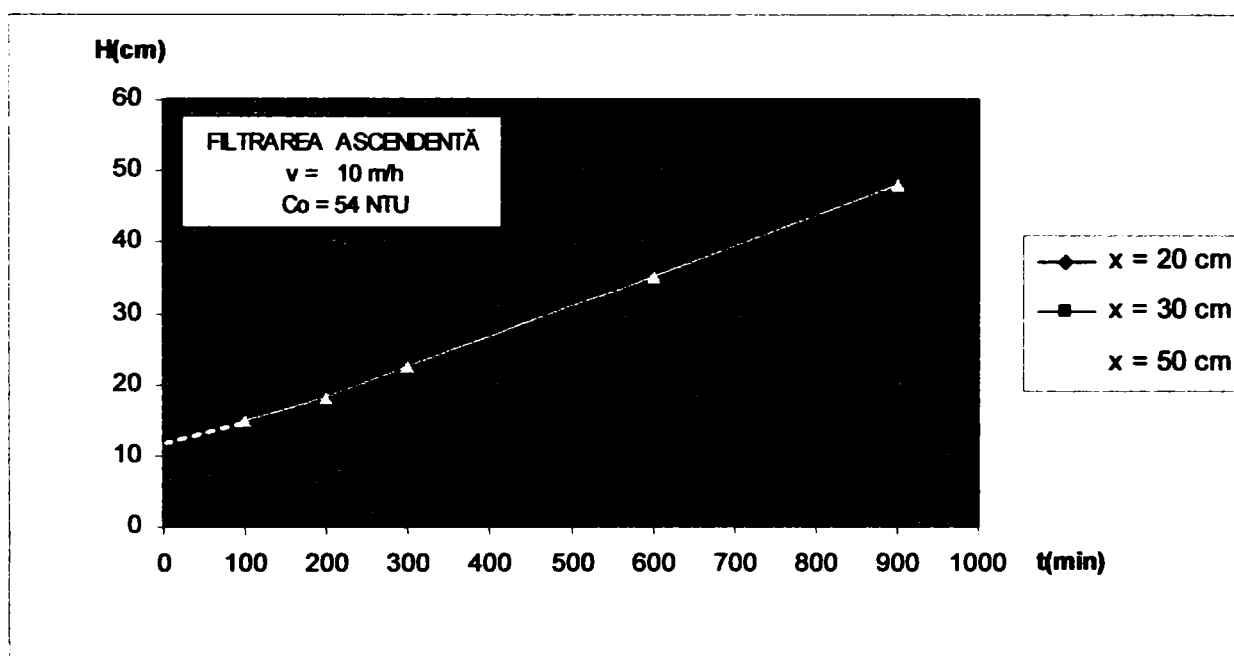


Fig. 4.62 Modificările pierderilor de sarcină în timp pentru diferitele grosimi ale stratului filtrant la viteza de 10 m/h

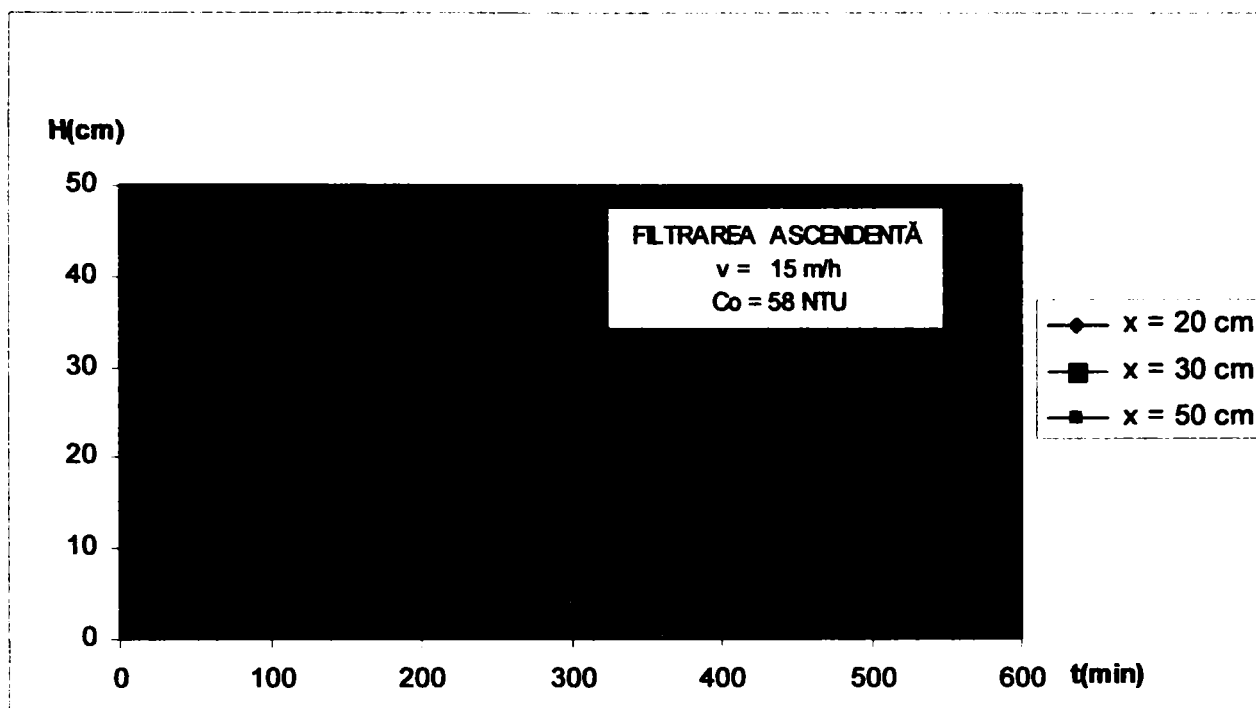


Fig. 4.63. Modificările pierderilor de sarcină în timp pentru diferitele grosimi ale stratului filtrant la viteza de 15 m/h

CAP. 5 RECOMANDĂRI PRIVIND PROIECTAREA, EXECUȚIA ȘI EXPLOATAREA FILTRELOR RAPIDE ECHIPATE CU STRATURI MULTIPLE

5.1. Proiectarea filtrelor rapide cu straturi multiple

5.1.1. Filtrarea descendentă prin straturi multiple neomogene

La proiectarea filtrelor rapide descendente cu nivel liber echipate cu straturi multiple neomogene [12] [16] [37] [112] [119] se prevăd următoarele:

1. Apa brută ce urmează a se limpezi prin filtrele rapide deschise echipate cu straturi multiple trebuie tratată chimic și decantată.
2. Turbiditatea medie a apei brute se recomandă să fie de cel mult 20 mg/l, cu maxime de 50 ÷ 60 mg/l în situații excepționale (viituri).
3. Debitul de calcul se stabilesc pe baza recomandărilor date de SR 1343/1-95.
4. Filtrele se vor amplasa în apropierea decantoarelor.
5. Filtrele se adăpostesc în hale închise în care temperatura nu trebuie să scadă iarna sub +5 °C.
6. Filtrele pot funcționa cu debit variabil sau cu nivel constant (menținut cu dispozitive speciale).
7. Viteza de filtrare este de 8 ÷ 10 m/h, fiind limitată de mărimea pierderilor de sarcină, de durata ciclului de filtrare (24 ÷ 72 h) și de mărimea turbidității apei la intrarea în filtru.
8. Grosimea stratului filtrant se recomandă a fi de 1,0 ÷ 1,2 m în cazul apei potabile.
9. Înălțimea stratul de apă se recomandă a fi de 1,3 ÷ 1,6 m.
10. Structura se va stabili în funcție de calitatea apei decantate cât și de cerințele impuse de utilizator.

11. La spălarea cu apă se recomandă o viteză de $36 \div 72$ m/h, iar la spălarea cu apă și aer se recomandă:
- apă de spălare $(1,6 \div 1,8)$ m/s;
 - aer pentru spălare $(15 \div 20)$ m/s.
12. Jgheburile de distribuție și de colectare a apei de spălare vor fi amplasate cu 0,3m peste înălțimea de expandare a materialelor filtrante și vor fi prevăzute cu plase de sârmă de inox, având ochiurile mai mici decât granulația minimă a materialelor din componența stratului filtrant. Se recomandă între jgheaburi ca distanța maximă să fie de 2,5m.
13. Vitezele recomandate pe conducte:
- apă decantată : $(0,7 - 1,0)$ m/s;
 - apă filtrată: $(0,8 - 1,2)$ m/s;
14. Suflantele vor fi protejate printr-o lîră, în sus, cu cota la minim 2m peste cota apei, contra pătrunderii apei.
15. Numărul minim de cuve $n_f = 3$.
16. Pentru $n_f \leq 10$ se recomandă să se adauge o cuvă suplimentară, iar pentru $n_f > 10$ se adaugă două cuve suplimentare pentru a compensa cuvele scoase din funcțiune pentru reparații, refacerea straturilor multiple, drenajului, etc.
17. Volumul de apă de spălare se calculează pentru spălarea unei cuve dacă $n_f \leq 16$ și se dublează pentru $n_f > 16$.
18. Pereții cuvelor se sclivisesc.
19. Drenajul se recomandă cu plăci cu crepine.
20. Cuvele de filtrare cu suprafață mai redusă < 35 m² vor fi de tipul cu debit constant și nivel variabil, fiind echipate cu aparate de debit constant.
21. Cuvele cu suprafață > 35 m² vor fi de tipul cu nivel constant.
22. Evacuarea apei filtrate din cuvă se face prin sistemul de drenaj.

23. Apa și aerul de spălare se introduc prin sistemul de drenaj de jos în sus.

24. Pentru o distribuție uniformă pe timpul spălării se recomandă ca aerul și apa să fie introduse pe conducte separate până la drenajul cuvelor.

Pentru celelalte elemente de proiectare se vor respecta prevederile de la filtrele rapide deschise descendente echipate cu nisip.

5.1.2. Filtrarea ascendentă prin straturi multiple omogene

La proiectarea filtrelor rapide ascendente cu nivel liber echipate cu straturi multiple omogene (nisip) [36] [112] [139] [179] se prevăd următoarele:

- turbiditatea apei supusă filtrării trebuie să fie de $10 \div 20$ NTU, dar să nu depășească $50 \div 60$ NTU;
- viteza de filtrare pentru proiectarea instalației de filtre $v_f = 5 \div 10$ m/h și este determinată de viteza de neantrenare de $2 \div 3$ mm/s;
- grosimea stratului filtrant se recomandă a fi de $(1 \div 1,5)$ m;
- înălțimea stratul de apă deasupra nisipului se recomandă a fi de $(1 \div 1,5)$ m;
- jgheabul de spălare se recomandă a fi acoperit cu plasă de sârmă din inox cu ochiurile având diametrul mai mic decât diametrul minim al granulelor din stratul superior.

La filtrele cu straturi multiple neomogene se prevăd următoarele:

- la spălarea cu apă se recomandă o viteză de $36 \div 72$ m/h, iar la spălarea cu apă și aer se recomandă:
 - apă de spălare $(1,6 \div 1,8)$ m/s;
 - aer pentru spălare $(15 \div 20)$ m/s.
- vitezele recomandate pe conducte:

- apă decantată $2 \div 3$ m/s
- apă filtrată $0,8 \div 1,2$ m/s
- numărul minim de cuve este de 3;
- suflantele vor fi protejate printr-o liră contra pătrunderii apei;

Pentru celelalte elemente de proiectare se vor respecta prevederile de la filtrele rapide deschise descendente echipate cu nisip.

5.2. Execuția filtrelor rapide cu straturi multiple

Filtrele rapide deschise se realizează în construcții acoperite. Execuția cuvelor de filtrare și a galeriei de conducte se va face pe radier general cu beton de permeabilitate redusă. În interior cuvele se vor scivisi. [164] [165] [166] [167] [168]

Este obligatorie efectuarea probei de etanșeitate conform normelor în vigoare. Aceasta se face înainte de a se monta plăcile cu crepine și înainte de a se executa finisajele interioare și exterioare.

Conductele care deservește aceste filtre se prevăd din oțel sudat fără flanșe, cu excepția flanșelor de legătură cu vanele filtrului.

La trecerea prin pereții cuvelor de filtrare se vor prevedea piese de trecere etanșe.

Montajul conductelor în galeria conductelor va trebui să asigure un spațiu de circulație de ($1 \div 2$) m lățime și 2,0 m înălțime.

Vanele pe conductele cuvelor de filtrare se prevăd a fi:

- cu sertar până pentru cele manuale;
- fluture pentru cele acționate;
- de perete.

Radierul cuvelor, galeria de conducte se vor prevedea cu pante transversale și longitudinale în scopul scurgerii apelor spre punctele de colectare.

Hala filtrelor se va acoperi cu elemente prefabricate.

Pentru exploatarea cuvelor de filtrare vor fi pasarele longitudinale.

Pe conductele de apă filtrată ale fiecărei cuve se vor prevedea robineti de luare a probelor.

Pompele de spălare ale filtrelor se prevăd sub nivelul apei din rezervoarele de spălare.

Ventilația halei filtrelor se va face natural.

Încălzirea filtrelor va trebui să asigure următoarele temperaturi:

- în hala filtrelor + 5° C;
- în sala agregatelor (5 – 10) ° C;
- în galeria conductelor + 5° C.

Măsurile speciale se vor adapta pentru realizarea unor betoane și tencuieli de cea mai bună calitate la cuvele filtrelor, pentru a putea asigura etanșeitățile acestora, pierderile de apă fiind inadmisibile, întrucât ele creează mediu umed în galeria conductelor, degradând instalațiile și aparatajul de manevră și control.

Proiectul trebuie să precizeze poziționarea corectă a clapetilor de intrare a apei în filtru, a dispozitivului de nivel constant și corelat cu acesta, a poziției vanei fluture de reglaj. Aceasta din urmă trebuie amplasată în aval de vana de pe conducta de apă filtrată.

Pentru filtrele rapide cu nivel constant, pierderea de sarcină se măsoară prin nivelul din conducta de apă filtrată, iar branșarea tubului piezometric al dispozitivului de măsurare trebuie făcută în aval de vana de pe conducta de apă filtrată și în amonte de vana de reglaj de pe aceeași conductă.

Proiectul stației de filtrare trebuie să indice calitatea (granulometrie) și condițiile de recepție pentru materialul filtrant, precum și verificările obligatorii pe parcursul execuției și montajului instalațiilor. [169] [181] [182] [183] [184] [186] [187]

La construcția filtrelor rapide deschise, trebuie prevăzut marcajul printr-o plăcuță ceramică a nivelului superior al stratului filtrant și al nivelului normal de exploatare a apei filtrate.

Înainte de montarea cofrajelor și armăturilor în pereții stației de filtrare, trebuie aprovizionate confecțiile metalice care se înglobează la turnarea betoanelor:

- ștuțuri de țevă de înzidire în pereți și planșee;
- clapete de admisie a apei;
- piesele metalice aferente sistemelor de reglaj al nivelului apei.

Montarea la poziția corectă din proiect trebuie verificată și certificată prin proces verbal.

Sistemul de drenaj trebuie fixat și etanșat conform detaliilor din proiect, pentru a evita smulgerea și degradarea lui în timpul spălărilor.

Înainte de montajul armăturilor se verifică:

- robinetii la proba de etanșeitate, la presiunea nominală nefiind admise pierderi de apă;
- clapetele de admisie la închidere și deschidere pe un banc de probă;
- dispozitivele de reglare pentru buna funcționare.

5.3. Exploatarea filtrelor rapide cu straturi multiple

Înainte de darea în funcțiune a stației de filtrare se recomandă a se face dezinfectarea cuvelor cu clorură de var. Soluția cu concentrație de 20 g/m³, trebuie să rămână în filtre timp de 24 h după care se fac spălări consecutive cu apă curată.

Darea în exploatare a filtrelor pentru apă potabilă se face după obținerea avizului scris al organelor sanitare, după 5 +10 zile de la îndeplinirea condițiilor de potabilitate cerute de standarde.

Recepția este precedată de controlul riguros, care cuprinde următoarele elemente:

- respectarea dimensiunilor și cotelor de montaj în proiecte;
- respectarea prescripțiilor de montaj și funcționarea corectă a utilajelor, vanelor, aparatelor de măsură și control;
- dotarea cu aparatură de măsură și control;
- respectarea măsurilor de protecție și de securitate a muncii.

La recepție va participa, în mod obligatoriu, în calitate de membru și un delegat al unității care urmează a asigura exploatarea și întreținerea stației de filtrare. [7] [31] [32] [33] [34] [129] [140]

Punerea în funcție, necesită în prealabil luarea următoarelor măsuri:

- instituirea zonei de protecție sanitară;
- obținerea autorizației sanitare de funcționare;
- instruirea personalului de exploatare și verificarea însușirii de către acesta a regulamentului;
- organizarea evidențelor de exploatare;
- asigurarea unui sistem corespunzător de informare și de transmitere a datelor;

Punerea în funcțiune se va face în prezența proiectantului care va participa cel puțin la primele 5 – 10 zile de funcționare continuă, acesta urmând a verifica apoi modul de exploatare prin cercetarea parametrilor principali.

În prima perioadă de funcționare se va verifica în permanență modul în care personalul și-a însușit regulile tehnice de exploatare.

Buna funcționare a stației de filtrare este determinată, în principal, de îndeplinirea următoarelor condiții:

a) Asigurarea condițiilor tehnologice și constructive cerute prin proiect:

- calitatea materialului filtrant și a grosimii startului;

- orizontabilitatea și reglajul sistemului de drenaj;
- asigurarea intensităților de spălare cu aer și cu apă;
- amplasarea și montajul corect al clapetilor de admisie și a dispozitivului de reglaj;
- orizontabilitatea muchiilor deversante a jgheburilor de colectare a apei de spălare;
- etanșeitatea armăturilor din instalații.

Toate acestea se verifică și se consemnează periodic.

b) Stabilirea momentului când devine necesară oprirea filtrării și începerea operațiunii de spălare:

- când pierderea de sarcină prin filtru a ajuns la 2 m, fără a depăși înălțimea totală;
- când debitul a scăzut cu 40% din valoarea inițială;
- când durata ciclului de funcționare a atins 72 ore.

c) Efectuarea spălării trebuie să asigure:

- uniformitatea spălării;
- intensități de spălare cu apă și aer conform proiectului;
- evacuarea completă a apei murdare din spațiul dintre nisip și jgheburile de spălare.

d) Umplerea filtrului cu apă și repunerea în funcțiune, după terminarea spălării.

e) Menținerea vitezei de filtrare la valorile prevăzute în proiect.

f) Verificarea vizuală a stării drenajului, prin observarea suprafeței filtrului în timpul spălării și depistarea locurilor unde drenajul a fost deranjat, inclusiv repararea acestuia.

g) Verificarea lunară a grosimii stratului filtrant și completarea acestuia.

h) Asigurarea refacerii rezervei de apă de spălare între 2 spălări succesive în rezervor.

i) Ținerea evidenței debitelor filtrate, a operațiunilor de curățire și a volumului de apă de spălare consumat.

Spălarea se va face inițial după rețetă prescrisă de proiectant, fiind corectată în prima perioadă de exploatare, astfel încât să se asigure o eficiență cât mai bună, cu consumuri minime de apă și energie electrică. [65] [137]

În cazul în care analizele indică o turbiditate a apei filtrate >5 NTU, se consideră că exploatarea filtrelor este nesatisfăcătoare, căutându-se cauza acestei situații.

Calitatea necorespunzătoare a apei filtrate [180] [194] [196] se poate datora:

- temperaturilor scăzute din timpul iernii;
- schimbării calității apei brute;
- spălării necorespunzătoare a filtrelor;
- modificarea compoziției granulometrice a stratului filtrant cu ocazia spălării;
- deteriorarea sistemului drenant;

Reducerea duratei ciclului de filtrare apare în condițiile:

- unui conținut mare de suspensii în apa brută;
- spălării incomplete și neuniforme a filtrului.

În funcție de cauza fenomenului, personalul de exploatare va acționa pentru înlăturarea deficiențelor, reducând apa filtrată la turbiditatea corespunzătoare. [173] [174] [175] [176]

CAP.6. CONCLUZII GENERALE

În cadrul tehnologiilor de tratare a apelor subterane și de suprafață, filtrarea constituie un mijloc eficient pentru obținerea unui grad avansat de limpezire.

Spre deosebire de filtrarea rapidă descendentă prin straturi multiple neomogene, filtrarea ascendentă prin mase filtrante omogene se evidențiază prin aceea că masele filtrante sunt mult mai bine valorificate datorită faptului că reținerea suspensiilor din apa de limpezit se dezvoltă mai uniform pe toată grosimea stratului.

Fenomenul este determinat de faptul că, straturile filtrante au la intrare, diametre mai mari, descrescătoare după direcția de curgere a curentului, ceea ce face ca depozitele reținute să crească progresiv către straturile mai fine din orizonturile superioare, determinante pentru desăvârșirea procesului de limpezire. Acest mecanism, determină o încărcare mai uniformă, spre deosebire de filtrarea descendentă prin materiale omogene.

Filtrarea rapidă cu straturi multiple neomogene nu se poate extinde datorită faptului că, materiale filtrante sunt scumpe și greu de procurat, iar în procesele de spălare, materialele mai ușoare care ocupă orizonturile superioare mai fine, sunt antrenate în apa de spălare, dar sunt și mai puțin rezistente la uzură, ceea ce face ca particulele dislocate să fie ușor antrenate de apa de spălare.

Filtrarea ascendentă, pe lângă avantajele enumerate mai sus, prezintă și o serie de neajunsuri legate de limitarea vitezelor de filtrare. Aceste viteze de filtrare nu trebuie să depășească $10 \div 12$ m/h. De asemenea, la filtrarea ascendentă se recomandă ca jgheburile colectoare a apei de spălare să fie acoperite cu plase de sârmă pentru ca apa de

spălare să antreneze materialul filtrant.

6.1. Conținutul lucrării

Lucrarea este structurată pe 6 capitole, dezvoltată pe 227 de pagini, conține 9 anexe, 208 de relații, 90 figuri, 25 tabele, 10 poze și o listă bibliografică cu 195 de titluri din care 77 sunt publicații de date recente.

În primul capitol “ Introducere ” se pune în evidență importanța procesului de filtrare rapidă necesitatea și oportunitatea filtrării rapide descendente și ascendente cu straturi multiple omogene și neomogene. De asemenea în cadrul acestui capitol sunt evidențiate și obiectivele cercetării.

În cel de-al doilea capitol “ Stadiul actual al cercetării în domeniul filtrării apei ” se prezintă evoluția metodelor de filtrare, clasificarea instalațiilor, cerințele procesului de limpezire prin filtrare rapidă și conceptele matematice utilizate în dezvoltarea proceselor filtrării rapide. În acest capitol sunt evidențiate mecanismele care au loc în dezvoltarea procesului de limpezire în cadrul filtrării rapide. Mecanismul de transport este guvernat de fenomenele de difuzie, inerție, sedimentarea și de efectele hidrodinamice. Mecanismele de fixare sunt guvernate de fenomenele de sită, adsorbție și de interceptie, iar mecanismele de detașare sunt guvernate îndeosebi de majorarea vitezelor interstițiale. Aceste mecanisme pot acționa separate sau simultan după cum procesul se dezvoltă de-a lungul ciclurilor de filtrare pe fiecare stadiu caracteristic sau simultan pe parcursul celor trei stadii caracteristice de filtrare (perioada inițială de reținere – amorsare, perioada de regim și perioada de colmatare.

În ultima parte a acestui capitol, în cadrul modelelor matematice specifice filtrării rapide sunt evidențiate ecuațiile generale ale mișcării fluidelor prin medii poroase, ecuațiile generale ale mișcării suspensiilor prin

Cap. 6	Concluzii generale	176
--------	--------------------	-----

mediile poroase particularizate la filtrarea rapidă prin straturi omogene.

Interpretarea ecuațiilor generale ale filtrării rapide descendente s-a făcut pe baza modelelor matematice propuse de Mirel (pentru perioada inițială de reținere), Ives, Mintz și Lerk (pentru perioada de regim și de colmatare).

În cel de-al treilea capitol "Filtrarea rapidă prin straturi multiple" se prezintă comparativ filtrarea rapidă descendentă prin straturile multiple omogene și neomogene cu filtrarea ascendentă prin straturi multiple omogene și neomogene.

În cadrul filtrării rapide descendente prin straturi multiple omogene se evidențiază structura și caracteristicile acestor tipuri de materiale, modificările cantitative și calitative care au loc în procesul filtrării rapide precum și evidențierea parametrilor determinanți care guvernează procesul.

Procesele de separare prin mediile filtrante sunt puse în evidență pe baza unor modele specifice: granule sferice, tuburi capilare și a pierderilor de sarcină prin masele filtrante și sunt prezentate modalitățile privind optimizarea proceselor de filtrare rapidă descendentă și ascendentă prin straturile multiple omogene și neomogene.

În cel de-al patrulea capitol "Cercetări experimentale" se prezintă programul experimental, descrierea instalațiilor de laborator și caracteristicile materialelor filtrante omogene și neomogene utilizate în cadrul filtrării descendente și ascendente.

Rezultatele cercetărilor experimentale au pus în evidență eficiențele obținute la filtrarea descendentă și ascendentă prin straturi multiple omogene constituite din nisip și respectiv prin straturile neomogene alcătuite din: polistiren, antracit, nisip de cuarț, granat și magnetită, în cazul filtrării descendente.

Cercetările experimentale au pus în evidență faptul că eficiențele în

cazul filtrării ascendente au fost superioare celor de la filtrarea descendentă.

Filtrarea ascendentă prin mase granulare omogene este un proces similar cu cel de la limpezirea apei prin decantarea suspensională de tip static sau dinamic. La filtrarea ascendentă fenomenele de desprindere a depozitelor reținute sunt limitate de mărimea vitezelor interstițiale care determină desprinderea și antrenarea particulelor din depozitele reținute, favorizând astfel apariția așa numitului fenomen de fluidizare.

În cel de-al cincilea capitol " Recomandări privind proiectarea , execuția și exploatarea filtrelor rapide echipate cu straturi multiple" sunt prezentate criteriile privind proiectarea execuția și exploatarea filtrelor rapide ascendente și descendente echipate cu straturi multiple omogene și neomogene.

În cel de-al șaselea capitol " Concluzii generale " sunt prezentate problemele specifice abordate în cadrul tezei, elementele de originalitate, perspectivele privind aplicativitatea propunerii și recomandări pentru dezvoltarea cercetărilor viitoare, legate de oportunitatea utilizării filtrelor ascendente echipate cu materiale neomogene.

6.2. Contribuții și originalitatea lucrării

În cadrul lucrării se efectuează o sinteză documentară completă pe baza bibliografiei consultate privind evoluția modelelor matematice utilizate de diferiți autori în raport cu mecanismele care generează procesele de separare în cadrul filtrelor rapide descendente și ascendente echipate cu materiale filtrante cu straturi multiple.

Structurile filtrante cu straturi multiple omogene pot fi alcătuite dintr-un singur material (nisip de cuarț) cu densitate constantă dar cu granulația crescătoare sau descrescătoare după direcția de curgere a curentului.

Materialele filtrante cu straturi multiple neomogene sunt alcătuite din două sau mai multe straturi constituite din materiale cu densități diferite crescătoare după direcția de curgere a curentului de apă.

Straturile cu densitate mai mică din orizonturile superioare vor avea granulația mai mare descrescătoare după direcția curentului în cazul filtrării descendente. În cadrul filtrării ascendente masele filtrante neomogene de densități și granulații mari vor ocupa orizonturile inferioare iar stratele din orizonturi superioare vor fi ocupate de materialele mai ușoare și de granulație mai mică.

Sunt analizați principali factori care guvernează fenomenele de separare a suspensiilor din apa tratată pentru potabilizare.

Programul experimental conceput a urmărit:

- efectele și eficiențele obținute la filtrarea descendentă și ascendentă prin materialele granulare constituite din straturi multiple omogene și neomogene;
- eficiența procesului de filtrare a fost urmărită în funcție de turbiditatea apei brute introdusă în instalația de filtrare, de natura structura și grosimea maselor filtrante, mărimea vitezelor de filtrare și de gradul de penetrare al depozitelor reținute și de mărimea intensității de spălare a materialelor filtrante.

Contribuțiile personale care se pot evidenția constau în:

1. definirea și alegerea materialelor filtrante cu structuri omogene și neomogene utilizate la echiparea filtrelor rapide ascendente și descendente;
2. asimilarea filtrării ascendente cu procesele de limpezire de la separatoarele suspensionale;
3. alegerea materialelor filtrante pentru echiparea filtrelor rapide din considerente tehnice și economice;

4. stabilirea modelului matematic al filtrării ascendente, model asemănător cu cel de la separatoarele suspensionale cu secțiune constantă;
5. evidențierea mecanismelor proceselor de reținere care au loc în cadrul filtrelor rapide descendente și ascendente echipate cu straturi multiple;
6. analiza materialelor filtrante utilizate la echiparea filtrelor rapide descendente și ascendente din punct de vedere al naturii provenienței structurii, grosimii și al modului de alimentare în vederea obținerii unor grade de limpezire pe cicluri de filtrare cât mai mari;
7. analiza parametrilor determinanți cu evidențierea proceselor prin care se realizează amorsarea, fixarea și transportul particulelor din apă prin mediile filtrante utilizate;
8. stabilirea dependenței parametrului λ de depozitul specific σ , dependență evidențiată prin expresiile (4.16 ÷ 4,24);
9. introducerea unei expresii simplificate pentru parametrul λ de forma: $\lambda = a^* - b^* \cdot \sigma^2$, pentru a ușura integrarea sistemului de ecuații diferențiale (relațiile 2.58 și 2.61);
10. stabilirea expresiei parametrului inițial λ_0 , în funcție de mărimea vitezei de filtrare (relația 4.25);
11. cercetările experimentale, au scos în evidență pentru același tip de material, perfecționarea filtrării ascendente față de filtrarea descendentă, aspect datorat modului de sortare în raport cu mărimea granulelor și de direcția curentului de apă;
12. stabilirea vitezelor maxime de filtrare pentru evitarea fenomenelor de fluidizare a stratului filtrant;
13. stabilirea grosimii minime a saltelei de apă de deasupra stratului de nisip în vederea limitării apariției fenomenului de

fluidizare ca urmare a creșterii vitezelor interstițiale din masa filtrantă;

14. optimizarea instalațiilor de filtrare sub aspectul mărimii vitezelor de filtrare al grosimii și structurii maselor filtrante pentru condițiile în care limita maximă de calitate pentru efluent și cele ale pierderilor de sarcină sunt atinse de limita ciclului de filtrare ($T_1 = T_2$);
15. în cadrul filtrării ascendente se dezvoltă simultan procese de denitrificare și de nitrificare, caracteristice apelor cu încărcări organice importante întâlnite îndeosebi în treptele de epurare avansată din cadrul stațiilor de epurare;
16. stabilirea criteriilor pentru proiectarea și exploatarea filtrelor rapide ascendente echipate cu materiale multiple omogene;

6.3. Perspective, propuneri și recomandări

În urma investigațiilor întreprinse a rezultat necesitatea continuării cercetărilor teoretice și experimentale pentru filtrarea ascendentă prin straturi multiple omogene și neomogene pe filtre cu secțiune variabilă.

Stabilirea vitezei optime de spălare în vederea diminuării pierderilor de materiale filtrante.

Stabilirea vitezelor maxime de filtrare în vederea eliminării fenomenului de fluidizare.

Stabilirea, prin cercetări de laborator, a grosimii saltelei de apă de deasupra maselor filtrante.

Implementarea filtrării ascendente în cadrul tehnologiilor de tratare a apelor de suprafață și subterane.

Studierea oportunității utilizării filtrării ascendente în cadrul procesului de nitrificare-denitrificare din cadrul tehnologiilor de epurare.

BIBLIOGRAFIE

1. **ALBERT, G.** , Modelle und Beschreibungen von Filtrationsvorgängen Filterwiderstand, Vortragsreihe mit Erfahrungsaustausch über spezielle Fragen der Wassertechnologie-Filtration. Engler Bunte Institut der Universität Karlsruhe, Heft 5- 1971.
2. **ARUN, K.** , Theory of Sand Filtration. Journal of the Sanitary Eng. Division, Iunie 1967.
3. **BALDANDORJIIN, B.** , - Stadiul actual al proceselor de filtrare rapidă a apei și posibilități de îmbunătățire. Aplicații la râurile din Mongolia. U.T.C.B. Teză de doctorat. 1996.
4. **BARTHA, I.** , **JAVGUREANU, V.** , - Hidraulică. Chișinău, 1998.
5. **BÂRSAN, E.** , - Alimentări cu apă. GERMI, Iași, 2001.
6. **BÂRSAN, E.** , - Potabilizarea apei cu tehnologia membranelor. Ed. GERMI, Iași, 2002.
7. **BEREVOIANU, C.** , - Optimizarea filtrelor pentru limpezirea apei. Contribuții privind dezvoltarea tehnicii recuperării apelor de spălare. U.T.C.B. Teză de doctorat. 1997.
8. **BICA, I.** , **MOCANU, V.** , - Alimentarea artificială a stratelor acvifere. Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara, 2002.
9. **BRAUN, E.A.** , **MARTINOT-LAGARDE, MATHIEV, I.** , - Mecaniques des fluides. Dunod, Paris, 1968.
10. **BRIX, J.** , **HEYD, H.** , **GERLACH, E.** , - Die Wasserversorgung. Viena, 1963.
11. **CAMP, T.R.** , - Theory of Water Filtration. Jour. of the San. Eng. Div. ASCE, vol.90, Aug. 1964.
12. **CHIRVASE, M.** , - Contribuții la folosirea cărbunelui activ în procesele de tratare a apei, U.T.C.B. Teză de doctorat. 1999.
13. **CIOC, D.** , - Mecanica fluidelor. Ed. Didactică și Pedagogică București, 1967.
14. **CLEASBY, J. L.** , **BAUMANN, E.R.** , - Selection of Sand Filtration Rates. Jour. AWWA, 54, May, 1962.
15. **CLEASBY, J. L.** , **ș.a.**- Efect of Filtration Rates Changes on Quality. J.A.W.W.A. , nr. 7, 1963.

16. **CONLEY, W.R.** , - Experiențe cu filtre de nisip și antracit. J.A.W.W.A, Dec. 1961.
17. **CRAFT, T.F.** , - Review of Rapid Sand Filtration Theory. Jour. A.W.W.A. 58, 428, 1966.
18. **CRAFT, T.F.** , - Comparison of Sand and Antracite for Rapid Filtration. Jour. A.W.W.A., Jan., 1971.
19. **CREȚU, GH.**, - Contribuții la studiul și dimensionarea separatoarelor suspensionale cu secțiune progresivă pentru limpezirea apei. Teză de doctorat, 1971.
20. **DAVID, I.** , - Hidraulică – Vol. 1 și 2. Litografia I.P.T.V., Timișoara, 1990.
21. **DAVIS, E.** , **BORCHARDT, J.A.** , - Sand Filtration of Particulate Matter. Proc. ASCE, J.San.Eng.Div., 47. 1966.
22. **DEB, A.K.** , - Experimental evolution of sand filtration theory. J.San.Eng.Div., Aug., 1967.
23. **DEB, A.K.** , - Theory of sand filtration. J.San.Eng.Div., Vol.95, SAS, 1969.
24. **DESJARDINS, R.** , - Le traitement des eaux. Éditions de l'École Polytechnique de Montréal, 1990.
25. **DIAPER, W.J.E.** , **IVES, J.K.** , - Filtration through size-graded media, J.San.Eng.Div.Proc.ASCE, June, 1965.
26. **DOUGLAS, F.** , - Theory of Flow in Filter Media. Jour.AWWA, Vol.52, nr.17, 1960.
27. **ELIASSEN, R.** , - An Experimental and Theoretical Investigation of the Clogging of a Rapid Sand Filter. Sc.D.Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1935.
28. **ELIASSEN, R.** , - Clogging of Rapid Sand Filters. Journ.AWWA 33, Aug., 1941.
29. **FAIR, G.M.** , - The Hydraulics of Rapid Sand Filters. Jour.Inst. of Water Engrs. , Vol. 5, no 2, 1961.
30. **FAIR, G.M.** , **GEYER, J.C.** , **OKUN,** - Water Purification and Waste-Water Treatment. Vol. II, 1966.
31. **FLORESCU, A.** , - Exploatarea construcțiilor și instalațiilor pentru tratarea apelor potabile și industriale. Ed. Tehnică, București, 1981.

32. FLORESCU, A. ,ISTODE, V. , NICULESCU, D. , - Exploatarea lucrărilor de alimentare cu apă și canalizare. Ed. Tehnică, București, 1979.
33. FLORESCU, C. , MIREL, I. , - Instalații de deferizare-demanganizare pentru agenți economici și cvartale de locuințe. Simpozionul de instalații și confort ambiental. U.T.C., Timișoara, 1999.
34. FLORESCU, C. , MIREL, I. , SEGNEANU, E. , - Considerații cu privire la re tehnologizarea instalațiilor de filtrare a apei. Seminar științific. U.T.C., București-ARA, 25.03.1999.
35. FLORESCU, C. , - Stadiul actual al proceselor de filtrare rapidă. Referat nr. 1 la doctorat. Timișoara, Dec. 1997.
36. FLORESCU, C. , - Modele matematice ale proceselor de filtrare rapidă. Referat nr. 2 la doctorat. Timișoara, Iunie 1998.
37. FLORESCU, C. , - Cercetări și rezultate experimentale. Referat nr. 3 la doctorat. Timișoara, Martie 1999.
38. FLORESCU, C. , PODOLEANU, C., BÂTEA, F., - Optimization of the exploitation of fast multiple layers filtration installations. Inovations in teh field of water supply, sanitation and water. Conference for Young Professionals Bucharest, 15-17 June, 2005.
39. FRIEDLENDER, S.K. , - Theory of Aerosol Filtration. Ind.Eng Chem , 50-1965.
40. GIURCONIU, M. , - Hidraulică, lucrări edilitare și instalații sanitare. Ed.Did. și Pedagogică, București, 1972.
41. GIURCONIU, M. ,MIREL, I. , RETEZAN, A. , SÂRBU, I. , - Hidraulica construcțiilor și instalațiilor hidroedilitare. Ed. Facla, Timișoara, 1989.
42. GIURCONIU, M. ,MIREL, I. ,CARABEȚ, A. ,CHIVEREANU, D. ,FLORESCU, C. ,STĂNILOIU, C. , - Construcții și instalații hidroedilitare. Editura de Vest, Timișoara, 2002.
43. GREGORY, J. , - Molecular Forces and Electrokinetic Effects in Filtration. Ph.D.Thesis, Univ.London, 1964.

44. HAHN, H.H. , MEIER, P.P. , - Simulation von Filtrationsmodellen. Heft 5-1971- Engler-Bunte- Institut des Univ. Karlsruhe.
45. HALL, W.A. , - An Analysis of Sand Filtration. J.San.Eng.Div.ASCE, 1957.
46. HORNER, R.M.W. , ISON, C.R. ,STANLEY, D. , CONLEY, W.R. ,TESARIC, I. ,HUDSON, E.A. ,DEB, K.A. , ELIASSEN, R. ,O'MELIA, R.CH. , - Theory of Water Filtration. (Discussions) J.San.Eng.Div., Apr.,1965.
47. HUDSON, H.E. , J.R. , - Factors Affecting Filtration Rates. Jour.AWWA, 48, Sept. 1956.
48. HUDSON, H.E. , J.R. , - Declining Rate Filtration. Jour.AWWA,SI, Dec. ,1959.
49. HUDSON, H.E. , J.R. , - Functional Design of Rapid Sand Filters. Proc.ASCE, J.San.Eng.Div. ,89, 1963.
50. HUISMAN, L. , - Lecture notes of Rapid Sand Filtration. Delft University of Technology, Nederlands, 1972.
51. IANCULESCU, O. ,IONESCU, G. , - Alimentări cu apă. Ed. Imprimeriei de Vest, Oradea, 1999.
52. IANCULESCU, S. , - Contribuții la utilizarea filtrelor de nisip la epurarea apelor uzate. U.T.C.B. Teză de doctorat. 1998.
53. ISON, C.R. , Dilute suspensions in filtration. Ph.D.Thesis, Univ.London, 1967.
54. IVASAKI, T. , - Some Notes on Sand Filtration. Jour.AWWA, Dec. , 1937.
55. IVES, K.J. , Rational Design of Filters. Proc.Institution of Civ.Engr.,Vol.16, 1960.
56. IVES, K.J. , Filtration Through a Porous Septum: A Theoretical Consideration of Boucher's Low. Proc.Instrn.liv. Engrs., Vol. 17, Nov. , 1960.
57. IVES, K.J. , New Concepts in Filtration. Water and Water Eng. , nr. 785,786,787, Sept., 1961.
58. IVES, K.J. , Progres in Filtration . Jour.AWWA, Sept. , 1964.
59. IVES, K.J. , New Concepts in Filtration. Water Engineering, 1967.
60. IVES, K.J. , Teory of Filtration. International Water Supply Congres Wiena, Special Subject nr.7, 1969, al VIII-lea Congres de Alimentări cu apă, Viena, 1969.

61. **IVES, K.J. , SHOLJI, I. ,** - Research an Variables Affecting Filtration. Proc.ASCE, J.San.Eng.Div., 91, 1965.
62. **JORDAN, R.M. ,** - Electroforetic Studies of Filtration. Jour. AWWA, 55, Jul., 1963.
63. **JURA, C. ,** Alimentații cu apă. Capitole speciale. Curs litografiat, IPTV Timișoara, 1974.
64. **JURA, C. , GIURCONIU, M. , TELEGUȚ, M. , MIREL, I. , MĂIEREAN, V. -** Tratarea apei subterane feruginoase în condițiile uzinelor pentru colectivitățile restânce în regiunea Banat. Hidrotehnica, Gospodăria apelor, Meteorologia, Vol. 10, nr. 5, 1965.
65. **JURA, C. ,** Spălarea cu ejector a filtrelor deschise multiceulare. I.P.Timișoara, Facultatea de Construcții, 1968.
66. **JURA, C. , GIURCONIU, M. , MIREL, I. , CREȚU, GH. ,** - Îmbunătățirea procesului de filtrare prin utilizarea stratului filtrant dublu și mărirea eficienței spălării. Hidrotehnica, Gospodăria apelor, Meteorologia, Vol. 14, nr. 3, 1969.
67. **JURA, C. , GIURCONIU, M. , MIREL, I. , MERCEA, C. , CAZAN, GH. , CHIVEREANU, D. , ELIZEI, GH. ,** - Filtrarea apei la uzina de apă de suprafață a orașului Timișoara cu strat dublu filtrant în vederea mării vitezei de filtrare și a duratei de funcționare. Caiet selectiv de lucrări de colaborare cu producția al Institutului Politehnic Timișoara, Facultatea de Construcții, 1970.
68. **JURA, C. ,** Untersuchungen zur Anwendung der bekanten Filtrations modelle auf Filteranlagen der Praxis. Heft 5, Engeler-Bunte Institut der Universität Karlsruhe, 1971.
69. **JURA, C. , MIREL, I. , MERCEA, C. ,** - Determination des parametres optimaux du lavage des filtros. Buletinul științific al Inst. de Construcții București, Anul XIV, nr.4, 1971.
70. **JURA, C. , GIURCONIU, M. , MIREL, I. ,** - Cercetări asupra procesului de deferizare la concentrații de fier reduse. Comunicare științifică, I.P.Cluj,22-23 Febr. 1974.

71. **KAINZ, H., KAUCH, E., RENNER, H.,** - Siedlungswasserbau und abfallwirtschaft, Manz Verlag Shulbuch, Wien 2002.
72. **KAUCH, P. , SCHRIBERTSCHNIG, W. , RENNER, H. , SCHLACHTER, H. , NEMEČEK, E. ,** - Wasserversorgung-Vol.1, Wien, 1995.
73. **LEBEDEVA, N. S. ,** - Filtre cu două straturi cu capacitate mare de reținere a nămolului. Cercetări privitoare la tratarea apei. Academia de Construcții și Arhitectură URSS, Moscova, 1959.
74. **LERK, C. F. ,** - Some Aspects of the Deferrisation of Groundwater Thesis. Tehnical University, Olanda, 1965.
75. **LING, T. T. ,** Filtration of Water Through Uniform Sand Filters. Ph.d. Thesis, University of Minnesota, 1952.
76. **LUCA, O. ,LUCA, B.A. ,** - Hidraulica construcțiilor. Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara, 2002.
77. **LUCA, O. ,TATU, G. ,** - Environmental impact of free surface flows evaluation and protection. Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara, 2002.
78. **MACKRLE, S. , MACKRLE, V. , MICAN, V. ,** - Neue Erkenntnise über die Filtration und ihre Anwendung in der Wasserversorgungstechnik. W.W.T.8,Heft 8, 1958.
79. **MACKRLE, S. , MACKRLE, V. ,** - Adhesion in Filters. J.San.Eng.Div.ASCE Vol.87, 1961.
80. **MACKRLE, S. , MACKRLE, V. ,** - Adhesion in Filters. Transactions ASCE Vol.127, Part. III, 1962.
81. **MAHIDA, V. ,** Mechanismus der Schnellsandfiltration-Ein Beitrag zur Analyse der Filterung von trüben Wasser. Dissertation, Technische Hochschule München, Fakultät für Bauwesen, 1962.
82. **MAROUDAS, A. ,** - Clarification of Suspensions: a Study of Particle. Deposition in Granular Filter Media. Ph. D.Thesis, Univ. London, 1961.
83. **MATEESCU, Th. ,** - Contribuții la studiul încărcării filtrelor rapide și determinarea limitelor tehnice ale ciclului de filtrare. Teză de doctorat, 1976.
84. **MATEESCU, CR. ,** - Hidraulica. Ed.Did. și Ped.,București, 1963.

85. MĂNESCU, A. , - Alimentări cu apă - aplicații. Ed. H.G.A., București, 1998.
86. MĂNESCU, A. , SANDU, M. , IANCULESCU, O. , - Alimentări cu apă. Ed. Didactică și pedagogică, București, 1994.
87. MĂNESCU, A. , CUCU, M. , DIACONESCU, L. , - Chimia sanitară a mediului. Ed. Medicală, București, 1994.
88. MĂNESCU, M. , DIMACHE, A. , - Poluarea apelor subterane studiu de caz . Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara, 2002
89. MICHAU, R. , - Pressure diagrams in filters, L,Eau,38,191,1951.
90. MINTZ, D. M. , - Kinetika filtrații malo koncentrirovannih vodnih suspensii na vodoocistnih filtrah, Doklad. Akad. Nauk. URSS, Tom.78, nr.2, 1951.
91. MINTZ, D. M. , - Contact Clarification for Water Purification. Academy of Munic. Economy, Moscova, 1955.
92. MINTZ, D. M. , - Modern Theory of Filtration. International Water Supply Congres, Barcelona 3-7 oct. 1966, Special Subject nr. 10, al IV-lea Congres de Alimentări cu Apă, Barcelona , 1966.
93. MINTZ, D. M. , - Preliminary Tratament of Water before Filtration. Subject nr. 6 – al VIII-lea Congres de Alimentări cu Apă, Viena, 1969.
94. MIREL, I. , Studiul rezistențelor hidraulice la filtrele rapide. Sesiunea tinerilor ingineri din Institutul politehnic Timișoara, oct. 1971.
95. MIREL, I. , Cercetări teoretice și experimentale privind desfășurarea procesului de filtrare rapidă în perioada inițială de reținere. Comunicările seminarului național de hidraulică aplicată, Timișoara, 1-3 nov. 1973
96. MIREL, I. , Contribuții la studiul proceselor de filtrare rapidă în perioada inițială de reținere. Teză de doctorat, Timișoara, 1974.
97. MIREL, I. , Considerații teoretice și experimentale privind utilizarea filtrelor rapide pentru epurarea terțiară a apelor uzate. Lucrările Conferinței Naționale de Energetică. București, 27-29 nov.1986.

- 98. MIREL, I. ,** Utilizarea filtrării uscate în cadrul proceselor de limpezire a apelor de alimentare. Simpozionul Național “Reducerea pierderilor energetice și a consumurilor de apă în sistemele de alimentare cu apă”, Comitetul Național al Producătorilor și Distribuitorilor de apă din România, București, 10-11 aprilie 1997.
- 99. MIREL, I. ,** Filtrarea umedă și uscată utilizată pentru tratarea și epurarea apei. Conferința cu participare internațională “Instalații pentru construcții și confort ambiental” Ed. 6, Timișoara, 16-18 aprilie 1997.
- 100. MIREL, I. ,** Probleme speciale ale filtrării rapide. Comunicările științifice a cadrelor didactice de la I.C. București, 22-24 apr. 1971.
- 101. MIREL, I. ,** Studiul parametrilor determinanți în procesul filtrării rapide. Buletinul Științific și Tehnic al Instit. Politehnic Timișoara Tom 21(35), fasc. 2, nr. 1, 1976.
- 102. MIREL, I. ,** Considerații asupra modelării procesului de filtrare rapidă. Comunicările Sesiunii Tehnico- Științifice, fasc. constr. drum. și hidrotehn., IPT , 13 – 15 mai 1977.
- 103. MIREL, I. ,** Considerații asupra filtrării în straturi multiple. Sesiunea de comunicări tehnico-științifice a IPTV, Timișoara, 27-28 oct. 1979.
- 104. MIREL, I. ,** Considerații asupra desfășurării procesului de filtrare rapidă în funcție de mărimea particulelor în suspensie. Buletinul Științific și Tehnic al I.C. București, Tom 24, nr. 1 – 4, 1980.
- 105. MIREL, I. ,** Model matematic pentru studiul procesului de separare a suspensiilor prin filtrele rapide cu nisip. Lucrările simpozionului național „Probleme actuale în gospodărirea apelor, concepții de cercetare – proiectare – exploatare”, Timișoara, 26-27 nov.1982.
- 106. MIREL, I. ,** Modelarea matematică a procesului de filtrare rapidă. Zilele Academice Timișene organizate de Acad. RSR, Baza de cercetări științifice, Timișoara, 25-27 mai 1989.

- 107. MIREL, I. ,JURA, C. ,GIURCONIU, M. ,** - Optimizarea proceselor de filtrare terțiară. Al II-lea Congres Național de Chimie,București, 21-24 sept. 1988.
- 108. MIREL, I. ,KONSTANTINOVICI, I. ,** - Optimizarea instalațiilor de filtrare de la uzina de apă subterană a municipiului Timișoara. Lucrările simpozionului național „Soluții noi eficiente, în promovarea și execuția structurilor”. Secțiunea construcții hidrotehnice, Timișoara, 14-16 nov. 1986.
- 109. MIREL, I. ,KONSTANTINOVICI, I. ,** - Unele probleme tehnice ale filtrării rapide în perioada inițială de reținere. Sesiunea de comunicări științifice de colaborare cu producția, I.P.T.V. Timișoara, 24-25 apr.1971.
- 110. MIREL, I. ,KONSTANTINOVICI, I. ,** - Considerații asupra modului de echipare a filtrelor rapide în vederea menținerii structurii materialului filtrant. Al II-lea Simpozion Național „Calitate și eficiență în hidrotehnică”. I.C., București, 19-21 iunie 1987.
- 111. MIREL, I. ,KONSTANTINOVICI, I. , RENGLEA, A. ,SCHULTZ F. ,** - Considerații privind optimizarea funcționării instalațiilor de filtrare de la uzine de suprafață. Buletinul Științific și Tehnic al Instit. Politehnic Timișoara, Seria constr.,Tom 23(37), fasc.1, 1978.
- 112. MIREL, I. ,LÖRINTZ, E. ,BUMBĂCILĂ, S. ,HAJAȘ, L. ,** - Utilizarea filtrelor rapide cu straturi multiple pentru limpezirea apei din Bega. Lucrările simpozionului național „Probleme actuale în gospodărirea apelor, concepții de cercetare – proiectare – exploatare”, Timișoara, 26-27 nov.1982.
- 113. MIREL, I. ,FLORESCU, C. , STĂNILOIU, C. , SEGNEANU, E. , SĂVESCU, E. ,** - Issues Concerning for sand filtration for advanced water waste treatment. Preventing and fighting hydrologycal disartes. The international Conference, Timișoara, 21-22 Nov. 2002.

- 114. MIREL, I. , FLORESCU, C. ,PODOLEANU, C. ,** - Parametrii determinanți în procesul filtrării rapide prin straturi multiple. Buletinul Științific U.P.T. Timișoara, Tom. 48 (62), fasc. 1, 2003.
- 115. MIREL, I. ,FLORESCU, C. ,** - Filtre rapide cu straturi multiple. Conferință cu participare internațională. Ediția a 12-a. „Instalații pentru construcții și confortul ambiental”, Timișoara, 10-11 aprilie 2003.
- 116. MIREL, I. ,MĂRCULESCU, G. ,FLORESCU, C. ,ș.a.** – Mediul și legislația, factori determinanți pentru confortul ambiental. Ediția a 13-a. „Instalații pentru construcții și confortul ambiental”. Timișoara, 22-23 aprilie 2004.
- 117. MIREL, I. , PODE, V. ,FLORESCU, C. ,PODOLEANU, C. ,** - Considerații cu privire la sporirea capacității de reținere a mediilor filtrante. Revista de Chimie-Societatea de Chimie din România, Chem. Abs. ROBUAV 56(2), 2005.
- 118. O'MELIA, C.R., STUMM, W. ,** - Theory of Water Filtration, Jour. AWWA Vol. 59, nr.11, nov. 1967.
- 119. MOHANCA, S., MIPHE ,** - Multilayer filter design. Jour. Water and water Engineering, April. 1971.
- 120. MUTSCHMANN, J. , STIMMELMAYR, F. ,** - Taschenbuch der Wasserversorgung – Franckh – Kosmos Verlags - Gmbh & Co. Stuttgart – 1991.
- 121. NEGULESCU, M. , IANCULESCU, S. , VAICUM, L. , BONCIU, G. , PĂTRU, C. , PĂTRU, O. ,** - Protecția mediului înconjurător. Ed. Tehnică, București, 1995.
- 122. NEGULESCU, M. ,** - Epurarea apelor uzate orășenești. Ed. Tehnică, București, 1978.
- 123. NIȚESCU, S. ,** - Deferizarea și demanganizarea apei. Ed. Tehnică, București, 1997.
- 124. PANAITESCU, V. , TACACENCO, V. ,** - Bazele mecanicii fluidelor. Ed. Tehnică, București, 2001.

125. PIENARU, A. , - Contribuții la tehnologiile de tratare speciale pentru alimentarea cu apă a zonelor rurale. U.T.C.B. Teză de doctorat, 1999.
126. PÎSLĂRAȘU, I. , ROTARU, N. , TEODORESCU, M. , - Alimentări cu apă, București, Ed. Tehnică, 1981.
127. POP, V. , - Contribuții la calculul și realizarea tehnică a instalațiilor de filtrare ultrarapidă. Teză de doctorat, 1978.
128. POPA, R. , - Modelarea calității apei din râuri. Ed. HGA, București, 1998.
129. RACOVÎȚEANU, G. , - Optimizarea schemelor tehnologice ale stațiilor de potabilizare a apei. Contribuții la elaborarea soluțiilor pentru asigurarea biostabilității apei.. U.T.C.B. Teză de doctorat. 1999.
130. RACOVÎȚEANU, G. , - Teoria decantării și filtrării apei. Ed. Matrix Rom București, 2003.
131. ROBESCU, DAN , ROBESCU, DIANA , SZABOLCS, L. , CONSTANTINESCU, I. , - Tehnologii, instalații și echipamente pentru epurarea apei. Ed. Tehnică, București, 2000.
132. ROBESCU, DAN , ROBESCU, DIANA , SZABOLCS, L. , CONSTANTINESCU, I., VERESTOY, A. , - Waserwater Treatment technologies installations and Equipment. Ed Tehnică, București, 2001.
133. ROBESCU, DAN , ROBESCU, DIANA , SZABOLCS, L. , CONSTANTINESCU, A. , - Fluide polifazice. Ed. Tehnică, București, 2000.
134. ROBESCU, DAN , ROBESCU, DIANA , SZABOLCS, L. , VERESTOY, I. , - Fiabilitatea proceselor instalațiilor și echipamentelor de tratare și epurare a apelor. Ed. Tehnică, București, 2002.
135. ROBESCU, DAN , STOIANOVICI, Ș. , - Procedee și echipamente mecanice pentru tratarea și epurarea apei. Ed. Tehnică, București, 1982.
136. ROBINSON, E. L. , - Factors affecting the penetration of turbid matter into rapid sand filters. Ph. D. Thesis, Univ. London, 1961.

137. ROJANSCHI, V. , IANCULESCU, S. , - Aspecte hidraulice ale spălării filtrelor rapide, Hidrotehnica, Gospodărirea apelor, Meteorologia, nr. 3, 1972.
138. ROJANSCHI, V. , - Modelarea procesului filtrării rapide a apei. Studii de alimentare cu apă, București, 1975.
139. ROJANSCHI, V. , - Contribuții la stabilirea parametrilor de proiectare și exploatare a filtrelor rapide cu debit variabil. Studii de alimentare cu apă, București, 1976.
140. ROJANSCHI, V. , - Cartea operatorului din stații de tratare a apelor. Ed. Tehnică, București, 1996.
141. ROJANSCHI, V. ,BRAN, F. , DIACONU, G. , - Protecția și ingineria mediului. Ed. Economică, București, 1997.
142. ROLKE, D. , - Transportvorgänge in Filtern, Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe Veröffentlichungen der Bereichs und des Lehrstuhls für Wasserchemie, Heft 5 – 1971.
143. RUSU, G. , ROJANSCHI, V. , - Filtrarea în tehnica tratării și epurării apelor. Ed. Tehnică, București, 1980.
144. SANDU, M. , - Removal of Producția de apă potabilă. Sinteză tehnică. Seminar Științific CNPDAR-U.T.C.B., București, 1997.
145. SANDU, M. , BEREVOIANU, C. , RACOVÎTEANU, G. , - Removal of micro-organisms by clarification and filtering processes. National Report Romania, No.6, IWSA 21st Congress Madrid, 1997.
146. SANDU, R. , A. , - Studiul dispersiei substanțelor dizolvate în apă la curgerea prin medii poroase. U.T.C.B. Teză de doctorat, 1998.
147. SĂVESCU, E. , - Contribuții la epurarea avansată a apelor uzate menajere. U.T.C.B. Teză de doctorat, 1999.
148. SETEANU, I. , RĂDULESCU, V. , VASILIU, N. , VASILIU D. , - Mecanica fluidelor și sisteme hidraulice. Fundamente și aplicații. Ed. Tehnică, București, 1998.
149. SHEKHTMAN, YU., M. , - Filtration Suspended Matter of Low Concentration. Treatise to Institute of Mechanics Academy of Science USSR, Moscova, 1961.

150. SHOLJI, I. , - The filtration of suspensions through deep granular filters, Ph. D. thesis, Univ. London, 1963.
151. SONTHEIMER, H. , FRICK, R. , FETTIG, J. , HÖRNER, G. , HUBELE, C. , ZIMMER, G. , - Adsorptionsverfahren zur Wasserreinigung. Karlsruhe (TH), Institut der Universität, 1985.
152. SONTHEIMER, H. , -Möglichkeiten und Probleme der Mehrschichtfiltration. Sonderdruck aus von waser, Band 34, 1978.
153. SONTHEIMER, H. , - Trinkwasser aus dem Rheim. Academia Verlag-Sankt Augustin, 1991.
154. SPINDLER, P. , - Mehrschichtfiltration, Moderne Probleme der Wassergüte und Wasserverteilung. Institut für Gostechnik, Feuerungstechnik und Wasserchemie der Universität Karlsruhe Veröffentlichungen der Abteilung und des Lehrstuhls für Wasserchemie . Heft 4, 1969.
155. STEIN, P. C. , - A Study of the Theory of Rapid Filtration Through Sand. Sc. D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1940.
156. SUTTLE, H. K. , - Progresse in Filtration, Gheo, Proc. Eng. , 41, 1960.
157. TEODORESCU, M. , - Optimizarea deferizării și demanganizării apei. Ed. Tehnică, București, 1979.
158. TROFIN, P. , - Alimentări cu apă. Ed. Did. Și Ped., București, 1983.
159. ZBEGAN, V. , JURA, C. , GIURCONIU, M. , CREȚU, GH. , MIREL, I. , ELIZEI, G. , KONSTANTINOVICI, I. , - Considerații asupra eficienței filtrării rapide la uzina de apă de suprafață a municipiului Timișoara. Caiet selectiv de lucrări de colaborare cu producția al Institutului Politehnic, Timișoara, Facultatea de Construcții, 1970.
160. YAO, K.M., - Influence of suspended Particule Sise on the transport Aspect of Water Filtration, Ph. D. Thesis Univ. North carolina (Chapel Hill), 1968.
161. YOCKMAN, D. , - Filtrarea sub presiune constantă. Genie, Ch., Franța, 85, 1961.
162. WESTERHOFF, G. , - Experience with higher filtration rates. Jour. AWWA, nr. 6, 1971.

UPT	Contribuții la studiul proceselor de limpezire prin utilizarea filtrelor rapide cu straturi multiple	Teză de doctorat
-----	--	------------------

163. *** - Proiect IPROTIM nr. 38210 faza SF, PT, DE – 1997 - Extindere uzina de apă Vinga.
164. *** - Proiect IPROTIM nr. 40047 faza SF, PT, DE – 1998 - Stație de tratare și repompare a apei sistem microzonal Bocsig – Beliu.
165. *** - Proiect IPROTIM nr. 29215 faza SF, PT, DE – 1999 - Dezvoltarea alimentării cu apă a municipiului Reșița.
166. *** - Proiect IPROTIM nr. 38159/340 din 1997 - Stație de tratare a apei Anina.
167. *** - Proiect IPROTIM nr. 38204 faza SF, PT, DE – 1998 - Extindere alimentare cu apă leșelnița.
168. *** Contract nr. 57/95 – U.T.C.București. Cercetări pentru optimizarea metodologiilor de alegere a nisipurilor pentru filtre rapide.
169. *** Veröffentlichungen des Bereichs und des Lehrstuhls für Wasserchemie. Untersuchungen zur Filtration. TH Karlsruhe Heft 5, 1971.
170. *** Veröffentlichungen des Bereichs und des Lehrstuhls für Wasserchemie. Untersuchungen zur Filtration. TH Karlsruhe Heft 6, 1973.
171. *** Water treatment handbook–Degrémont vol.1 și2.Paris, 1991.
172. *** Asociația Internațională de distribuție a apei (IWSA) – Congresul XXI – Madrid, 1997.
173. *** AISE (IWSA) – Congresul XXIII – Buenos Aires – 1999.
174. *** AISE (IWSA) – Congresul XXIV – Paris – 2000.
175. *** Conception et exploitation d'un systeme de purification et de gestion de l'eau potable. Seminaire sur la gestion de l'eau, Timișoara, 7÷17.12.1993.
176. *** Filter-Anthrazit N. Das Naturprodukt für die Wasserfiltration, Everzit-D., 1994.
177. *** Filtre de limpezire verticale ISPE – V. București, 1974.
178. *** Retehnologizarea stațiilor de tratare. Simpozion ARA, București, 2000.

	Bibliografie	195
--	--------------	-----

UPT	Contribuții la studiul proceselor de limpezire prin utilizarea filtrelor rapide cu straturi multiple	Teză de doctorat
-----	--	------------------

179. *** STAS 1342-91 - Apă potabilă.
180. *** STAS 1712/1-91 - Alimentări cu apă. Nisip și pietriș cuarțos pentru filtrarea apei și prevenirea înnisipării.
181. *** STAS 1712/2-70 - Alimentări cu apă. Determinarea bioxidului de siliciu din nisip.
182. *** STAS 1712/3-70 - Alimentări cu apă. Determinarea substanțelor organice din nisip.
183. *** STAS 3602-87 - Alimentări cu apă. Filtre de nisip cu nivel liber. Prescripții de proiectare.
184. *** STAS 4706-88 - Ape de suprafață. Categoriile și condiții tehnice de calitate.
185. *** STAS 9295-88 - Stații de deferizare-demanganizare. Prescripții de studii de proiectare.
186. *** STAS 12277-84 - Stații de potabilizare a apei. Studii pentru proiectare.
187. *** NTPA 013/2002 – Norme de calitate pe care trebuie să le îndeplinească apele de suprafață utilizate pentru potabilizare.
188. *** NTPA 001/2002 - Normativ privind stabilirea limitelor de încărcare cu poluanți a apelor uzate evacuate în resursele de apă.
189. *** NTPA 002/2002 - Normativ privind condițiile de evacuare a apelor uzate în rețelele de canalizare ale localităților.
190. *** H.G. 101/1997 – privind caracterul și mărimea zonelor de protecție sanitară.
191. *** Legea 107/1996 completată cu legea 310/2004.
192. *** Legea Protecției Mediului 137/1995 Completată cu legea 159/1999.
193. *** Legea 458/2002 completată cu legea 311/2004, privind calitatea apei potabile de suprafață.
194. *** Directiva 75/440/EEC privind calitatea apelor de suprafață destinate prelevării de apă potabilă.
195. *** Directiva 80/923/EEC amendată de Directiva 98/83/EC privind calitatea apei destinată consumului uman.

	Bibliografie	196
--	--------------	-----

E 4 - FILTRARE DESCENDENTĂ $v = 15\text{m/h}$, $C_0 = 57$ NTU

ANEXA 1

DATA 23.07.2004 -- $\Delta x = 50$ cm

Ora începerii - 8¹⁰

$T_{\text{apă}} = 20^{\circ}\text{C}$

Nr. crt.	Timp (min.)	ΔH (cm) P1	C (NTU) P1	ΔH (cm) P2	C (NTU) P2	ΔH (cm) P3	C (NTU) P3	ΔH (cm) P4	C (NTU) P4	ΔH (cm) P5	C (NTU) P5
1	5	71.4	57	55	51	48	35	-	35	28.4	27
2	10	70.6	48	57.5	38	52.2	33	-	28	36	23
3	15	70.3	68	57	43	51.2	43	-	32	34.3	22
4	20	69	50	57.8	34	53	29	-	23	39	23
5	25	69.5	68	56.3	35	51	32	-	27	35.4	20
6	30	70	53	56	34	50.6	31	-	24	34	20
7	40	70	58	53.8	37	46.7	32	-	26	35.4	23
8	50	69.7	61	56	38	50.7	33	-	29	34.6	20
9	60	69.5	59	57.8	36	54	34	-	28	39.5	20
10	70	69.8	56	56.5	34	51.8	29	-	22	37.2	18
11	80	69.4	55	56.8	33	51.6	29	-	22	37.2	17
12	90	68.8	55	53.3	34	48	30	-	22	32	18
13	100	68.4	54	52	35	56	33	-	25	29	19
14	110	68.8	53	56.2	34	52	29	-	24	38.7	19
15	120	68.5	61	55.2	36	51	32	-	26	37.5	19
16	130	67.5	58	52.2	37	47.2	33	-	27	32.2	19
17	140	67.5	53	50.5	38	44.9	31	-	27	29	18
18	150	67.9	58	51	38	45.4	30	-	25	30.2	18
19	160	67.7	65	51.7	38	46.9	32	-	26	32.8	19
20	170	67.3	63	49.3	40	44	35	-	28	28.8	19
21	180	67.8	61	51.3	41	46.8	34	-	26	32.8	18

22	190	66.3	60	45.3	42	38.7	34	-	28	23	18
23	200	66.7	58	46.8	40	40.8	34	-	28	25.8	18
24	220	68.2	54	52.2	45	47	41	-	35	32	19
25	240	66.8	60	49.2	42	44	38	-	30	28.8	19
26	260	66.5	60	45.8	43	39.5	39	-	30	23.2	19
27	280	66.1	59	45.7	40	39.4	35	-	30	24.2	19
28	300	67.3	54	43.2	41	36.2	35	-	29	19.3	19
29	320	67	72	46	62	39.5	63	-	62	23.7	33
30	340	66	69	42.5	50	35.5	53	-	52	17.5	25
31	360	66.2	63	43.3	46	36.7	41	-	30	19.2	22
32	380	64.3	62	37.8	44	30.2	36	-	30	13.2	20
33	400	64	58	33.8	41	23.5	42	-	33	3.8	21
34	420	65.3	53	39.5	74	33.5	92	-	90	13.5	46
35	440	66.7	52	41	41	25.5	34	-	52	6	28
36	460	66.2	56	38.2	42	31	34	-	32	10.2	25
37	480	64.2	57	34.3	42	25	34	-	28	3.5	22
38	500	66.8	53	38.4	37	31.5	33	-	33	11	17
39	520	66	54	47	41	28.8	33	-	27	8.5	20
40	540	65	50	46	35	28	29	-	24	8.2	17
41	560	64	48	40.5	36	19.7	36	-	36	0	20
42	580	64.3	43	42.5	32	24.8	25	-	21	2.6	15
43	600	62.5	42	29.8	34	20.7	26	-	53	0	14

E 5 - FILTRARE ASCENDENTĂ v = 15m/h, C₀ = 58 NTU

ANEXA 2

DATA 27.07.2004

Ora începerii - 8³¹

T_{apă} = 20^o C

- Δx = 50 cm

Nr. crt.	Timp (min.)	ΔH (cm) P1	C (NTU) P1	ΔH (cm) P2	C (NTU) P2	ΔH (cm) P3	C (NTU) P3	ΔH (cm) P4	C (NTU) P4	ΔH (cm) P5	C (NTU) P5
1	5	132.3	66	-	41	115.2	46	110.5	56	104.3	17
2	10	133.2	49	-	55	119.8	53	114.2	45	104.3	37
3	15	133.3	56	-	47	119.5	43	113.8	38	104.3	27
4	20	134	60	-	49	119.2	44	113.7	37	104.3	24
5	25	134.3	56	-	48	118.8	43	113.5	36	104.4	33
6	30	134.2	58	-	53	118.4	47	113.2	38	104.4	26
7	40	134.3	54	-	53	118.7	47	113.2	38	104.5	23
8	50	134.8	69	-	67	118.4	61	113	53	104.5	22
9	60	135.8	59	-	57	118.2	55	112.8	45	104.5	26
10	70	136.2	58	-	57	118.2	50	112.4	36	105.1	23
11	80	136.3	55	-	59	118	53	112.5	38	105	23
12	90	136.3	56	-	57	118.2	49	112.5	38	105	22
13	100	137.8	54	-	59	118.2	49	112.4	35	105	21
14	110	138	53	-	56	118.4	49	112.5	38	105	21
15	120	138	52	-	56	118.3	52	112.4	38	105.1	20
16	130	138.2	52	-	57	118.3	51	112.2	32	105	21
17	140	138.7	56	-	58	117.8	52	112.2	38	105	20
18	150	139.8	54	-	61	118.2	53	112.3	39	105	21
19	160	140.6	53	-	63	117	52	112.2	38	105	19
20	170	142	58	-	65	118.5	56	112.5	45	105	21
21	180	142.7	63	-	69	118.8	60	112.6	44	105	23
22	190	142.7	60	-	68	119.1	56	112.8	44	105	20

23	200	145.2	58	-	73	120.3	62	113.2	49	105.2	22
24	220	146	56	-	85	120.8	67	113.6	51	105.3	22
25	240	147.7	54	-	83	121.7	70	114	52	105.3	19
26	260	150	63	-	88	122.5	75	114.3	57	105.3	20
27	280	150	53	-	79	123.2	68	114.6	45	105.3	19
28	300	150	53	-	79	122.7	65	114.3	46	105.2	20
29	320	147	54	-	89	124.5	86	115.8	71	105.3	25
30	340	148.8	52	-	81	125.5	66	116	43	105.3	22
31	360	148.8	62	-	85	126.3	74	116.4	64	105.3	29
32	380	148.8	56	-	84	126.8	75	116.8	53	105.2	25
33	400	148.8	56	-	88	127.4	72	117.2	56	105.2	31
34	420	148.8	59	-	89	128.7	87	117.5	60	105.2	25
35	440	148.2	53	-	63	128.6	90	118.2	82	105.5	47
36	460	150	61	-	89	129.8	90	118.6	67	105.4	27
37	480	150.5	57	-	92	130.8	90	119.3	76	105.4	32
38	500	148.5	49	-	91	130.7	91	120.4	83	105.3	28
39	520	147.2	52	-	91	129.7	91	120.3	90	105.3	44
40	540	144	69	-	87	126.8	86	118.3	86	105.4	63
41	560	144.8	63	-	87	127.3	87	118	80	105.4	63

E 6 - FILTRARE ASCENDENTĂ $v = 10\text{m/h}$, $C_0 = 54\text{ NTU}$

ANEXA 3

DATA 27.07.2004

– $\Delta x = 50\text{ cm}$

Ora începerii - 18³⁰

$T_{\text{apa}} = 20^{\circ}\text{C}$

Nr. crt.	Timp (min.)	ΔH (cm) P1	C (NTU) P1	ΔH (cm) P2	C (NTU) P2	ΔH (cm) P3	C (NTU) P3	ΔH (cm) P4	C (NTU) P4	ΔH (cm) P5	C (NTU) P5
1	5	116.2	58	-	77	109.1	82	104.5	73	100.2	47
2	10	115.7	58	-	60	109.7	55	107	46	100.4	42
3	15	115.7	62	-	56	109.4	51	107	46	100.4	36
4	20	115.7	58	-	56	109.7	51	107	46	100.4	32
5	25	115.4	55	-	49	109.7	44	107	40	100.4	32
6	30	115.3	58	-	50	109.6	47	106.8	42	100.7	33
7	40	115.7	63	-	60	109.7	52	106.9	44	100.7	35
8	50	115.7	63	-	59	109.7	53	106.8	44	100.7	34
9	60	115.7	64	-	63	109.3	53	106.8	44	100.6	33
10	70	115.7	60	-	62	109	50	106.7	44	100.7	32
11	80	116	60	-	62	109.7	50	106.8	42	100.7	32
12	90	116.2	59	-	58	109.7	52	106.8	43	101.4	30
13	100	116.5	55	-	58	109.7	46	106.8	40	101.4	29
14	110	116.5	55	-	59	109.7	48	106.8	38	101.4	28
15	120	116.6	55	-	55	109.8	45	106.6	38	101.4	26
16	130	117	55	-	55	110	48	107	37	101.3	28
17	140	117.1	53	-	58	109.8	45	106.8	36	101.4	25
18	150	117.5	52	-	55	110	49	107	35	101.3	26
19	160	117.6	52	-	57	110.1	44	107	35	101.3	25
20	170	117.6	53	-	57	110.2	45	107	35	101.3	22

21	180	117.5	48	-	53	109.6	45	106.8	36	101.4	26
22	190	119	52	-	56	110.8	50	107.3	36	101.4	25
23	200	119.6	72	-	75	110.8	65	107.3	53	101.3	35
24	220	120.9	68	-	75	111.2	66	107.5	46	101.5	30
25	240	122.1	54	-	73	111.7	52	107.7	40	101.4	23
26	260	122.8	51	-	71	111.7	50	107.7	36	101.4	20
27	280	123.6	53	-	71	112	56	108	35	101.5	20
28	300	124.5	54	-	72	112.4	54	108.1	36	101.5	21
29	320	125.3	51	-	72	112.7	50	108.3	34	101.4	20
30	340	126	51	-	69	112.9	51	108.5	35	101.4	20
31	360	126.7	50	-	71	113.3	64	108.6	43	101.4	20
32	380	127.2	46	-	64	113.4	53	108.6	34	101.4	18
33	400	128	54	-	80	113.5	73	109	44	101.4	18
34	420	128.5	53	-	74	114.4	70	109.2	39	101.4	24
35	440	129	45	-	66	114.7	64	109.4	34	101.4	19
36	460	128.8	64	-	76	114.4	68	109.2	50	101.4	36
37	480	132.2	65	-	84	115.7	83	110	55	101.4	29
38	500	133.5	59	-	84	116.2	78	109.9	46	101.4	23
39	520	134.5	55	-	87	116.7	74	110.3	46	104.4	23
40	540	135.2	60	-	85	117	77	110.5	45	101.5	23
41	560	136.2	58	-	86	117.4	73	110.3	43	101.5	23
42	580	137	58	-	88	117.9	72	111	72	101.5	22
43	600	137.1	54	-	79	117.8	79	111	66	101.6	22
44	630	139.5	52	-	95	119	88	111.6	88	101.5	20
45	660	141	76	-	87	119.3	91	111.6	75	101.5	37
46	690	144.1	64	-	82	120.7	93	112.3	67	101.5	24
47	720	144.1	63	-	95	120.8	90	112.5	68	101.4	24
48	750	145.2	62	-	90	121.9	97	112.8	91	101.5	24
49	780	145.9	56	-	87	123.2	96	113.6	83	101.5	24
50	810	147.2	54	-	81	123.7	100	114.2	50	101.6	21

51	840	148.2	54	-	96	124.3	94	114.3	44	101.6	22
52	870	149.5	54	-	110	124.9	88	114.6	44	101.6	20
53	900	149.5	51	-	110	124.8	88	115.3	65	101.5	21
54	930	149.5	59	-	100	126	94	115.2	56	101.5	24
55	960	149.5	53	-	93	126.5	96	115.2	59	101.5	22
56	990	149.5	64	-	44	126.5	87	115.3	69	101.5	28
57	1020	149.5	56	-	70	128.5	87	115.5	95	101.5	24
58	1050	149.5	60	-	74	130	67	117.7	61	101.5	42
59	1080	149.5	58	-	72	129.5	85	118.2	110	101.5	36
60	1110	149	56	-	66	129.4	110	118.5	92	101.6	28

E 7 - FILTRARE ASCENDENTĂ $v = 5\text{m/h}$, $C_0 = 54\text{ NTU}$

ANEXA 4

DATA 28.07.2004 - $\Delta x = 50\text{ cm}$

Ora începerii - 8³⁰

$T_{\text{apă}} = 20^{\circ}\text{C}$

Nr. crt.	Timp (min.)	ΔH (cm) P1	C (NTU) P1	ΔH (cm) P2	C (NTU) P2	ΔH (cm) P3	C (NTU) P3	ΔH (cm) P4	C (NTU) P4	ΔH (cm) P5	C (NTU) P5
1	5	109.3	50	-	61	106	63	103.8	64	101.2	33
2	10	109.6	67	-	50	106	44	104.2	34	101.1	31
3	15	109.3	53	-	50	105.9	43	104.2	37	101.2	29
4	20	109.3	52	-	48	105.9	40	104.2	33	101.1	29
5	25	109.4	75	-	46	106	38	104.2	33	101.1	29
6	30	109.7	57	-	48	106	41	104.2	37	101.2	28
7	40	109.6	53	-	46	106	38	104.2	32	101.2	29
8	50	109.5	52	-	45	106	35	104.2	31	101.2	27
9	60	109.4	52	-	48	105.9	37	104.1	31	101.1	25
10	70	109.5	53	-	49	105.8	47	104.1	31	101.1	26
11	80	109.3	53	-	51	105.7	49	103.8	31	101.2	25
12	90	109.6	55	-	50	105.7	38	104.1	31	101.2	26
13	100	109.8	53	-	49	105.7	37	104.1	29	101.1	24
14	110	110	52	-	48	105.8	34	104	29	102	23
15	120	110	51	-	50	105.7	38	103.9	31	101.2	21
16	130	110.2	52	-	50	105.8	37	104	29	101.2	22
17	140	110.2	53	-	50	105.7	37	104	31	101.2	20
18	150	110	52	-	52	105.7	46	104	35	101.2	22
19	160	110	52	-	50	105.6	38	103.8	31	101.2	23
20	170	109.8	53	-	48	105.6	36	103.7	28	101.2	23
21	180	109.8	51	-	48	105.5	36	103.7	27	101.2	22

22	190	110.4	51	-	53	105.7	36	103.7	27	101.2	20
23	200	110.3	59	-	53	105.7	35	103.7	28	101.2	22
24	220	110.4	55	-	55	105.7	36	103.7	28	101.1	22
25	240	110.8	51	-	59	105.7	38	103.7	29	101.1	21
26	260	110.8	56	-	61	105.7	40	103.7	30	101.2	21
27	280	111.3	56	-	65	105.7	42	103.7	30	101.2	23
28	300	112.2	56	-	65	106	44	104	32	101.1	21
29	330	112.5	57	-	73	106	50	104	32	101.1	22
30	360	113.2	53	-	75	106.2	51	104.2	29	101.2	20
31	390	113.3	49	-	79	106.3	46	104	28	101.2	19
32	420	113.8	52	-	65	106.4	51	104.2	29	101.2	19
33	450	114.7	52	-	82	106.8	58	104.3	32	101.2	16
34	480	115.5	52	-	81	107	57	104.4	34	101.2	18
35	510	116.2	54	-	85	107.2	58	104.3	34	101.2	19
36	540	116.4	52	-	88	107.3	62	104.4	38	101.2	19
37	570	117.5	51	-	83	107.6	59	104.7	33	101.2	17
38	600	118.2	54	-	86	107.8	60	104.8	34	101.2	19
39	630	117.2	51	-	90	107.7	78	104.7	44	101.2	20
40	660	118.2	55	-	90	107.9	72	104.7	40	101.2	19
41	690	118.2	55	-	86	107.8	63	104.8	41	101.2	20
42	720	119	55	-	90	107.9	71	104.8	44	101.2	20
43	750	120.2	51	-	90	108.4	71	105	44	101.2	18
44	780	121.4	60	-	85	108.4	66	105	42	101.2	18
45	810	122.5	52	-	90	108.8	67	105.1	46	101.2	20
46	840	123.1	53	-	93	109.2	68	105.3	50	101.2	18
47	870	124.3	56	-	94	109.2	83	105.4	80	101.2	18
48	900	124	51	-	92	109.3	75	105.4	52	101.2	19
49	930	125.6	51	-	93	109.7	73	105.5	43	101.2	16
50	960	125.8	48	-	92	109.7	77	105.7	46	101.2	15
51	990	128	65	-	89	110.4	80	105.8	55	101.2	17

52	1020	127	68	-	53	110.6	85	105.9	95	101.2	21
53	1050	123.2	53	-	93	110.2	95	105.9	91	101.2	25
54	1080	123.9	58	-	93	110.3	88	106	78	101.2	20
55	1110	124.9	55	-	93	110.4	83	106.1	62	101.2	20
56	1140	126.3	57	-	95	110.9	83	106.8	52	101.2	18
57	1170	126.5	54	-	95	111.2	85	106.4	55	101.2	17
58	1200	127.5	53	-	95	111.8	80	106.7	53	101.2	17
59	1230	127.9	48	-	96	111.7	85	106.7	55	101.2	17
60	1260	128	42	-	98	111.9	83	106.8	73	101.2	20
61	1290	126.9	43	-	96	111.7	84	106.8	69	101.2	19
62	1320	127.5	45	-	96	111.9	83	106.9	76	101.2	17
63	1350	128.1	45	-	98	112.1	86	106.9	70	101.2	16
64	1380	128.8	43	-	99	112.3	83	107.2	68	101.2	16
65	1410	127.5	58	-	95	111.6	97	106.8	68	101.2	18
66	1440	127.5	60	-	96	111.6	95	106.8	78	101.2	22
67	1470	130.5	54	-	95	112.7	95	107.3	54	101.2	22
68	1500	131	53	-	95	113.2	86	107.5	50	101.2	18
69	1530	131.2	55	-	110	113.4	85	107.6	53	101.2	20
70	1560	131.8	52	-	110	113.7	90	107.7	52	101.2	19
71	1590	132.4	54	-	88	113.8	115	108.1	77	101.2	25
72	1620	132.3	52	-	90	113.6	92	107.8	62	101.2	22
73	1640	132.2	54	-	110	114.1	95	108.2	66	101.2	23
74	1660	132.4	52	-	115	114.1	85	108.2	60	101.2	20
75	1680	130.2	54	-	90	113.1	63	107.4	52	101.2	20
76	1700	133.3	53	-	96	114.2	85	108.2	51	101.2	20
77	1720	133.2	52	-	99	114.2	85	108.1	50	101.2	20
78	1740	134.8	51	-	110	114.8	88	108.4	50	101.2	20
79	1760	133	53	-	108	114.8	94	108.3	76	101.2	20
80	1780	134.2	53	-	108	115.2	95	108.5	68	101.2	22
81	1800	134.5	51	-	97	115.8	100	108.9	75	101.2	20

82	1820	134	56	-	95	115.5	97	108.8	58	101.2	22
83	1840	134.2	53	-	91	116.3	97	109.3	62	101.2	22
84	1860	136.3	53	-	92	116.4	90	109.3	73	101.2	21
85	1880	134.8	53	-	95	116.2	88	109.2	69	101.2	21
86	1900	134.8	51	-	100	116	91	109.1	61	101.2	20
87	1920	135.7	55	-	99	116.3	98	109.2	60	101.2	20
88	1940	124.5	60	-	68	111.2	23	107	24	101.2	62

E 8 - FILTRARE DESCENDENTĂ v = 10 m/h, C₀ = 53 NTU

ANEXA 5

– Δx = 50 cm

DATA 29.07.2004

Ora începerii - 17⁴⁰

T_{apă} = 20⁰ C

Nr. crt.	Timp (min.)	ΔH (cm) P1	C (NTU) P1	ΔH (cm) P2	C (NTU) P2	ΔH (cm) P3	C (NTU) P3	ΔH (cm) P4	C (NTU) P4	ΔH (cm) P5	C (NTU) P5
1	5	71.5	60	64.9	68	62.3	51	-	50	50.8	42
2	10	70.8	60	65.8	51	63.8	53	-	43	53.8	38
3	15	71.3	60	66.8	50	65.3	46	-	43	57	37
4	20	71.6	58	65.7	46	63.2	44	-	42	52.3	36
5	25	71.7	58	65.5	47	62.8	43	-	37	51.7	35
6	30	72.2	55	66	42	63.4	38	-	35	52.4	32
7	40	71.7	55	67.3	47	65.7	46	-	39	56.2	35
8	50	71.7	55	65.8	43	63.3	40	-	36	52.4	32
9	60	72.3	55	67.4	40	65.6	37	-	33	55.8	31
10	70	72.4	54	65.7	41	62.8	37	-	34	51.7	28
11	80	71.2	54	64.3	40	61.4	37	-	33	50.3	27
12	90	71.2	54	64.6	40	62.2	37	-	32	51.5	28
13	100	72.2	54	66.1	40	63.8	37	-	33	53.4	27
14	110	71.2	54	64.7	41	62.5	37	-	33	52.4	27
15	120	71.2	55	64.2	41	61.4	37	-	33	50.8	28
16	130	71.6	55	63.9	42	60.9	40	-	33	49.8	28
17	140	71.6	53	64.2	42	61.5	40	-	33	50.6	27
18	150	71.7	54	64.3	42	61.5	40	-	34	50.8	28
19	160	71.7	53	64.7	40	62.1	37	-	33	51.9	26
20	170	71.7	53	63.8	40	61	37	-	32	50.3	26
21	180	71.5	52	64.6	41	62.3	40	-	34	52.5	30

22	190	71.6	52	64.8	59	62.4	58	-	45	52.5	36
23	200	71.7	51	66	63	63.9	83	-	63	54.7	35
24	220	71.9	50	67	60	65.3	76	-	62	56.8	32
25	240	71.9	48	66.2	41	64.3	40	-	35	55.4	32
26	260	71.8	55	65.6	56	64.4	59	-	46	53.7	40
27	280	71.5	60	64.8	44	62.6	42	-	35	53.5	30
28	300	71.6	55	65.5	63	63.6	57	-	41	55.1	34
29	330	71.6	55	63.2	42	60.8	42	-	31	51.1	32
30	360	72	55	59.7	38	59.7	36	-	28	49.6	22
31	390	71.5	52	61	38	61	43	-	30	52.4	22
32	420	71.6	52	60.9	94	60.9	87	-	63	51.4	26
33	450	72	50	64.1	44	64.4	48	-	36	55.2	28
34	480	71.5	48	62.1	35	62.1	33	-	25	53	22
35	510	71	62	62.1	44	59.4	42	-	33	49.2	28
36	540	71.1	53	61.8	48	58.9	50	-	39	48.7	76
37	570	71.7	56	61.4	28	58.1	36	-	36	47.8	24
38	600	70.4	56	58.7	27	55.6	34	-	36	44.9	22
39	630	72.8	53	59.7	36	56.1	34	-	26	45.9	20
40	660	73.8	52	59.3	35	55.4	35	-	25	46	20
41	690	71	49	57.8	53	54	59	-	30	43.2	33
42	720	71.7	54	55.1	44	50.1	42	-	33	38.5	27
43	750	71.1	50	54	33	49.7	36	-	26	38.8	18
44	780	72.5	53	54.7	36	50	35	-	28	39.2	19
45	810	71.9	52	55.3	43	50.6	45	-	41	39.4	21
46	840	71.8	50	52.8	35	47.8	34	-	28	36.2	19
47	870	72.1	52	54.5	34	50.1	33	-	26	39.8	17
48	900	72	49	51	33	45.6	33	-	25	34	17
49	930	71.4	50	48.6	34	42.7	35	-	27	30.6	18
50	960	71.3	53	53.6	45	48.6	49	-	47	37.8	22
51	990	71.3	48	52.3	35	47.7	33	-	25	37	20

52	1020	71.8	45	49.1	32	43.4	32	-	25	32	20
53	1050	71.6	45	47.2	35	41.2	33	-	27	28.8	19
54	1080	72.3	53	48.2	38	42.2	35	-	28	30.6	21
55	1110	72.3	45	45.6	33	39.2	33	-	29	27.3	19
56	1140	72.8	45	60.8	65	57	93	-	68	47	79

E 9 - FILTRARE DESCENDENTĂ $v = 5 \text{ m/h}$, $C_0 = 52 \text{ NTU}$

ANEXA 6

DATA 02.08.2004 - $\Delta x = 50 \text{ cm}$

Ora începerii - 9¹⁰

$T_{\text{apă}} = 20^{\circ} \text{ C}$

Nr. crt.	Timp (min.)	ΔH (cm) P1	C (NTU) P1	ΔH (cm) P2	C (NTU) P2	ΔH (cm) P3	C (NTU) P3	ΔH (cm) P4	C (NTU) P4	ΔH (cm) P5	C (NTU) P5
1	5	72.3	54	68.7	52	67.2	80	-	55	51.8	40
2	15	72.4	52	69.7	48	68.6	47	-	44	61.3	40
3	25	71.6	57	69.7	42	69	40	-	36	67.2	34
4	35	71.7	51	68.5	38	67.2	35	-	32	64	30
5	45	71.7	48	67.8	34	66.2	32	-	30	62.5	28
6	60	71.7	48	67.8	35	66.2	33	-	30	62.5	29
7	70	72.5	73	68.7	42	67.2	38	-	35	63.7	34
8	80	71.7	66	68.5	44	67.3	42	-	39	64.5	38
9	90	71.8	56	68.5	43	67.4	40	-	37	64.7	34
10	100	72.2	60	68.8	41	67.4	37	-	34	64.3	32
11	110	71.8	56	68.6	41	67.2	37	-	34	64.2	32
12	120	71.8	55	68.6	45	67.3	45	-	36	64.4	35
13	130	71.8	48	69.1	35	68.2	35	-	30	65.8	28
14	140	72.1	55	68.8	34	67.9	30	-	28	65.4	25
15	150	71.8	55	68.4	41	67.2	37	-	33	64.4	31
16	160	72.2	54	67.8	38	66.3	35	-	32	62.8	30
17	170	72.2	41	69	34	68.1	34	-	30	65.5	29
18	180	71.8	42	67.3	28	65.6	26	-	24	62.2	21
19	190	71.6	50	67.3	30	65.8	27	-	25	62.5	21
20	200	71.6	46	68.2	36	67	32	-	28	64.3	23
21	220	72.6	40	69.1	30	68.2	28	-	25	65.8	24

22	240	72.3	46	68.8	35	67.8	32	-	29	65.5	26
23	260	71.7	43	68.8	31	68	29	-	26	66	25
24	280	71.7	32	67.8	26	66.8	24	-	21	64.2	20
25	300	71.4	40	67.7	28	66.8	25	-	23	64.4	21
26	320	71.5	50	67.2	31	66.2	29	-	26	63.4	20
27	340	71.8	43	68.3	31	67.7	30	-	28	65.8	25
28	360	70.8	50	65	35	62.8	31	-	29	59	23
29	380	71.8	50	67.9	33	67.2	31	-	28	65.2	28
30	400	72.5	45	67	27	65.5	25	-	22	62.6	20
31	420	71.8	60	67.3	35	66.2	31	-	26	63.8	25
32	440	71.5	52	67.5	35	66.9	30	-	28	64.9	27
33	460	72.3	42	65.5	30	63.6	27	-	24	60.2	22
34	480	71.5	35	66	28	64.7	25	-	21	61.8	20
35	500	71.5	59	66.4	33	65.2	30	-	26	62.8	22
36	530	71.8	43	66.3	32	65.2	30	-	25	62.8	24
37	560	72.8	37	67	25	65.7	22	-	20	63.2	18
38	590	72.6	53	66	35	64.6	32	-	27	61.7	24
39	620	71.7	44	65.3	30	63.8	27	-	24	60.8	22
40	650	72.2	46	63.8	33	61.8	28	-	26	58.2	24
41	680	71.6	58	63.6	45	61.7	38	-	34	58.5	32
42	710	71.2	63	65	38	64.2	33	-	30	62.1	28
43	740	72	55	63.6	49	62	39	-	32	59.1	29
44	770	71.2	53	63.4	33	62	30	-	25	59.4	22
45	800	72.2	47	63	30	61.2	28	-	23	58.2	21
46	820	72.3	72	64.8	48	63.6	42	-	36	61.4	33
47	840	71.8	71	63.2	48	61.5	47	-	36	58.5	32
48	860	72.2	67	60.7	46	58.3	42	-	34	54.3	29
49	880	72.2	61	62.1	39	60.2	34	-	28	56.8	25
50	900	71.7	63	61.2	55	58.8	46	-	36	55.3	26
51	920	71.6	62	60.2	46	58.1	35	-	29	54.4	25

52	940	71.6	59	59.6	40	57.3	36	-	28	53.6	25
53	960	62.3	54	62.8	42	61.1	39	-	29	57.9	25
54	980	62.1	56	60.8	36	58.8	32	-	26	55.3	23
55	1000	61.8	55	59.6	35	57.1	33	-	26	53.3	25
56	1020	62.2	53	59.5	34	56.9	32	-	26	53.3	23
57	1040	71.1	52	55.6	37	52.6	32	-	24	47.8	22
58	1060	71.5	50	57.5	32	54.7	28	-	24	51	20
59	1080	72.4	46	59.4	32	56.9	26	-	22	53.4	18
60	1100	71.7	45	58.8	33	56.2	30	-	23	52.3	20

E 10 - FILTRARE ASCENDENTĂ $v = 10$ m/h, $C_0 = 55$ NTU

ANEXA 7

DATA 05.08.2004 - $\Delta x = 60$ cm

Ora începerii - 9⁰⁵

$T_{ap\grave{a}} = 20^0$ C

Nr. crt.	Timp (min.)	ΔH (cm) P1	C (NTU) P1	ΔH (cm) P2	C (NTU) P2	ΔH (cm) P3	C (NTU) P3	ΔH (cm) P4	C (NTU) P4	ΔH (cm) P5	C (NTU) P5	ΔH (cm) P1	C (NTU) P1
1	5	123.4	58	-	62	116.6	60	113.2	65	107.1	90	-	40
2	10	123.7	58	-	55	116.7	50	113.2	45	107.4	41	-	33
3	15	123.7	58	-	53	116.8	48	113.4	44	107.6	40	-	32
4	20	123.7	58	-	55	116.8	48	113.5	44	107.6	38	-	30
5	25	123.7	58	-	54	116.8	47	113.6	42	107.7	37	-	29
6	30	123.8	58	-	54	116.8	48	113.7	42	107.8	34	-	28
7	40	123.8	58	-	55	116.8	47	113.7	41	108	34	-	27
8	50	124.6	58	-	54	117.2	47	113.8	40	108.2	34	-	25
9	60	124.8	58	-	56	117.3	46	114.2	39	108.4	32	-	23
10	70	125.2	57	-	56	117.6	47	114.2	38	108.7	32	-	24
11	80	125.2	56	-	56	117.6	46	114.2	38	108.7	31	-	22
12	90	125.3	56	-	56	117.7	46	114.4	36	108.8	31	-	22
13	100	125.7	54	-	53	117.8	45	114.4	37	108.9	30	-	20
14	110	126.2	54	-	53	118.2	45	114.8	36	109.2	28	-	20
15	120	126.7	52	-	54	118.4	45	114.9	35	109.7	28	-	19
16	130	126.8	50	-	53	118.6	44	115.2	35	109.5	28	-	22
17	140	127.6	50	-	53	118.7	46	115.2	36	109.6	31	-	20
18	150	127.8	55	-	57	119	49	115.3	40	109.7	34	-	22
19	160	128.2	56	-	59	119	52	115.4	40	109.7	33	-	24
20	170	128.7	55	-	61	119.2	50	115.6	40	109.8	33	-	24

21	180	129.2	55	-	60	119.4	50	115.8	39	109.9	33	-	22
22	190	129.6	55	-	59	119.6	48	116.1	37	110	31	-	22
23	200	130.8	55	-	59	120.3	51	116.6	39	110.5	32	-	22
24	220	131.8	53	-	65	120.8	52	116.8	41	110.7	34	-	20
25	240	132.6	53	-	65	121.2	56	117.2	44	110.8	36	-	21
26	260	133.5	54	-	68	121.6	56	117.4	43	110.9	35	-	22
27	290	134.2	53	-	69	121.9	57	117.7	43	111.2	35	-	22
28	300	134.8	51	-	70	122.3	59	117.7	42	111.2	38	-	21
29	320	135.4	48	-	68	122.4	52	117.8	39	111.1	37	-	18
30	340	136.2	65	-	64	122.7	55	118.1	40	111.2	36	-	19
31	360	136.6	55	-	70	122.9	63	118.2	45	111.1	38	-	24
32	380	136.8	54	-	70	123.2	61	118.3	47	111.1	40	-	23
33	400	138.2	64	-	79	123.5	69	118.3	47	111.1	45	-	28
34	420	139.2	66	-	85	124.1	75	118.7	56	111.2	47	-	30
35	440	140.2	60	-	82	124.4	68	118.8	53	111.2	47	-	26
36	460	141	60	-	83	124.8	70	119	57	111.2	49	-	26
37	480	141.7	60	-	83	125.2	73	119.2	55	111.2	47	-	24
38	500	142.6	60	-	85	125.7	65	119.3	46	111.2	44	-	25
39	520	143.8	57	-	80	126.1	66	119.7	52	111.2	45	-	22
40	540	144.6	55	-	80	126.4	66	119.8	49	111.2	45	-	22
41	560	145.3	54	-	80	126.7	68	120.1	52	111.1	47	-	22
42	580	146.1	50	-	74	127.2	69	120.2	52	111.2	47	-	24
43	600	147	52	-	78	127.4	69	120.3	49	111.1	47	-	22
44	620	147.6	62	-	82	127.6	67	120.3	50	111.1	52	-	27
45	640	148.3	58	-	84	128.1	78	120.5	61	111.1	52	-	27
46	660	149.4	56	-	85	128.4	74	120.8	54	111.1	51	-	26
47	680	149	54	-	85	128.8	75	121.1	47	111.2	52	-	24
48	700	149	53	-	89	129.4	75	121.3	46	111.1	49	-	24
49	720	149	48	-	82	129.6	73	121.5	53	111.2	46	-	22
50	740	149	73	-	82	129.9	80	121.5	70	111.2	56	-	31

51	760	149	70	-	82	130	78	121.5	62	111.2	55	-	28
52	780	149	72	-	84	130.3	80	121.5	65	111.2	55	-	27
53	800	149	69	-	87	130.9	79	121.8	68	111.2	59	-	28
54	820	149	68	-	85	131.3	86	122.1	73	111.1	63	-	26
55	840	149	70	-	90	131.6	90	122.4	79	111.2	63	-	26
56	860	149	65	-	88	135	89	126	78	111.1	61	-	23
57	880	149	66	-	93	133	91	122.8	78	111.2	58	-	26
58	900	149	63	-	89	133.6	92	122.9	70	111.1	52	-	22
59	920	149	64	-	99	134.4	91	123.5	89	111.1	71	-	25
60	940	149	56	-	94	134.7	93	123.7	83	111.1	64	-	24
61	960	149	58	-	96	135.3	95	124.2	83	111.2	72	-	26
62	980	149	56	-	96	135.5	94	124.4	75	111.1	65	-	22
63	1000	149	53	-	95	136.4	91	124.8	73	111.2	62	-	22
64	1020	149	72	-	65	136.9	80	125.1	86	111.2	80	-	30
65	1040	149	83	-	42	138	58	125.6	82	111.2	85	-	36
66	1060	149	84	-	38	139	57	126.2	81	111.2	87	-	34
67	1080	149	86	-	80	139.7	55	126.9	62	111.2	93	-	34
68	1100	149	80	-	43	140.5	10	127.9	41	111.2	70	-	43-96

E 11 - FILTRARE ASCENDENTĂ v = 15 m/h, C₀ = 55 NTU

ANEXA 8

DATA 06.08.2004 -- Δx = 60 cm

Ora începerii - 6⁰⁰

T_{apă} = 20^o C

Nr. crt.	Timp (min.)	ΔH (cm) P1	C (NTU) P1	ΔH (cm) P2	C (NTU) P2	ΔH (cm) P3	C (NTU) P3	ΔH (cm) P4	C (NTU) P4	ΔH (cm) P5	C (NTU) P5	ΔH (cm) P1	C (NTU) P1
1	5	131.9	67	-	73	116.7	65	112.8	63	104.5	63	-	51
2	10	131.5	67	-	64	121.3	64	115.9	58	106.6	53	-	49
3	15	131.5	69	-	64	121.3	64	115.9	57	106.7	53	-	48
4	20	130.9	69	-	66	121	63	115.6	58	106.7	53	-	48
5	25	131	69	-	64	120.9	59	115.6	54	106.7	49	-	46
6	30	130.8	66	-	63	120.5	61	115.4	54	106.7	48	-	44
7	40	130.4	66	-	63	120.3	62	115.2	56	106.7	49	-	43
8	50	130.5	64	-	65	120.4	61	115.1	54	106.6	49	-	42
9	60	130.8	66	-	67	120.4	64	115.4	55	106.7	49	-	42
10	70	130.8	64	-	61	120.4	60	115.4	53	106.7	47	-	41
11	80	131.5	62	-	64	120.2	62	115.5	53	106.7	47	-	37
12	90	131.2	59	-	62	120.6	56	115.2	52	106.7	46	-	39
13	100	131.5	63	-	61	120.5	55	115.1	49	106.7	43	-	36
14	110	131.6	56	-	61	120.4	58	115.1	50	106.8	44	-	35
15	120	132.1	56	-	55	120.7	50	115.2	47	106.9	43	-	33
16	130	132.2	53	-	57	120.8	57	115.2	48	106.7	44	-	33
17	140	132.8	53	-	56	120.9	56	115.4	48	106.8	41	-	32
18	150	132.8	53	-	57	121.1	53	115.4	48	106.9	42	-	33
19	160	133.3	53	-	53	121.2	53	115.6	46	107	42	-	33
20	170	133.6	50	-	55	121.3	53	115.7	46	107.2	40	-	34

21	180	134.2	56	-	60	121.5	52	115.8	46	107	42	-	37
22	190	134.6	56	-	56	121.7	56	115.9	48	107.1	44	-	31
23	200	135.2	53	-	53	121.9	50	116.2	43	107.2	38	-	33
24	220	136.2	56	-	60	122.3	52	116.3	48	107.2	46	-	34
25	240	137.2	52	-	60	122.8	52	116.6	42	107.3	39	-	28
26	260	138.2	55	-	62	123.2	56	116.8	44	107.4	42	-	33
27	290	139.2	58	-	65	123.7	57	117.2	49	107.4	44	-	33
28	300	140.7	56	-	66	124.4	57	117.5	45	107.6	39	-	30
29	320	141.5	54	-	67	124.6	58	117.8	48	107.6	43	-	29
30	340	143.1	50	-	65	125.1	61	118.1	45	107.7	41	-	27
31	360	144.6	62	-	71	125.8	65	118.4	52	107.8	46	-	34
32	380	146.2	58	-	72	126.4	64	118.4	52	107.9	46	-	33
33	400	147.2	53	-	72	127.5	65	119.2	51	108	45	-	30
34	420	147.8	60	-	77	127.6	65	119.5	54	108.1	48	-	33
35	440	149.2	60	-	80	128.8	65	120	53	108.3	47	-	33
36	460	-	55	-	84	129.2	67	120.6	50	108.3	48	-	30
37	480	-	55	-	77	129.6	72	120.7	56	108.3	47	-	28
38	500	-	54	-	77	130	70	121.2	58	108.4	48	-	31-95
39	520	148.3	58	-	97	130.2	85	121.1	73	108.2	63	-	33
40	540	150	53	-	76	130.7	70	121.4	57	108.3	50	-	32
41	560	151	54	-	70	131.2	63	121.7	50	108.4	45	-	31
42	580	-	52	-	73	131.8	60	122.2	52	108.5	43	-	29
43	600	-	56	-	75	131.8	64	122.2	51	108.5	42	-	32
44	620	-	53	-	74	132.7	67	122.3	53	108.5	44	-	28
45	640	-	53	-	75	133.1	60	122.8	47	108.5	40	-	28
46	660	-	65	-	82	133.3	76	122.8	60	108.6	50	-	32
47	680	-	57	-	85	133.8	77	123.1	56	108.6	47	-	30
48	700	-	60	-	85	134.8	77	123.5	60	108.8	52	-	30

E 12 - FILTRARE ASCENDENTĂ v = 5 m/h și C₀ = 59 NTU

ANEXA 9

DATA 09.08.2004 -- Δx = 60 cm

Ora începerii - 9²⁰

T_{apă} = 20⁰ C

Nr. crt.	Timp (min.)	ΔH (cm) P1	C (NTU) P1	ΔH (cm) P2	C (NTU) P2	ΔH (cm) P3	C (NTU) P3	ΔH (cm) P4	C (NTU) P4	ΔH (cm) P5	C (NTU) P5	ΔH (cm) P1	C (NTU) P1
1	5	110.1	53	-	63	107.1	76	105.3	73	103	78	-	36
2	10	109.7	51	-	50	106.7	45	105.3	42	102.9	38	-	37
3	15	110.8	51	-	46	107.6	47	105.8	37	103.1	38	-	36
4	20	110.8	54	-	48	107.5	41	105.8	38	103.1	38	-	34
5	25	110.8	52	-	49	107.5	43	105.8	39	103.1	36	-	33
6	30	109.7	55	-	45	106.8	41	105.2	37	102.8	33	-	34
7	40	111.3	60	-	53	107.7	47	105.9	44	103.1	41	-	33
8	50	111.4	56	-	51	107.7	44	105.9	40	103.2	37	-	36
9	60	110.7	58	-	51	107.2	42	105.6	39	103.1	35	-	33
10	70	111.2	55	-	52	107.6	46	105.8	41	103.1	36	-	33
11	80	110.7	55	-	51	107.2	43	105.6	39	102.9	34	-	32
12	90	111.3	55	-	49	108	45	105.8	40	103	34	-	32
13	100	111.3	55	-	49	107.4	43	105.7	38	102.9	34	-	31
14	110	111.4	54	-	48	107.3	41	105.7	36	102.9	32	-	30
15	120	111.5	54	-	48	107.3	39	105.6	35	102.9	32	-	29
16	130	111.5	54	-	46	107.2	39	105.6	34	102.8	31	-	28
17	140	111.6	53	-	46	107.2	38	105.5	34	102.7	31	-	28
18	150	112	51	-	46	107.3	36	105.6	33	102.8	30	-	28
19	160	112	50	-	45	107.3	35	105.6	31	102.8	29	-	26
20	170	112.3	56	-	48	107.5	39	105.6	36	102.9	34	-	27

21	180	112.3	56	-	53	107.5	41	105.6	36	102.8	33	-	32
22	190	112.4	56	-	54	107.5	41	105.6	36	102.8	33	-	31
23	200	112.4	56	-	54	107.5	42	105.5	36	102.8	34	-	32
24	220	112.3	58	-	56	106.9	43	105.3	36	102.7	32	-	30
25	240	112.7	58	-	56	107.6	43	105.3	36	102.7	32	-	29
26	260	113.4	56	-	58	107.5	42	105.5	34	102.8	31	-	28
27	280	113.2	56	-	56	107.2	42	105.4	33	102.7	29	-	27
28	300	113.4	53	-	56	107.3	42	105.3	33	102.7	28	-	27
29	320	113.5	51	-	56	106.4	36	105.5	30	102.7	26	-	24
30	340	112.3	56	-	59	106.6	41	104.7	34	102.6	30	-	26
31	360	114.7	53	-	58	107.7	41	105.6	32	102.7	28	-	26
32	380	115.3	53	-	63	107.9	45	105.7	36	102.7	28	-	26
33	400	115.5	57	-	56	108.1	42	105.8	33	102.8	28	-	25
34	420	115.4	56	-	59	107.9	43	105.8	34	102.7	30	-	27
35	440	116.2	52	-	59	108.3	42	106.2	33	102.8	28	-	25
36	460	117.1	56	-	60	108.7	67	106.2	53	102.9	30	-	29
37	480	115.3	56	-	61	108.1	68	106.1	62	102.8	35	-	30
38	500	115.6	54	-	60	108.1	57	106.2	54	102.7	33	-	28
39	530	115.8	65	-	63	108.1	54	106.1	49	102.7	33	-	27
40	560	117.1	56	-	72	108.2	52	106.2	45	102.8	33	-	27
41	590	117.4	55	-	72	108.2	47	106.2	38	102.8	30	-	26
42	620	118.2	55	-	72	108.3	50	106.3	37	102.8	30	-	26
43	650	118.9	48	-	75	108.7	48	106.6	35	102.9	27	-	23
44	680	120.7	52	-	77	109.2	53	106.8	37	103	29	-	25
45	710	119.2	45	-	77	108.7	50	106.4	32	102.9	24	-	20
46	740	121.6	61	-	74	109.3	50	106.8	36	103	29	-	20
47	770	122.9	63	-	84	109.5	55	106.9	40	103	29	-	26
48	800	123.3	63	-	84	109.8	63	107	44	103	29	-	24
49	830	125	57	-	87	110.8	72	107.3	48	103.1	29	-	23
50	860	124.4	56	-	80	110.8	61	107.4	44	103.1	30	-	23

51	890	124.5	53	-	82	110.2	60	107.3	40	103.1	28	-	21
52	920	126.4	54	-	78	110.8	56	107.6	39	103.2	25	-	20
53	950	126.4	51	-	78	110.9	57	107.7	40	103.2	26	-	20
54	980	126.5	51	-	80	110.9	56	107.8	39	103.2	27	-	20
55	1010	127.3	48	-	64	111.1	45	107.8	33	103.2	25	-	19
56	1030	128.5	63	-	83	111.4	63	107.9	46	103.2	30	-	20
57	1050	128.6	66	-	82	111.2	66	107.8	49	103.2	29	-	23
58	1070	129.4	63	-	85	111.7	70	108.1	50	103.2	30	-	21
59	1090	129.1	60	-	76	111.4	54	108.1	40	103.2	29	-	20
60	1110	129.4	62	-	84	111.7	62	108	56	103.3	30	-	20
61	1130	129.1	61	-	73	111.7	54	108	43	103.3	29	-	20
62	1150	130.4	58	-	88	112.1	66	108.1	49	103.3	29	-	20
63	1170	130.5	56	-	88	112.3	75	108.3	56	103.4	32	-	19
64	1190	131.4	53	-	88	112.5	78	108.4	54	103.5	32	-	19
65	1210	131.4	54	-	92	112.5	88	108.4	88	103.5	88	-	24
66	1230	126.6	54	-	78	112.1	72	108.6	65	103.4	55	-	22
67	1250	127.6	52	-	76	112	61	108.4	49	103.4	42	-	20
68	1270	129.2	51	-	74	112.6	56	108.8	43	103.5	33	-	19
69	1290	129.2	47	-	74	112.7	55	108.7	39	103.6	31	-	18
70	1310	130.8	54	-	76	112.8	76	108.9	90	103.6	86	-	19
71	1330	126.8	52	-	88	112.4	85	108.5	71	103.4	61	-	19
72	1350	129.4	47	-	82	112.9	67	109	53	103.6	43	-	18
73	1370	129.5	56	-	80	112.9	66	109	60	103.6	39	-	20
74	1390	129.7	51	-	89	112.7	66	108.8	50	103.5	33	-	19
75	1410	134.2	63	-	87	114.2	65	109.7	48	103.7	34	-	20
76	1430	132.5	56	-	89	113.7	68	109.5	42	103.7	28	-	17
77	1450	132.8	56	-	88	113.6	72	109.4	45	103.5	31	-	17
78	1470	134.1	50	-	88	114.1	66	109.6	42	103.6	26	-	15
79	1490	134.1	57	-	90	114.6	73	109.6	45	103.6	30	-	17
80	1510	134.8	56	-	88	114.6	82	109.7	56	103.6	44	-	18

81	1530	134.8	57	-	87	114.9	80	110	55	103.7	32	-	17
82	1550	133.4	53	-	86	114.7	74	109.7	57	103.6	32	-	17
83	1570	133.7	56	-	86	114.4	78	109.7	52	103.6	32	-	18
84	1590	133.7	56	-	88	114.7	72	109.7	72	103.6	36	-	17
85	1610	135.7	56	-	88	115.7	89	110.4	60	103.8	34	-	17
86	1630	136.7	53	-	90	116.2	81	110.5	72	103.8	33	-	16
87	1650	136.2	54	-	87	116.5	81	110.8	74	103.8	42	-	17
88	1670	136.2	53	-	89	116.7	80	110.9	65	103.9	36	-	17
89	1690	136.2	55	-	88	116.2	72	111.6	55	103.8	34	-	18
90	1710	138.8	60	-	85	116.9	77	111	52	103.8	34	-	18
91	1730	138	58	-	88	116.8	73	111	58	103.8	35	-	18
92	1750	138.2	58	-	58	117.4	87	111.2	70	103.9	35	-	17
93	1770	140.2	54	-	60	117.8	88	111.5	85	104	42	-	18
94	1790	138.8	54	-	70	117.7	90	111.4	70	104	36	-	18
95	1810	138.3	56	-	88	117.7	89	111.5	65	104	37	-	17
96	1830	140.3	57	-	79	118.5	88	112.2	75	104.2	41	-	18
97	1850	139.8	51	-	87	118.6	88	112	70	104.2	40	-	16
98	1870	140	58	-	86	118.9	89	112.2	72	104.2	38	-	17
99	1890	141.6	56	-	88	119.4	88	112.4	80	104.3	43	-	17
100	1910	140.7	53	-	89	119.5	90	112.6	70	104.3	41	-	17
101	1930	140.7	60	-	88	119.6	90	112.8	84	104.3	46	-	18
102	1950	141.2	56	-	88	119.8	93	112.7	82	104.3	48	-	20
103	1970	142	60	-	86	120	89	113	73	104.4	41	-	17
104	1990	142.2	54	-	88	120.2	91	113.2	65	104.4	42	-	17
105	2010	141.7	51	-	90	120.3	92	112.9	72	104.4	40	-	16
106	2030	135	52	-	90	114.1	92	108.1	72	103.3	40	-	16

IMAGINI DIN TIMPUL EXPERIMENTULUI

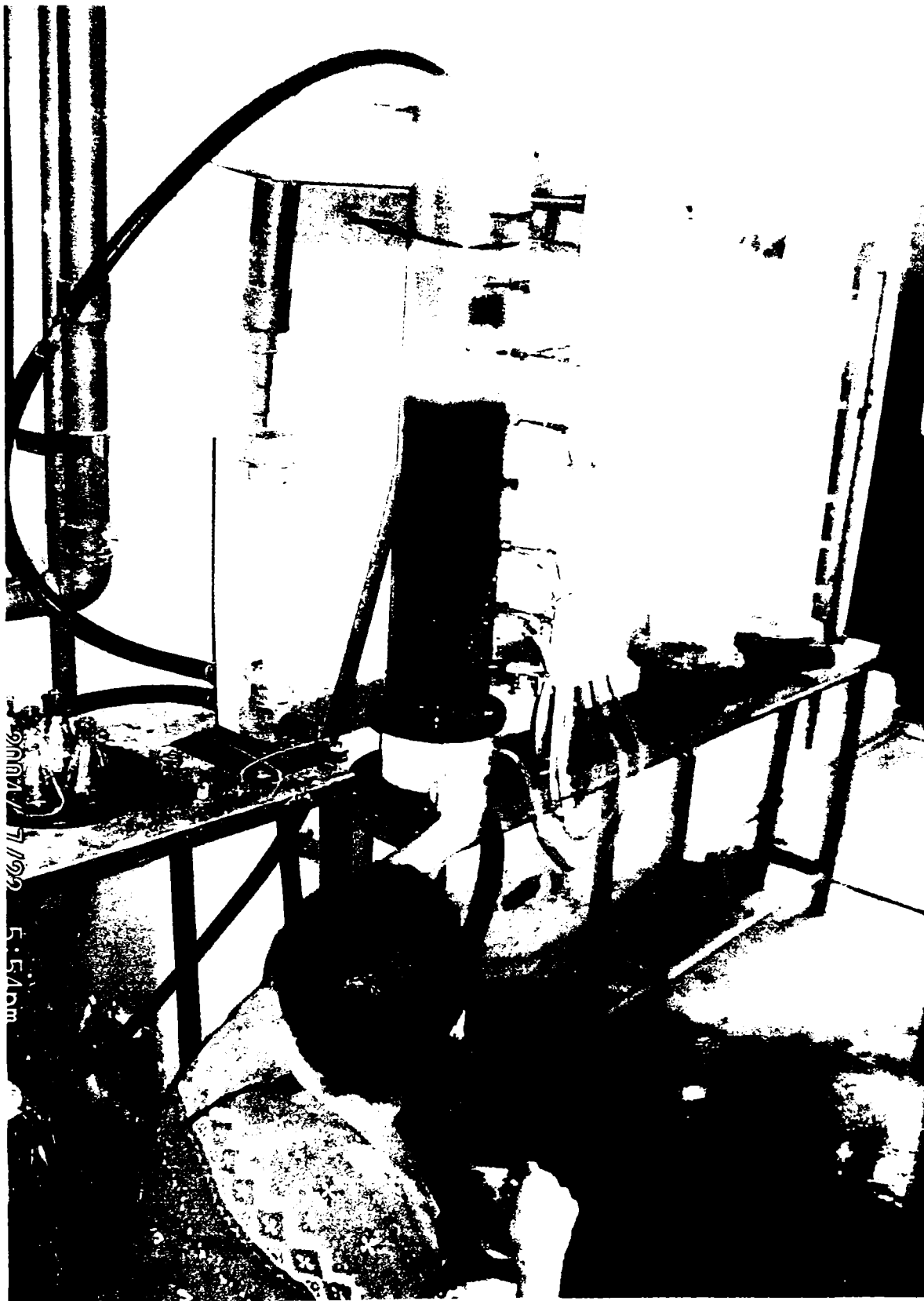


Foto 1 Filtrare descendentă prin straturi multiple omogene



Foto 2 Filtrare ascendentă prin straturi multiple omogene

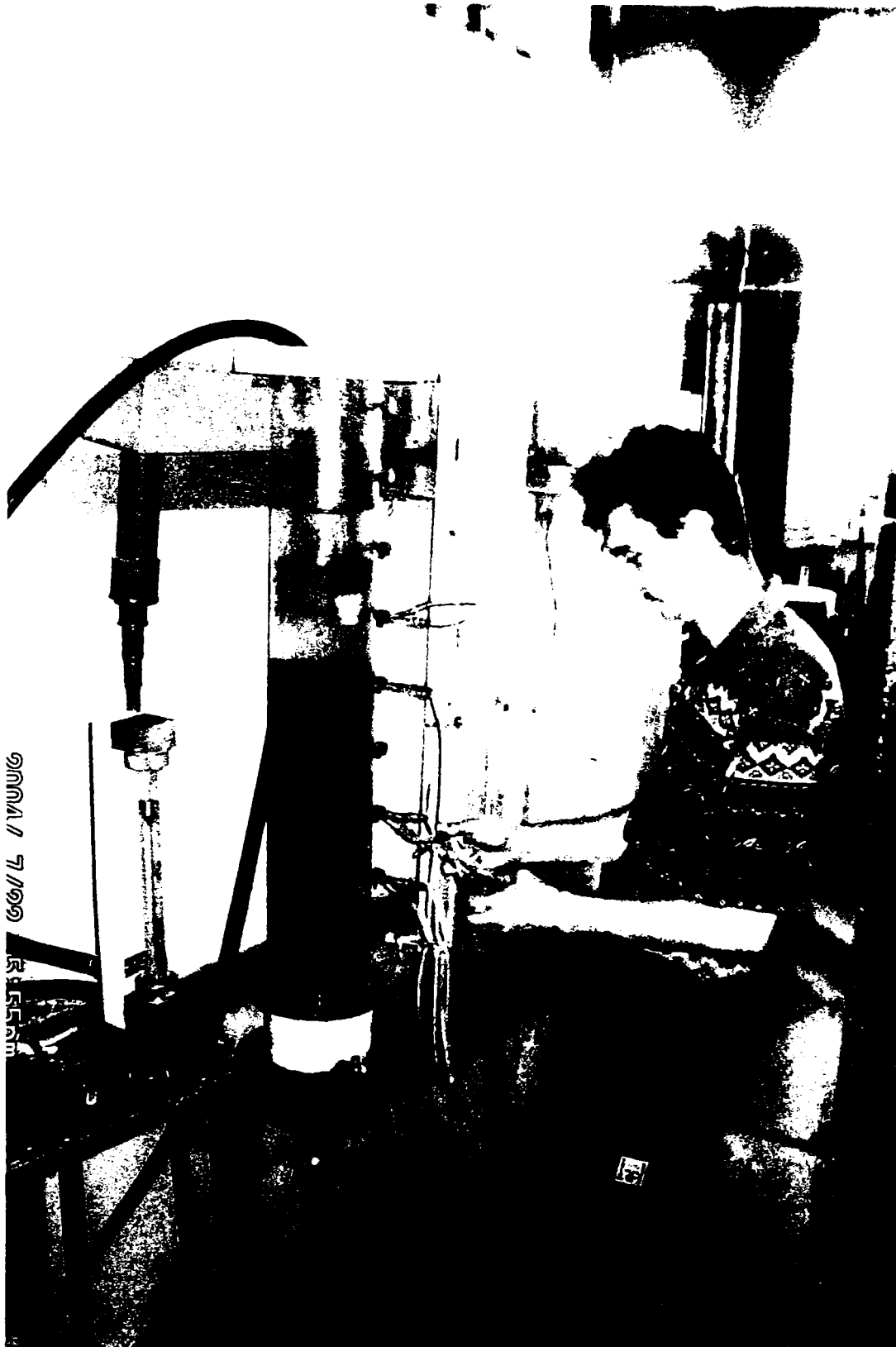


Foto 3 Luare probe



Foto 4 Măsurarea pierderilor de sarcină

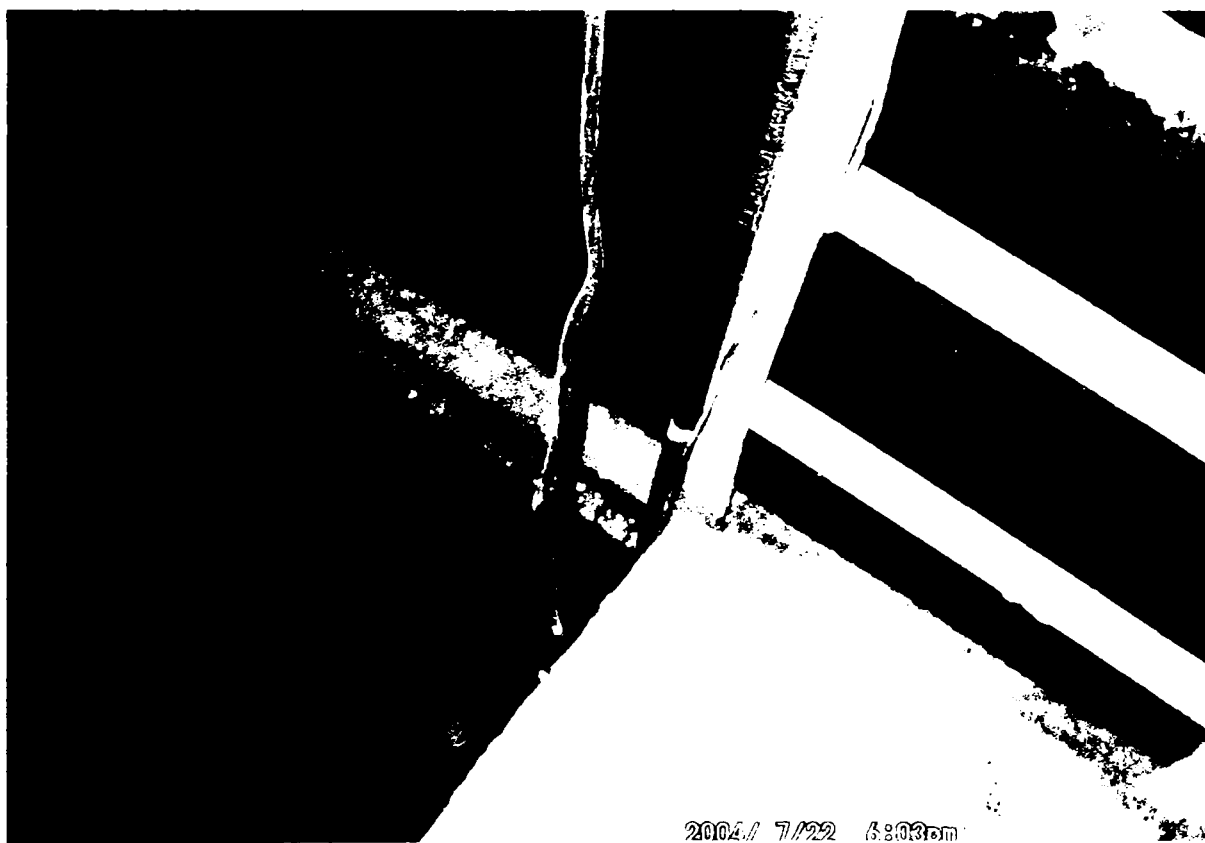


Foto 5 Bazin de aspirație



Foto 6 Spălare filtru