

UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI
Facultatea de Ingineria Sistemelor Biotehnice
Departamentul de Sisteme Biotehnice



Ing. Bianca-Ștefania DRĂGOIU (ZĂBAVĂ)

Rezumatul tezei de doctorat

Summary of PhD Thesis

**CERCETĂRI PRIVIND PROCESUL DE DECANTARE ȘI
EPURARE MECANICĂ A APELOR UZATE**

***RESEARCHES ON THE SETTLING PROCESS AND
MECHANICAL WASTEWATER TREATMENT***

Conducător științific:

Prof. Dr. Ing. Gheorghe VOICU

București (2020)

CUPRINS

Cuvânt înainte	8	5
Listă de simboluri, abrevieri și notații	11	7
Capitolul 1. Introducere. Importanța depoluării și purificării apelor uzate.		
Obiectivele tezei de doctorat	15	8
1.1. Introducere	15	8
1.2. Importanța depoluării și purificării apelor uzate	17	8
1.3. Obiectivele tezei de doctorat	19	8
Capitolul 2. Sisteme tehnice de depoluare a apelor uzate	20	8
2.1. Caracteristicile apelor uzate și ale componentelor acestora	23	8
2.2. Reglementări actuale din domeniul epurării apelor uzate	27	9
2.3. Metode de epurare a apelor uzate	28	9
2.4. Factorii de influență în separarea lichid-solid în decantor	34	9
2.4.1. Factori referitori la componenta solidă	34	9
2.4.2. Factori referitori la faza lichidă a amestecului	37	10
2.4.3. Factori referitori la parametrii constructivi ai decantoarelor	38	10
2.5. Utilizarea coagulanților în procesul de decantare	40	10
2.6. Concluzii	42	10
Capitolul 3. Tendințe în ceea ce privește construcția decantoarelor	44	11
3.1. Procesul de sedimentare a impurităților solide din apele uzate	45	11
3.2. Construcția bazinelor de decantare (sedimentare)	47	11
3.3. Soluții constructive de decantare	49	11
3.4. Concluzii privind procesul și construcția decantoarelor	56	12
Capitolul 4. Stadiul actual al cercetărilor privind procesul de decantare a apelor uzate	58	12
4.1. Principiul de bază al procesului de decantare a sedimentelor din apele uzate ..	58	12
4.2. Modelul bazinului de sedimentare ideal	61	12
4.3. Bilanțul de materiale la operația de decantare	63	12
4.4. Sinteza cercetărilor pe plan mondial privind procesul de purificare a apelor uzate prin decantare	65	13
4.4.1. Modele matematice propuse pentru procesul de purificare a apelor uzate prin decantare	65	13
4.4.2. Stadiul actual al cercetărilor experimentale privind procesul de epurare a apelor uzate prin decantare	71	13
4.5. Concluzii privind sinteza cercetărilor asupra procesului de decantare	82	14
Capitolul 5. Aspecte și contribuții teoretice privind procesul de purificare a apelor uzate prin decantare	84	15
5.1. Elemente generale	84	15
5.2. Algoritm și program de calcul pentru determinarea poziției punctului critic al curbei de limpezire la sedimentarea în coloană staționară a particulelor solide.....	85	15
5.3. Modelarea matematică a procesului de sedimentare a apelor uzate, prin analiza dimensională, utilizând teorema II	91	17
5.4. Simularea numerică CFD a procesului de decantare	98	19
5.5. Concluzii	117	22

Capitolul 6. Cercetări experimentale privind procesul de epurare a apelor uzate prin decantare	119	23
6.1. Obiectivele cercetărilor experimentale	119	23
6.2. Aparatură și echipamente utilizate în cercetările experimentale	119	23
6.3. Cercetări experimentale în laborator privind procesul de decantare	126	24
6.3.1. Cercetări privind influența concentrației particulelor solide în amestecul lichid-solid	126	24
6.3.2. Determinarea turbidității amestecului lichid-solid pe înălțimea coloanei de decantare, cu ajutorul probelor etalon	131	28
6.3.3. Cercetări privind influența dimensiunii particulelor și a concentrației suspensiei apoase folosind spectrofotometrul UV-VIS	142	32
6.3.4. Determinarea curbei de clarificare a unei suspensii apoase de particule solide, folosind sistemul inteligent Raspberry Pi	151	37
6.3.5. Determinarea vitezei de sedimentare în cazul a trei tipuri de amestecuri lichid-solid	156	40
6.3.6. Cercetări experimentale privind influența coagulanților asupra procesului de decantare	160	42
6.4. Cercetări in-situ privind epurarea apei uzate orășenești	163	44
6.4.1. Determinări experimentale privind eficiența unui decantor radial pentru ape uzate orășenești	163	44
6.4.2. Determinări experimentale privind îndepărtarea prin sitare (cernere) a deșeurilor solide din apele uzate orășenești	167	45
6.4.3. Determinarea cantității de deșeuri reținute de instalațiile de sitare și a conținutului total de materii în suspensie	174	49
6.5. Concluzii	178	51
Capitolul 7. Concluzii finale. Contribuții personale. Recomandări și perspective viitoare de cercetare	181	51
7.1. Concluzii generale privind aspectele teoretice și experimentale	181	51
7.2. Contribuții personale	183	51
7.3. Recomandări și perspective viitoare de cercetare	184	52
Bibliografie selectivă	186	53
Anexe	196	

CUVÂNT ÎNAINTE

Lucrarea este structurată în 7 capitole, dezvoltate în 218 pagini, conține 150 figuri și grafice, 138 relații matematice, 37 tabele, precum și o bibliografie alcătuită din 226 referințe. De asemenea, lucrarea cuprinde și o listă de notații (4 pagini), iar la final sunt prezentate o serie de anexe (17 pagini) ce prezintă materiale și date referitoare la studiile și cercetările realizate.

Obiectivul general al tezei de doctorat l-a constituit realizarea unor cercetări teoretice și experimentale privind procesul de epurare mecanică a apelor uzate prin operația de decantare/ sedimentare și identificarea principalelor variabile implicate în acest proces.

Teza de doctorat **“Cercetări privind procesul de decantare și epurare mecanică a apelor uzate”** prezintă o sinteză a cercetărilor experimentale efectuate de autoare cu privire la procesul de decantare și epurare mecanică a apelor uzate, respectiv simularea CFD a procesului de decantare în vederea optimizării.

În **capitolul 1**, intitulat *“Introducere. Importanța depoluării și purificării apelor uzate. Obiectivele tezei de doctorat”* sunt prezentate câteva aspecte privind importanța și obiectivele specifice prin care se poate atinge obiectivul principal, abordate atât din punct de vedere teoretic, cât și experimental.

În **capitolul 2**, *“Sisteme tehnice de depoluare a apelor uzate”* sunt prezentate foarte succint caracteristicile apelor uzate, reglementările actuale în domeniul epurării apelor uzate și metodele principale utilizate în procesul de epurare. De asemenea, sunt prezentați factorii de influență în separarea lichid-solid în decantor, dar și modul cum influențează utilizarea coagulanților procesul de decantare.

În **capitolul 3**, *“Tendințe în ceea ce privește construcția decantoarelor”* sunt prezentate noțiuni teoretice privind procesul de sedimentare a impurităților solide din apele uzate, dar și construcția principalelor tipuri de decantoare. Sunt trecute în revistă mai multe variante constructive de echipamente folosite în procesul de decantare a apelor uzate, precum decantoare longitudinale, radiale, verticale și lamelare.

Capitolul 4, *“Stadiul actual al cercetărilor privind procesul de decantare a apelor uzate”* prezintă principiul de bază al procesului de decantare a sedimentelor din apele uzate, modelul ideal de decantor, dar și bilanțul de materiale la operația de decantare. Sunt prezentate și rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale, efectuate pe plan mondial, referitoare la influența diversilor factori asupra eficienței procesului de decantare (concentrația de particule solide, factorii constructivi și temperatura), dar și modele matematice propuse pentru studiul procesului de purificare a apelor uzate prin decantare, desprinse din studiile teoretice și experimentale ale diversilor cercetători. În încheierea capitolului sunt prezentate unele concluzii referitoare la importanța procesului de decantare și recomandările specialiștilor privind procesul de purificare prin decantare, pe baza influenței factorilor de proces desprinși din studiile de specialitate.

În **capitolul 5**, *“Aspecte și contribuții teoretice privind procesul de purificare a apelor uzate prin decantare”* sunt prezentate: un algoritm și program de calcul pentru determinarea poziției punctului critic al curbei de limpezire la sedimentarea în coloană staționară; modelarea matematică a procesului de sedimentare a apelor uzate, prin analiza

dimensională, utilizând teorema II în vederea predicției vitezei de sedimentare a particulelor solide din apele uzate, luând în studiu un număr de 7 parametri principali care influențează procesul; simularea numerică CFD a procesului de decantare pe două variante constructive de decantoare radiale, în scopul optimizării procesului, prin analiza curgerii 2D, având scopul de a studia curgerea amestecului lichid-solid în interiorul unui decantor radial, în zona de alimentare, folosind programul Ansys Fluent. Au fost realizate două simulări în condiții identice: una pentru un decantor cu conductă de alimentare de diametru constant de 1 m pe toată înălțimea și alta pentru un decantor cu conductă de alimentare sub forma unei pâlnii, cu diametru de 1 m până la 3,5 m înălțime, după care aceasta se evazează și ajunge la diametru de 2 m la evacuarea apei în decantor. În încheierea capitolului sunt prezentate unele concluzii sintetice rezultate din studiile teoretice efectuate.

Capitolul 6, “*Cercetări experimentale privind procesul de epurare a apelor uzate prin decantare*”, cuprinde rezultatele cercetărilor experimentale proprii, realizate atât în laboratoarele din cadrul Facultății de Ingineria Sistemelor Biotehnice, UPB, cât și in-situ, în cadrul a două stații de epurare a apelor uzate orășenești amplasate în zone diferite din țară. Cercetările realizate în laborator au avut ca scop: determinarea influenței concentrației particulelor solide, în cazul a trei tipuri de amestec lichid–solid, asupra vitezei de decantare; calculul vitezei de sedimentare a acestor amestecuri lichid-solid, pe baza legii lui Stokes, determinând anterior experimental densitatea particulelor, densitatea și vâscozitatea suspensiei; determinarea turbidității amestecului lichid-solid pe înălțimea coloanei de decantare, cu ajutorul unor probe etalon de concentrații cunoscute, pentru concentrații diferite ale amestecului lichid-solid; determinarea influenței dimensiunii și concentrației particulelor solide asupra procesului de decantare pentru trei tipuri de amestec lichid-solid folosind spectrofotometrul UV-VIS, prin determinarea variației absorbanței în timp; determinarea curbei de clarificare a unei suspensii apoase de particule solide, folosind sistemul inteligent Raspberry Pi, prin determinarea turbidității cu ajutorul senzorului de turbiditate VL53L0X, dar și a vitezei de decantare prin metoda procesării imaginilor interfeței dintre zona limpezită și zona generală de suspensie; determinarea influenței coagulanților asupra procesului de decantare. Cercetările experimentale realizate in-situ în cadrul a două stații de epurare a apelor uzate orășenești au constat în determinarea eficienței unui decantor primar radial pe baza concentrației de particule solide la intrarea și ieșirea apei din decantor, precum și în determinări experimentale privind îndepărtarea deșeurilor grosiere din apele uzate prin metode mecanice și valorificarea sub formă de brichete a acestora la una dintre stații. Cercetările in-situ au continuat cu determinări privind cantitatea de impurități grosiere generate în perioade diferite ale anului și conținutul total de materii în suspensie a influentului și efluentului, pentru aceleași perioade din an la cea de-a doua stație. În cadrul acestui capitol a fost prezentată aparatura, echipamentele de lucru și unele standuri utilizate pentru cercetările experimentale. În finalul capitolului sunt prezentate concluzii sintetice privind determinările experimentale realizate asupra procesului de decantare a amestecurilor lichid-solid și epurare mecanică a apelor uzate.

Capitolul 7, “*Concluzii finale. Contribuții personale. Perspective viitoare de cercetare*” prezintă concluziile generale care reies din studiile teoretice și cercetările experimentale realizate cu privire la procesul de decantare și epurare mecanică a apelor uzate.

De asemenea, sunt prezentate contribuțiile personale ale autoarei cu privire la fenomenele studiate și la cercetările experimentale realizate în cadrul tezei de doctorat. Sunt prezentate noi direcții de cercetare, care pot fi subiecte de studii teoretice și cercetări experimentale abordate în viitor de alți cercetători.

Autoarea consideră că prezenta teză de doctorat reprezintă o minimă contribuție la clarificarea unor aspecte legate de procesul de decantare și epurare mecanică a apelor uzate, aceasta putând fi aprofundată în cadrul unor cercetări ulterioare.

LISTĂ DE SIMBOLURI, ABREVIERI ȘI NOTAȚII

Capitolul 2 – Sisteme tehnice de depoluare a apelor uzate

l_e	locuitori echivalenți
d_{ech}	diametrul echivalent al particulei (m)
V	volumul sferei (m^3)

Capitolul 3 – Tendințe în ceea ce privește construcția decantoarelor

Q	debitul de apă (m^3/s)
B	lățimea decantorului (m)
L	lungimea decantorului (m)

Capitolul 4 – Stadiul actual al cercetărilor privind procesul de decantare a apelor uzate

G	greutatea particulelor (N)
v_p	viteza de sedimentare a particulei (m/s)
ρ_l	densitatea fluidului (kg/m^3)
ρ_p	densitatea particulei solide (kg/m^3)
φ_l	factor de sfericitate al particulei (-)

Capitolul 5 – Aspecte și contribuții teoretice privind procesul de purificare a apelor uzate prin decantare

DI	matricea care conține datele experimentale
C	înălțimea punctului critic al sedimentării (m)
L, M, T	mărimile fundamentale lungime, masă, timp
CFD	dinamica computațională a fluidului

Capitolul 6 – Cercetări experimentale privind procesul de epurare a apelor uzate prin decantare

E	eficiența de separare (%)
MTS	conținutul total de materie în suspensie (mg/L)
R^2	factor de corelație (-)

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE. IMPORTANȚA DEPOLUĂRII ȘI PURIFICĂRII APELOR UZATE. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

1.1. Introducere

Disponibilitatea unei surse de apă curată și sigură este esențială pentru sănătatea și bunăstarea umană, precum și pentru agricultură, industrie și transporturi, [220]. Principala metodă de combatere a poluării apelor, și un mijloc de ameliorare a calității apelor uzate, îl reprezintă procesul de epurare a apelor uzate, care este în prezent procesul utilizat pe scară largă, [186].

1.3. Obiectivele tezei de doctorat

În contextul actual, obiectivul general al tezei de doctorat l-a constituit realizarea unor cercetări teoretice și experimentale privind procesul de epurare mecanică a apelor uzate prin operația de decantare/ sedimentare și identificarea principalelor variabile implicate în acest proces. Pentru îndeplinirea obiectivului general al lucrării a fost necesară realizarea următoarelor obiective specifice, conform fig. 1.4.

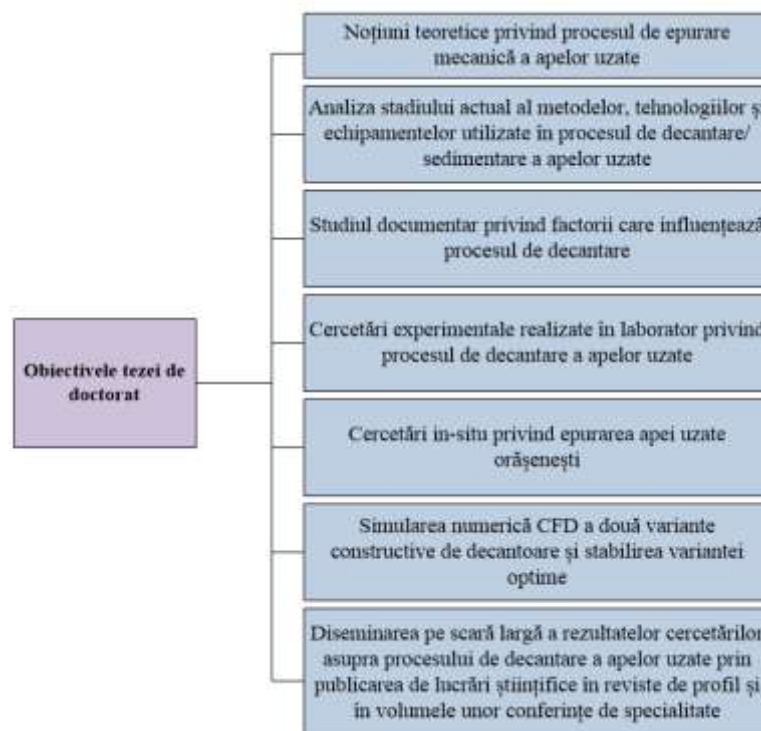


Fig. 1.4. Obiectivele specifice ale tezei de doctorat

CAPITOLUL 2. SISTEME TEHNICE DE DEPOLUARE A APELOR UZATE

2.1. Caracteristicile apelor uzate și ale componentelor acestora

Caracteristicile și compoziția apelor uzate determină în cea mai mare măsură structura și dimensiunile unei stații de epurare. Acestea se stabilesc prin analize de laborator, prin care se determină cantitatea și starea materiilor de orice fel din apă. Prin prelevarea de probe din diferite puncte ale stațiilor de epurare se poate stabili eficiența procesului de epurare al stațiilor. În lucrare sunt prezentate caracteristicile fizice, chimice și biologice ale apelor uzate.

2.2. Reglementări actuale din domeniul epurării apelor uzate

Obiectivul principal al politicii Uniunii Europene (UE) în domeniul apei îl reprezintă garantarea disponibilității, pe întreg teritoriul UE, a unei cantități suficiente de apă de bună calitate, astfel încât să se răspundă nevoilor populației și ale mediului.

În România, autoritatea națională „Apele Românești” este organizația responsabilă pentru Sistemul Integrat de Monitorizare a Apelor din România (SMIAR) și bazele de date specifice.

2.3. Metode de epurare a apelor uzate

Tratarea apelor uzate este o metodă de bază pentru protecția și reutilizarea resurselor de apă, fapt demonstrat clar de consecințele implementării sale în multe țări din întreaga lume. În cadrul unei stații de epurare a apelor uzate se poate distinge o treaptă primară (mecanică), o treaptă secundară (biologică) și, la unele stații, o treaptă terțiară (biologică, mecanică sau chimică).

Prima etapă în realizarea procesului de epurare a apelor uzate este constituită din treapta primară, denumită și *treapta mecanică*. Astfel, la intrarea în stația de epurare are loc un proces de reținere a impurităților grosiere, cu ajutorul grătarelor și sitelor, care au rolul de a reține impuritățile grosiere care ar putea înfunda conductele sau deteriora echipamentele. În continuare, apa trece prin echipamente speciale, care rețin particulele de dimensiuni mai mici, precum nisipul și pietrișul fin. Următoarea etapă într-o stație de epurare constă în îndepărtarea grăsimilor, fiind urmată de îndepărtarea particulelor fine, în decantoare. Totalitatea particulelor solide fine acumulate în decantoarele primare poartă denumirea de nămol primar, [216].

Etapă secundară de tratare a apelor uzate, denumită și *treapta biologică* elimină aproximativ 85 % din materia organică prezentă, iar tratamentul avansat al apelor uzate cunoscut și sub numele *epurarea avansată*, este introdus în tehnologia de tratare atunci când este necesar pentru a obține o calitate superioară a apei, imposibil de realizat prin procesele de tratare secundară.

2.4. Factorii de influență în separarea lichid-solid în decantor

Procesul de separare a amestecului lichid-solid este influențat de numeroși factori care țin atât de componenta solidă, de componenta lichidă, cât și de parametrii constructivi ai decantorului.

2.4.1. Factori referitori la componenta solidă

Acești factori fac referire la: *influența dimensiunii particulelor* - în bazinele de decantare, particulele grosiere au tendința de deplasare spre radierul decantorului și capătă o mișcare descendentă, în timp ce particulele fine au tendința să fie antrenate în curentul de suprascurgere, [11]; *influența formei particulelor* - o particulă sferică, considerată și ideală se va sedimenta mult mai ușor decât o particulă care are forma neregulată, [48]; *influența concentrației de suspensii solide* - McNown și colab. au arătat în cercetările realizate că o creștere a concentrației de particule are ca rezultat reducerea vitezei de decantare a particulelor, [85]; *influența densității particulelor* - particulele cu densitate mare au tendința

de a se deplasa direct spre zona inferioară a decantorului, în timp ce particulele cu densitate mică au o ușoară tendință de plutire și apoi sunt atrase de curentul de suprascurgere.

2.4.2. Factori referitori la faza lichidă a amestecului

Procesul de separare a amestecului lichid-solid este influențat de factori care țin de componenta lichidă precum: *temperatura apei* - Hazen [58], a afirmat că „un bazin de sedimentare dat va lucra de două ori mai mult în timpul verii decât în timpul iernii”; *densitatea apei* - depinde de temperatură și variază în funcție de concentrația solidelor totale din apele uzate, [42]; *vâscozitatea apei* - tinde să scadă odată cu creșterea temperaturii apei, [60]; *curenții din bazinul de decantare* - raportul recomandat dintre adâncime și diametru sau lungimea decantorului este de aproximativ 1/20, [209].

2.4.3. Factori referitori la parametrii constructivi ai decantoarelor

În lucrare sunt prezentați factori care fac referire la: *influența uniformității distribuției curentului de apă* - forma bazinului și modul de admisie și evacuare a apei din decantor sunt factori majori care influențează modul de curgere într-un rezervor de sedimentare, [144]; *influența formei bazinului de decantare* - în cazul decantoarelor longitudinale se poate obține un debit uniform cu mai puțină turbulență pe o mare parte din bazin, [58]; *influența echipamentului de raclare și îndepărtare a nămolului; influența zonei de admisie și evacuare a apei din decantor* - Rostami și colab. [120] au arătat că numărul deversoarelor îmbunătățește uniformitatea debitului și scade dimensiunea zonei de circulație; *influența prezenței unei șicane în decantoare* - amplasarea șicanei în imediata apropiere a zonei de admisie a apei uzate în decantor este cea mai eficientă soluție, [111].

2.5. Utilizarea coagulanților în procesul de decantare

Prin decantare nu se pot elimina din apele uzate suspensiile foarte fine și cele coloidale (particule cu dimensiuni mai mici de 1 μ m), oricât de mare ar fi timpul alocat acestui proces. Studiile de specialitate au susținut ideea cum că eficiența procesului de decantare este îmbunătățit în cazul utilizării coagulanților, [10,54].

2.6. Concluzii

Cercetările realizate la nivel mondial au arătat că particulele cu un factor de sfericitate de 0,85 au avut o viteză medie de decantare de două ori mai mare decât față de cea observată pentru particulele cu factorul de sfericitate de 0,35. Totodată, s-a stabilit că o diferență de temperatură de numai 1 °C este suficientă pentru a determina o scădere a eficienței de decantare și că schimbările rapide de densitate din cauza temperaturii, concentrației solidelor sau a salinității pot induce curenți de densitate care pot provoca zone moarte și eficiență redusă în rezervoarele orizontale.

De asemenea, s-a arătat că prezența unui deflector vertical în zona de admisie a bazinului de decantare a crescut eficiența îndepărtării particulelor solidelor de la 90,4% la 98,6%,. Totodată, din studiile realizate asupra procesului de decantare, s-a evidențiat faptul că particulele solide cu dimensiuni mai mici de 1 μ m pot fi îndepărtate cu ajutorul coagulanților, îmbunătățind astfel eficiența procesului de decantare.

CAPITOLUL 3. TENDINȚE ÎN CEEA CE PRIVEȘTE CONSTRUCȚIA DECANTOARELOR

3.1. Procesul de sedimentare a impurităților solide din apele uzate

Cea mai întâlnită metodă de tratament mecanic (primar), este sedimentarea în repaus (convențională). Aceasta este o metodă eficientă de îndepărtare a solidelor în suspensie, din apele uzate, separarea având loc prin intermediul forței gravitaționale.

3.2. Construcția bazinelor de decantare (sedimentare)

Toate rezervoarele de sedimentare pot fi împărțite în patru zone, fiecare având o funcție specifică. Aceste zone sunt: zona de intrare (de admisie a apei brute), zona de decantare, zona de ieșire (de evacuare a apei clarificate) și zona de acumulare a nămolului (situată pe radierul echipamentului).

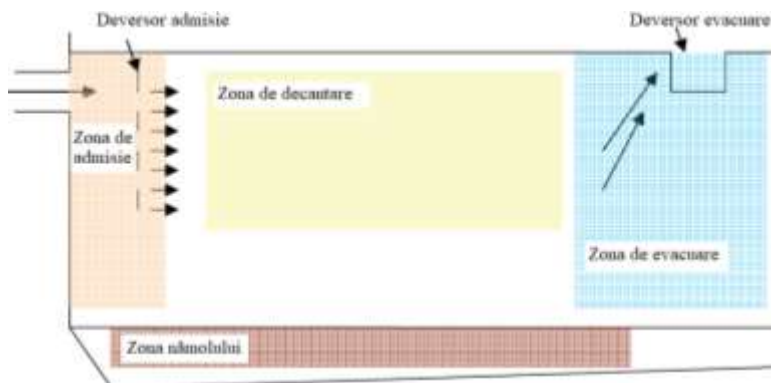


Fig. 3.5. Poziționarea zonelor într-un bazin de sedimentare orizontal, [128]

3.3. Soluții constructive de decantare

Decantoarele primare sunt bazine deschise ce au rolul de a reține particulele decantabile sau aduse sub formă decantabilă, cu dimensiuni mai mici de 0,2 mm, care nu au fost reținute în deznisipatoare. După direcția de curgere a curentului de apă uzată, decantoarele primare sunt clasificate în decantare longitudinale, radiale, verticale și înclinate (lamelare), cel mai des întâlnite în practică fiind cele longitudinale și radiale. Un exemplu de *decantor radial* este prezentat în fig. 3.8.

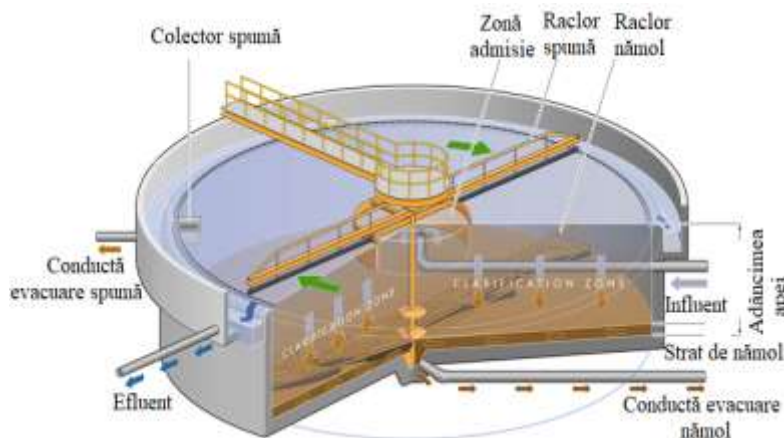


Fig. 3.8. Schema constructivă a unui decantor radial, [155]

Curentul de apă uzată brută intră prin centrul decantorului, se deplasează radial pe toate direcțiile, pe durata deplasării apei suspensiile din curentul de apă uzată se sedimentează pe radierul bazinului, apa limpezită (clarificată) fiind captată prin deversare într-o rigolă periferică situată la oglinda apei, de unde este evacuată din instalație. Panta zonei conice a decantorului este de obicei de la 1:10 la 1:12 și depinde de tipul mecanismului de colectare a nămolului. Diametrul rezervorului variază de la 3 metri la peste 100 de metri, [102].

Decantoarele longitudinale sunt bazine cu secțiune dreptunghiulară, în care fluxul de apă uzată brută intră cu debit mic pe la un capăt, pe durata parcurgerii lungimii bazinului solidele decantabile din curentul de apă uzată se sedimentează pe radier, iar la celălalt capăt curentul de apă limpezită (clarificată) cu conținut de materii dizolvate este evacuat prin deversare într-o rigolă situată la oglinda apei, de unde este evacuată către treapta de tratare biologică.

3.4. Concluzii privind procesul și construcția decantoarelor

Eficiența îndepărtării solidelor depinde de caracteristicile decantorului. Echipamentul de sedimentare care include deflectoare în zona de admisie pentru disiparea energiei, o zonă de repaus pentru depunerea particulelor, mijloace mecanice pentru îndepărtarea solidelor decantate și o viteză redusă a apei clarificată la ieșire, este denumit în mod obișnuit „decantor”.

Termenii de sedimentare și decantare sunt folosiți în mod interschimbabil. Un rezervor de sedimentare mai poate fi denumit bazin de sedimentare sau rezervor de decantare. Rezervoarele de sedimentare pot avea diferite forme și pot funcționa doar ca rezervor de decantare sau pot încorpora, de asemenea, flocularea și compresia nămolului. Sunt disponibile diferite modele proprii, dar funcționarea de bază a tuturor tipurilor este similară.

CAPITOLUL 4. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND PROCESUL DE DECANTARE A APELOR UZATE

4.1. Principiul de bază al procesului de decantare a sedimentelor din apele uzate

Prin procesul de sedimentare, viteza de sedimentare aferentă unei particule crește până în momentul în care forța de decantare (greutatea proprie a particulei) devine egală cu forțele rezistente. În acest caz, are loc un echilibru între forțele care acționează asupra particulei, pentru care $(dv/dt) = 0$. Greutatea particulelor G , forța lui Arhimede F_A și rezistența vâscoasă F_R acționează asupra particulelor sferice izolate din fluid (fig. 4.1).

În starea de echilibru a sistemului de forțe, viteza de sedimentare a particulelor poate fi evaluată, conform schemei, [107]:

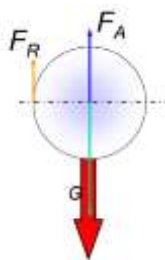


Fig. 4.1. Sistemul de forțe care acționează asupra particulei solide din suspensie, [46]

În urma simplificărilor rezultă *relația lui Stokes* pentru calculul vitezei de sedimentare prin decantare statică a particulelor solide de impurități în condițiile curgerii laminare:

$$v_p = \frac{(\rho_p - \rho_l) \cdot d^2 \cdot g}{18\eta} \quad (4.5)$$

Pentru sedimentarea particulelor de altă formă decât cea sferică, expresia se corectează cu un factor de sfericitate φ_1 .

4.4. Sinteza cercetărilor pe plan mondial privind procesul de purificare a apelor uzate prin decantare

4.4.1. Modele matematice propuse pentru procesul de purificare a apelor uzate prin decantare

Studii numerice au fost și sunt în continuare realizate într-o serie de bazine de sedimentare/decantare utilizate în instalațiile de tratare a apei. Aceste modele au fost îmbunătățite treptat începând cu Larsen (1977), [75].

Marcos Von Sperling a propus următoarea formulă pentru vâscozitate ca o funcție de temperatură, [140]:

$$\eta = 3,76 \cdot 10^{-6} \cdot T^{-0,450} (m^2/s) \quad (4.35)$$

unde T – temperatura, (° C).

Ținând cont de ecuația vitezei de sedimentare dată de legea lui Stokes, reiese că viteza de sedimentare depinde de temperatură.

O serie de alte modele matematice au fost enunțate în literatura de specialitate [20,51,55,56,63,94,95,146].

4.4.2. Stadiul actual al cercetărilor experimentale privind procesul de epurare a apelor uzate prin decantare

În analiza sintetică a acestor lucrări s-a urmărit studiul procesului de îndepărtare a particulelor solide din amestecul lichid-solid prin decantare prin factorii de influență ai procesului.

În lucrarea [145], autorii au trasat curbele de clarificare pentru șase probe de concentrații diferite (1,37 g/L, 2,37 g/L, 3,42 g/L, 4,10 g/L, 5,46 g/L și 6,83 g/L) prin măsurarea interfeței apă limpezită/ suspensie în timp, pentru 45 min. S-a obținut că viteza de decantare a scăzut la concentrații mai mari ale particulelor solide, deoarece fiecare particulă va fi din ce în ce mai stânenită de particulele din jur, scăzând astfel viteza de decantare.

În 2010, Podoleanu C.E. a realizat cercetări experimentale asupra procesului de decantare, în ceea ce privește concentrația de particule solide în bazinele de decantare longitudinale, [100]. Pentru identificarea distribuției concentrației în decantor, s-au efectuat măsurători în vederea determinării concentrației (C1 – C6), pe lungimea L (m) și adâncimea bazinului de decantare H (m). Autorul a observat că în prima jumătate a bazinului de decantare este o intensificare a proceselor de sedimentare.

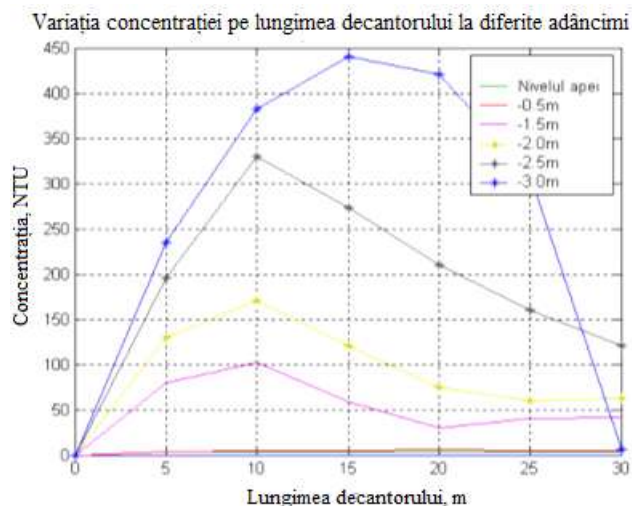


Fig. 4.11. Variația concentrației în funcție de lungimea decantorului la diferite adâncimi, [100,166]

În cadrul unui alt studiu s-au efectuat cercetări asupra procesului de decantare pentru trei variante constructive, cu valori distincte ale debitului ($3 \text{ m}^3/\text{h}$, $4 \text{ m}^3/\text{h}$, $5 \text{ m}^3/\text{h}$ și $8 \text{ m}^3/\text{h}$) și temperaturii ($100 \text{ }^\circ\text{C}$, $85\text{-}90 \text{ }^\circ\text{C}$ și $75 \text{ }^\circ\text{C}$), [168,171]. Autorii au observat că indiferent de valoarea debitului și de valoarea temperaturii apei supuse decantării, eficiența cea mai bună o are decantorul cu placă deflectoare.

A. Razmi și colab., în lucrarea [111], (2009), au studiat efectul prezenței unei șicane în decantor. Cercetările experimentale au arătat că performanța bazinului de decantare poate fi îmbunătățită prin modificarea geometriei bazinului care duce la o altă distribuție de viteze și modele de curgere, plasarea șicanei lângă zona de alimentare cu apă ($s/L = 0,125$) fiind varianta optimă obținută.

În lucrarea realizată de Tarpagkou R. și colab., (2013), s-a studiat influența temperaturii asupra eficienței procesului de decantare, în două cazuri, și anume: la temperaturi scăzute (pe perioada iernii) și temperaturi ridicate (pe perioada verii), [139]. Eficiența bazinului de sedimentare în cel de-al doilea caz, a fost în jur de 80%, la temperaturi scăzute aceasta ajungând la 50%.

Un alt studiu realizat în scopul determinării influenței efectului temperaturii asupra performanței bazinelor de sedimentare a arătat că temperatura apei afectează vizibil vitezele de decantare prin vâscozitatea fluidului, [73]. Pentru temperatura de $29 \text{ }^\circ\text{C}$ a fost obținută o viteză de sedimentare de $1,5 \text{ m/h}$, pe când, pentru temperatura de $11 \text{ }^\circ\text{C}$ viteza de sedimentare a scăzut la $0,95 \text{ m/h}$, pentru o concentrație a particulelor solide de 60 mg/mL .

4.5. Concluzii privind sinteza cercetărilor asupra procesului de decantare

Decantarea are o importanță deosebită în tratarea apelor uzate, caz în care bazinele de decantare pot reprezenta chiar și 30% din investițiile totale din cadrul unei stații de epurare.

Lucrările științifice analizate au arătat că procesul de separare a amestecului lichid-solid este influențat de numeroși factori care țin atât de componenta solidă, de componenta lichidă, cât și de factorii constructivi ai decantorului.

S-a constatat că temperatura apei uzate joacă un rol important în procesul de decantare. Rezultatele experimentale au arătat că, la temperaturi scăzute ale apei, eficiența

procesului de sedimentare scade, vâscozitatea apei crește, rezistența la înaintare a particulelor solide crește și drept urmare viteza de sedimentare scade.

În urma cercetărilor efectuate pe plan mondial, pentru îmbunătățirea eficienței procesului de decantare, se pot recomanda următoarele: montarea unui deversor în zona de evacuare a apei din decantor, utilizarea decantoarelor cu alimentare tangențială, echipate cu deversor și dispozitive de raclare pentru evacuarea nămolului, pentru a evita formarea zonei de circulație, care este cunoscută sub numele de zonă moartă în decantor, se recomandă montarea unei șicane în interiorul decantorului și poziționarea corectă a acesteia pentru îmbunătățirea performanței decantorului, dar și acoperirea cu o folie protectoare a decantorului, pe timp de iarnă, pentru creșterea temperaturii apei uzate.

CAPITOLUL 5. ASPECTE ȘI CONTRIBUȚII TEORETICE PRIVIND PROCESUL DE PURIFICARE A APELOR UZATE PRIN DECANTARE

5.2. Algoritm și program de calcul pentru determinarea poziției punctului critic al curbei de limpezire la sedimentarea în coloană staționară a particulelor solide

Punctul critic al unei curbe de limpezire reprezintă punctul de intersecție al acesteia cu curba de variație a înălțimii nămolului în compactare și corespunde momentului în care interfețele apă limpezită - suspensii și suspensie - nămol compactat se suprapun, iar în coloana în care are loc procesul de sedimentare nu mai există decât două zone: una de apă limpezită și una de nămol în compactare, adică procesul de limpezire a luat sfârșit.

Pentru aceste determinări, a fost utilizat un stand de laborator pentru studiul sedimentării (W2 – Armfield, UK), utilizând o suspensie apoasă de particule de carbonat de calciu cu concentrație inițială de 8 %.



Fig. 5.2. Aspectul coloanei cu suspensie în timpul desfășurării experimentului, [124]

Au fost înregistrate doar pozițiile interfeței *apă limpezită – suspensie apoasă de particule solide* pe o perioadă de timp de 24 ore, astfel: din 6 în 6 minute în primele 1,5 ore ale experimentului, apoi din oră în oră până la 6 ore și la 24 de ore.

Programul de determinare a poziției punctului critic, în cazul în care poziția punctului critic este estimată prin metoda grafică, a fost elaborat pe baza unui algoritm secvențial a cărui schemă structurală se regăsește în fig. 5.3.



Fig. 5.3. Schema structurală a algoritmului secvențial pentru determinarea punctului critic, [124]

Rezultatele experimentale au fost înscrise în matricea datelor de intrare DI, astfel:

- pe linia 0 a matricei DI sunt menționate momentele de timp t_j [h] la care se efectuează determinările pozițiilor interfeței apă limpezită - suspensie de particule solide, notate cu $DI_{0,j}$;

- pe linia 1 a matricei DI sunt notate înălțimile H_j [mm] ale pozițiilor interfeței apă clarificată - suspensie de particule solide notate cu $DI_{1,j}$;

în care j reprezintă numărul curent al determinării care se efectuează și a cărui valoare maximă corespunde numărului de coloane ale matricelor DI.

$$j = 0...21$$

$$DI = \begin{pmatrix} 0 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.9 & 1 & 1.1 & 1.2 & 1.3 & 1.4 & 1.5 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 24 \\ 790 & 756 & 731 & 708 & 686 & 665 & 646 & 627 & 609 & 591 & 574 & 557 & 543 & 527 & 512 & 497 & 418 & 305 & 229 & 198 & 190 & 167 \end{pmatrix}$$

În urma rulării programului s-a obținut că timpul corespunzător punctului critic al curbei de limpezire are valoare de 3,39 ore. Înălțimea poziției interfeței apă limpezită - nămol în compactare H_C (m), corespunzătoare punctului critic este valoarea funcției $y(t)$ la momentul de timp t_C , valoarea obținută pentru aceasta fiind de 0,268 m.

5.3. Modelarea matematică a procesului de sedimentare a apelor uzate, prin analiza dimensională, utilizând teorema II

Analiza dimensională rămâne una dintre cele mai puternice abordări pentru rezolvarea problemelor fizice, [15]. Analiza dimensională se bazează pe ideea fundamentală extrem de simplă, clar intuitivă, însă: legile fizice nu depind de unitățile de măsură de bază alese în mod arbitrar. În ciuda simplității, analiza dimensională permite obținerea de rezultate remarcabil de profunde, inclusiv progresul în teoriile gravitației și turbulenței, [87].

În vederea anticipării vitezei de sedimentare a particulelor solide din apele uzate, a fost aplicată teoria analizei dimensionale pentru modelarea matematică a procesului, pe baza teoremei π , enunțată de către Buckingham [21] și descrisă pe larg în [133].

Etapele necesare aplicării teoremei sunt:

- determinarea tuturor parametrilor care influențează fenomenul;
- exprimarea unei funcții nedeterminate care conține cei n parametri, în n fiind inclus și fenomenul $f(a_1, a_2, a_3 \dots a_n) = 0$;
- se scriu ecuațiile dimensionale pentru fiecare parametru:

$$[a_1] = \dots; [a_2] = \dots; [a_n] = \dots;$$

și se determină numărul mărimilor fizice fundamentale implicate în fenomenul respectiv.

- se formează câte $(n-m)$ grupuri adimensionale care conțin fiecare câte $m + 1$ termeni m fiind numărul mărimilor fizice fundamentale.

Pe baza cercetărilor teoretice și experimentale ale procesului de sedimentare a apelor uzate, au fost considerați în studiu un număr de 7 parametri principali care influențează procesul de sedimentare:

- debitul de apă uzată, Q (m^3/s);
- lungimea decantorului, h (m);
- viteza de sedimentare, v_s (m/s);
- diametrul particulelor, d (m);
- vâscozitatea cinematică a lichidului, ν (m^2/s);
- timpul de staționare al apei în decantor, t (s);
- densitatea particulelor, ρ_p (kg/m^3).

Funcția implicită, care descrie dimensional procesul de sedimentare, unde toți termenii în raport cu mărimile fundamentale din SI (L,M,T) sunt dimensionali omogeni este:

$$f(Q, h, v_s, d, \nu, t, \rho_p) = 0 \quad (5.1)$$

$n = 7$ parametri principali care influențează procesul de sedimentare;

$m =$ marimile fizice fundamentale (h, d, t);

$n - m = 4$ (se formează 4 grupuri adimensionale care conțin fiecare câte $m+1$ termeni).

Cazul A:

Considerând ca mărimi determinante grupul (v_s, d, ρ_p) , pe baza teoremei π s-au determinat complecșii adimensionali (criteriile de similitudine) ai procesului de sedimentare.

- mărimile fizice directe sunt Q (m^3/s), h (m), v (m^2/s) și t (s)
- mărimile determinante sunt v_s [m/s], d [m], ρ_p [kg/m^3]

$$\begin{aligned} f(Q, h, v_s, d, v, t, \rho_p) &= 0 \\ n &= 7 (Q, h, v_s, d, v, t, \rho_p) \end{aligned} \quad (5.2)$$

Pentru mărimile fizice directe, complecșii adimensionali au forma:

$$\pi_1 = v_s^{x_1} \cdot d^{y_1} \cdot \rho_p^{z_1} \cdot Q \quad (5.3)$$

$$\pi_2 = v_s^{x_2} \cdot d^{y_2} \cdot \rho_p^{z_2} \cdot h \quad (5.4)$$

$$\pi_3 = v_s^{x_3} \cdot d^{y_3} \cdot \rho_p^{z_3} \cdot v \quad (5.5)$$

$$\pi_4 = v_s^{x_4} \cdot d^{y_4} \cdot \rho_p^{z_4} \cdot t \quad (5.6)$$

În continuare, se va determina dimensiunea fiecărui grup în care exponenții $x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2; x_3, y_3, z_3$ și x_4, y_4, z_4 se pot determina din condițiile ca π_1, π_2, π_3 și π_4 să fie adimensionali, în raport cu mărimile fundamentale L (lungime), M (masă), T (timp).

Punând condiția ca π_1, π_2, π_3 și π_4 să fie adimensional, în raport cu cele trei mărimi fundamentale L, M, T, se determină în continuare exponenții, apoi se înlocuiesc în expresia grupului adimensional.

Pentru o primă aproximare a fost propus modelul matematic al produsului de puteri ale celorlalte mărimi adimensionale, rezultând că viteza de sedimentare are forma de calcul:

$$v_s^2 = \frac{Q}{d^2 \cdot k_1 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^a \cdot \left(\frac{1}{Re}\right)^b \cdot \left(\frac{t}{d}\right)^c} \quad (m/s) \quad (5.21)$$

în care: k_1, a, b, c sunt coeficienți constanți, respectiv exponenți calculați prin regresie liniară bazată pe date experimentale.

Cazul B:

Considerând ca mărimi determinante grupul (v_s, h, ρ_p) , pe baza teoremei π s-au determinat complecșii adimensionali (criteriile de similitudine) ai procesului de sedimentare:

- mărimile fizice directe sunt Q (m^3/s), d (m), v (m^2/s) și t (s);
- mărimile determinante sunt v_s (m/s), h (m), ρ_p (kg/m^3);
- se scriu expresiile celor 4 grupuri adimensionale.

Urmând aceiași pași ca în cazul A, s-a obținut că viteza de sedimentare se poate scrie sub forma:

$$v_s^2 = \frac{Q}{h^2 \cdot k_1 \cdot \left(\frac{d}{h}\right)^a \cdot \left(\frac{v}{v_s \cdot h}\right)^b \cdot \left(\frac{t}{d}\right)^c} \quad (m/s) \quad (5.34)$$

5.4. Simularea numerică CFD a procesului de decantare

Scopul acestui studiu a fost acela de a simula curgerea unui amestec lichid-solid în interiorul unui decantor radial, în zona de alimentare, prin analiza curgerii 2D, folosind programul Ansys Fluent.

Au fost realizate două simulări în condiții identice: una pentru conductă de alimentare a apei uzate cu un diametru constant de 1 m pe toată înălțimea de 5,5 m, și alta, cu conductă de alimentare de diametru de 1 m până la 3,5 m înălțime, după care se evazează și ajunge la un diametru de 2 m la evacuarea apei în decantor (asemănător unei pâlnii).



Fig. 5.10. Vedere izometrică a unui decantor radial în structură simplificată în cazul decantorului cu conductă de alimentare de diametru constant (a), respectiv evazată (b)



Fig. 5.11. Secțiuni în zona centrală a decantorului cu conductă de alimentare cu diametru constant de 1m (a), respectiv evazată ce ajunge la un diametru de 2 m (b)

Modelele geometrice au fost realizate în modulul „Design Modeler” și sunt prezentate în fig. 5.12a și 5.12b.

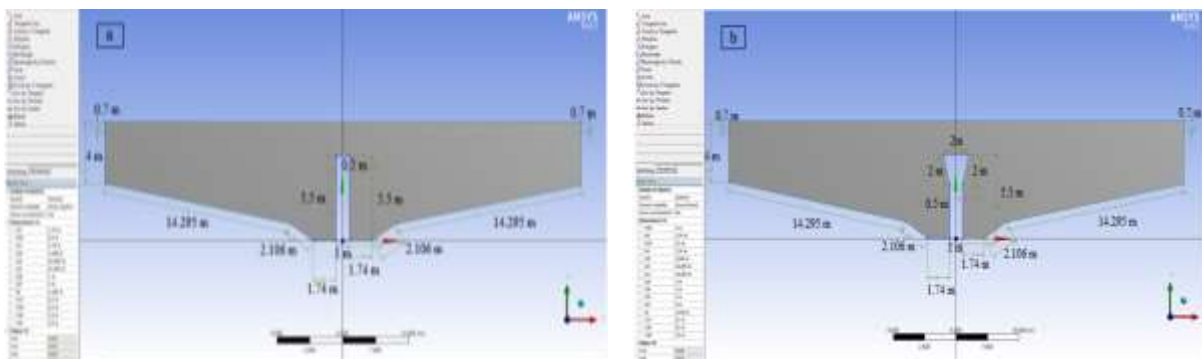


Fig. 5.12. Modelul geometric realizat pentru analiza decantorului cu conductă de alimentare cu diametru constant de 1m (a) și pentru conductă de 2 m în zona de alimentare (b)

În continuare sunt prezentate rezultatele obținute la 60 s, 120 s și 180 s (timp de simulare) pentru viteza, numărul Reynolds în fiecare celulă și intensitatea turbulenței pentru cele două decantoare analizate.

a. Viteza fluidului pentru decantorul cu conducta de alimentare de 1 m

În figura 5.18 este prezentată distribuția vitezei pentru decantorul cu conducta de alimentare de 1 m, la 60 s, 120 s și 180 s, dar și detalii din zona de alimentare, în aceleași intervale de timp. Se poate observa că, deși viteza în zona de alimentare a fost setată la 0,036 m/s, sunt zone în decantor în care viteza poate ajunge și la 0,103 m/s și că valorile maxime ale vitezei sunt obținute în zona de alimentare.

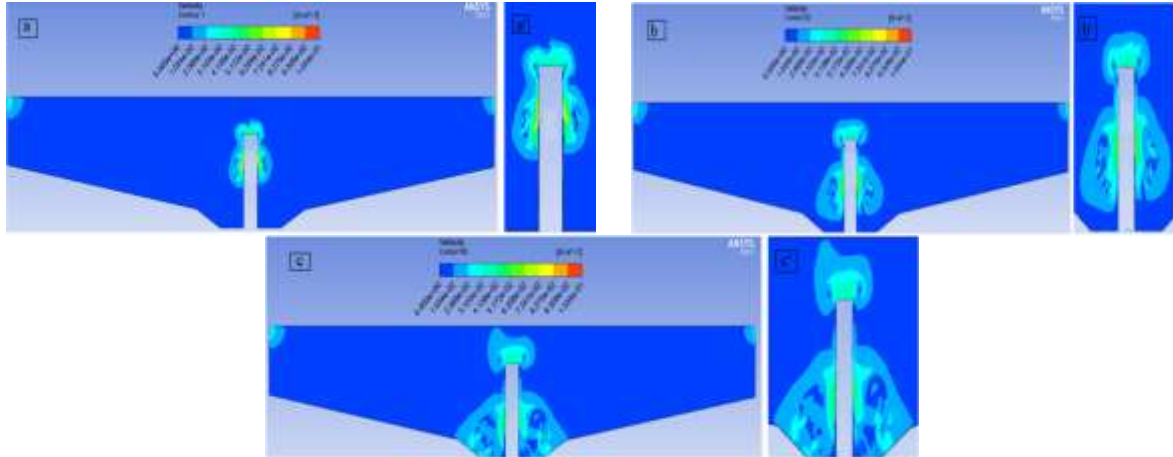


Fig. 5.18. Distribuția vitezei pentru decantorul cu conductă de alimentare de 1 m la 60 s (a), 120 s (b) și 180 s (c), respectiv detalii din zona de alimentare, în aceleași intervale de timp (a'-c')

Conform fig. 5.18, se poate observa că sensul de deplasare este în general către partea inferioară a decantorului (în mare parte datorită turbioanelor ce se creează la extremitatea conductei), acolo unde există o diferență de presiune în masa fluidului considerabilă.

b. Numărul Reynolds pentru decantorul cu conducta de alimentare de 1 m

În figura 5.20 este prezentată distribuția numărului Reynolds pe lungimea modelului geometric pentru decantorul cu conducta de alimentare de 1 m, la 60 s, 120 s și 180 s, respectiv detalii din zona de alimentare, în aceleași intervale de timp. Valorile maxime atinse de numărul Reynolds pe lungimea decantorului sunt de 14,7 pentru $t=60$ s 39,6 pentru $t=120$ s și 53 pentru $t=180$ s. Apariția turbioanelor determină și schimbarea sensului de deplasare din „cu precădere către evacuare” în „cu precădere către fundul decantorului”.

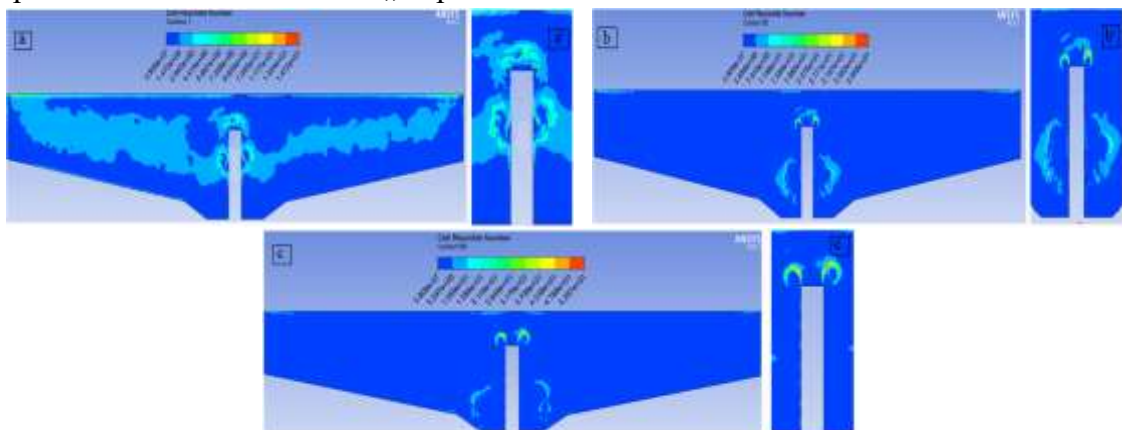


Fig. 5.20. Distribuția numărului Reynolds pe lungimea modelului geometric pentru decantorul cu conductă de alimentare de 1 m, la 60 s (a), 120 s (b) și 180 s (c), respectiv detalii din zona de alimentare, în aceleași intervale de timp (a'-c')

c. Intensitatea turbulenței pentru decantorul cu conductă de alimentare de 1 m

În figura 5.21. este prezentată distribuția intensității turbulenței pe lungimea modelului geometric pentru decantorul cu conductă de alimentare de 1 m, la 60, 120 și 180 s.

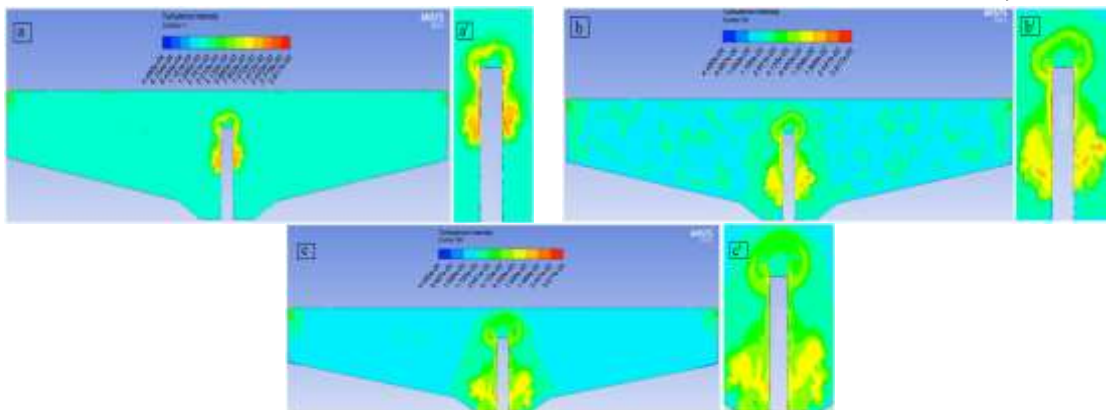


Fig. 5.21. Distribuția intensității turbulenței pe lungimea modelului geometric pentru decantorul cu conductă de alimentare de 1 m, la 60 s (a), 120 s (b) și 180 s (c), respectiv detalii din zona de alimentare, în aceleași intervale de timp (a'-c')

Odată cu trecerea timpului, zonele de maxim ale intensității turbulenței se găsesc din ce în ce mai aproape de fundul decantorului.

a1) Viteza fluidului pentru decantorul cu conductă de alimentare evazată de 2 m

În figura 5.22 este prezentată distribuția vitezei pentru decantorul cu conductă de alimentare de 2 m la 60 s, 120 s și 180 s. Se poate observa că, deși viteza în zona de alimentare a fost setată la 0,009 m/s, sunt zone în decantor în care viteza poate ajunge și la 0,026 m/s. Făcând un raport al vitezelor maxime obținute în decantor între cele două cazuri analizate se poate spune că viteza maximă a fluidului în cazul decantorului cu conductă de alimentare de 2 m este de patru ori mai mică decât în cazul decantorului cu conductă de alimentare de 1 m.

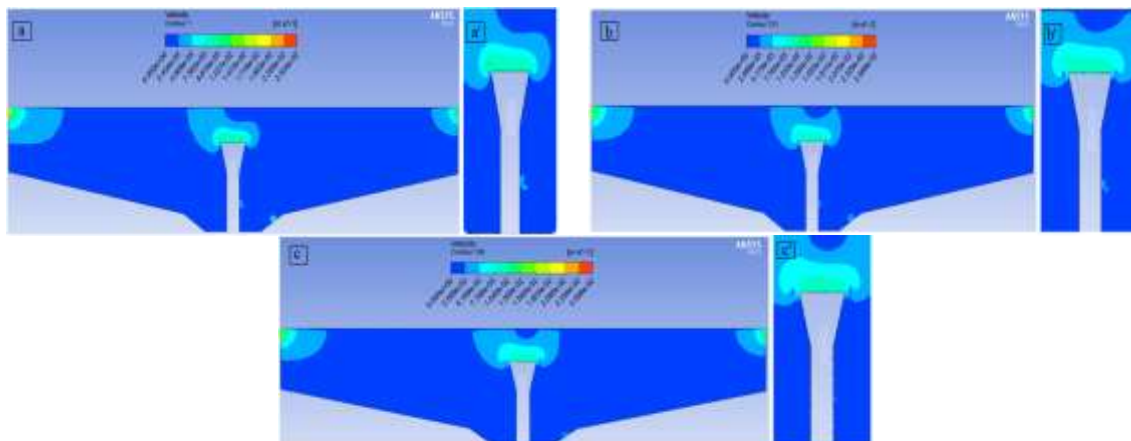


Fig. 5.22. Distribuția vitezei pentru decantorul cu conductă de alimentare de 2 m, la 60 s (a), 120 s (b) și 180 s (c), respectiv detalii din zona de alimentare, în aceleași intervale de timp (a'-c')

b1) Numărul Reynolds pentru decantorul cu conductă de alimentare de 2 m

În figura 5.26 este prezentată distribuția numărului Reynolds pe lungimea modelului geometric pentru decantorul cu conductă de alimentare de 2 m, la 60 s, 120 s și 180 s.

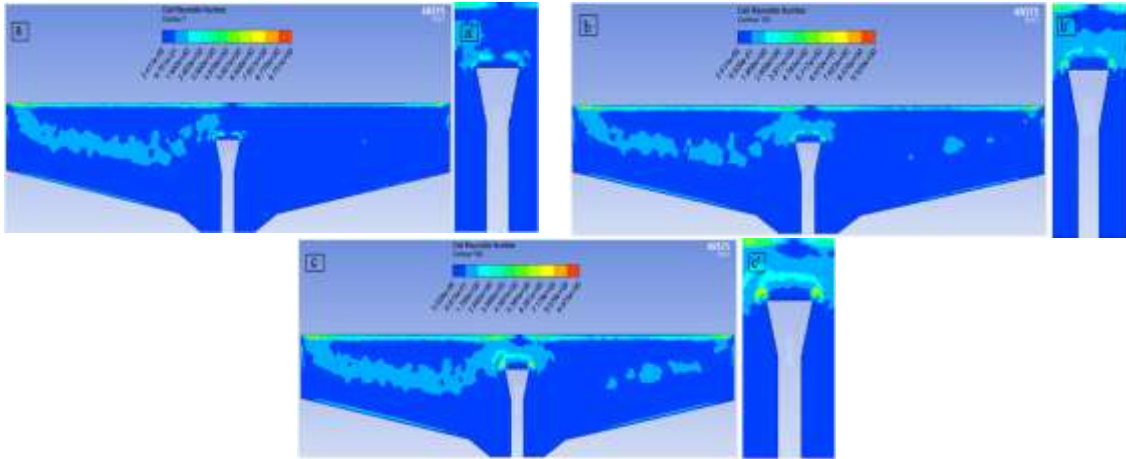


Fig. 5.26. Distribuția numărului Reynolds pe lungimea modelului geometric pentru decantorul cu conducta de alimentare de 2 m, la 60 s (a), 120 s (b) și 180 s (c), respectiv detalii din zona de alimentare, în aceleași intervale de timp (a'-c')

Privind evoluția numărului Reynolds în timp se poate spune că tendința acestuia este de a scădește, spre deosebire de decantorul analizat anterior care avea o tendință de creștere a numărului Reynolds.

c1) Intensitatea turbulenței pentru decantorul cu conducta de alimentare de 2 m

În figura 5.27 este prezentată distribuția intensității turbulenței pe lungimea modelului geometric pentru decantorul cu conducta de alimentare de 2 m, la 60 s, 120 s și 180 s.

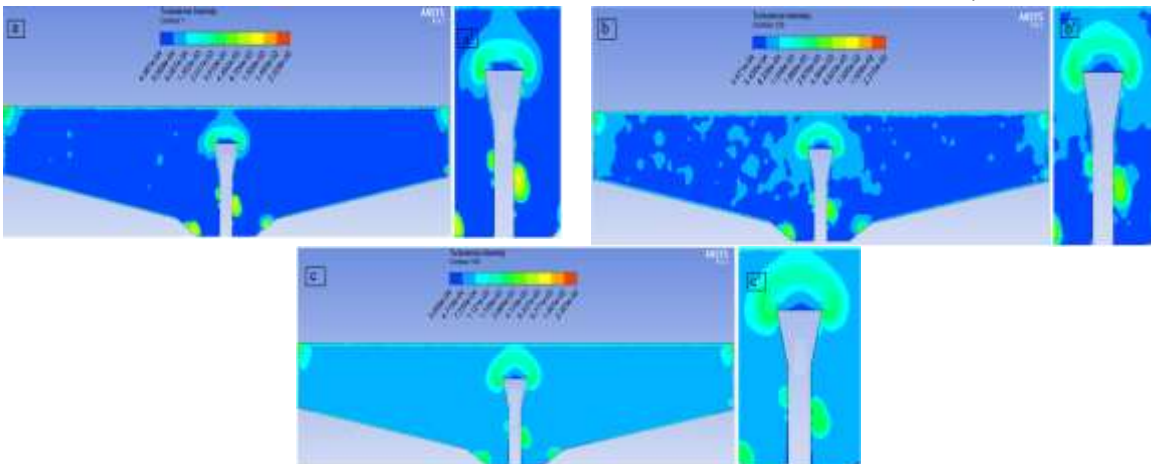


Fig. 5.27. Distribuția intensității turbulenței pe lungimea modelului geometric pentru decantorul cu conducta de alimentare de 2 m, la 60 s (a), 120 s (b) și 180 s (c), respectiv detalii din zona de alimentare, în aceleași intervale de timp (a'-c')

Și aceste valori ale intensității turbulente sunt mai reduse decât în primul caz analizat.

5.5. Concluzii

În vederea anticipării vitezei de sedimentare a particulelor solide din apele uzate, a fost aplicată teoria analizei dimensionale, pentru modelarea matematică a acestui proces, fiind considerați în studiu un număr de 7 parametri principali care influențează procesul de sedimentare.

Făcând un raport al vitezelor maxime obținute în decantor între cele două cazuri analizate se poate spune că viteza maximă a fluidului în cazul decantorului cu conductă de alimentare de 2 m este de patru ori mai mică decât în cazul decantorului cu conductă de alimentare de 1 m, iar zonele de maxim ale intensității turbulenței se găsesc în zonele de evacuare, în cazul decantorului cu diametrul conductei în zona de alimentare de 2 m, în timp ce, pentru decantorul cu diametrul conductei de 1 m, zonele de maxim ale intensității turbulenței se găsesc mai aproape de fundul decantorului. Se recomandă astfel, utilizarea decantorului cu conductă de alimentare evazată, cu diametru de 2 m în zona de alimentare a apei în decantor pentru ca eficiența procesului de decantare să fie cât mai mare.

CAPITOLUL 6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL DE EPURARE A APELOR UZATE PRIN DECANTARE

6.1. Obiectivele cercetărilor experimentale

Obiectivul principal al cercetărilor experimentale, din cadrul acestui capitol, l-a constituit influența principalilor factori asupra procesului de decantare, factori care țin atât de componenta solidă (dimensiune, densitate și concentrație), cât și de componenta lichidă (densitate și vâscozitate), precum și determinarea eficienței decantoarelor radiale din stațiile de epurare a apelor uzate orășenești.

Obiectivele specifice ale cercetărilor experimentale au fost reprezentate de:

- determinarea influenței concentrației suspensiilor solide asupra decantării în coloană staționară;
- determinarea turbidității apei cu ajutorul probelor etalon;
- determinarea variației concentrației de particule solide într-o suspensie apoasă cu ajutorul spectrofotometrului UV-VIS;
- determinarea curbei de clarificare a unei suspensii apoase de particule solide, utilizând sistemul inteligent Raspberry Pi;
- determinarea vitezei de sedimentare a particulelor solide în cazul a trei tipuri de suspensii;
 - îmbunătățirea procesului de decantare prin adăugarea de coagulanți;
 - determinarea concentrației de particule solide la intrarea și ieșirea unui decantor dintr-o stație de epurare în luna ianuarie și luna iulie;
 - valorificarea deșeurilor solide reținute din apele uzate prin metode mecanice (sitare);
 - determinarea cantității de deșeurii solide reținute de instalațiile de sitare, dar și a conținutului de materie în suspensie a influentului și efluentului unei stații de epurare.

6.2. Aparatură și echipamente utilizate în cercetările experimentale

Experimentele din cadrul acestui capitol au fost realizate în perioada 2016-2020, în Laboratorul Sisteme pentru Depoluare și în Laboratorul Microbiologie, din Facultatea de Ingineria Sistemelor Biotehnice, Departamentul de Sisteme Biotehnice, precum și în cadrul a două stații de epurare a apelor uzate urbane, de pe teritoriul României.

În vederea îndeplinirii obiectivelor cercetărilor experimentale, au fost urmați pașii prezentați în fig. 6.1, reprezentând metodica generală a determinărilor experimentale.

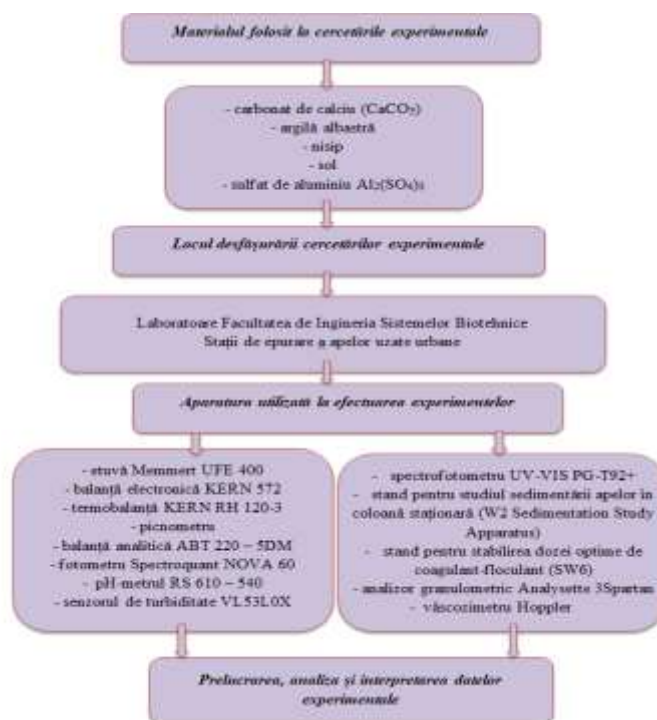


Fig. 6.1. Metodica generală a determinărilor experimentale

În vederea parcurgerii tuturor etapelor propuse s-au utilizat diverse echipamente și standuri experimentale dintre care cele mai importante sunt: *standul experimental pentru studiul sedimentării* (W2-Armfield, UK), este reprezentat de un echipament care permite sedimentarea în coloană staționară; *standul experimental pentru studiul coagulării - floculării* (W1-Armfield, UK), construit special pentru analiza procesului de coagulare; *spectrofotometrul UV-VIS PG-T92+* permite înregistrarea directă a raportului semnalelor de probă și referință; *analizorul granulometric cu site Analysette 3 Spartan* (Fritsch), este utilizat pentru analiza dimensiunilor particulelor de solide.

Alte echipamente utilizate au fost: etuva Memmert UFE 400, termobalanța KERN RH-120-3, balanța analitică Kern ABT 220 – 5 DM, balanța electrică Kern 572, pH-metrul RS 610 – 540, fotometrul Spectroquant NOVA 60, picnometru, senzorul de turbiditate VL53L0X și viscosimetrul Hoppler cu bilă căzătoare.

6.3. Cercetări experimentale în laborator privind procesul de decantare

6.3.1. Cercetări privind influența concentrației particulelor solide în amestecul lichid-solid

Pentru a analiza influența concentrației de particule solide asupra procesului de decantare, a fost utilizat standul experimental W2 – Armfield. Au fost utilizate toate cele cinci coloane gradate de sticlă transparentă cu care este prevăzut standul.

În cadrul experimentelor au fost analizate trei probe formate dintr-o suspensie apoasă, compusă din apă și argilă albastră – proba 1 (dimensiunea particulelor solide 0,2 mm), apă și carbonat de calciu (CaCO_3) – proba 2 (dimensiunea particulelor solide 0,2 mm) și apă și sol – proba 3 (dimensiunea particulelor solide 0,4 mm).

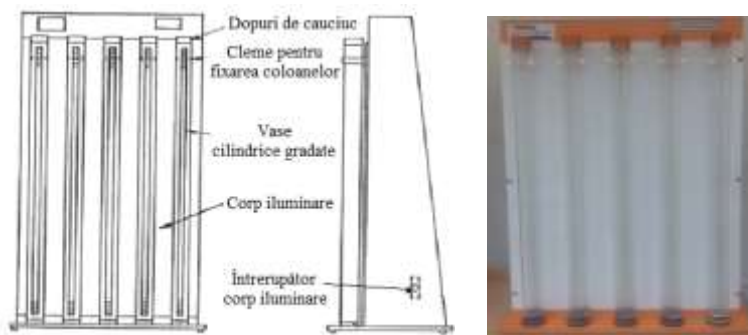


Fig. 6.2. Schema aparatului pentru studiul sedimentării în coloană staționară W2 – Armfield, [125]

Studiul experimental al procesului de sedimentare în coloana staționară a diferitelor suspensii apoase de particule solide are ca rezultat principal posibilitatea de a obține curbe de clarificare. În acest caz, curbele de clarificare au fost trasate pe baza înălțimii pozițiilor interfețelor apă limpezită – suspensie în timp, cu ajutorul sistemului de iluminare cu care standul este prevăzut (înregistrările s-au derulat pe o perioadă de 100 min, cu înregistrări a pozițiilor interfeței la intervale de 5 min). Rezultatele experimentale obținute în procesul de sedimentare în coloana staționară, pentru cele trei tipuri de suspensie, sunt prezentate în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1. Rezultatele experimentale obținute în procesul de sedimentare pentru cele trei tipuri de suspensie privind poziția interfeței lichid-solid

Timp, min	Poziția interfeței apă limpezită – suspensie pentru cele trei tipuri de probe analizate, în cazul celor cinci concentrații, mm														
	Argilă albastră (0,2 mm)					Carbonat de calciu (0,2 mm)					Sol (0,4 mm)				
	2%	4%	6%	8%	10%	2%	4%	6%	8%	10%	2%	4%	6%	8%	10%
0	745	745	745	745	745	745	745	745	745	745	743	748	749	748	747
5	685	692	715	725	729	485	587	689	726	734	614	739	746	747	745
10	635	668	672	684	694	236	477	640	707	720	544	724	704	716	714
15	553	584	630	640	643	113	418	596	690	708	480	576	637	634	697
20	515	538	565	624	618	89	379	570	674	691	295	495	513	485	435
25	449	459	510	515	555	75	356	547	657	683	214	356	363	324	290
30	405	420	490	503	528	70	333	527	640	670	118	192	204	225	214
35	351	394	433	467	494	68	314	511	625	659	43	88	96	117	110
40	272	278	412	426	460	65	295	496	610	647	26	47	59	87	97
45	214	234	348	356	387	64	272	480	595	635	23	40	58	85	96
50	148	177	316	326	318	62	259	466	581	623	22	40	58	84	96
55	115	122	264	291	268	60	244	453	567	613	22	40	58	84	95
60	30	54	217	234	247	59	228	439	555	601	22	40	58	83	95
65	29	53	200	212	232	57	212	426	542	590	22	39	58	83	95
70	29	52	130	168	174	56	198	413	529	578	22	39	58	83	95
75	29	51	115	155	161	55	185	402	519	568	21	38	57	82	95
80	28	51	108	135	157	54	172	388	506	555	21	38	57	82	95
85	28	50	101	129	149	53	163	378	497	547	20	38	57	82	95
90	28	49	98	112	144	52	152	366	486	536	20	38	57	82	94
95	28	49	92	98	137	52	143	354	475	520	20	38	57	82	94
100	28	48	87	95	128	51	135	344	452	516	20	38	57	82	94
dupa 24h	27	44	82	94	97	49	132	341	400	514	19	37	56	81	93

Datele experimentale au fost prelucrate cu ajutorul programului Microsoft Excel (aplicând analiza de regresie de tip exponențială pentru fiecare concentrație în parte, pentru cele trei probe analizate), fiind reprezentate grafic variația poziției interfeței apă limpezită – suspensie în timp.

În figura 6.13 sunt prezentate curbele de variație în funcție de timp ale interfeței apă limpezită - suspensie pentru argila albastră, pentru toate cele cinci concentrații.

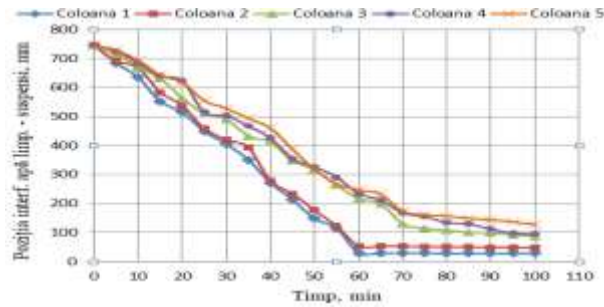


Fig. 6.13. Curbele de variație în funcție de timp ale interfeței apă limpezită - suspensie (argila albastră)

Matematic, relația dintre concentrația particulelor solide și viteza de decantare zonală poate fi descrisă printr-o funcție de regresie de tip exponențial, folosită prima dată în lucrarea [152] rel. (6.1):

$$v = v_0 \cdot e^{-r \cdot X_{TSS}} \quad (6.1)$$

unde v_0 – viteza maximă de sedimentare, (m/s); r – constanta modelului; X_{TSS} – concentrația de particule solide, (%).

Corelația cu datele experimentale dată de coeficientul R^2 , împreună cu coeficienții funcțiilor de regresie v_0 , r și X_{TSS} pentru proba 1, pentru cele cinci coloane, sunt prezentați în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2. Valorile coeficienților funcției de regresie de tip exponențial v_0 , r și X_{TSS} și a celui de corelație R^2 , pentru proba 1

	Concentrația, %	v_0 , m/s	r	R^2	X_{TSS} , %	v , m/s
Proba 1	2	1001,6	0,042	0,903	2	$1,534 \cdot 10^{-2}$
	4	909,81	0,034	0,917	4	$1,324 \cdot 10^{-2}$
	6	913,9	0,025	0,971	6	$1,311 \cdot 10^{-2}$
	8	912,01	0,023	0,983	8	$1,265 \cdot 10^{-2}$
	10	872,57	0,02	0,974	10	$1,191 \cdot 10^{-2}$

În figura 6.14 este prezentată variația în timp a poziției interfeței apă limpezită – suspensie pentru proba 2.

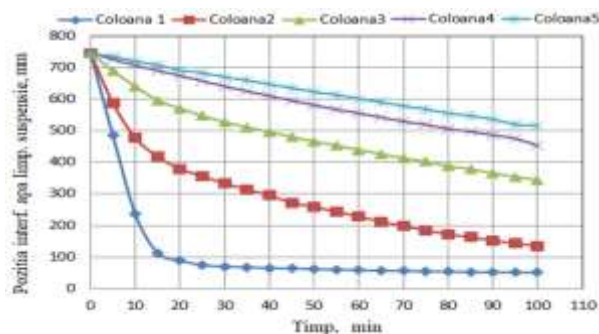


Fig. 6.14. Curbele de variație în funcție de timp ale interfeței apă limpezită - suspensie (carbonat de calciu)

Distribuția funcției de regresie de tip exponențială are aceeași formă ca în cazul probei 1 (rel. 6.1), rezultatele obținute în acest caz fiind prezentate în tabelul 6.3.

Tabelul 6.3. Valorile coeficienților funcției de regresie de tip exponențial v_0 , r și a celui de corelație R^2 , pentru proba 2

	Concentrația, %	v_0 , m/s	r	R^2	X_{TSS} , %	v , m/s
Proba 2	2	748,47	0,004	0,999	2	$1,238 \cdot 10^{-2}$
	4	741,05	0,005	0,998	4	$1,212 \cdot 10^{-2}$
	6	675,96	0,007	0,978	6	$1,080 \cdot 10^{-2}$
	8	562,97	0,015	0,964	8	$0,832 \cdot 10^{-2}$
	10	207,16	0,018	0,579	10	$0,288 \cdot 10^{-2}$

Reprezentarea grafică a distribuției poziției interfeței apă limpezită – suspensie pentru proba 3 este prezentată în fig. 6.15.

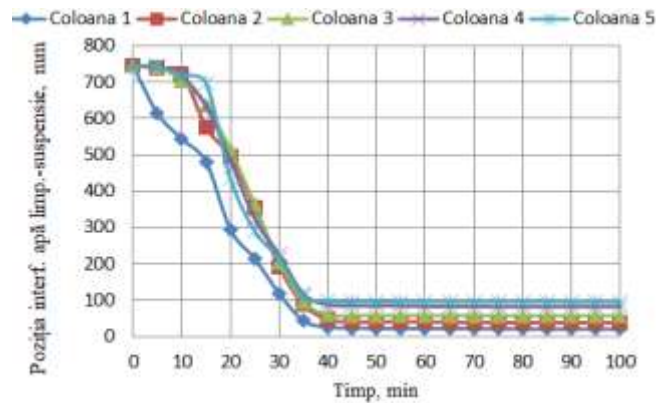


Fig. 6.15. Curbele de variație în funcție de timp ale interfeței apă limpezită - suspensie (sol)

Distribuția funcției de regresie de tip exponențială are aceeași formă ca în cazul probei 1 și 2 (rel. 6.1), corelația cu datele experimentale dată de coeficientul R^2 , împreună cu coeficienții funcțiilor de regresie v_0 și r pentru proba 3, pentru cele cinci coloane, sunt prezentați în tabelul 6.4.

Tabelul 6.4. Valorile coeficienților funcției de regresie de tip exponențial v_0 , r și a celui de corelație R^2 , pentru proba 3

	Concentrația, %	v_0 , m/s	r	R^2	X_{TSS} , %	v , m/s
Proba 3	2	413,76	0,04	0,766	2	$0,637 \cdot 10^{-2}$
	4	549,69	0,035	0,764	8	$0,796 \cdot 10^{-2}$
	6	543,72	0,03	0,737	6	$0,757 \cdot 10^{-2}$
	8	539,42	0,025	0,735	8	$0,736 \cdot 10^{-2}$
	10	521,12	0,023	0,707	10	$0,690 \cdot 10^{-2}$

În urma experimentului se pot concluziona:

- cu cât concentrația suspensiei este mai mică, procesul de sedimentare are loc mai rapid, iar pe măsură ce concentrația de particule crește, crește și timpul necesar îndepărtării acestora din apele uzate pentru că viteza lor de sedimentare scade;

- argila și solul necesită un timp mai scurt de îndepărtare din apele uzate datorită densității, pe când, pentru îndepărtarea carbonatului de calciu, timpul necesar este mai mare.

6.3.2. Determinarea turbidității amestecului lichid-solid pe înălțimea coloanei de decantare, cu ajutorul probelor etalon

Determinările s-au realizat pe standul de laborator W2 Sedimentation Studies Apparatus (ARMFIELD, UK) dotat cu cinci coloane gradate din sticlă, transparente, cu diametru interior de 50 mm și înălțimea utilă de 940 mm, care corespunde unui volum util de 1850 mL. S-a utilizat o suspensie apoasă de particule de carbonat de calciu (CaCO_3), având concentrațiile 2 %, 4 %, 6 %, 8 %, respectiv 10 %, corespunzând unor cantități de 37 g, 74 g, 111 g, 148 g și 185 g CaCO_3 .

Înălțimea coloanelor a fost împărțită în opt zone de câte 100 mm, pornind se sus în jos, concentrația de suspensii solide în cele 8 zone a fost analizată prin intermediul turbidității cu ajutorul unor probe etalon, de concentrații diferite: 0,2 mg/mL, 0,5 mg/mL, 1 mg/mL, 2 mg/mL, 4 mg/mL și 6 mg/mL, pregătite special în acest scop în flacoane de 100 mL. În fapt, a fost analizat modul în care scade concentrația suspensiei în fiecare din cele 8 zone, în intervale de câte 5 min, pentru un timp la fel de determinări de 100 min.

În tabelul 6.5 este prezentată distribuția concentrației de particule solide în timp, pentru coloana de concentrație 2%, analizând toate cele 8 zone stabilite.

Tabelul 6.5. Datele experimentale privind turbiditatea în cele 8 zone pentru coloana cu suspensie de concentrație 2%

Timp, min	Concentrația pe zone, mg/mL							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0								
5	6							
10	4	6						
15	2	4	6					
20	2	2	4	6				
25	1	2	4	6				
30	1	2	2	4	6			
35	1	2	2	2	4	6		
40	1	2	2	2	4	6		
45	1	2	2	2	2	4	6	
50	1	1	2	2	2	4	4	6
55	1	1	2	2	2	2	4	4
60	0,5	1	1	2	2	2	2	4
65	0,5	1	1	1	1	1	1	2
70	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1
75	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1
80	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1
85	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
90	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
95	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
100	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1

Pentru analiza grafică a zonelor din coloana de concentrație 2 % CaCO_3 , s-a aplicat o funcție de regresie de tip putere, funcție aplicată pentru toate cele cinci concentrații. Așadar, scăderea turbidității, adică a concentrației suspensiei în fiecare zonă analizată urmează o distribuție de tip putere de forma:

$$T_b = a \cdot t^{-b} \quad (6.2)$$

în care t este timpul, (s); a și b sunt parametrii de proces, determinați experimental.

Tabelul 6.6. Valorile coeficienților funcției de regresie de tip putere a , b și a celui de corelație R^2

Turbiditatea, zone	a	b	R^2
$C_{2\%}$	1	24,008	0,875
	2	87,203	1,13
	3	222,82	1,294
	4	226,24	1,223
	5	979,49	1,556
	6	8936	2,052
	7	31902	2,335
	8	234137	2,768

În figura 6.17a este reprezentată corelația dintre turbiditatea aferentă zonei analizate și timpul de modificare a turbidității, dar și valoarea concentrației zonale după 25 min (fig. 6.17b). Trebuie specificat faptul că valoarea concentrației inițiale de particule solide din

coloană a fost de 20 mg/mL, scăderea fiind considerabilă. Ultima zonă care a atins valoarea turbidității de 0,5 mg/mL a fost zona 3. Analizând graficele corespunzătoare fiecărei zone de sedimentare se poate observa că, valoarea coeficientului de corelație are o variație descrescătoare de la zona 1 de sedimentare la zona 8.

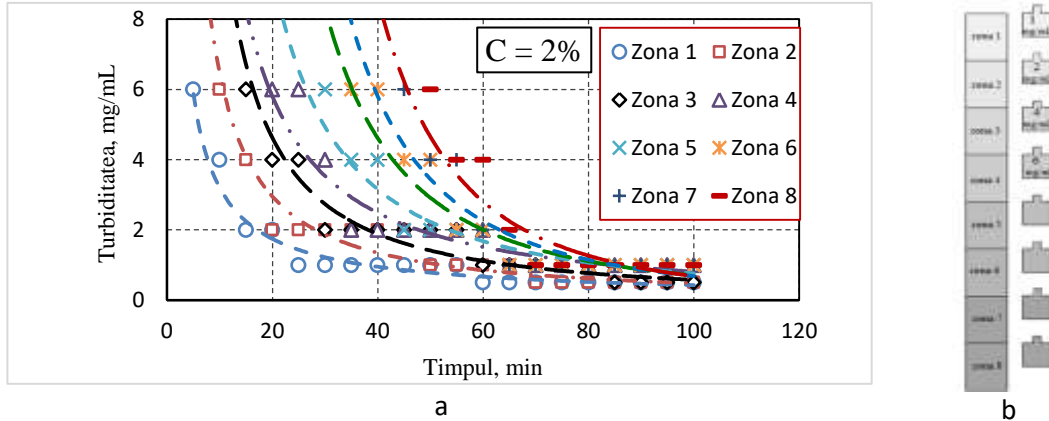


Fig. 6.17. Variația turbidității în timp, pentru cele 8 zone analizate, pentru coloana de concentrație 2% (a) și valoarea turbidității pentru zonele analizate în min. 25 (b)

În tabelul 6.7 sunt prezentate datele obținute pentru coloana de concentrație 4%. Și în acest caz s-au parcurs aceiași pași ca în cazul coloanei de concentrație 2 %.

Tabelul 6.7. Datele experimentale privind turbiditatea în cele 8 zone pentru coloana cu suspensie de concentrație 4%

Timp, min	Concentrația pe zone, mg/mL							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0								
5	6							
10	6	6						
15	4	6						
20	4	4	6					
25	2	4	4	6				
30	2	4	4	4	6			
35	2	2	4	4	4	6		
40	2	2	2	4	4	6		
45	2	2	2	2	4	4	6	
50	2	2	2	2	4	4	6	
55	1	2	2	2	2	4	6	
60	1	2	2	2	2	4	4	6
65	1	1	2	2	2	2	2	4
70	1	1	1	1	2	2	2	4
75	1	1	1	1	1	1	2	2
80	1	1	1	1	1	1	1	2
85	1	1	1	1	1	1	1	2
90	0,5	1	1	1	1	1	1	1
95	0,5	1	1	1	1	1	1	1
100	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1

Analizând tabelul 6.6 în care sunt prezentate datele experimentale, se poate observa că doar primele două zone ale coloanei au atins valoarea concentrației particulelor solide de 0,5 mg/mL CaCO₃ în cele 100 min.

Distribuția funcției de regresie de tip putere are aceeași formă ca în cazul coloanei de concentrație 2%, rezultatele fiind prezentate în tabelul 6.6. Se menționează că cea de-a doua coloană analizată a avut o concentrație inițială a suspensiei de 40 mg/mL.

Tabelul 6.6. Valorile coeficienților funcției de regresie de tip putere a, b și a celui de corelație R²

Turbiditatea, zone	a	b	R ²	
C _{2%}	1	24,008	0,875	0,936
	2	87,203	1,13	0,905
	3	222,82	1,294	0,905
	4	226,24	1,223	0,895
	5	979,49	1,556	0,887
	6	8936	2,052	0,869
	7	31902	2,335	0,771
	8	234137	2,768	0,796

Din analiza graficului (fig. 6.18) se poate observa că turbiditatea în fiecare zonă scade în timp, zona 8 de sedimentare a prezentat un factor de corelație $R^2 = 0,933$.

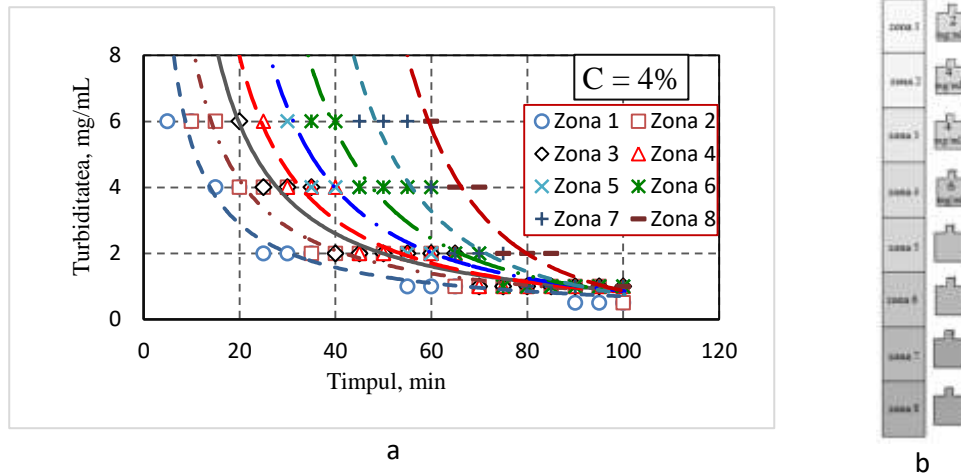


Fig. 6.18. Variația turbidității în timp, pentru cele 8 zone analizate, pentru coloana de concentrație 4 % (a) și valoarea turbidității pentru zonele analizate în min. 25 (b)

Distribuția concentrației de particule solide pe zone în coloana de sedimentare de concentrație 6% este prezentată în tabelul 6.9 și în fig. 6.19. Și în acest caz au fost urmați aceiași pași ca în cazurile precedente.

Tabelul 6.9. Datele experimentale privind turbiditatea în cele 8 zone pentru coloana cu suspensie de concentrație 6%

Timp, min	Concentrația pe zone, mg/mL							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0								
5								
10	6							
15	4	6						
20	4	4	6					
25	4	4	4	6				
30	4	4	4	6				
35	4	4	4	6				
40	4	4	4	4	6			
45	2	4	4	4	6			
50	2	2	4	4	4	6		
55	2	2	2	4	4	6		
60	2	2	2	2	4	4	6	
65	2	2	2	2	4	4	6	
70	1	2	2	2	2	4	6	6
75	1	1	2	2	2	4	4	6
80	1	1	1	2	2	2	4	4
85	1	1	1	2	2	2	2	4
90	1	1	1	1	1	1	2	2
95	1	1	1	1	1	1	1	2
100	1	1	1	1	1	1	1	1

Pentru toate cele opt zone de sedimentare s-a utilizat funcția de tip putere în analiza datelor experimentale. Se poate observa că în niciuna din zone nu s-a atins nivelul de limpiditate de 0,5 mg/mL CaCO_3 în suspensie. Mai mult de cât atât, se observă că în zona 8 de sedimentare abia după minutul 70 concentrația de particule solide scade la 6 mg/mL.

Tabelul 6.10. Valorile coeficienților funcției de regresie de tip putere a, b și a celui de corelație R^2

Turbiditatea, zone	a	b	R^2	
$C_{6\%}$	1	62,585	0,892	0,837
	2	128,24	1,045	0,846
	3	363,33	1,27	0,879
	4	1328,1	1,533	0,889
	5	18002	2,11	0,896
	6	657470	2,897	0,872
	7	1E+08	3,971	0,884
	8	9E+09	4,914	0,896

În cea de-a patra coloana, în care concentrația suspensiei a fost de 8% CaCO_3 , turbiditatea inițială a particulelor solide a fost de 111 mg/mL. Procedându-se la fel ca în cazurile anterioare, au fost obținute datele experimentale prezentate în tabelul 6.11.

Conținutul de particule solide este destul de ridicat, fapt care provoacă o creștere a timpului de limpezire, astfel că s-a putut verifica concentrația de 6 mg/mL în zona 8 de sedimentare abia în minutul 100.

Tabelul 6.11. Datele experimentale privind turbiditatea în cele 8 zone pentru coloana cu suspensie de concentrație 8%

Timp, min	Concentrația pe zone, mg/mL							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0								
5								
10								
15	6							
20	6	6						
25	6	6						
30	4	6	6					
35	4	4	6					
40	4	4	6					
45	4	4	4	6				
50	4	4	4	6				
55	4	4	4	4	6			
60	2	4	4	4	6			
65	2	2	4	4	6			
70	2	2	4	4	6	6		
75	2	2	4	4	4	6		
80	2	2	2	4	4	4	6	
85	2	2	2	4	4	4	6	
90	1	2	2	2	4	4	6	
95	1	2	2	2	2	4	4	
100	1	1	2	2	2	2	4	6

Se poate remarca, conform datelor înregistrate, că șase din cele opt zone nu ating concentrația de 1 mg/mL după cele 100 min de testare (zona 3 de sedimentare, zona 4, zona 5, zona 6, zona 7 și zona 8). Mai mult decât atât, în zona 6 de sedimentare abia dacă se atinge, în minutul 100, nivelul de concentrație de 2 mg/mL.

Tabelul 6.12. Valorile coeficienților funcției de regresie de tip putere a, b și a celui de corelație R^2

Turbiditatea, zone	a	b	R^2	
$C_{8\%}$	1	98,093	0,906	0,811
	2	140,31	0,965	0,819
	3	230,03	1,022	0,806
	4	812,42	1,274	0,734
	5	2150	1,43	0,701
	6	583487	2,664	0,749
	7	83698	2,158	0,735
	8	-	-	-

Reprezentarea grafică a datelor experimentale (fig.6.20), s-a realizat, și în acest caz, prin utilizarea funcției de tip putere.

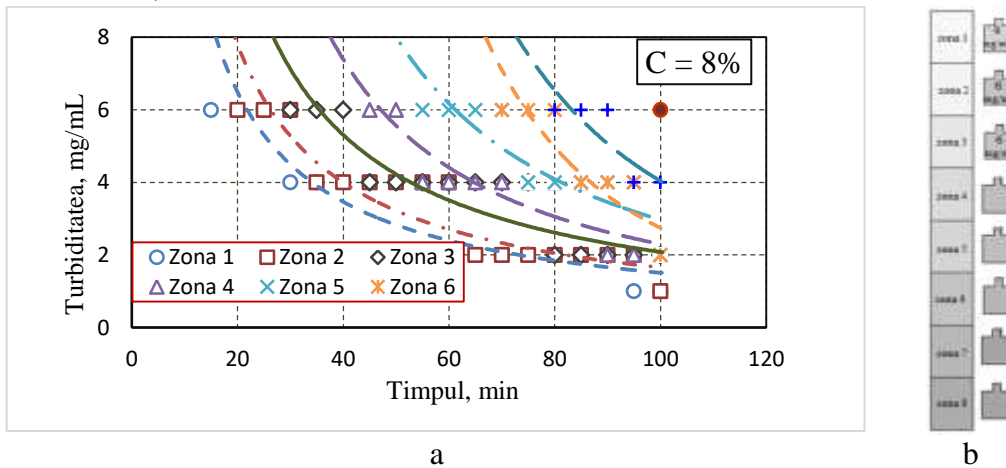


Fig. 6.20. Variația turbidității în timp, pentru cele 8 zone analizate, pentru coloana de concentrație 8 % (a) și valoarea turbidității pentru zonele analizate în min. 35 (b)

Ultima coloană analizată din punct de vedere al concentrației de particule solide, analog cu celelalte patru concentrații precedente, a fost cea de concentrație 10%. Rezultatele experimentale obținute sunt trecute în tabelul 6.13.

În această coloană, valoarea turbidității inițiale a fost de 100 mg/mL, valoare destul de ridicată comparativ cu cea mai mare valoare a probelor etalon, și anume 6 mg/mL.

În prima zonă de sedimentare a fost atins nivelul de concentrație a particulelor solide de 6 mg/mL abia în minutul 15 după demararea experimentului, iar concentrația de 4 mg/mL, tot pentru această zonă, a fost atinsă abia după 45 min.

Tabelul 6.13. Datele experimentale privind turbiditatea în cele 8 zone pentru coloana cu suspensie de concentrație 10%

Timp, min	Concentrația pe zone, mg/mL							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0								
5								
10								
15	6							
20	6							
25	6							
30	6	6						
35	6	6						
40	6	6						
45	4	6						
50	4	6	6					
55	4	6	6					
60	4	4	6					
65	4	4	4	6				
70	2	4	4	4	6			
75	2	4	4	4	6			
80	2	2	4	4	6			
85	2	2	2	4	4	6		
90	2	2	2	2	4	6		
95	1	2	2	2	4	6		
100	1	2	2	2	2	4	6	

Se poate observa că doar în zona 1 de sedimentare se atinge concentrația de 1 mg/mL în minutul 95, aceasta fiind cea mai mică concentrație a suspensiei înregistrată în cele 100 min.

Mai mult de atât, se poate observa că în zona 7 de sedimentare, apariția acestei concentrații are loc abia la minutul 100, fapt pentru care, pentru zona 7 și 8 nu s-au putut reprezenta grafice de variație a turbidității în timp, ultima zonă reprezentată fiind zona 6 de sedimentare.

Tabelul 6.14. Valorile coeficienților funcției de regresie de tip putere a, b și a celui de corelație R^2

Turbiditatea, zone	a	b	R^2	
$C_{10\%}$	1	127,69	0,937	0,729
	2	418,25	1,147	0,784
	3	9470,6	1,342	0,806
	4	41721	2,129	0,715
	5	544215	2,635	0,676
	6	116579	2,204	0,578
	7	-	-	-
	8	-	-	-

Experimentul prezentat arată că variația zonală a limpedității suspensiei poate fi reprezentată printr-o lege de variație de tip putere (sau de tip exponențial), iar parametrii ecuației depind de concentrația inițială a suspensiei, fără să luăm în considerare și distribuția granulometrică a particulelor solide sau temperatura la care are loc procesul de decantare.

6.3.3. Cercetări privind influența dimensiunii particulelor și a concentrației suspensiei apoase folosind spectrofotometrul UV-VIS

Obiectivul experimentului a fost înregistrarea variației concentrației de particule solide, de diferite dimensiuni, dintr-o suspensie apoasă reprezentată prin variația absorbanței în timp.

Cercetările experimentale au fost efectuate utilizând o suspensie apoasă formată din apă distilată și particule de sol – proba 1, apă și particule de nisip – proba 2 și proba 3 - apă și particule carbonat de calciu, având concentrațiile prestabilite de 0,2 %, 0,4 %, 0,5 %, 1 %, 2 %, 2,5 % și 3 %. Pentru toate cele trei probe, au fost supuse analizei fracțiile cu dimensiunea particulelor între 0 – 0,18 mm, 0,25 - 0,315 mm și 0,5 - 0,7 mm.

Pentru reprezentarea grafică a datelor experimentale a fost utilizat modul Kinetics – pentru toate cele trei probe (ce face parte din softul spectrofotometrului), care permite determinări cinetice pentru o singură cuvă, cu trasarea curbei de reacție.

Înregistrarea datelor a fost realizată în domeniul de absorbantă 0-10 (valoarea maximă de înregistrare), timp de 600 s, cu înregistrări la fiecare 5 s, la o lungime de undă de 600 nm.

Astfel, pentru început este reprezentată concentrația de particule solide prin variația absorbantelor în timp pentru particulele de sol cu dimensiuni cuprinse între 0 - 0,18 mm.

În fig. 6.23 este reprezentată corelația dintre timpul de modificare a absorbantelor sedimentare probei analizate și valoarea absorbantelor la momentul respectiv.

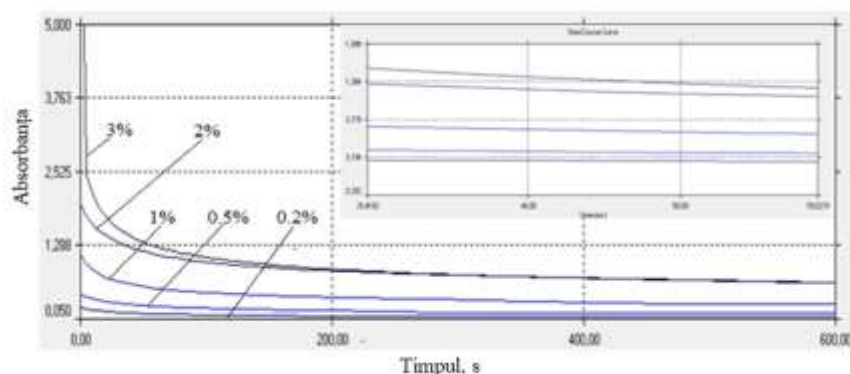


Fig. 6.23. Variația absorbantelor în timp în funcție de concentrația de particule solide de sol pentru valori ale concentrației de 3%, 2%, 1%, 0,5% și 0,2%

Analizând graficul ce reprezintă datele experimentale, se observă că proba de concentrație 3% și dimensiunea particulelor cuprinse între 0-0,18 mm a atins o valoare a absorbantelor de 2,483 în 5 s, ajungând în secunda 600 la o valoare de 0,658. Pe baza datelor experimentale înregistrate de spectrofotometru și exportate în programul M. Excel, au fost reprezentate variațiile absorbantelor în funcție de concentrație, variație înregistrată la 100 s, 200 s și 300 s (fig.6.24).

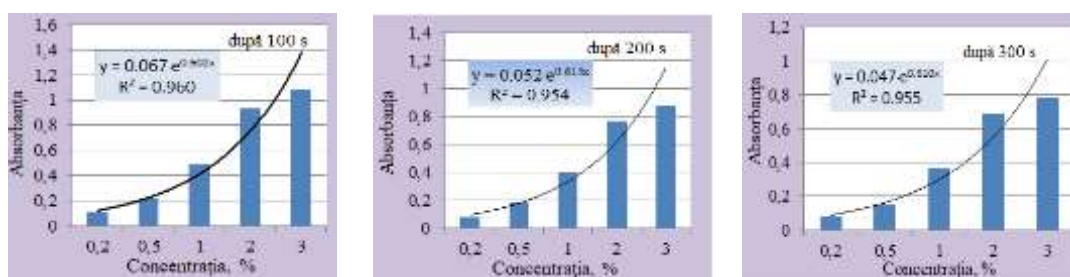


Fig. 6.24. Reprezentarea grafică a absorbantelor în funcție de concentrația de particule solide de sol, la 100 s, 200 s și 300 s

Pentru analiza grafică s-a aplicat o funcție exponențială (utilizată și în cazul probei 2 și 3). Pentru o concentrație de 3% a suspensiei lichid-solid cu dimensiuni cuprinse între 0-0,18 mm, absorbanta a scăzut de la 1,08 după 100 s de decantare în cuva spectrofotometrului, la circa 0,787 după 300 s de decantare a particulelor solide.

Pentru fracția cu dimensiunile particulelor cuprinse între 0,25-0,315 mm, datele experimentale sunt reprezentate în fig. 6.25.

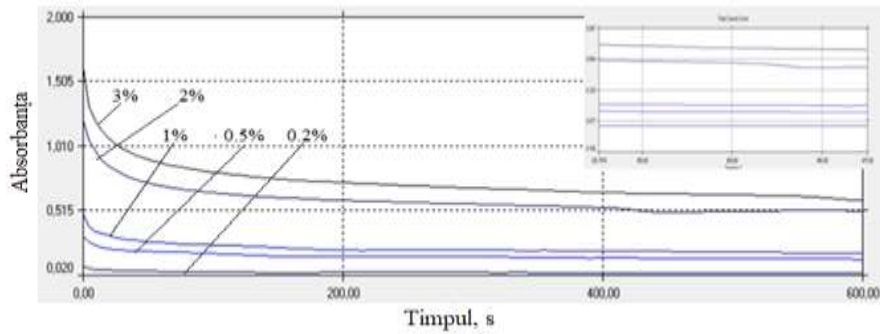


Fig. 6.25. Variația absorbantei în timp în funcție de concentrația de particule solide de sol pentru valori ale concentrației de 3%, 2%, 1%, 0,5% și 0,2%

Astfel, similar primei probe, a fost trasată grafic variația concentrației de particule solide, exprimată prin absorbanta, în timp (fig.6.26). În acest caz, valoarea absorbantei pentru proba de concentrație 3 % și dimensiunea particulelor cuprinse între 0,25-0,315 mm, absorbanta a scăzut de la 1,624 la 5 s, la 0,593. În cazul probei de concentrație 0,2 %, valoarea inițială a absorbantei a fost de 0,068 după 5 s de măsurători, ajungând la 0,034 la sfârșitul acestora.

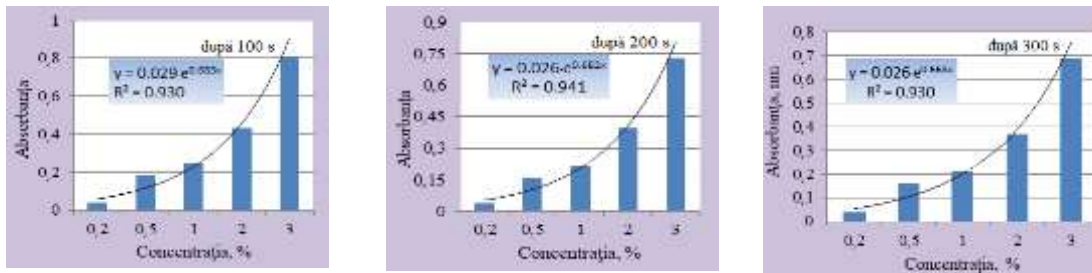


Fig.6.26. Reprezentarea grafică a absorbantei în funcție de concentrația de particule solide de sol, la 100 s, 200 s și 300 s

În figura 6.27 este prezentată distribuția concentrației de particule solide cu dimensiuni cuprinse între 0,5 și 0,7 mm. Se menționează că valoarea atinsă la 5 s după începerea înregistrărilor, pentru concentrația de 3% a fost 1,213 și a ajuns la sfârșitul măsurătorilor la o valoare de 0,618.

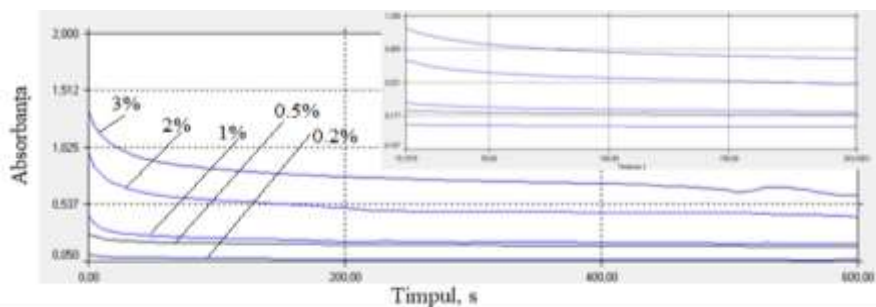


Fig. 6.27. Variația absorbantei în timp în funcție de concentrația de particule solide de sol pentru valori ale concentrației de 3%, 2%, 1%, 0,5% și 0,2%

În graficele ce reprezintă variația absorbantei în funcție de concentrația de particule solide din fig.6.28, înregistrate la 100 s, 200 s și 300 s, s-a observat corelația strânsă între parametrii analizați, reflectată în valoarea ridicată a coeficientului de corelație $R^2 (> 0,950)$.

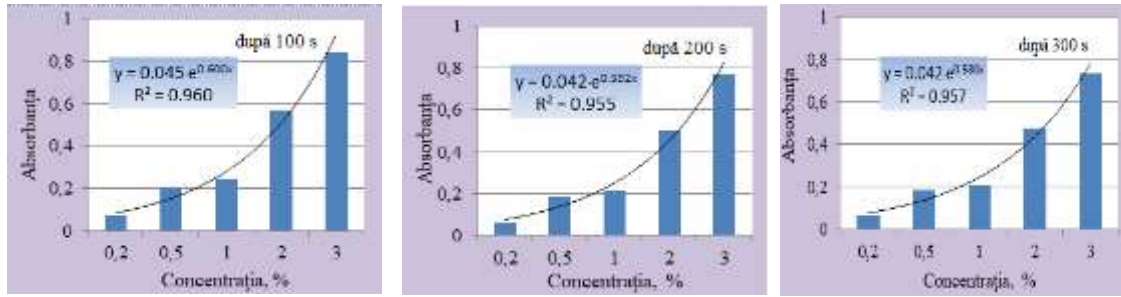


Fig. 6.28. Reprezentarea grafică a absorbantei în funcție de concentrația de particule solide de sol, la 100 s, 200 s și 300 s

În cazul probei 2, au fost analizate aceleași dimensiuni ale particulelor ca în cazul probei 1. Astfel, în cazul primei fracții cu dimensiunea particulelor între 0-0,18 mm, conform fig.6.29, pentru o concentrație de 3% a suspensiei lichid-solid și particule cu dimensiunea cuprinsă între 0-0,18 mm, absorbanta a scăzut de la 1,263 la valoarea de 0,3 după terminarea procesului de înregistrare a modului de decantare a particulelor solide.

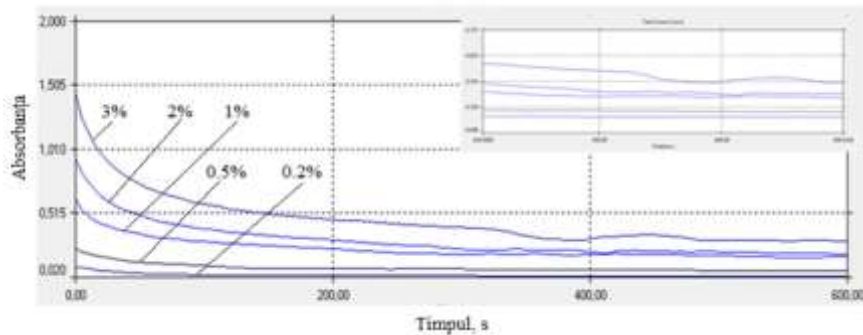


Fig. 6.29. Variația absorbantei în timp în funcție de concentrația de particule solide de nisip pentru valori ale concentrației de 3%, 2%, 1%, 0,5% și 0,2%

Făcând o comparație între proba 1 și proba 2, din punct de vedere al dimensiunii particulelor, se observă că timpul necesar decantării particulelor de nisip a fost mult mai scăzut în comparație cu al solului, absorbantele având valori de aproximativ două ori mai mici la momentul inițial și de aproximativ zece ori mai mici la sfârșitul înregistrărilor.

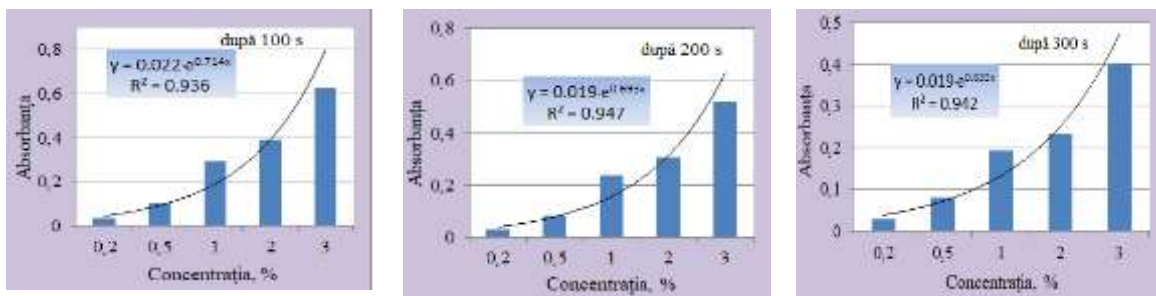


Fig. 6.30. Reprezentarea grafică a absorbantei în funcție de concentrația de particule solide de nisip, la 100 s, 200 s și 300 s

Pentru particulele cu dimensiuni între 0,25 - 0,315 mm, datele experimentale privind absorbanta sunt reprezentate în fig.6.31. În acest caz, au fost analizate numai două probe aferente concentrației de 3 și 2,5%. Acest lucru s-a datorat faptului că valoarea absorbantei a scăzut foarte lent, plecând de la o valoare a absorbantei destul de scăzută.

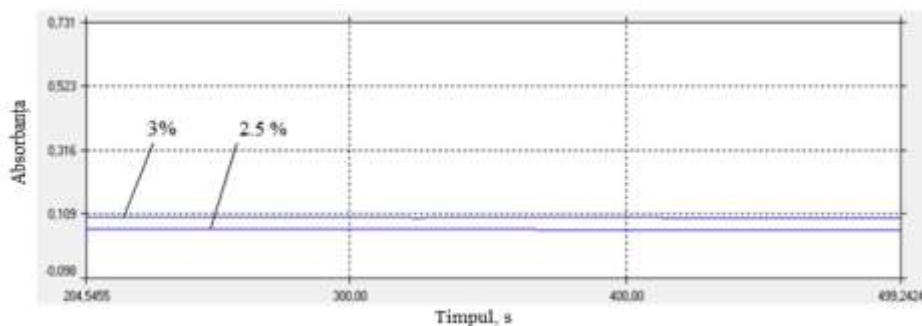


Fig. 6.31. Variația absorbanței în timp în funcție de concentrația de particule solide de nisip pentru valori ale concentrației de 3% și 2.5%

Similar probei de nisip cu dimensiuni ale particulelor între 0,25-0,315 mm analizate anterior s-a procedat și cu dimensiuni ale particulelor între 0,5-0,7 mm. Valoarea inițială a absorbanței pentru concentrația de 3% a fost de 0,06, respectiv 0,022 pentru concentrația de 0,2%, iar cea finală de 0,052 pentru concentrația de 3% și 0,020 pentru concentrația de 0,2% (fig.6.32).

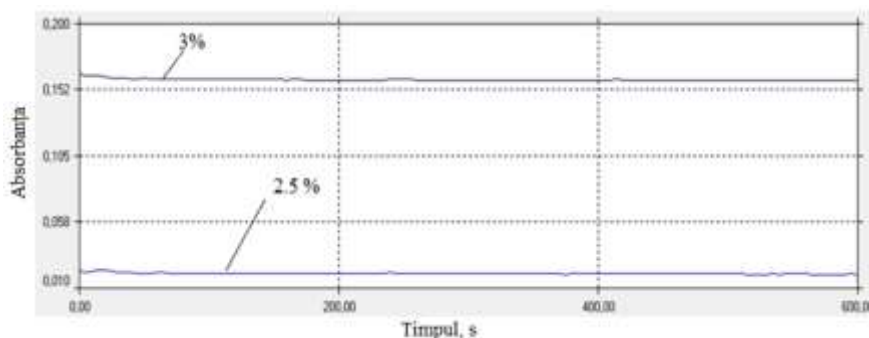


Fig. 6.32. Variația absorbanței în timp în funcție de concentrația de particule solide de nisip pentru valori ale concentrației de 3% și 2,5%

Pentru particulele cu dimensiunile cuprinse între 0,25-0,315 mm, respectiv 0,5-0,7 mm nu a fost reprezentată variația absorbanței în funcție de concentrație pentru cele trei momente de timp, variația fiind aproximativ liniară. Acest lucru este datorat densității mari a particulelor de nisip.

În cazul probei 3 cu dimensiuni ale particulelor cuprinse între 0-0,18 mm, reprezentarea grafică a datelor experimentale este prezentă în fig.6.33.

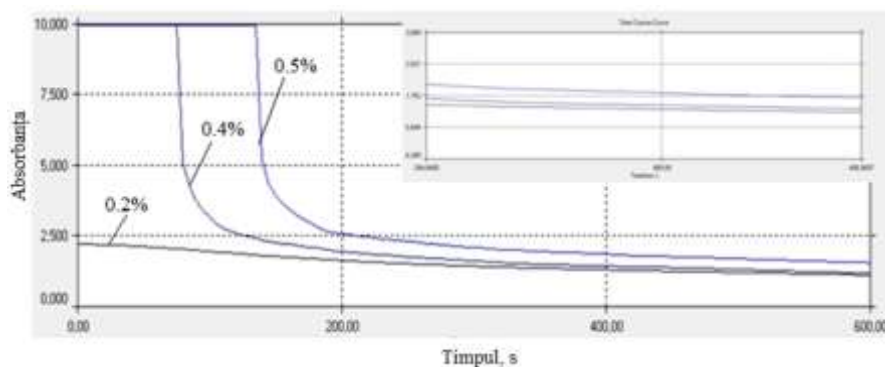


Fig. 6.33. Variația absorbanței în timp în funcție de concentrația de particule solide de carbonat de calciu pentru valori ale concentrației de 0,2%, 0,4% și 0,5%

Conform figurii 6.33, se constată că spre deosebire de nisip, unde s-au putut analiza doar două dintre concentrațiile cele mai mari, în cazul carbonatului de calciu, din cauza densității mai mici a particulelor, a fost posibilă analiza a trei valori ale concentrației, 0,2%, 0,4% și 0,5%. Acest lucru este cauza turbidității ridicate la concentrații mai mari de 0,5%, valoarea absorbantei în acest caz fiind mai mare de 10, nefiind posibilă înregistrarea cu ajutorul spectrofotometrului.

În figura 6.34 sunt reprezentate grafic datele experimentale pentru particule cu dimensiunea cuprinsă între 0,25-0,315 mm, concentrațiile analizate fiind aceleași de la proba precedentă. Astfel, pentru concentrația de 0,5%, datele au putut fi înregistrate din secunda 185, pentru concentrația de 0,4% din secunda 100, iar pentru concentrația 0,2% încă din momentul demarării înregistrărilor.

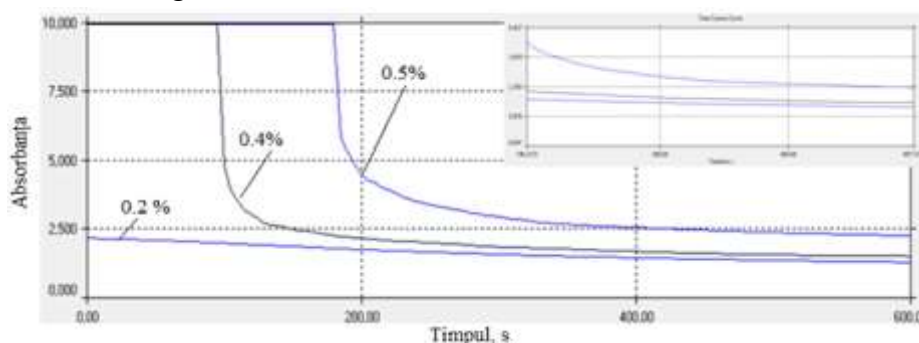


Fig. 6.34. Variația absorbantei în timp în funcție de concentrația de particule solide de carbonat de calciu pentru valori ale concentrației de 0,2%, 0,4% și 0,5%

Valorile obținute pentru cea de-a treia fracție cu particule de dimensiuni cuprinse între 0,5-0,7 mm sunt prezentate în fig.6.35. Înregistrarea datelor în cazul concentrației 0,5% a fost posibilă din secunda 250, pentru concentrația de 0,4% din secunda 210, iar pentru concentrația 0,2% acest lucru a fost posibil încă de la începutul măsurărilor.

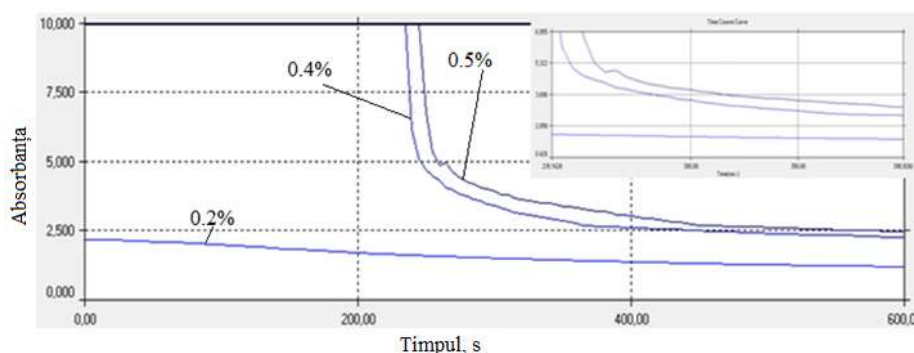


Fig. 6.35. Variația absorbantei în timp în funcție de concentrația de particule solide de carbonat de calciu pentru valori ale concentrației de 0,2%, 0,4% și 0,5%

6.3.4. Determinarea curbei de clarificare a unei suspensii apoase de particule solide, folosind sistemul inteligent Raspberry Pi

Cercetările experimentale au fost realizate în domeniu staționar, pe un stand de laborator, alcătuit dintr-o coloană din plexiglass, cu dimensiunile: lungime 220 mm, diametru 30 mm, cu o capacitate de 100 mL, senzorul de turbiditate VL53L0X, device-ul Raspberry Pi și Pi camera. Înregistrarea interfeței dintre zona de apă limpezită și zona de nămol a fost

vizualizată în timp real pe ecranul unui PC prin realizarea de fotografii la anumite intervale de timp cu ajutorul unei camere conectată la device-ul Raspberry Pi, [164].

Scopul cercetărilor experimentale a fost de a determina turbiditatea apei uzate și concentrația de particule solide (TSS) a acesteia, precum și viteza de sedimentare a particulelor solide din amestecul lichid-solid.

În cele ce urmează sunt prezentați pașii pentru determinarea acestor parametri, astfel:

a) în ceea ce privește turbiditatea apei uzate, s-a efectuat măsurarea acesteia în trei puncte situate la înălțimi diferite pe coloana gradată: 55 mm, 65 mm, respectiv 75 mm.

Pentru fiecare înălțime s-a măsurat turbiditatea apei, timp de aproximativ 80 min, măsurătorile realizându-se din 20 în 20 de secunde.

Măsurătorile au fost realizate cu ajutorul unui senzor de turbiditate VL53L0X, iar valorile înregistrate în NTU s-au convertit la concentrația de masă utilizând ecuația, [130]:

$$\ln(TSS) = 1,5 \ln(NTU) + 0,15 \quad (6.3)$$

b) în ceea ce privește viteza de sedimentare a particulelor solide, aceasta a fost determinată prin calcul utilizând metoda procesării imaginilor ale interfeței de separare dintre zona limpezită și zona de suspensie cu particule solide în plin proces de decantare, cu ajutorul camerei Pi, camera atașată device-ului Raspberry Pi.

În cazul acestui studiu a fost folosită expresia matematică enunțată de Cho și colab. (1993), utilizată și în lucrarea [80], care a introdus conceptul de "flux solid" pentru calculul sedimentării. Până în prezent, două modele empirice au fost utilizate cu succes pentru proiectarea decantoarelor în ceea ce privește fluxurile solide de materiale. Acestea includ modelul legii puterii (rel. 6.4) și modelul exponențial (rel. 6.5):

$$v = v_0 h^{-n} \quad (6.4)$$

$$v = v_0 \exp(-nh) \quad (6.5)$$

unde v_0 – viteza maximă de sedimentare, (m/s); h - nivelul interfeței, (m); n – constanta modelului

În tabelul 6.15 sunt prezentate date, pentru cinci momente de timp:

- valorile turbidității determinate experimental la trei înălțimi: 75 mm (T_{ex75}), 65 mm (T_{ex65}) și 55 mm (T_{ex55});
- turbiditatea determinată pe baza funcției de regresie la înălțimea de 75 mm, (T_{75}), 65 mm (T_{65}) și 55 mm (T_{55});
- valoarea concentrației de masă stabilită în urma convertirii concentrației de masă la 75 mm ($\ln TSS_{75}$), 65 mm ($\ln TSS_{65}$) și 55 mm ($\ln TSS_{55}$).

Tabelul 6.15. Rezultatele experimentale obținute în urma procesului de sedimentare, [164]

Timp, s	T_{ex75}	T_{ex65}	T_{ex55}	T_{75}	T_{65}	T_{55}	$\ln TSS_{75}$	$\ln TSS_{65}$	$\ln TSS_{55}$
20	260,009	222,342	246,311	270,452	240,593	285,07	8,491	8,256	8,409
40	277,623	208,035	206,178	194,446	161,506	194,641	8,589	8,156	8,143
60	296,178	237,412	187,623	160,317	127,92	155,702	8,686	8,354	8,001
80	260,009	194,454	183,287	139,801	108,417	132,897	8,491	8,055	7,966
100	277,623	194,454	187,623	125,713	95,362	117,535	8,5893	8,055	8,001

Pe baza datelor experimentale, a fost trasată curba de clarificare corespunzătoare celor trei puncte în care a fost măsurată turbiditatea. Aceasta este prezentată în fig. 6.37.

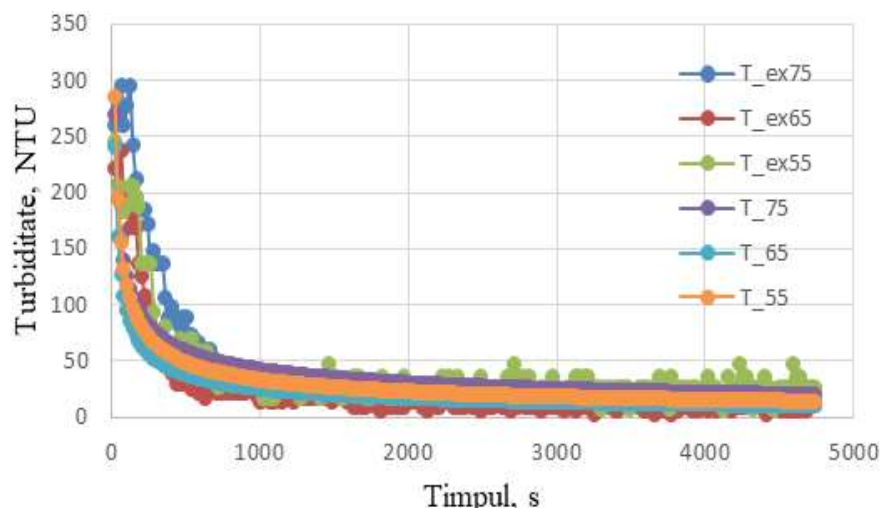


Fig. 6.37. Variația turbidității în cele trei puncte măsurate, [164]

Conform fig. 6.37, se poate observa că valoarea turbidității în cele 80 min în care s-au realizat măsurătorile, pentru înălțimea de 75 mm a scăzut de la valoarea de 260 NTU la aprox. 11 NTU, pentru înălțimea de 65 mm turbiditatea a avut valori cuprinse între 222 și 13 NTU, iar pentru înălțimea de 55 mm, turbiditatea a avut variații de la 246 la 26 NTU.

În figura 6.39 este reprezentată evoluția în timp a vitezei de sedimentare a amestecului lichid-solid, fiind determinată, prin calcul cu ajutorul rel. (6.5), în urma determinărilor experimentale a nivelului interfeței de separare dintre zona limpede și zona cu particule în plin proces de decantare, prin prelucrarea imaginilor captate cu ajutorul camerei Pi.

În această figură, curba de culoare magenta reprezintă valorile vitezei de sedimentare a particulelor solide determinate experimental, iar cu linia albastră, sunt reprezentate valorile vitezei de sedimentare calculate prin integrare numerică a ecuației diferențiale din modelul propus de Je și Chang în lucrarea [63].

Linia neagră punctată din reprezentarea grafică, indică valorile vitezei de sedimentare calculate analitic prin rezolvarea ecuației diferențiale menționate anterior. Se observă că, la momentul inițial, valoarea vitezei de sedimentare are o valoare de 4,5 mm/s, iar în secunda 120 scade până la valoarea de 0,8 mm/s. Astfel, se poate concluziona că, pe măsură ce timpul trece, scade viteza de sedimentare a particulelor solide dintr-o suspensie.

În figura 6.40 este reprezentată grafic evoluția pe înălțime a interfeței lichid-solid în timpul experimentului. Curba de culoare albastră reprezintă variația înălțimii interfeței dintre zona limpezită și zona de suspensie în plin proces de decantare, determinată experimental, iar curba de culoare roșie reprezintă înălțimea interfeței calculate prin integrare numerică. Linia verde indică valorile înălțimii interfeței calculate analitic prin rezolvarea ecuației diferențiale menționate anterior. Conform fig. 6.40, se observă că înălțimea stratului de particule solide crește în timp, în mod invers proporțional cu viteza de sedimentare.

Rezultatele experimentale obținute sunt în corelație cu cele obținute de Sithebe și colab. (2014), precum și cu cele obținute de Je and Chang (2004), [63,130].

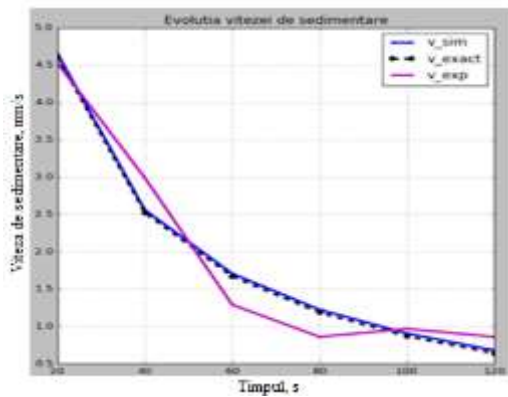


Fig. 6.39. Variația vitezei de sedimentare în timp, [164]

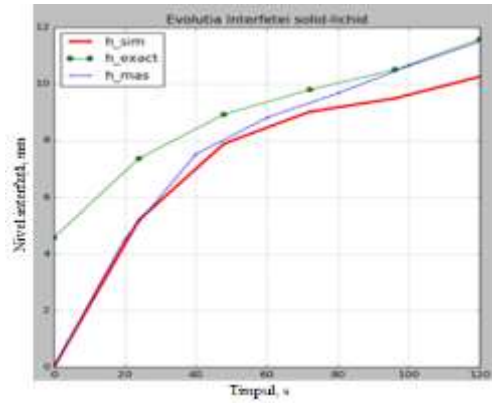


Fig. 6.40. Evoluția interfeței lichid-solid, folosind Raspberry Pi, [164]

6.3.5. Determinarea vitezei de sedimentare în cazul a trei tipuri de amestecuri lichid-solid

Experimentul a avut ca scop determinarea vitezei de sedimentare a trei tipuri de suspensie alcătuite din apă – carbonat de calciu, apă – sol, apă – argilă albastră, de concentrații 2%, 4%, 6%, 8% și 10%. Dimensiunea particulelor pentru carbonatul de calciu și argila albastră a fost de 0,2 mm, iar cea a solului de 0,4 mm.

Pentru a determina viteza de sedimentare a particulelor solide poate fi aplicată legea lui Stokes, care are forma (vezi subcap. 4.1):

$$v = \frac{d_p^2 \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_s)}{18 \cdot \vartheta \cdot \rho_s} = \frac{d_p^2 \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_s)}{18 \cdot \eta} \quad (6.8)$$

unde d_p – diametrul particulei, (m); g – accelerația gravitațională, care are valoarea constantă de 9,81, (m/s²); ρ_p – densitatea particulei solide, (kg/m³); ρ_s – densitatea suspensiei, (kg/m³); η – vâscozitatea dinamică a suspensiei, (Pa·s); ϑ – vâscozitatea cinematică a suspensiei, (m²/s).

Pentru a putea determina viteza de sedimentare au fost determinați următorii parametri: densitatea celor trei tipuri de materiale; densitatea și vâscozitatea dinamică a suspensiei.

Densitatea celor trei tipuri de particule solide a fost determinată cu ajutorul picnometrului, cu ajutorul relației:

$$\rho_p = \frac{(m_c - m_a) \cdot \rho_1}{(m_b + m_c) - (m_a + m_d)} \quad (6.9)$$

unde ρ_p reprezintă densitatea materialului analizat, (g/cm³); m_a – masa picnometrului gol (inclusiv dopul cu tub capilar), (g); m_b – masa picnometrului umplut cu lichidul de referință, (g); m_c – masa picnometrului cu 2-5 g material, (g); m_d – masa picnometrului cu material și umplut cu lichidul de referință până la reper, (g); ρ_1 – densitatea lichidului de referință, (g/cm³).

Au fost realizați aceiași pași pentru toate cele trei tipuri de particule solide. Pentru fiecare material în parte au fost efectuate câte trei tipuri de încercări, valoarea finală a densității fiind media celor trei determinări (ρ_{pm}). În tabelul 6.16 sunt prezentate rezultatele experimentale, care au valori apropiate cu cele întâlnite în literatura de specialitate (ρ_{lit}).

Tabelul 6.16. Rezultatele experimentale obținute pentru calculul densității pentru trei probe de material, cu ajutorul picnometrului

Tipul de material	m _a , g	m _c , g	m _b , g	m _d , g	ρ _l , g/cm ³	ρ _p , g/cm ³	ρ _{pm} , g/cm ³	ρ _{lit} , g/cm ³
Carbonat de calciu	25,194	27,315	45,759	47,049	0,86	2,195	2,412	2,93, [173]
	25,196	28,517	45,746	47,941	0,86	2,536		
	25,204	27,975	45,752	47,572	0,86	2,506		
Argilă albastră	25,284	28,452	45,811	47,733	0,86	2,186	2,384	2,52-2,78, [18]
	25,257	27,739	45,714	47,289	0,86	2,354		
	25,489	28,158	45,786	47,579	0,86	2,619		
Sol	25,237	27,406	45,769	47,134	0,86	2,319	2,564	2,55-2,60, [17]
	25,319	27,213	45,709	47,000	0,86	2,692		
	25,257	27,384	45,727	47,172	0,86	2,682		

Pentru determinarea densității amestecului lichid – solid de concentrație 2%, 4%, 6%, 8% și 10%, a fost utilizată formula de calcul:

$$\rho_s = \frac{m}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (6.10)$$

unde ρ_s reprezintă densitatea amestecului lichid-solid, (g/cm³); m – masa suspensiei, (g); V – volumul suspensiei (cm³).

A fost utilizat un cilindru gradat cu volumul cunoscut de 50 cm³, masa particulelor solide aferente celor cinci concentrații fiind de 1 g, 2 g, 3 g, 4 g, 5 g. Rezultatele experimentale sunt prezentate în tabelul 6.17.

Tabelul 6.17. Rezultatele experimentale obținute pentru densitatea celor trei tipuri de amestec lichid-solid, de concentrații cunoscute

Tipul materialului	c, %	ρ _s , g/cm ³		c, %	ρ _s , g/cm ³		c, %	ρ _s , g/cm ³
Carbonat de calciu	2	1,011	Argilă albastră	2	1,014	Sol	2	1,006
	4	1,016		4	1,036		4	1,019
	6	1,023		6	1,047		6	1,024
	8	1,045		8	1,059		8	1,041
	10	1,067		10	1,063		10	1,060

Vâscozitatea celor trei amestecuri lichid-solid, pentru fiecare concentrație în parte, a fost măsurată cu ajutorul vâscozimetruului cu bile Hoppler și a fost determinată cu ajutorul relației:

$$\eta = \frac{2}{3} \cdot \frac{(\rho_2 - \rho_s) \cdot g \cdot r^3}{d^2} \cdot t \cdot \ln \frac{R}{r} = k \cdot (\rho_2 - \rho_s) \cdot t \quad (6.11)$$

unde ρ₂ – densitatea bilei, (kg/m³); ρ_s – densitatea suspensiei, (kg/m³); g – accelerația gravitațională, (m/s²); r – raza tubului, (m); R – raza bilei, (m); d – diametrul bilei, (m); t – timpul, (s); k - constanta care caracterizează aparatul și sfera folosită. Rezultatele experimentale obținute sunt prezentate în tabelul 6.18.

Tabelul 6.18. Rezultatele experimentale obținute pentru vâscozitatea celor trei tipuri de amestec lichid-solid, de concentrații cunoscute

Tipul materialului	c, %	t, s	η, mPa·s		c, %	t, s	η, mPa·s		c, %	t, s	η, mPa·s
Carbonat de calciu	2	2,54	2,101	Argilă albastră	2	2,76	2,282	Sol	2	2,72	2,252
	4	2,72	2,249		4	2,80	2,308		4	2,81	2,322
	6	2,78	2,296		6	2,92	2,403		6	2,89	2,386
	8	2,81	2,313		8	2,99	2,457		8	2,99	2,463
	10	2,93	2,405		10	3,08	2,529		10	3,07	2,522

Ținând cont că toți parametrii sunt cunoscuți, în continuare, datele experimentale obținute pentru toate cele trei tipuri de amestec lichid-solid, pentru cele cinci concentrații pentru fiecare amestec în parte, au fost utilizate pentru determinarea vitezei de sedimentare, cf. tabelului 6.19.

Tabelul 6.19. Rezultatele experimentale obținute pentru vitezele de sedimentare, pentru trei tipuri de amestec lichid-solid, de concentrații cunoscute

Tipul materialului	c, %	v, m/s		c, %	v, m/s		c, %	v, m/s
Carbonat de calciu	2	$1,45 \cdot 10^{-2}$	Argilă albastră	2	$1,31 \cdot 10^{-2}$	Sol	2	$6,03 \cdot 10^{-2}$
	4	$1,35 \cdot 10^{-2}$		4	$1,27 \cdot 10^{-2}$		4	$5,80 \cdot 10^{-2}$
	6	$1,32 \cdot 10^{-2}$		6	$1,21 \cdot 10^{-2}$		6	$5,63 \cdot 10^{-2}$
	8	$1,29 \cdot 10^{-2}$		8	$1,17 \cdot 10^{-2}$		8	$5,39 \cdot 10^{-2}$
	10	$1,22 \cdot 10^{-2}$		10	$1,13 \cdot 10^{-2}$		10	$5,20 \cdot 10^{-2}$

Pe baza rezultatelor experimentale au fost trasate curbele de variație a vitezei de sedimentare, conform legii lui Stokes, în funcție de concentrația particulelor solide, pentru fiecare tip de amestec lichid-solid în parte (fig. 6.42).

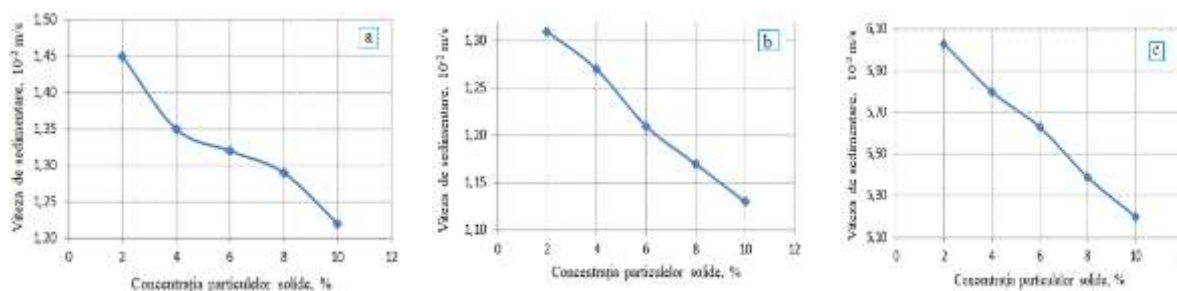


Fig. 6.42. Variația vitezei de sedimentare în funcție de concentrația particulelor solide, în cazul suspensiei apă - carbonat de calciu (a), apă - argilă albastră (b) și apă - sol (c)

Conform acestor variații, se poate remarca faptul că viteza de sedimentare este influențată atât de concentrația particulelor solide (viteza scade pe măsură ce concentrația particulelor crește), de dimensiunea particulelor solide (viteza crește pe măsură ce dimensiunea particulelor crește), cât și de densitatea particulelor solide (pe măsură ce densitatea acestora crește, crește și viteza de sedimentare). Rezultatele obținute sunt în corelație cu rezultatele obținute în literatura de specialitate, [145].

6.3.6. Cercetări experimentale privind influența coagulanților asupra procesului de decantare

Pentru realizarea experimentului a fost utilizat standul experimental pentru studiul coagulării - floculării W1(Armfield, UK). Scopul experimentului a fost de a observa influența coagulantului asupra procesului de decantare, măsurându-se turbiditatea și culoarea înainte și după adăugare de coagulant. Coagulantul utilizat a fost sulfatul de aluminiu $Al_2(SO_4)_3$, un produs industrial solid, care are proprietatea de a produce limpezirea apei.

Au fost folosite cinci vase gradate ale aparatului pentru studiul floculării care s-au umplut cu câte 1L probă de apă, apoi a fost dozat coagulantul, astfel în primul vas, considerat vas martor, nu s-a adăugat coagulant, în vasul 2 s-a adăugat 1 mL de soluție, în vasul 3 - 2 mL de soluție, în vasul 4 - 3 mL de soluție, iar în vasul 5 s-au adăugat 4 mL de soluție.

După amestecarea timp de 1 min a soluției de coagulant din cele cinci vase (fig.6.44), s-a reglat turația agitatoarelor la 30 rpm și timpul de amestecare la 20 min și s-a reluat procesul de amestecare (fig.6.45).

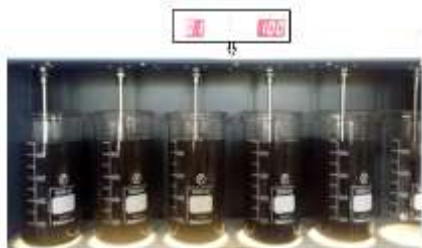


Fig. 6.44. Omogenizare timp de 1 min, [165] **Fig. 6.45.** Coagulare după 20 min, [165]

La finalul determinărilor s-a măsurat turbiditatea și s-a determinat culoarea lichidului cu ajutorul fotometrului, respectiv pH-ul apei limpezite (supernatantului) din fiecare vas gradat. Rezultatele obținute în procesul de coagulare-floculare sunt prezentate în tabelul 6.20. Pe baza acestora, s-a stabilit că doza optimă de coagulant a fost de 4 mL, turbiditatea fiind redusă de circa 8 ori.

Tabelul 6.20. Datele experimentale înregistrate în procesul de coagulare, [119]

Vas	Doza de coagulant, mL/L	Turbiditate, FAU	Culoare, Hazen	pH
1	0	198	75	9,89
2	1	60	73	9,73
3	2	48	70	9,58
4	3	28	61	9,56
5	4	24	45	9,54

Pe baza acestor date, s-au reprezentat grafic variațiile pH-ului, turbidității și culorii probei de apă uzată, în funcție de doza de coagulant (fig. 6.46 - 6.48).

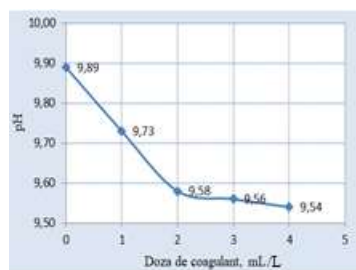


Fig. 6.46. Variația pH-ului în funcție de doza de coagulant utilizată, [165]

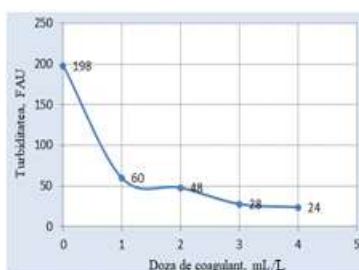


Fig. 6.47. Variația turbidității probei de apă uzată în funcție de doza de coagulant utilizată, [165]

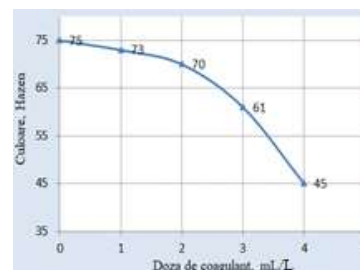


Fig. 6.48. Variația culorii supernatantului în funcție de doza de coagulant utilizată, [165]

În cele din urmă se poate concluziona că:

- adăugarea coagulantului în apa de tratat nu a influențat semnificativ valoarea pH-ului, aceasta pastrându-și caracterul alcalin pe tot parcursul experimentului (9,54 - 9,89);
- testele realizate au arătat că pe măsură ce doza de coagulant crește, scade turbiditatea (de la 198 la 24 FAU), dar și culoarea (de la 75 la 45 Hazen) probei de apă analizată, pentru doze de coagulant de la 0 – 4 mL/L.

6.4. Cercetări in-situ privind epurarea apei uzate orășenești

Aceste cercetări au fost realizate în cadrul a două stații de epurare a apelor uzate orășenești, situate în zone diferite din România, stații denumite în continuare stația A și stația B¹.

6.4.1. Determinări experimentale privind eficiența unui decantor radial pentru ape uzate orășenești

Măsurătorile au fost efectuate în cadrul stației de epurare A, prevăzută cu două trepte de epurare, în anul 2019, la unul din decantoarele primare radiale, din cadrul stației și au avut ca scop determinarea eficienței decantorului într-o lună de iarnă (luna ianuarie), și într-o lună de vară (luna iulie). Din cauza protocolului stabilit cu conducerea stației, nu s-a reușit decât efectuarea unor determinări generale privind eficiența unui decantor radial referitoare la concentrația lichid-solid la ieșirea din decantor, raportată la concentrația inițială a apei uzate la intrarea în decantor. Pentru fiecare zi din luna ianuarie și iulie au fost înregistrate concentrațiile de impurități (mg/L) în apă uzată la intrarea în decantor (c_i) și în apa clarificată, la ieșirea din decantor (c_e), pe baza acestora putându-se determina eficiența de separare a decantorului E (%), folosind relația (4.46). Valorile rezultate în urma măsurătorilor sunt prezentate în tabelul 6.21.

Tabelul 6.21. Valorile concentrației de intrare și ieșire din decantor pentru lunile ianuarie și iulie ale anului 2019

Luna ianuarie				Luna iulie			
T, °C	c_i , mg/L	c_e , mg/L	E, %	T, °C	c_i , mg/L	c_e , mg/L	E, %
≈ 10	157	78	50,32	≈ 22	178	82	53,93
	126	68	46,03		146	76	47,95
	224	80	64,29		156	80	48,72
	258	100	61,24		166	66	60,24
	200	98	51		180	86	52,22
	160	86	46,25		260	90	65,38
	141	82	41,84		164	96	41,46
	175	84	52		254	78	69,29
	221	104	52,94		184	52	71,74
	189	78	58,73		218	58	73,39
	198	82	58,59		150	76	49,33
	372	112	69,89		134	78	41,79
	280	90	67,86		208	94	54,81
	182	84	53,85		156	86	44,87
	190	86	54,74		142	82	42,25
	172	96	44,19		236	82	65,25
	202	82	59,41		180	100	44,44
	284	80	71,83		170	82	51,76
	196	78	60,2		172	90	47,67
	194	88	54,64		274	92	66,42
	343	98	71,43		136	80	41,18
	218	100	54,13		190	86	54,74
	220	102	53,64		198	72	63,64
	178	114	41,57		200	72	64
	258	99	61,63		156	76	51,28
	184	88	52,17		276	86	68,84
	166	70	57,83		164	88	46,34
	208	96	53,85		182	68	62,64
188	104	44,68	182	66	63,74		
224	116	48,21	278	68	75,54		
194	106	45,36	198	74	62,63		

¹ Datele au fost determinate în stații de epurare a apelor uzate orășenești existente, dar fac parte dintr-un protocol de confidențialitate stabilit cu conducerea stațiilor.

Datele au fost prelucrate cu ajutorul programului M. Excel, reprezentându-se grafic variația eficienței în decursul a celor 31 de zile, atât pentru luna ianuarie, cât și pentru luna iulie (fig.6.51). Se poate observa că, dacă valoarea concentrației particulelor solide este mai mare, crește și eficiența procesului de decantare ($> 60\%$). Valorile mai ridicate ale concentrației de intrare în decantor sunt datorate precipitațiilor mai abundente, dar și a deversărilor necontrolate. Eficiența lunii ianuarie a fost de 54,98 %, iar eficiența lunii iulie a fost de 56,37 %. În figura 6.52 este reprezentată variația eficienței pentru fiecare lună a anului 2019, eficiența decantorului în anul 2019, pe baza datelor înregistrate fiind de 48,85 %.

Tabelul 6.22. Valorile mediilor lunare pentru concentrația de intrare, de ieșire din decantor și a eficienței acestuia

Luna	Media lunară a concentrației c_i , mg/L	Media lunară a concentrației c_e , mg/L	Eficiența lunară a decantorului E,%
Ianuarie	209,74	91,26	54,98
Februarie	198,6	110,3	44,46
Martie	215,3	118,5	44,96
Aprilie	248,14	127,4	48,66
Mai	233,22	117,9	49,45
Iunie	210,74	108,5	48,51
Iulie	189,94	79,42	56,37
August	184,28	96,3	47,74
Septembrie	196,87	99,4	49,51
Octombrie	224,23	115,7	48,40
Noiembrie	200,2	106,76	46,67
Decembrie	230,42	123,41	46,45

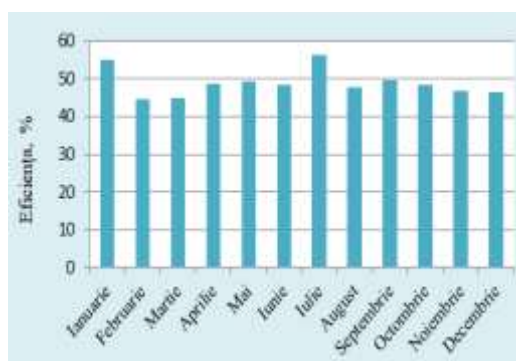


Fig. 6.52. Eficiența procesului de decantare pentru lunile anului 2019

Din cele prezentate se observă că nu există neapărat o corelație a eficienței decantorului cu temperatura atmosferică, deși media eficienței pe lunile de vară este puțin mai mare decât pe lunile cu temperatură mai scăzută. Este foarte probabil, după cum a mai fost menționat, ca acest lucru să se datoreze faptului că nu s-a ținut o evidență strictă a cantităților de precipitații care au căzut în lunile respective, mai ales că lunile cu temperaturi mai ridicate (aprilie - octombrie) au fost luni cu un deficit de precipitații.

6.4.2. Determinări experimentale privind îndepărtarea prin sitare (cernere) a deșeurilor solide din apele uzate orășenești

În instalațiile de sitare ale stației de epurare A, care au în structură grătare rare (fig.6.53a) și grătare dese (fig.6.53b), dispuse succesiv, este separată și evacuată o cantitate de suspensii grosiere de cca. 5 – 6,5 t/zi (acestea sunt plasate la partea anterioară treptei mecanice a stației de epurare în scopul reținerii și evacuării suspensiilor grosiere din apa uzată supusă încă de la începutul procesului tehnologic în scopul protecției și a unei bune funcționări a stației de epurare). Compoziția deșeurilor provenite de la instalațiile de sitare este următoarea: materiale textile - cca. 60%; materiale plastice - cca. 25%; resturi vegetale - cca. 10%; hârtie - 5%. La stația de epurare a apelor uzate A, această cantitate impresionantă de deșuri provenită de la instalațiile de sitare este colectată ca atare în eurocontainere, fără a fi supuse altor tratamente specifice (*dezhidratarea și compactarea*), fiind transportate ulterior către depozite ecologice de deșuri solide cu costuri semnificative.

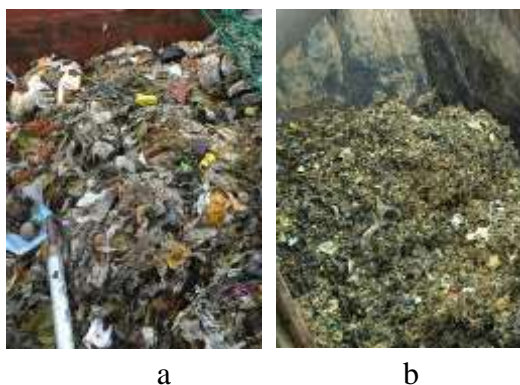


Fig. 6.53. Materialul provenit de la instalațiile de sitare ale stației de epurare a apelor uzate A

În acest sens, în anul 2017 s-a propus o tehnologie inovativă de prelucrare a deșeurilor provenite de la instalațiile de sitare, instalație care a fost implementată și realizată la stația de epurare cu beneficii importante. În figura 6.54 se prezintă schema fluxului tehnologic al tehnologiei de prelucrare a deșeurilor provenite de la instalațiile de sitare ale stației de epurarea apelor uzate A.

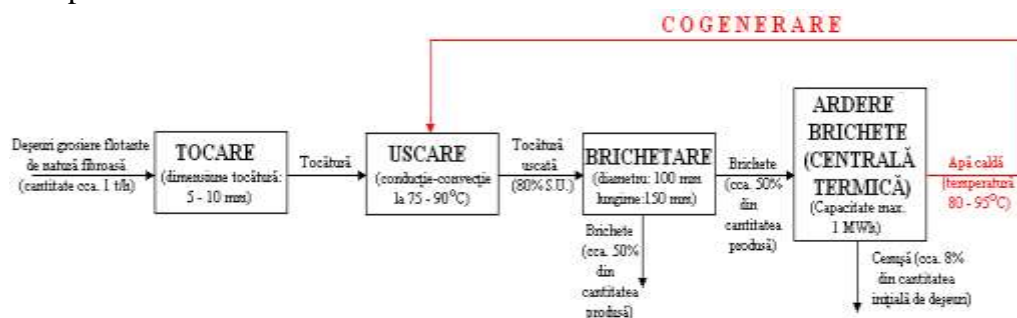


Fig. 6.54. Schema fluxului tehnologic de prelucrare a deșeurilor provenite de la instalațiile de sitare ale stației de epurarea apelor uzate A

Au fost supuse analizei șase probe de deșeuri, preluate la intervale de o săptămână din containerul de stocare a deșeurilor reținute. S-a determinat densitatea inițială a probelor cu ajutorul unei cutii cubice cu latura de 0,2 m, prin cântărirea acestora. Ulterior, probele de material au fost supuse următoarelor operații:

a) *Tocarea materialului deșeurilor* s-a realizat cu un echipament constituit din două rotoare orizontale acționate, prevăzute cu lame tăietoare (fig. 6.56a). În urma tocării materialului a rezultat o tocătură cu dimensiuni ale particulelor între 5 - 10 mm (fig. 6.56b).



Fig. 6.56. Rotoare de tocare prevăzute cu lame tăietoare (a) și aspectul tocăturii rezultate (b)

b) Uscarea materialului tocat s-a realizat într-un uscător cu platane (vetre) etajate în care procesul de uscare s-a produs prin conducție și convecție la temperatură de 75-90 °C. Astfel, materialul rezultat de la tocare a fost depus pe platanul superior, de unde a fost preluat și deplasat de-a lungul acestuia, apoi evacuat pe următorul, astfel că procesul s-a repetat succesiv până când materialul a parcurs toate platanele uscătorului (fig. 6.58b). Agentul termic care a realizat încălzirea platanelor a fost apa caldă, obținută prin cogenerare în cadrul tehnologiei propuse.

c) Brichetarea materialului tocat și uscat s-a realizat prin presare mecanică în presă hidraulică cu piston (fig. 6.59). Se menționează că s-a ales această variantă deoarece umiditatea materialului care se brichetează este de 20%, optimă pentru acest tip de echipament.



Fig. 6.58. Uscător cu platane (vetre) etajate (b)



Fig. 6.59. Presă hidraulică cu piston pentru brichetare

Brichetele obținute au avut diametru de 100 mm și lungime de cca. 150 mm. Aspectul brichetelor obținute experimental prin acest procedeu este prezentat în fig. 6.60.



Fig. 6.60. Aspectul brichetelor obținute

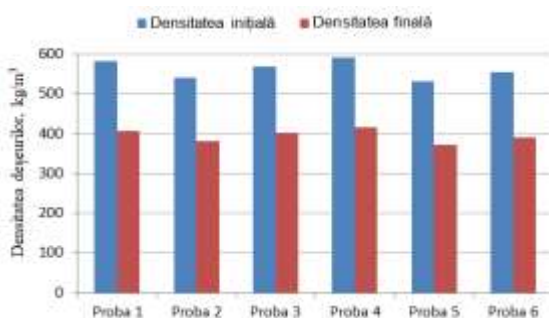
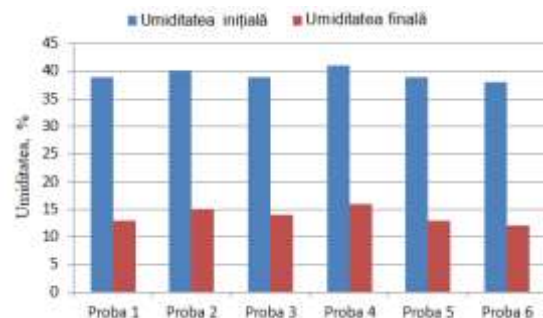
d) Arderea brichetelor în scopul obținerii de agent termic pentru cogenerarea uscării se realizează într-o centrală termică cu exces de aer.

Pentru cele șase probe a fost realizată variația densității inițiale și finale (fig. 6.62). Din graficul din fig. 6.62 se observă că densitatea celor șase probe de deșeuri provenite de la instalațiile de sitare ale stației de epurarea apelor uzate A a scăzut proporțional pentru fiecare probă în parte, cantitatea medie a apei reziduale evacuate după uscare fiind de 166 L/m³.

Tabelul 6.23. Rezultatele experimentale obținute în cazul celor șase probe de deșeuri provenite de la instalațiile de sitare ale stației de epurarea apelor uzate A

Structură deșeuri grătare	Greutatea specifică (după măsurători), kg/m ³				Cantitate apă reziduală %
	Inițială		Finală (după uscare)		
	Densitate, kg/m ³	Umiditate, %	Densitate, kg/m ³	Umiditate, %	
Proba 1	582	39	408	13	174
Proba 2	542	40	383	15	159
Proba 3	568	39	403	14	165
Proba 4	593	41	417	16	176
Proba 5	531	39	372	13	159
Proba 6	556	38	392	12	164
Total medie probe	562	39	396	14	166

De menționat faptul că reducerea umidității materialului influențează decisiv și valoarea puterii calorice a brichetelor obținute ulterior. În uscătorul cu platane etajate umiditatea materialului a fost redusă de la cca. 65%, cât avea inițial, la cca. 20%, valoare impusă de faza ulterioară de brichetare (fig. 6.63).

**Fig. 6.62.** Densitatea inițială și finală a celor șase probe de deșeuri provenite de la instalațiile de sitare ale stației de epurarea apelor uzate A**Fig. 6.63.** Umiditatea inițială și finală a celor șase probe de deșeuri provenite de la instalațiile de sitare ale stației de epurare a apelor uzate A

Cantitatea de brichete generată în urma prelucrării deșeurilor provenite de la instalațiile de sitare ale stației de epurarea apelor uzate este prezentată în tabelul 6.24. Pentru producerea agentului termic necesar pentru uscare se folosește o parte din brichetele obținute, restul fiind folosite pentru comercializare.

Tabelul 6.24. Cantitatea de brichete generată în urma prelucrării deșeurilor provenite de la instalațiile de sitare ale stației de epurare a apelor uzate A

Consum intern brichete în procesul tehnologic de prelucrare		
Cantitatea brută de deșeuri prelucrate lunar = 174 t	kg brichete / m ³ deșeuri prelucrate	cantitate totală de brichete obținută t/lună
Cantitatea de brichete produsă	396	124
Cantitatea de brichete consumată pentru tratare deșeuri	38	12
Cantitatea de brichete ramașă pentru comercializare	358	112

Având în vedere compoziția neomogenă a brichetelor cu influențe semnificative asupra puterii calorice a acestora, este necesar un **sistem automat de control al cogenerării** ce presupune reglarea temperaturii necesare a agentului termic de la uscare prin modificarea

automată a parametrilor centralei termice, cum ar fi: debitul de alimentare cu brichete și debitul de aer necesar arderii (acesta face studiul unui brevet de invenție cu nr. înregistrare OSIM: a 201701031/05.12.2017, anexa A.6.3), [38].

6.4.3. Determinarea cantității de deșuri reținute de instalațiile de sitare și a conținutului total de materii în suspensie

Determinările au fost efectuate în cadrul unei stații de epurare a apelor uzate B cu capacitatea de a epura un debit mediu zilnic de 2550 m³/zi (107 m³/h), cu capacitatea unei debit maxim pe timp uscat de 195 m³/h, respectiv 343 m³/h debit maxim pe timp de ploaie. Stația de epurare deservește o populație de aproximativ 11100 locuitori echivalenți, fiind dezvoltată pe două linii tehnologice de epurare (o treaptă mecanică și una biologică).

Stația de epurare este prevăzută cu două grătare rare (cu distanța între bare de 40 mm) și două grătare dese (cu distanța între bare de 6 mm), montate în două canale din beton armat. Ambele tipuri de grătare au lățimea de 0,7 m și sunt montate cu un unghi de 70 grade (fig. 6.65). Deșeurile reținute cu ajutorul instalațiilor de sitare sunt materiale textile, materiale plastice, resturi vegetale și hârtie.



Fig. 6.65. Grătarele dese (a), respectiv rare (b) din structura stației de epurarea apelor uzate orășenești

În cadrul acestui studiu, au fost determinate cantitățile de material grosier (prin cântărire), reținute din cadrul stației de epurare cu ajutorul celor două tipuri de grătare, determinările fiind efectuate pentru două luni de iarnă ale anului 2020 (ianuarie și februarie), dar și pentru trei luni cu temperaturi mai ridicate ale aceluiași an (iulie - septembrie). Rezultatele sunt prezentate în tabelul 6.25.

Pe baza acestor determinări a fost trasată variația cantității de deșuri grosiere reținută cu ajutorul grătarelor rare și dese din cadrul stației de epurare a apelor uzate orășenești, pentru cele cinci luni (fig. 6.66).

Tot în cadrul stației de epurare B au fost determinate materiile totale în suspensie (MTS), atât din influentul, cât și din efluentul stației de epurare, determinându-se astfel și randamentul stației în ceea ce privește îndepărtarea acestor materii.

Tabelul 6.25. Cantitatea de deșeuri reținute de grătare dese și rare din cadrul stației de epurare, inclusiv orele de funcționare ale acestora

Tipul echipamentului	Luna determinărilor	Cantitatea de deșeuri reținute, kg	Debit influent, m ³ /lună	Total ore funcț., h
Grătare dese și rare	Ianuarie	300	22685	7,25
	Februarie	200	21049	6,5
	Iulie	400	19747	7,5
	August	400	19523	5,5
	Septembrie	600	18408	5

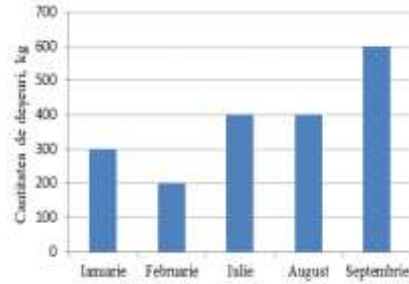


Fig. 6.66. Cantitatea de deșeuri grosiere reținută cu ajutorul grătarelor rare și dese din cadrul stației de epurare A

Cantitatea de materii solide a fost stabilită cu ajutorul relației:

$$MTS = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 1000 \text{ (mg/L)} \quad (6.12)$$

unde m_1 reprezintă masa hârtiei de filtru, (g); m_2 – masa hârtiei de filtru cu particule solide, (g); V- volumul de apă uzată analizat, (L).

Acești pași au fost realizați atât pentru influentul, cât și pentru efluentul stației de epurare, pentru cele cinci luni. Rezultatele experimentale sunt prezentate în tabelul 6.26.

Tabelul 6.26. Rezultatele experimentale în ceea ce privește conținutul total de materii în suspensie în influentul și efluentul stației de epurare, pentru cele cinci luni

Luna	Debit influent, m ³ /lună	MTS influent, mg/L	MTS autorizat, mg/L	MTS efluent, mg/L	Randament stație, %
Ianuarie	22685	297	35 mg/L	5,5	98,15
Februarie	21049	297		5	98,82
Iulie	19747	768		6	99,22
August	19523	872		4,8	99,45
Septembrie	18408	525		5,5	98,95

Pe baza acestor rezultate au fost trasate curbele de variație ale conținutului total de materii în suspensie, pentru influentul și efluentul stației de epurare a apelor uzate orășenești (fig. 6.67). Se poate observa că în toate cele cinci luni a fost redusă semnificativ cantitatea de materii în suspensie, fiecare lună încadrându-se în limitele admisibile în ceea ce privește acest parametru analizat, randamentul stației de epurare fiind în acest caz, mai mare de 98 % pentru cele toate cinci luni (fig. 6.68).

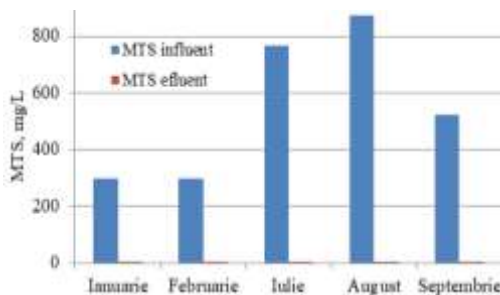


Fig. 6.67. Conținutul total de materii în suspensie, pentru influentul și efluentul stației de epurare B, în cazul celor cinci luni analizate

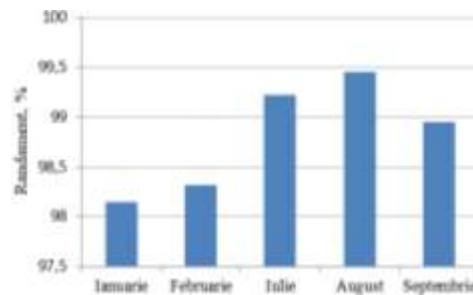


Fig. 6.68. Randamentul stației de epurare pentru conținutul total de materii în suspensie, pentru cele cinci luni analizate

6.5. Concluzii

Cu cât concentrația suspensiei este mai mică, cu atât procesul de sedimentare are loc mai rapid, iar pe măsură ce concentrația de particule crește, crește și timpul necesar îndepărtării acestora din apele uzate prin decantare pentru că viteza de sedimentare scade.

În cazul determinării curbei de clarificare a unei suspensii apoase de particule solide, folosind sistemul inteligent Raspberry Pi valoarea turbidității în cele 80 min în care s-au realizat măsurătorile, pentru înălțimea de 75 mm a scăzut de la valoarea de 260 NTU la aprox. 11 NTU, pentru înălțimea de 65 mm, turbiditatea a avut valori cuprinse între 222 și 13 NTU, iar pentru înălțimea de 55 mm, turbiditatea a avut variații de la 246 la 26 NTU.

Densitatea celor șase probe de deșeuri provenite de la instalațiile de sitare ale stației de epurare a apelor uzate A a scăzut proporțional pentru fiecare probă în parte, cantitatea medie a apei reziduale evacuate după uscare fiind de 166 L/m^3 , iar randamentul stației de epurare B, în ceea ce privește conținutul total de materii în suspensie, a fost mai mare de 98 % în cazul celor cinci luni în care s-au realizat determinările.

CAPITOLUL 7. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. RECOMADĂRI ȘI PERSPECTIVE VIITOARE DE CERCETARE

7.1. Concluzii generale privind aspectele teoretice și experimentale

1. Procesul de separare a amestecului lichid-solid este influențat de numeroși factori care țin atât de componenta solidă, de componenta lichidă, cât și de factorii constructivi ai utilajelor folosite în acest scop;

2. Decantarea are o importanță deosebită în tratarea apelor uzate, caz în care bazinele de decantare pot reprezenta chiar și 30% din investițiile din cadrul unei stații de epurare;

3. Cercetările experimentale realizate în scopul determinării vitezei de sedimentare au arătat că valoarea acesteia este influențată atât de concentrația particulelor solide (viteza scade pe măsură ce concentrația particulelor crește), de dimensiunea particulelor solide (viteza crește pe măsură ce dimensiunea particulelor crește), cât și de densitatea particulelor solide (pe măsură ce densitatea acestora crește, crește și viteza de sedimentare).

7.2. Contribuții personale

1. Analiza sintetică a literaturii de specialitate privind stadiul actual al cercetărilor teoretice și experimentale efectuate în domeniul procesului de decantare a apelor uzate, prin consultarea unui număr de 226 lucrări de specialitate publicate pe plan intern și internațional;

2. Dezvoltarea pe baza datelor experimentale a unui algoritm, cu ajutorul programului MathCad, pentru studiul procesului de decantare care poate fi utilizat în determinarea poziției punctului critic al curbei de limpezire la sedimentarea în coloană staționară a suspensiilor apoase diluate de particule solide;

3. Simularea numerică CFD a procesului de decantare în cazul a două variante constructive de decantare, în scopul determinării variantei constructive optime;

4. Realizarea de cercetări experimentale în ceea ce privește influența concentrațiilor de particule solide asupra procesului de decantare, pentru trei tipuri de suspensii în scopul determinării curbelor de clarificare a acestora;

5. Realizarea unor cercetări experimentale în scopul calculării vitezei de sedimentare pentru cele trei tipuri de suspensii, determinând anterior experimental densitatea particulelor solide, densitatea și vâscozitatea suspensiei;

6. Determinarea curbei de clarificare a unei suspensii apoase de particule solide, folosind sistemul inteligent Raspberry Pi prin procesarea imaginilor interfeței de separare dintre zona limpezită și zona de suspensie cu particule solide în plin proces de decantare;

7. Exprimarea unui set de concluzii și recomandări care pot fi utile cercetărilor ulterioare realizate în domeniu;

8. Realizarea de cercetări experimentale in-situ în cadrul stațiilor de epurare orășenești în scopul valorificării impurităților grosiere, reținute de instalațiile de sitare;

9. Determinarea conținutului de materii în suspensie a influentului și efluentului unei stații de epurare a apelor uzate orășenești;

10. Rezultatele obținute în studiile și cercetările efectuate în cadrul tezei au fost valorificate prin elaborarea și publicarea unui număr de 12 lucrări științifice în reviste de specialitate, în volumele unor conferințe naționale și internaționale și prezentarea acestora în cadrul unor evenimente științifice naționale și internaționale, în calitate de autor și coautor (dintre acestea 2 fiind indexate ISI).

7.3. Recomandări și perspective viitoare de cercetare

Din analiza datelor experimentale și a cercetărilor proprii pot fi efectuate următoarele recomandări:

1. Este necesară o modelare matematică a procesului de decantare a suspensiilor solide din apele uzate cu luarea în considerare a cât mai multor parametri de proces, în vederea identificării corelației între aceștia și a influenței asupra eficienței procesului, dar și a utilajelor folosite;

2. Pentru a crește eficiența procesului de decantare a particulelor solide din amestecul lichid-solid, se recomandă utilizarea de decantoare radiale cu conductă de alimentare centrală cu diametru constant până la o anumită înălțime după care aceasta ar trebui se evazeze la diametru mai mare pentru ca alimentarea apei în decantor să prezinte o curgere lminară, fără curenți turbionari care să afecteze decantarea;

3. Indiferent de tipul decantorului folosit, este important să se poată efectua prelevări de probe de lichid pe adâncime, în vederea analizei turbidității și concentrației de particule solide, dar și a temperaturii lichidului, știut fiind că temperatura afectează atât vâscozitatea cât și procesul de decantare, acest lucru fiind evidențiat prin determinarea eficienței decantoarelor în lunile de iarnă și de vară;

4. Pentru prelucrarea deșeurilor grosiere reținute prin metode mecanice (sitare) din apele uzate în cadrul stațiilor de epurare, se recomandă utilizarea tehnologiei prezentate în teză, cu scopul de a valorifica aceste deșeuri sub formă de brichete combustibile.

Pentru cercetările viitoare, pot fi recomandate următoarele:

1. Cercetări privind influența temperaturii fluidului asupra procesului de decantare în decantoare longitudinale și radiale;

2. Cercetări privind influența debitului de apă uzată asupra procesului de decantare în decantoare radiale;

3. Cercetări privind viteza de decantare în decantoare orizontale în funcție de viteza fluidului la alimentare și de concentrația în materii solide;

4. Cercetări privind influența amestecurilor de materii prime de diferite dimensiuni asupra procesului de decantare în coloane staționare;

5. Efectuarea unor experimente pe un model experimental de decantor, proiectat după caracteristicile celui utilizat în simularea din teză;

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] *Adams E.W., Rodi, W.*, Modelling flow and mixing in sedimentation tanks, J. Hydraul. Eng., vol. 116, no. 7, 1990, pp. 895–911.
- [2] *Adams N.W.H., Kramer J.R.*, Silver speciation in wastewater effluent, surface waters, and pore waters, Environ. Toxicol. Chem., vol. 18, no. 12, 1999, pp. 2667-2673.
- [3] *Al-Baidhani J., Salih H.*, Effects of Shape and Dimensions of Plain Sedimentation Basins, J. Eng. Appl. Sci., vol. 13, 2018, pp. 10730-10734.
- [4] *Al-Jeebory A.A., Kris J., Ghawi J.H.*, Performance improvement of water treatment plants in Iraq by CFD model, QJES, vol. 3, no. 1, 2010, pp. 1-13.
- [5] *Amvrossios C.B., Atmadja J.*, Mathematical Methods for Hydrologic Inversion: The Case of Pollution Source Identification, Handb. Environ. Chem. Vol.5, Part F, vol. 3, 2005, pp. 65–96.
- [6] *Anastasiu D.*, Distribuția apei și evacuarea apelor uzate, în anul 2018, Institutul Național de Statistică, 2019.
- [7] *Andral M.C., Roger S., Montréjaud-Vignoles M., Herremans L.*, Particle size distribution and hydrodynamic characteristics of solid matter carried by runoff from motorways, Water Environ. Res., vol. 71, no. 4, 1999, pp. 398-407.
- [8] *Anjum M.N., Rasheed H.U., Ahmed W.*, Impact of Waste Water Treatment on Quality of Influent & Effluent Water, IJIR, vol. 2, nr.11, 2016.
- [9] *Antoniu, R., Negulescu C.*, Epurarea apelor uzate industriale, vol.1 și 2. Ed. Tehnică, București, 1987.
- [10] *Aguilar M.I., Saez J.*, Improvement of coagulation-flocculation process using anionic polyacrylamide as coagulant aid, Chemosphere, vol. 58, 2005, pp. 47-56.
- [11] *Albertson O.*, Clarifier Design, in Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal, Randall, C. et al., editors, Technomic Publishing Co., Lancaster, Pennsylvania, 1992.
- [28] *Cîrțînă D.*, Epurarea apelor uzate, Academica Brâncuși, Târgu Jiu, 2007.
- [29] *Coldea S., Ionescu Gh.C.*, Elemente de fizica fluidelor și hidraulică. Editura Matrix Rom, București, 2005.
- [30] *Corey A.T.*, Influence of Shape on the Fall Velocity of Sand Grains, Colorado State University, Fort Collins, Masters Thesis, 102 p. 1949.
- [48] *Ghawi A.H., Kriš J.*, A Computational Fluid Dynamics Model of Flow and Settling in Sedimentation Tanks, Applied Computational Fluid Dynamics, chapter 2, Croația, pp. 19-34, 2012.
- [49] *Ghawi A.H., Kriš J.*, Improvement performance of secondary clarifiers by a computational fluid dynamics model. SJCE, vol. 19, nr. 4, 2011, pp. 1–11.
- [50] *Ghawi A.H., Kriš J.*, A numerical model of flow in sedimentation tanks in Slovakia, AKJournals, vol. 3, nr. 2, 2008, pp. 59-73.
- [82] *Machado V.C., Gabriel D., Lafuente J., Baeza J.A.*, Cost and effluent quality controllers design based on the relative gain array for a nutrient removal WWTP, Water Res., vol. 43, no. 20, 2009, pp. 5129–5141.
- [83] *Mackenzie L.D.*, Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice, McGraw-Hill, 2010.

- [84] *McCorquodale J.A.*, Temperature profiles in primary settling tanks, IRI Report University of Windsor, Canada, 1977.
- [85] *McNown J.S., Lin P.N.*, Sediment concentration and fall velocity. Proc. 2nd. Midwest. Conf. Fluid Mech., Ohio State Univ., 1952, pp 401-411.
- [86] *Medina V.M.E.*, Secondary settling tanks modeling: study of the dynamics of activated sludge sedimentation by computational fluids dynamics, PhD Thesis, Chemical and Process Engineering, Université de Strasbourg, 2019.
- [96] *Panaïtescu M.*, Tehnici de epurare ape uzate. îndrumar de proiectare stație de epurare, Editura Nautica, 2011.
- [97] *Parry A.*, Numerical Simulations and Optimisation of Gas-Solid-Liquid Separator, MSc Thesis in Petroleum Engineering, Imperial College London, 2014.
- [98] *Păun M.C.*, Studii și cercetări privind tehnologiile performante de limpezire în producția de apă potabilă, Teza de doctorat, Universitatea Tehnică De Construcții București, 2011.
- [99] *Podoleanu C.E.*, Contributions to the treatment plants to optimize operation, PhD. Thesis, U.P.Timișoara, 2006.
- [100] *Podoleanu C.E.*, Optimization of the longitudinal horizontal settling tanks exploitation within a drinking surface water stations, Buletinul Științific al Universității "POLITEHNICA" din Timișoara, vol. 55, no. 69, Fascicola 2, 2010.
- [101] *Podolsky R.D.*, Temperature and water viscosity: Physiological versus mechanical effects on suspension feeding, Science, vol. 265, no. 5168, 1994, pp. 100-103.
- [124] *Safta V.V., Dincă M., Constantin G-A., Zăbavă B-Ș.*, Critical point determination of the clarifying curve of aqueous diluted suspensions, ATAE, vol. 45, 2017, pp. 99-110.
- [125] *Safta V.V., Toma M. L., Ungureanu N.*, Experimente în domeniul tratării apelor, Editura PRINTECH, București, 2012.
- [163] *Zăbavă B.Șt., Constantin G.A., Voicu Gh.*, Numerical CFD analysis in a radial decanter. Buletinul Științific al Universității Politehnica din București, 2020 (acceptat spre publicare).
- [164] *Zăbavă B.Șt., Ipate G., Voicu Gh., Dincă M., Ungureanu N., Ferdeș M., Vlăduț V.*, Smart system to monitor water treatment based on Raspberry PI computer, ATAE, vol. 47, 2019, pp. 159-166.
- [165] *Zăbavă B.Șt., Ungureanu N., Vlăduț V., Dincă M., Voicu Gh.* Experimental study of coagulation – flocculation process of fine and colloidal impurities in a river from Nehoiu, Romania, Development Directions of Tractors and Renewable Energy Resources, vol. 21, no. 1, 2016, pp. 80-86.
- [166] *Zăbavă B.Șt., Voicu Gh., Dincă M., Ungureanu N., Ferdeș M.*, Factors that influence the efficiency of the decanting process – a review, TE-RE-RD, vol. 7, 2018, pp. 423-426.
- [167] *Zăbavă B.Șt., Voicu Gh., Safta V.V., Ungureanu N., Dincă M., Ionescu M., Munteanu M., Ferdeș M.*, Considerations on the equipment used for wastewater settling – a review, ISB-INMA TEH - Agricultural and Mechanical Engineering, Bucharest, 2016, pp. 561-566.
- [169] *Zăbavă B.Șt., Voicu Gh., Ungureanu N., Dincă M., Safta V.V.*, Basic equipment for the mechanical treatment of wastewater, ISB-INMA TEH, Agricultural and Mechanical Engineering, 2015, pp. 349-356.
- [170] *Zărnoianu D., Popescu S., Brăcăcescu C.*, Theoretical and experimental research on the separation process of impurities from waste water through decantation, COMEC, vol. 6, 2015, pp. 183-190.
- [172] *** ANALYSIS TOOLS, ANSYS Advantage, vol. 2, no. 4, 2008.

LISTA DE LUCRĂRI ÎN DOMENIUL TEZEI DE DOCTORAT

As.drd.ing. ZĂBAVĂ Bianca – Ștefania

1. **Zăbavă B.Șt.**, Constantin G.A., Voicu Gh., *Numerical CFD analysis in a radial decanter.* Buletinul Științific al Universității Politehnica din București, 2020 (acceptat spre publicare, SCOPUS)

2. **Zăbavă B.Șt.**, Ipate G., Voicu Gh., Dincă M., Ungureanu N., Ferdeș M., Vlăduț V. *Smart system to monitor water treatment based on Raspberry PI computer*. „Actual Tasks on Agricultural Engineering”, 5–7 March 2019, Vol. 47, pp. 159-166, Croația, Opatija, ISSN 1848-4425. WOS:000472729500015
3. V.V. Safta, M. Dincă, G-A. Constantin, **B-Ș. Zăbavă**, *Critical point determination of the clarifying curve of aqueous diluted suspensions*. "Actual Tasks on Agricultural Engineering", Vol. 45, Opatija, Croația, 21-24 feb. 2017, pp. 99-109, ISSN 1848-4425, WOS:000432420200010
4. George Ipate, Gabriel Musuroi, Gabriel-Alexandru Constantin, Elena Madalina Ștefan, **Bianca Zăbavă** and Marina Pihurov, *Experimental and numerical simulation research of sedimentation process in stationary column of aqueous suspension of solids*, 8th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD 2019), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911203028> (SCOPUS)
5. **Zăbavă B.Șt.**, Voicu Gh., Ungureanu N., Vlăduț V., Dincă M., Ionescu M. *Experimental study of the sedimentation of solid particles in wastewater*. Scientific International Conferences – The 12th Annual Meeting „Durable Agriculture – Agriculture of the Future”, Craiova. Annals of the University of Craiova – Agriculture, Montanology, Cadastre Series. Vol. XLVI/2, Working group no. 4 – Management, Agriculture Mechanization and Cadastre, 17-18 Nov. 2016, pp. 611-617, ISSN 1841-8317, (BDI: CAB Abstracts– CNCSIS category B+).
6. **Zăbavă B.Șt.**, Voicu Gh., Safta V.V., Ungureanu N., Dincă M., Ionescu M., Munteanu M., Ferdeș M. *Considerations on the equipment used for wastewater settling – a review*. International Symposium ISB-INMA TEH - Agricultural and Mechanical Engineering, pag. 561-566, 27-29 oct. 2016, Bucharest. ISSN 2537-3773, (BDI – CABI).
7. **Zăbavă B.Șt.**, Voicu Gh., Ungureanu N., Dincă M., Ionescu M., Munteanu M., Pruteanu A. *Consideration on the constructive factors of clarifiers and their influence on the settling process efficiency – a review*. 6th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD), 8-10 June 2017, Moieciu de Sus, România pp. 295-300, ISSN 2457-3302, [BDI: Index Copernicus International, EBSCO Publishing Databases].
8. **B.Șt. Zăbavă**, Gh. Voicu, M. Dincă, N. Ungureanu, M. Ferdeș. *Factors that influence the efficiency of the decanting process – a review*. 7th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD), Drobeta Turnu Severin – Romania 31 mai - 02 Junie 2018, pp. 423-426, ISSN 2457 – 3302, [BDI: Index Copernicus International, EBSCO Publishing Databases].
9. **Zăbavă B.Șt.**, Voicu Gh., Ungureanu N., Dincă M., Ferdeș M., Safta V.V., Ipate G. *Study of water turbidity determination using standard samples*. Proceedings of 6th International Conference „Research People and Actual Tasks on Multidisciplinary Sciences”, pp. 124-128, ISSN 1313-7735, Printing House “Angel Kunchev” University of Ruse, 12 – 15 June 2019, Lozenec, Bulgaria [BDI: CABI].
<http://conf.bionetsyst.com/wp-content/uploads/2019/12/Volume1-Lozenec-2019.pdf>
10. **Zăbavă B.Șt.**, Ungureanu N., Vlăduț V., Dincă M., Voicu Gh. *Experimental study of coagulation – flocculation process of fine and colloidal impurities in a river from Nehoiu, Romania*. The XXIII Scientific Meeting „Development Directions of Tractors and Renewable Energy Resources”. Tractors and driving machines (Traktori I Pogonske Masine) 1, ISSN 0354-9496, vol. 21, no. 1/2016, December 2016, Novi Sad, Serbia. pp. 80-86.
11. **Zăbavă B.Șt.**, Voicu Gh., Ungureanu N., Dincă M., Safta V.V. *Basic equipment for the mechanical treatment of wastewater*. International Symposium ISB-INMA TEH, Agricultural and Mechanical Engineering, 29-31 oct. 2015, Bucharest pag. 349-356,. ISSN 2344-4118. [http://isb.pub.ro/isbinmateh/2015/Volume_Symposium_2015 .pdf](http://isb.pub.ro/isbinmateh/2015/Volume_Symposium_2015.pdf)
12. Duțu I., Safta V.V., Voicu Gh., **Zăbavă B.Șt.**, *Sistem automat de control al temperaturii platanelor unui uscător cu conducție-convecție*, Cerere brevet invenție, Nr. înregistrare OSIM: a 2017 01031/05.12.2017.

Curriculum Vitae

Informații personale

Nume / Prenume **ZĂBAVĂ Bianca - Ștefania**
Adresa Strada Solstițiului, nr.8, bl. 1, ap 23, oraș Popești – Leordeni, jud. Ilfov
E-mail bianca.dragoiu@upb.ro
Data nașterii 7 iulie 1990

Experiența profesională

Perioada Noiembrie 2015 - prezent
Funcția sau postul ocupat Asistent universitar
Activități și responsabilități principale
- predare seminarii;
- îndrumare activități practice de laborator
- activitate de cercetare științifică;
Numele și adresa angajatorului Universitatea Politehnica din Bucuresti, Facultatea de Ingineria Sistemelor Biotehnice, str. Splaiul Independentei nr. 313, corp D, sector 6.
Tipul activității sau sectorul de activitate Educație și cercetare
Perioada Noiembrie 2014 – Octombrie 2015
Funcția sau postul ocupat Save Desk Rezidential – call center
Activități și responsabilități principale
- solutionarea sesizarilor clientilor
- activare/ desfiintare servicii fixe/ mobile
Numele și adresa angajatorului Telekom Romania, Piața Presei Libere, nr 3- 5, sector 1, București
Tipul activității sau sectorul de activitate Telecomunicații

Educație și formare

Perioada Octombrie 2015 -prezent
Calificarea / diploma obținută Doctorat în Inginerie Mecanică
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare Universitatea Politehnica din București
Perioada 2013 – 2015
Calificarea / diploma obținută Diploma de masterat, Specializarea Ingineria și Managementul în Protecția Mediului
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite
- Ingineria Calitatii Aerului
- Evaluarea impactului ecologic
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare Universitatea Politehnica din București
Perioada 2009 - 2013
Calificarea / diploma obținută Diploma de licență inginer, Specializarea Ingineria Sistemelor Biotehnice și Ecologice
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite
- Protectia Mediului
- Sisteme de depoluare
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare Universitatea Politehnica din București

Aptitudini și competențe personale

Limba maternă	Română		Înțelegere		Vorbire		Scriere	
	Limba(i) străină(e) cunoscută(e)	Engleză		Ascultare	Citare	Participare la conversație	Discurs oral	Exprimare scrisă
Autoevaluare								
Nivel european (*)								
	Engleză	B2 Utilizator indep.	B2 Utilizator indep.	B1 Utilizator indep.	B1 Utilizator indep.	B1 Utilizator indep.	B1 Utilizator indep.	B1 Utilizator indep.

(*) Nivelul Cadrului European Comun de Referință Pentru Limbi Străine