

UNIVERSITATEA “OVIDIUS” DIN CONSTANTA

SCOALA DOCTORALA DE STIINTE APLICATE

DOMENIUL DE DOCTORAT INGINERIE CIVILA

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

« STUDIUL UNOR PROCESE HIDRODINAMICE IN STATILE DE TRATARE »

Conducator de doctorat
Prof.Univ.Dr. Ing. VIRGIL BREABĂN

Student-doctorand
Ing. ION OPREA

CONSTANTA, 2013

STUDIUL UNOR PROCESE HIDRODINAMICE IN STAȚIILE DE TRATARE

**- CONTRIBUȚII PRIVIND OPTIMIZAREA
PROCESELOR DE COAGULARE-FLOCULARE
ȘI LIMPEZIRE A APEI -**

CUVÂNT INAINTE

Lucrarea de doctorat cu titlul „Studiul unor procese hidrodinamice in stațiile de tratare” abordează o temă de actualitate din domeniul stațiilor de tratare și are o importanță deosebită in domeniul tratării apei.

La incheierea procesului de elaborare a lucrării de doctorat, doresc sa aduc mulțumiri in mod deosebit conducătorului științific, Dlui *Prof.Univ.Dr.Ing. Virgil Breabăn* si Dlui *Prof.Univ.Dr.Ing.Gabriel Racovițeanu*, pentru sprijinul pe care mi l-au acordat pe parcursul perioadei de studiu.

Prin profesionalismul de inaltă ținuta academica, înțelegerea manifestata, dar si prin cunoștințele împărtășite, domniile lor au avut o contribuție deosebit de importanta in elaborarea acestei lucrari.

O deosebita importanța in realizarea lucrării de doctorat a avut-o cercetarea experimentală pe instalația pilot din Catedra de Inginerie Sanitară si Protecția Apelor a Facultății de Hidrotehnică din cadrul Universității Tehnice de Construcții București. Doresc sa aduc mulțumiri colectivului de cercetători, in special Dlui *Prof.Univ.Dr.Ing. Gabriel Racovițeanu* si Dnei *Conf.Univ.Dr.Ing.Chim. Elena Vulpașu* pentru suportul material si moral acordat, cunoștințele împărtășite si sfaturile utile pe care mi le-au acordat pe toata perioada desfășurării cercetării.

Doresc, de asemenea, sa-mi exprim mulțumirile si recunoștința Dlui Director General *Felix Stroe*, Dlui Director General Adjunct *Aurel Presură* și Dlui Director D.F.E. *Ion Preda* din cadrul S.C. RAJA S.A. Constanța pentru suportul tehnic acordat, in vederea elaborării lucrării de cercetare.

In final, dar nu in ultimul rând, doresc sa mulțumesc fiicei mele *Andra-Ioana Oprea*, soției mele *Doinița Oprea* pentru increderea, înțelegerea si suportul moral acordate in toți acești ani, precum si părinților, tatălui meu *Alexandru Oprea* si mamei mele *Fănica Oprea* pentru increderea, educația pe care mi-au oferit-o si sprijinul moral acordat.

CUVINTE CHEIE

Apă, Tratare, Proces Tehnologic, Instalație Pilot, Coagulare, Flocculare, Filtrare, Dezinfecție, Calitate.

CUPRINS

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE (PROBLEME GENERALE)	1
1.1 Problemele pe care le poate avea apa	1
1.2 Influenta apei asupra starii de sanatate a populatiei	1
1.2.1 Patologii hidrice	1
A. Patologia hidrică infecțioasă	1
B. Patologia hidrică neinfecțioasă	2
1.2.2 Modificarea conținutului de micro și macroelemente	2
1.2.3 Contaminarea apei cu substanțe chimice toxice	2
1.2.4 Contaminarea apei cu elemente radioactive	3
1.2.5 Eutrofizarea	4
1.2.6 Influența altor modificări ale calității apei	4
1.3 Standarde si reglementari	4
1.4 Captarea apei din surse	5
1.4.1 Zone de protecție	5
1.4.2 Delimitarea zonelor de protecție în cazul captărilor de ape subterane	5
1.4.3 Delimitarea zonelor de protecție în cazul captărilor de ape de suprafață	5
1.4.4 Regimul terenurilor din zonele de protecție	5
1.5 Obiectivele tezei de doctorat	6
1.6 Continutul tezei de doctorat	6
 CAPITOLUL 2. STADIUL ACTUAL AL PROCESELOR DE TRATARE	 8
2.1 Alcătuirea schemelor stațiilor de tratare a apei	9
2.2 Stabilirea dozelor de reactiv	10
2.3 Aspecte care trebuiesc avute în vedere la exploatarea stațiilor de tratare a apei iarna	10
2.4 Situatia existenta a statiei de tratare Palas- Localitatea Constanta	11
2.4.1 Fluxul tehnologic existent	11

2.5 Cerinte privind calitatea apei tratate in statia de tratare Palas-localitatea Constanta	11
2.5.1 Parametrii microbiologici	12
2.5.2 Parametrii chimici	12
2.5.3 Parametrii indicatori	12
 CAPITOLUL 3. STUDII EXPERIMENTALE	13
3.1 Obiectivele cercetarilor experimentale	13
A. Cercetari experimentale de laborator	13
B. Cercetari experimentale pe instalatia pilot	13
3.2 Calitatea apei	13
3.2.1 Analize fizico – chimice privind calitatea apei brute	13
3.2.2 Analize biologice si bacteriologice privind calitatea apei brute	14
3.2.3 Calitatea apei tratate in Statia de tratare Palas Constanta	15
3.3 Instalatia pilot (Catedra de Inginerie Sanitara si Protectia Apelor a Facultatii de Hidrotehnica din U.T.C.B.)	15
 CAPITOLUL 4. REZULTATELE CERCETARILOR EXPERIMENTALE	17
4.1 Cercetari experimentale de laborator	17
4.1.1 Teste de coagulare cu sulfat de aluminiu	17
4.1.2 Test de coagulare cu policlorura bazica de aluminiu – MOPAC	17
4.1.3 Test de coagulare cu policlorura bazica de aluminiu - PAX 18	17
4.1.4 Test de coagulare cu clorura ferica	18
4.1.5 Test de coagulare cu utilizarea de polielectroliti	18
4.1.6 Teste de oxidare	18
4.2 Cercetari experimentale pe instalatia pilot	18
4.2.1 Ciclul experimental nr. 1	19
4.2.2 Ciclul experimental nr. 2	20
4.2.3 Ciclul experimental nr. 3	21
4.2.4 Ciclul experimental nr. 4	22

4.3 Concluziile cercetarilor experimentale	23
--	----

CAPITOLUL 5. PROPUNERI DE REABILITARE PENTRU

STATIA DE TRATARE PALAS-LOCALITATEA CONSTANTA	26
--	-----------

5.1 Propuneri de reabilitare la Sursa Galesu	26
--	----

5.2 Propuneri de reabilitare in incinta Statiei de tratare Palas	26
--	----

CAPITOLUL 6. CONCLUZII	27
-------------------------------------	-----------

6.1 Indeplinirea obiectivelor tezei de doctorat	27
---	----

6.2 Elemente originale si contributiile autorului	27
---	----

6.3 Perspectiva dezvoltarii subiectului	28
---	----

BIBLIOGRAFIE	29
---------------------------	-----------

1 INTRODUCERE – PROBLEME GENERALE

Apa este cel mai important aliment. Nu poate fi înlocuit. Omul se poate lipsi în extremis de apă pentru alte folosințe, dar nu și de apa de băut. Rezistă timp destul de îndelungat fără mâncare, dar foarte puțin fără apă. Omul regăsește apă în diverse alimente, dar nu se poate lipsi de apa lichidă. De aceea pentru om cea mai importantă apă a fost, este și va fi APA POTABILĂ. Apa are o importanță deosebită în organismul uman, pentru necesitățile omului și având de asemenea o influență aparte asupra stării lui de sănătate.

Apa este un constituent fundamental și indispensabil al organismului uman. Modificări mici produc tulburări grave iar insuficiența aportului de apă este mult mai puțin tolerată decât carența în alte elemente.

Apa destinată consumului uman este orice tip de apă în stare naturală sau după tratare, folosită pentru băut, gătit, la prepararea hranei sau pentru alte scopuri casnice, indiferent de originea ei.

Proporția de apă din organism variază după vârstă: de la peste 97% la embrionul de 7 zile, scăzând treptat la 80 % la nou-născut, 60-65 % la adult și 50-55 % la vârstnic. Procentul de apă variază după intensitatea proceselor metabolice.

Apa îmbuteliată poate avea diferite gusturi în funcție de conținutul de calciu, magneziu, sulfat sau fier. Apa potabilă, ca toate substanțele, conține o oarecare cantitate de bacterii. Cea mai mare parte a acestor bacterii sunt comune și nu sunt periculoase pentru sănătatea omului. Apa mai conține minerale și alte materiale anorganice. [81]

1.1 Problemele pe care le poate avea apa

Apa poate conține diferite substanțe sau microorganisme care pun în pericol sănătatea omului. Poate conține bacterii patogene care pot provoca îmbolnăvirea omului. Poate conține paraziți protozori sau virusuri. Cei mai cunoscuți paraziți sunt Giardia și Cryptosporidium. Legionella este o bacterie care se dezvoltă când apa este menținută mai mult timp la o temperatură cuprinsă între 30 – 40 °C și care poate duce la boala numită legionella care poate fi mortală. Nitrații din apă pot provoca boala numită cianoză care diminuează capacitatea sângelui de a transporta oxigen. Plumbul este o substanță toxică foarte ușor asimilată de organism. Multe persoane au rețineri în privința consumului de apă din rețeaua publică fiindcă o consideră insuficient de curată și preferă să consume apa îmbuteliată. Studii au arătat că în general tendința este de a cumpăra apa cea mai ieftină și acest lucru poate face ca în final să se consume o apă mai puțin curată decât cea de la robinet. [82]

1.2 Influența apei asupra stării de sănătate a populației

1.2.1 Patologii hidrice

A. Patologia hidrică infecțioasă

Pe primul plan al acțiunii apei asupra sănătății omului stă patologia hidrică infecțioasă. Patologia hidrică infecțioasă a scăzut semnificativ în prima parte a secolului XX, dar în ultima perioadă este statistic în creștere, acest fapt datorându-se includerii în categoria celor transmise hidric a unor boli virale și parazitare. Bolile cu transmitere hidrică continuă să facă în lume zilnic peste

25000 de victime. În România, au fost înregistrate oficial în perioada 1985 – 1995, un număr de 75 de episoade de epidemii hidrice, cu un total de 10 238 persoane afectate. Maximul s-a înregistrat în 1993. Se estimează însă că aceste date sunt mult subevaluate față de situația reală, din cauza raportării deficitare. Calea principală de transmitere este cea prin ingestie (directă, sau a alimentelor contaminate prin apă), dar este posibilă infectarea și prin spălare și îmbăiere (leptospiroză, schistostomiază, tularemie) și prin inhalare (aerosoli cu Legionella). Principalele boli cu transmitere (predominant sau posibil) hidrică sunt: boli microbiene, boli virale, boli parazitare. Pentru a se îmbolnăvi, statistic, un om trebuie să ingere în medie (Doza infectantă 50%) miliarde de Escherichia coli, sute de milioane de vibrioni holerici, zeci de milioane de Salmonella typhi, zeci de mii de Shigella, dar numai câteva sute de enterovirusuri, câteva zeci de Amoeba, Giardia sau Balantidium, câțiva ascarizi sau leptospire și în fine, ajung pentru infectare un singur Hymenolepis sau Tenia. Doza depinde de vârstă, stare de sănătate, etc. [81], [84], [85], [86], [87], [94]

B. Patologia hidrică neinfecțioasă

1.2.2 Modificarea conținutului de micro și macroelemente

Apa este o sursă relativ minoră de **iod** (majoritatea provenind din alimente) dar carența este indusă nu doar de cantitatea insuficientă ingerată, ci și de interferarea absorbției iodului de către cantitățile prea ridicate de Ca, F sau Mn.

Carența de **fluor** (caracterizând majoritatea surselor de apă din România) favorizează caria dentară. Fluorul poate contracara și efectele methemoglobinizante ale nitraților. Exces de fluor există în mai multe zone (din cauze naturale sau artificiale - poluare) și provoacă fluoroză, iar la doze mari osteoscleroză și osteofluoroză anchilozantă.

Duritatea apei afectează negativ procesul de spălare (inclusiv a corpului uman), dar influențează pozitiv patologia cardiovasculară, apa dură fiind considerată factor protector. Studii mai recente consideră că nu duritatea în sine este benefică, ci **calciul** (Ca) și **magneziul** (Mg), ai căror compuși sunt factorul major determinat al durității.

Studii clinice indică un efect favorabil al **calciului** (Ca), **magneziului** (Mg), **cromului** (Cr), **vanadiului** (Vn), **manganului** (Mn) și **zincului** (Zn), în schimb **sodiul** (Na), **cuprul** (Cu) și **cobaltul** (Co) sunt incriminați pentru efecte defavorabile. [81], [84], [85], [86], [87], [94]

1.2.3 Contaminarea apei cu substanțe chimice toxice

Dintre toxicele vehiculate prin apă, o parte au origine naturală, dar majoritatea provin din poluarea acviferelor.

- **Nitrații** (NO_3^-) pot constitui o problemă majoră, concentrația lor în apa potabilă peste limitele admise fiind frecventă la noi în țară. În legume, nitrații sunt puternic concentrați.

- **Nitriții** (NO_2^-) rezultă din nitrați fie înaintea consumului, fie în lumenul tubului digestiv, în cazul migrării, în diverse împrejurări, spre stomac și intestinul subțire a elementelor reducătoare din intestin. Consecința este methemoglobinemia, ce afectează vârstele mici, dar uneori și adulți (cum ar fi cei cu probleme gastrice). Nitriții sunt incriminați și pentru cancerul gastric.

- **Arsenul** (*As*) a fost semnalat în apă în concentrații uneori semnificativ peste normele admise. În forma metalică e puțin toxic. El poate da intoxicații acute și cancer al pielii.

- **Seleniul** (*Se*) este prezent uneori în concentrații crescute în anumite surse de apă. Este element esențial pentru om, necesarul fiind de 0.05 – 0.2 mg / zi. Deficitul afectează sănătatea. În doze excesive produce afecțiuni dermatologice, gastroduodenale, respiratorii etc.

- **Cadmiul** (*Cd*) depășește frecvent limitele admise, acumularea acestuia fiind puternică. Organul afectat în principal la om este rinichiul. O sursă de contaminare a apei sunt țevile de zinc în care se găsește ca impuritate. Este și el suspectat pentru posibile efecte cancerigene.

- **Mercurul** (*Hg*) anorganic se absoarbe puțin din apă, dar poate fi metilat de bacterii, iar metil-mercurul se absoarbe în proporție de 95% . Ca și alte metale grele, mercurul se acumulează în organism și poate fi absorbit pe cale hidrică indirect, prin consumul de pește și alte produse.

- **Plumbul** (*Pb*) este frecvent întâlnit printre poluanți și poate genera intoxicații mai ales cronice, din cauza fenomenului de acumulare. Organizația Mondială a Sănătății recomandă neadmiterea vreunei cantități pentru copii sau gravide. De asemenea este suspectat pentru efecte cancerigene.

- **Cromul** (*Cr*), este un element esențial pentru viață, în cantități de 0.05-0.2 mg / zi pentru om. În concentrații mari, are efecte toxice. Forma metalică e netoxică, dar sărurile sunt toxice. Cromul hexavalent este de 100 de ori mai toxic decât cel trivalent.

- **Cuprul** (*Cu*) în concentrații prea ridicate în apă e toxic. El nu se acumulează în organismul uman. Poate proveni din țevile de cupru, care sunt atacate de apele moi sau acide.

- **Cianurile** (*CN⁻*) sunt săruri ale acidului cianhidric. Și acidul și sărurile sale (cianurile, mai ales cele de sodiu sau de potasiu) sunt deosebit de toxice pentru om și animale. Acțiunea este acută, prin blocarea respirației la nivel biochimic, celular. Doza letală pentru om este de 0.57 - 1 mg / kilogram corp.

- **Alumiul** (*Al*) în cantitate crescută este toxic pentru sistemul nervos central. În organismul uman există circa 300 mg aluminii. În mod normal e puțin solubil, dar la pH foarte acid sau alcalin solubilitatea crește puternic.

- **Nichelul** (*Ni*) în cantități mai mari este toxic. Sărurile de nichel pot provoca alergii și chiar cancer.

- **Azbestul** este un grup de minerale de silicați cu structură filamentară, care se folosesc la realizat materiale rezistente la foc și căldură și foi și conducte de azbociment, multe folosite pentru apă. În foarte multe țări este interzisă utilizarea azbestului, deoarece fibrele de azbest sunt cancerigene.

Poluanții organici din apă sunt diversi, în concordanță cu spectaculoasa înmulțire a spectrului de substanțe sintetizate de industria actuală. Există peste 10 000 000 de substanțe chimice, din care peste 100 000 se comercializează și deci au răspândire tot mai largă. [81], [84], [85], [86], [87], [94]

1.2.4 Contaminarea apei cu elemente radioactive

Contaminarea radioactivă a apei este de luat în seamă în principal prin expunerea internă pe care o produce din cauza absorbției și fixării în organism a radionuclizilor. Apa poate conține uraniu (*U*), prezent în numeroase minereuri,

zăcămintele fiind însoțite de Radon (*Rn*). Acest gaz nobil poate fi prezent și el în apa contaminată radioactiv și se degajă ușor, putând fi contaminant prin inhalare când apa respectivă se folosește la duș sau pentru vaporizatoare și umidificatoare. Apa mării este în medie de 100 de ori mai puțin radioactivă ca sedimentele din râuri, dar unele ape termale sunt puternic radioactive. [81], [84], [85], [86], [87], [94]

1.2.5 Eutrofizarea

Deversările ridicate de compuși conținând fosfor și azot pot provoca fenomenul de eutrofizare. Înmulțirea excesivă a algelor duce la scăderea concentrației de oxigen, producerea de substanțe toxice și moartea viețuitoarelor, cu consecințe indirecte grave (economice, ecologice, etc.) asupra comunităților umane. [81], [84], [85], [86], [87], [94]

1.2.6 Influența altor modificări ale calității apei

Suspensiile (organice și anorganice) ale apei, chiar și în absența unei acțiuni negative directe asupra sănătății umane, tulbură major folosința respectivei ape (potabilizare, îmbăiere, utilizare în industrie, irigații și agrement etc.), colmatează acumulările, afectează navigația etc.

Poluarea cu substanțe în **suspensie plutitoare** (țitei) și cu **substanțe tensioactive** (detergenți, alte substanțe spumante) se interpun la suprafața liberă a apei și împiedică oxigenarea, cu efecte anterior amintite. **Coloranții** afectează și ei fotosinteza și autoepurarea, alături de prejudiciul estetic. **Duritatea** mare a apei duce la depuneri în conducte și multiple alte efecte nedorite, făcând apa adesea improprie utilizării fără dedurizare.

Substanțele puternic **acide** sau **alcaline** afectează pH-ul apei, cu consecințe negative multiple. Peștii mor de regulă la pH 4.5 . [81], [84], [85], [86], [87], [94]

1.3 Standarde si reglementari

Se afirmă că apa este cel mai bine cunoscut și monitorizat factor de mediu. Fiecare țară sau regiune dintr-o țară are propriile norme de calitate. Totuși pe plan mondial se tinde spre o bază comună, rezultată din experiența și necesitățile tuturor. În acest sens Organizația Mondială a Sănătății a emis și reeditează periodic "Directivile pentru calitatea apei potabile" iar organisme internaționale precum Uniunea Europeană promovează și ele norme comune detaliat sau cel puțin orientative, cum sunt Directiva 98/83/EC [38] privind calitatea apei destinate consumului uman.

În România, norma de calitate pentru apa potabilă în anii '80 a fost STAS 1342/1984 [74], iar în ultimul deceniu, a fost STAS 1342 / 1991[75].

La 29 august 2002 a intrat în vigoare Legea nr. 458 [39] / 8 iulie 2002 privind calitatea apei potabile, publicată în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 552 din 29 iulie 2002. Anexa I la lege indică o altă listă de parametri de calitate a apei potabile ce trebuie îndepliniți. Unii parametri din noua listă sunt identici cu cei din STAS 1342-1991[75], alții diferă.

Calitatea apei potabile, conform Directivei Uniunii Europene 98/83/EC [38] transpusa în România prin Legea 458/2002 [39], modificata si completata prin Legea 311/2004 [72], trebuie sa fie lipsita de microorganisme sau substante care, prin numar sau concentratii, constituie un pericol potential pentru sanatatea umana.

În cazul apei potabile furnizate prin rețeaua de distribuție, calitatea apei trebuie să corespundă valorilor stabilite pentru parametrii de calitate la ieșirea din stația de tratare și la robinetul consumatorului. [38]

1.4 Captarea apei din surse

1.4.1 Zone de protecție

Există trei nivele ce se dispun în principiu concentric în jurul sursei de apă: zona de protecție sanitară cu regim sever, zona de protecție sanitară cu regim de restricție, perimetrul de protecție hidrogeologică. [88]

1.4.2 Delimitarea zonelor de protecție în cazul captărilor de ape subterane

Dimensiunile zonelor de protecție sanitară stabilite conform criteriilor de mai sus au următoarele condiții de dimensiune: *minim 50 metri în amonte și 20 metri în aval de captare* pentru zona severă.

Pentru acviferele de adâncime la care depozitele acoperitoare conferă o protecție naturală bună antipoluare, zonele de protecție sanitară pot fi reduse numai la zona de regim sever.

Zona de regim sever trebuie împrejmuită, pentru oprirea accesului necontrolat al populației, animalelor și utilajelor de orice fel. [88]

1.4.3 Delimitarea zonelor de protecție în cazul captărilor de ape de suprafață

Dimensiunea minimă a zonei de regim sever va fi de minim *100 metri spre amonte, 25 metri spre aval și 25 metri lateral de priză*. Când dimensiunea laterală nu poate fi respectată se iau măsuri constructive compensatorii. Pentru captările din lacuri, zona severă va avea o dimensiune minimă de *100 de metri radial*, de la mal, pe suprafața lacului, și de minim *25 metri radial pe mal*. Zona de protecție severă se împrejmuiește pe maluri iar pe oglinda de apă se marchează prin geamanduri sau prin alte asemenea. [88]

1.4.4 Regimul terenurilor din zonele de protecție

- **In zona III B de protecție** se interzic: evacuarea de ape pluviale din zone urbane sau din zone de trafic rutier; amplasarea de centrale nucleare sau de unități care evacuează ape radioactive; amplasarea de unități industriale care evacuează ape reziduale cu risc mare de poluare. [88]

- **In zona III A de protecție** se interzic: toate activitățile menționate ca restricții pentru zona III B de protecție; amplasarea de unități zootehnice, abatoare; depozitarea pe sol și întrebuințarea de stimulenți de creștere, substanțe fitosanitare pentru protecția plantelor și pentru lupta împotriva dăunătorilor în agricultura și silvicultura; amplasarea de stații de epurare și infiltrare de ape reziduale. [88]

- **In zona de protecție cu regim de restricție** se permit activități agricole dar cu interzicerea utilizării îngrășămintelor naturale; utilizării substanțelor fitofarmaceutice care nu se degradează într-un timp mai scurt de 10 zile; irigațiilor cu ape uzate, chiar epurate complet; crescătorilor de animale și depozitării de gunoaie animale. În plus se mai interzic toate activitățile menționate ca restricții pentru zonele III B și III A de protecție. [88]

- **In zona de protecție cu regim sever** sunt interzise toate activitățile menționate pentru zonele III B și III A și pentru zona de restricție, precum și:

constructii sau amenajari care nu sint legate direct de exploatarea sursei si a instalatiilor; efectuarea de explozii si de excavatii de orice fel; depozitarea de materiale, cu exceptia celor strict necesare exploatarei sursei si a instalatiei. [88]

1.5 Obiectivele tezei de doctorat

A. Imbunatatirea proceselor fizico-chimice de coagulare-floculare in procesul de tratare a apei de suprafata; B. Efectuarea de studii teoretice si experimentale pentru optimizarea proceselor hidrodinamice de filtrare a apei; C. Optimizarea proceselor de tratare a apei in statia Palas Constanta.

1.6 Continutul tezei de doctorat

Lucrarea cuprinde 141 pagini, 57 figuri, un numar de 41 tabele si o bibliografie cu 100 titluri.

In capitolul 1 se prezinta generalitati cu privire la apa, problemele pe care apa le poate avea, rolul acesteia in organismul uman si influenta asupra starii de sanatate a populatiei.

De asemenea sunt prezentate standardele si reglementarile cu privire la calitatea apei potabile, incluzand principalele obiective care trebuie indeplinite, in conformitate cu legislatia actuala privind calitatea apei destinata consumului uman (Directiva 98/83/EC [38] si Legea apei potabile 458/2002 [39], completata cu Legea 311/2004 [72]).

Sunt astfel mentionate principalele cerinte:

- asigurarea apei potabile fara riscuri asupra sanatatii umane;
- necesitatea optimizarii fluxului tehnologic pentru asigurarea parametrilor impusi.

Se prezinta concluziile rapoartelor nationale cu privire la monitorizarea calitatii apei in sistemele de alimentare cu apa.

Procese de tratare a apei, schemele statiilor de tratare a apei si stabilirea dozelor de reactiv sunt prezentate in capitolul 2 al lucrarii.

Tot in capitolul 2 este descrisa situatia actuala a Statiei de tratare Palas – localitatea Constanta si cerintele privind calitatea apei tratate in statie, dupa reabilitare.

Capitolul 3 cuprinde descrierea generala a experimentelor de laborator si pe instalatia pilot care au fost efectuate. De asemenea sunt descrise in acest capitol : calitatea apei brute, calitatea apei tratate in statia Palas si instalatia experimentală din cadrul Catedrei de Inginerie Sanitara si Protectia Apelor din Facultatea de Hidrotehnica a Universitatii Tehnice de Constructii Bucuresti.

In capitolul 4 al lucrarii se prezinta o analiza a rezultatelor experimentale efectuate in laborator si ciclurile experimentale efectuate pe instalatia pilot. Sunt descrise testele de coagulare-floculare care au fost efectuate cu sulfat de aluminiu, policlorura bazica de aluminiu (MOPAC, PAX 18), clorura ferica si testele de coagulare avansata (pH redus la valoarea de 6.5) cu sulfat de aluminiu si teste cu sulfat de aluminiu si polimer (AN 910).

Cercetarile experimentale de laborator au condus la : stabilirea celor mai eficienti reactivi de coagulare-floculare si dozele necesare recomandate, astfel incat, efectul pe care il produc reactivii asupra apei ce se trateaza, sa fie maxim.

De asemenea, pentru stabilirea solutiei optime de tratare a apei din Statia de tratare Palas s-a efectuat un numar de patru cicluri experimentale in care s-a urmarit gradul de reducere a urmatorilor indicatori: turbiditate, carbon organic total, substante organice, pH. In acest sens s-au analizat probe, la intervale de 1 ora, pentru: apa decantata, apa filtrata rapid pe nisip, apa filtrata pe carbune activ granular.

In finalul capitolului 4 sunt prezentate concluziile cercetarilor experimentale si recomandările cu privire la schema tehnologica pentru tratarea apei la Statia de tratare Palas Constanta, precum si parametrii generali, pentru schema propusa de tratare.

Capitolul 5 descrie obiectele din incinta Statiei de tratare Palas – localitatea Constanta care urmeaza sa se reabiliteze.

In capitolul 6 al lucrarii sunt prezentate elementele originale si contributiile autorului, perspectiva dezvoltarii subiectului si indeplinirea obiectivelor asumate in cadrul lucrarii.

2 STADIUL ACTUAL AL PROCESELOR DE TRATARE

Preocupările în domeniul proceselor de corectare a calității apei sunt de mare actualitate, cu un impact semnificativ asupra unei părți importante a populației din România. Cercetarea științifică a proceselor de corectare a calității apei este foarte puternică în condițiile în care pe de o parte, calitatea surselor de apă de suprafață destinate potabilizării s-a deteriorat în sensul creșterii încărcării cu materii de natură organică, iar pe de altă parte a crescut exigența consumatorilor, reflectată în indicatorii tot mai severi impuși în legislația în vigoare. [76], [77]

Existente într-un număr relativ mare pe teritoriul României, stațiile de tratare a apei, trebuie adaptate la tehnicile, conceptele și normele Uniunii Europene. Ca urmare, reabilitarea, re tehnologizarea și optimizarea proceselor de corectare a calității apei constituie o oportunitate în cercetarea științifică și tehnica actuală, pentru creșterea calității apei cu costuri de producție rezonabile. Privind pe plan social oportunitatea creșterii calității apei potabile produse, cu costuri de producție rezonabile constituie prioritatea numărul unu pentru asigurarea unui trai decent în condiții sanitare decente. [76], [77]

Exploatarea stației de tratare trebuie făcută astfel încât, în condițiile în care apa de la sursă prezintă o variație foarte importantă (uneori de la ora la ora) a indicatorilor de calitate, efluentul stației, deci apa livrată consumatorilor, să corespundă limitelor de calitate impuse, unele deosebit de severe. [76], [77]

Produsul unei stații de tratare este o apă de calitate superioară care corespunde cerințelor unei folosințe.

Etapile de tratare pentru potabilizarea apei sunt:

Apa brută

- Apa de mare
- Apa de suprafața din lacuri sau râuri
- Ape freatice și apa de izvor

Tratarea apei pentru a fi potabilă

- Floculare
- Precipitare
- Filtrare și adsorbție
- Îndepărtarea fierului, manganului și arsenicului
- Înmuiere și stabilizare
- Microfiltrare și ultrafiltrare
- Desalinizare
- Durificare
- Neutralizarea și ajustarea pH-ului
- Oxidare
- Dezinfecție

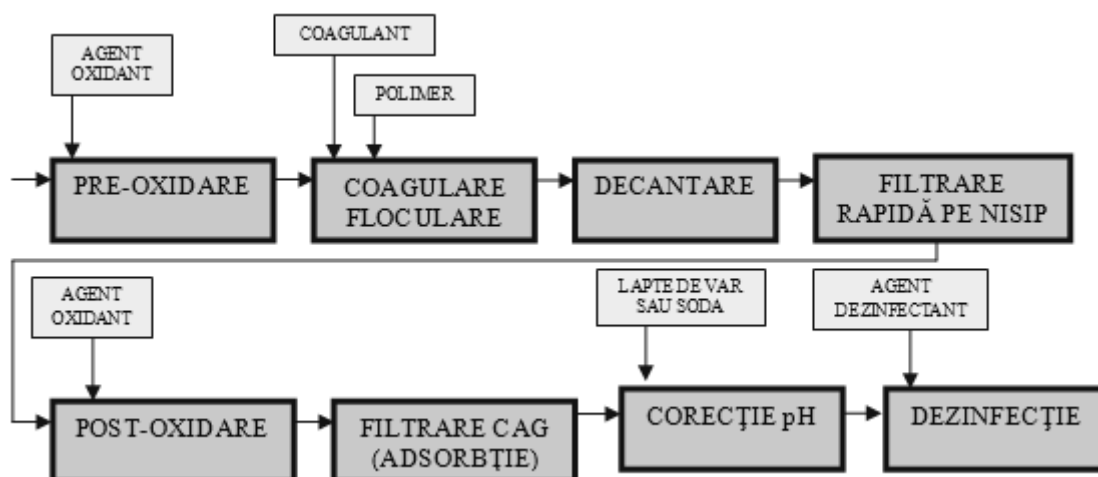
2.1 Alcătuirea schemelor stațiilor de tratare a apei

Sistemul de alimentare cu apă este alcătuit din totalitatea construcțiilor și instalațiilor necesare pentru satisfacerea cerințelor de apă ale tuturor folosințelor din centrele populate și industriale. [77], [78]

Stația (uzina) de tratare este o componentă a sistemului de alimentare cu apă și poate fi definită ca fiind totalitatea construcțiilor și instalațiilor în care se desfășoară procesele prin care se asigură corectarea apei sursei, pentru a corespunde cerințelor de calitate impuse de consumator. [44], [77], [79]

Există o multitudine de procese de tratare care se utilizează în practică, însă schema generală a unei stații de tratare (figura de mai jos) cuprinde:

- pre-oxidarea este un proces permanent care trebuie să asigure funcționarea optimă a proceselor ulterioare;
- procesele de limpezire a apei care constau în:
 - coagularea-flocularea este un proces independent în cadrul filierei; în acest proces alegerea coagulantului compatibil este esențială pentru obținerea performanței;
 - decantarea apei pentru reținerea suspensiilor coagulate; reținerea mării majorități (90÷95 %) a suspensiilor din apă, prin procedeul de staționare relativă, după faza de coagulare – floculare;
 - filtrarea pe strat de nisip pentru finalizarea procesului de limpezire;
- afânarea apei, constituită din oxidare cu ozon urmată de adsorbție pe cărbune activ granular cu scopul îndepărtării anumitor compuși chimici toxici;
- dezinfecția apei, pentru îndepărtarea totală a virusurilor, bacteriilor și altor micro-organisme din apă, treapta obligatorie în România, conform Legii privind Calitatea Apei Potabile, nr. 458/2002. [39], [42], [77], [80]



Schema generală a unei stații de tratare a apei [42], [77], [80]

Orice stație de tratare este deservită de anumite facilități pentru întreținerea proprie. Printre acestea se menționează:

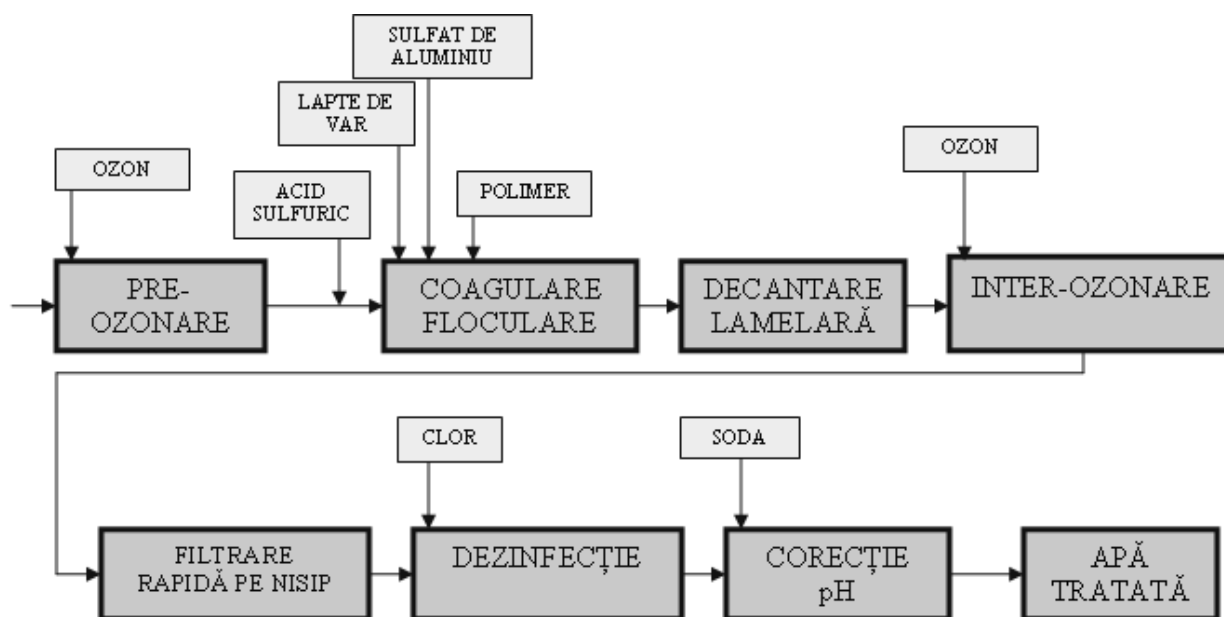
- stația de reactivi chimici, cu rolul de a stoca, prepara și doza reactivii necesari procesului de tratare (coagulanți, floculanți, agenți dezinfectanți, corecție pH);
- sisteme de spălare filtre rapide constituite din stații de pompare și suflante;

- laborator, pentru a determina corectitudinea procesului de tratare dar și calitatea apei produse;
- alte facilități printre care se menționează sisteme de recuperare a apei de la spălarea filtre și a nămolului din decantoare. [42]

2.2 Stabilirea dozelor de reactiv

Precizarea dozelor de reactivi urmărește stabilirea cantităților minime de reactiv care produc efect de limpezire maxim într-o durată cât mai scurtă de timp.

Metoda jar-test, considerată ca cea mai apropiată de realitate, folosește un aparat prin care se efectuează încercări sistematice cu doze de coagulant diferite. [77]



Schema unei stații de tratare a apei pentru care s-a descris modul de stabilire, de principiu a dozelor de reactiv. [42], [77], [80]

În funcție de parametrii de calitate ai apei brute, în special turbiditate și temperatură, în urma efectuării unui jar-test, se stabilesc:

- doza de sulfat de aluminiu, reactivul folosit pentru coagularea particulelor coloidale din apa brută (particule de dimensiuni foarte mici nedecantabile aflate în echilibru în curentul de apă și care dau turbiditatea apei);
- doza de acid sulfuric sau după caz lapte de var reactivi folosiți pentru corecția pH-ului apei la coagulare;
- doza de polimer, care este un adjuvant al sulfatului de aluminiu. [77]

2.3 Aspecte care trebuie avute în vedere la exploatarea stațiilor de tratare a apei iarna

În procesele de tratare a apei, temperatura are un rol foarte important. Astfel, la temperaturi mai mici ale apei (mai mici de 4÷5°C) crește vâscozitatea acesteia, acest lucru ducând la scăderea capacității de amestec a reactivilor cu apa.

În perioadele de iarnă, când temperatura apei este scăzută, pentru aceleași valori ale turbidității apei brute ca în anotimpurile de primăvară, vară, toamnă, pentru a avea turbidități comparabile după procesele de limpezire a apei

(decantarea și filtrarea apei) dozele de reactivi utilizate sunt mai mari (cantități mai mari de reactivi). [77]

2.4 Situatia existenta a statiei de tratare Palas-localitatea Constanta

Tratarea de la statia Palas cuprinde in prezent:

- un bazin de amestec si distributie, in care sunt conectate conductele de aductiune care provin de la sursa Galesu; in bazin se introduce o solutie de clor, pentru ca prin preclorare sa se distruga scoicile ajunse in statie. Bazinul este intr-un stadiu avansat de degradare atat constructia, cat si instalatia hidraulica si mecanica.
- 4 decantoare suspensionale de tip pulsator, din care sunt in functiune 3 decantoare;
- o instalatie de preparare si dozare reactivi;
- o statie de dezinfectie cu clor;
- statia de filtre rapide deschise, cu nisip de cuarț, cuprinzand 20 filtre dispuse pe doua randuri in patru baterii de cate 5 cuve duble;
- statia de pompare nr.4 (SP4) care deserveste filtrele si asigura directionarea apei catre rezervorul de inmagazinare de 10 000 mc;
- o statie de suflante care deserveste statia de filtre;
- rezervorul R 6 000 mc si statia de pompare SP4;
- gospodarii electrice aferente fiecarui obiect din cadrul statiei;
- retele de transport in incinta (conducte de legatura cu functia de transport apa intre elementele statiei descrise anterior, conducte de transport pentru alte fluide (clor, reactiv, aer comprimat), sistem de canalizare);
- alei carosabile in incinta Statiei Palas. [90]

2.4.1 Fluxul tehnologic existent

La sursa de suprafață Galeșu, pe malul Canalului Năvodari Poarta Albă este instalată o statie de clorare care realizeaza o preclorare a apei brute, inainte de pomparea spre Statia Palas.

De la sursa de suprafata, apa este transportată în stație prin intermediul a doua conducte, având fiecare Dn 1 000 mm. Conductele sunt din oțel și PREMO, cele două materiale alternând pe traseul fiecăreia dintre ele. Acestea descarcă în bazinul de amestec și distribuție al stației. Aceste conducte se unesc intr-una singura inainte de a descarca in bazinul de amestec.

In cadrul Statiei Palas apa provenita din sursa de suprafata Galesu este amestecata, dupa ce este tratata, cu cea provenita din surse subterane, inainte de pomparea catre consumatori.

Fluxul tehnologic actual cuprinde : bazinul de amestec, 4 decantoare, 20 filtre, statia de suflante, statia de dezinfectie cu clor, statia de dozare reactivi, statia de pompare nr. 4 (SP4). [90]

2.5 Cerinte privind calitatea apei tratate in statia de tratare Palas-localitatea Constanta

Calitatea apei tratate livrata în rețeaua de distribuție, va fi conforma cu Directiva UE 98/83/EEC [38] privind calitatea apei destinata consumului populației și cu legislația româneasca privind calitatea apei potabile (Legea 311/28.06.2004 [72], Legea 458/2002 [39] si O.U.G. 1/19.01.2011 privind modificarea si completarea legii 458/2002 privind calitatea apei potabile [91]). De asemenea, in urma reabilitarii, stația va fi capabilă să livreze în rețea apă potabilă la cei mai buni parametri calitativi. [90], [95]

2.5.1 Parametrii microbiologici

Calitatea microbiologică a apei la punctul de monitorizare trebuie să respecte parametrii valorici așa cum sunt definiți de legislație în ceea ce privește conținutul de enterococi, bacterii coliforme, *Escherichia coli* (*E. coli*) și *Clostridium perfringens* (inclusiv sporii) conform Legii 458/2002. [39], [90], [95]

2.5.2 Parametrii chimici

Parametrii chimici sunt în conformitate cu Legea 458/2002 [39] și O.U.G. 1/19.01.2011 privind modificarea și completarea legii 458/2002 privind calitatea apei potabile. [90], [91], [95]

2.5.3 Parametrii indicatori

Parametrii indicatori sunt în conformitate cu Legea 458/2002.[39], [90], [95]

3 STUDII EXPERIMENTALE

3.1 Obiectivele cercetarilor experimentale

Cercetarea s-a efectuat in cadrul unui contract de cercetare prin Programul Operational de Mediu 2007-2013. [67]

Cercetarea a fost efectuata de un colectiv de cercetare in care a fost cooptat si autorul tezei de doctorat.

A. Cercetari experimentale de laborator

Cercetarile de laborator au fost efectuate in scopul stabilirii necesitatii utilizarii reactivilor de coagulare-floculare, dozele recomandate, precum si efectul acestora asupra apei tratate.

Astfel s-au efectuat mai multe teste de coagulare floculare cu urmatoorii reactivi: sulfat de aluminiu, policlorura bazica de aluminiu: MOPAC, PAX 18 si clorura ferica. De asemenea s-au efectuat teste de coagulare avansata (pH redus la 6.5) cu sulfat de aluminiu, dar si teste cu sulfat de aluminiu si polimer (AN 910). [95], [99], [100]

B. Cercetari experimentale pe instalatia pilot

In vederea stabilirii solutiei de tratare a apei care alimenteaza Statia de tratare Palas Constanta au fost efectuate 4 cicluri experimentale. [95],[99],[100]

3.2 Calitatea apei

In vederea evaluarii calitatii apei brute care alimenteaza statia de tratare Palas Constanta s-au analizat rezultatele determinarilor efectuate de operator in perioada 2009 - 2011 si s-au prelevat probe de apa bruta atat din Canalul Dunare – Marea Neagra (sectiunea Galesu) cat si de la intrarea in statia de tratare Palas Constanta la 07.07.2011 si 28.07.2011. [95], [99], [100]

3.2.1 Analize fizico – chimice privind calitatea apei brute

Rezultatele monitorizarii calitatii apei brute in perioada 2009 – 2011 de catre laboratorul incercari apa potabila Palas Constanta sunt prezentate in cadrul tezei.

Analiza rezultatelor analizelor fizico-chimice pune in evidenta urmatoarele: apa are un pH in domeniul bazic cu o valoare medie de 8.09 si o valoare maxima de 8.42; apa bruta este relativ limpede, turbiditatea acesteia incadrandu-se in intervalul 0.72 – 7.38 NTU; din punct de vedere al mineralizarii se poate observa un continut de saruri de 236 – 397 mg/l corespunzator unor conductivitati de 420 – 760 $\mu\text{S}/\text{cm}$; duritatea totala are valori medii cuprinse in intervalul 10.18 – 15.8 grade de duritate, in cea mai mare parte fiind duritate temporara data de bicarbonatii de calciu; incarcarea organica, evaluata numai prin metoda cu permanganat de potasiu este medie cu valori ale consumului de permanganat in intervalul 1.49 – 4.32 mg O_2/l ; compusii cu azot sunt sub limita impusa pentru apa potabila respectiv maximum 0.49 mg/l NH_4^+ si 15.8 mg/l NO_3^- .

In vederea confirmarii calitatii apei s-au efectuat 2 campanii de recoltare, la 07.07.2011 si 28.07.2011. Rezultatele sunt prezentate in cadrul tezei.

Analiza datelor prezentate in tabel indica: apa este relativ limpede cu turbiditati cuprinse intre 5.22 si 7.36 NTU pentru apa din canal, respectiv 2.88 – 9.34 NTU pentru apa care intra in statia de tratare Palas; in general la intrarea in

statie apa este mai limpede decat apa prelevata din canal; pH-ul apei este in domeniul bazic, cu valori peste 8, valori care sunt favorabile dezvoltarii speciei *Dreissena Polymorpha*; mineralizarea apei este medie cu valori ale concentratiei totale de saruri cuprinse in intervalul 267 – 298; mineralizarea este data in cea mai mare parte de bicarbonatii de calciu si magneziu; compusii cu azot au valori mici, sub limitele impuse pentru categoria A1 de ape de suprafata; concentratia de metale grele este redusa, din acest punct de vedere apa incadrandu-se in categoria A1 de calitate conform NTPA 013/2006 [92]; concentratia de poluanti organici (hidrocarburi aromatice policiclice, policlorbifenili, compusi organici halogenati adsorbabili) este redusa, sub limitele impuse de legislatia in vigoare; concentratia de substante organice evaluata prin indicele de permanganat este relativ redusa cu valori cuprinse in intervalul 2.29 – 3.79 mg O₂/l, insa concentratiile de carbon organic total au avut valori cuprinse intre 3.7 si 11 mg C/l. Aceste concentratii sunt specifice apelor de suprafata cu incarcare organica ridicata si indica faptul ca cea mai mare parte a substantelor organice sunt greu degradabile. [95], [99], [100]

3.2.2 Analize biologice si bacteriologice privind calitatea apei brute

Dat fiind faptul ca din istoricul statiei de tratare se cunoaste existenta in apa de alimentare a speciei *Dreissena Polymorpha* (*Zebra Mussels*) au fost efectuate analize biologice si determinari specifice acestei specii.

Cei mai importanti factori care influenteaza abilitatea molustei de a ocupa noi spatii sunt: pH-ul, salinitatea, temperatura, oxigenul dizolvat, continutul de calciu. pH-ul influenteaza semnificativ viata acvatica.

Adutii de *Dreissena Polymorpha* supravietuiesc la valori ale pH-ului cuprinse între 6 si 9, însa pH-ul optim este 7.5 – peste 8.

Dreissena Polymorpha nu poate supravietui daca concentratia calciului în apa este insuficienta, acesta fiind esential pentru formarea cochiliei; valorile optime ale concentratiei calciului sunt 25 – 35 mg/l.

Rezultatele analizelor biologice au pus in evidenta urmatoarele: raportat la Ordinul nr.161/2006 [93], probele de apa bruta analizate, prelevate atat din canalul Dunare – Marea Neagra in sectiunea Galesu cat si de la intrarea in statia de tratare Palas Constanta se incadreaza in categoria de calitate : oligosaproba – β - mezosaproba, apa cu impurificare scazuta spre moderata, cu continut ridicat de oxigen dizolvat, fara forme polisaprobe. Apa prezinta un numar redus de bacterii si numar ridicat de insecte si larve de insecte, iar valoarea determinata pentru indexul saprobic corespunde starii ecologice "buna"; valorile obtinute pentru concentratia de clorofila "a" incadreaza apa in categoria de calitate I – II care corespunde starii ecologice "forte buna" – "buna"; determinarile de *Dreissena Polymorpha* indica o abundenta numerica semnificativa atat a speciilor juvenile cat si adulte; rezultatele obtinute pentru proba recoltata in data de 07.07.2011 de la intrarea in statia de tratare Palas Constanta indica prezenta speciei *Dreissena Polymorpha* in stadiul de larva veligera; in data de 28.07.2011 aceasta a fost absenta.

Din punct de vedere al calitatii microbiologice, apa bruta atat la captare Galesu cat si la intrarea in statia de tratare Palas se incadreaza in Categoria A1 de calitate conform NTPA 013/2006. [92], [95], [99], [100]

3.2.3 Calitatea apei tratate in Statia de tratare Palas Constanta

S-au efectuat analize pe apa tratata si apa distribuita consumatorilor.

Rezultatele acestora sunt prezentate in cadrul tezei.

Din punct de vedere al parametrilor analizati apa se incadreaza in limitele impuse de Legea 458/2002 [39] cu modificarile si completarile ulterioare. [95], [99], [100]

3.3 Instalatia pilot (Catedra de Inginerie Sanitara si Protectia Apelor a Facultatii de Hidrotehnica din U.T.C.B.)

Instalatia experimentală din cadrul Catedrei de Inginerie Sanitară și Protecția Apelor din cadrul Facultății de Hidrotehnică din Universitatea Tehnică de Construcții București a fost concepută să asigure o flexibilitate ridicată, pentru un debit nominal $Q = 0.36 - 0.72 \text{ m}^3/\text{h}$ și este constituită din următoarele obiecte tehnologice: bazin de pre-oxidare, cu înălțimea coloanei de apă de 4 m, care asigură un timp de contact 8 – 15 min.; se pot utiliza ca agenți de oxidare ozonul, clorul, hipocloritul de sodiu; treaptă de decantare asigurată cu două tehnologii alternative: decantor cu viteză ascensională variabilă cu modul lamelar în curent ascendent sau decantor cu camere de reacție rapidă și lentă și cu modul lamelar tip "Δ"; filtru rapid pe nisip, cu o înălțime de strat $H=1.2 \text{ m}$; bazin de contact post-oxidare, cu caracteristici similare bazinului de contact pre-oxidare; filtre de carbune activ granular (2 unități) cu înălțime activă de strat $H = 2 \times 1.2 \text{ m}$, cu posibilitatea de montaj în serie sau în paralel, care asigură un timp de contact de 15 – 30 min.; generator de ozon din oxigen; instalații de dozare reactivi care cuprind pompe dozatoare și bazine de stocare reactivi; instalații de dozare clor cu vacuum, care cuprind butelii de clor, pompa de circulație, injector și dozatorul propriu-zis; instalații de repompare cu rezervor și pompa submersibilă; instalație de apă spălare filtre constituită din rezervor cu volumul $V=300 \text{ dm}^3$ și pompa apă spălare; compresor aer spălare filtre; rezervor stocare apă brută cu pompe de recirculare și de alimentare; instalație de ultrafiltrare complet automatizată; aparatura de laborator și de proces. [95], [99], [100]

În figura următoare se prezintă schema tehnologică și fotografiile ale instalației pilot.

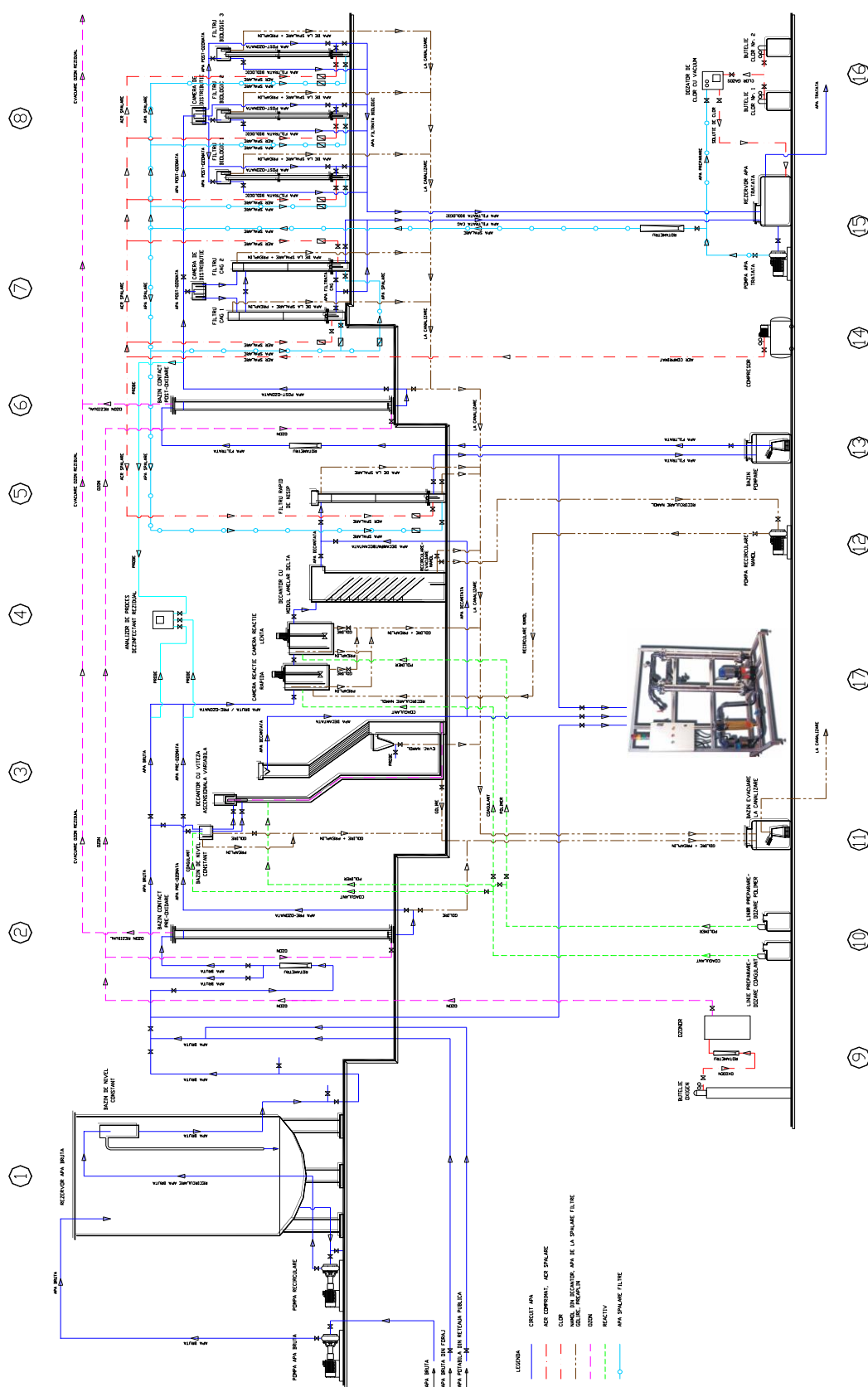


Figura-Schema Pilot de Tratarea Apei, Laborator Alimentari cu Apa – U.T.C.B.

Legenda: 1. Bazin de stocare apa bruta; 2. Bazin contact pre-oxidare; 3. Decantor cu viteza ascensionala variabila; 4. Decantor cu camere de reactie si modul lamelar "Δ"; 5. Filtru rapid de nisip; 6. Bazin de contact post-oxidare; 7. Filtre de carbune activ granular; 8. Filtre speciale; 9. Generator de ozon; 10. Instalatii preparare-dozare reactivi; 11. Instalatie golire si evacuare namol; 12. Pompa recirculare namol; 13. Treapta de repompare; 14. Compresor; 15. Rezervor si pompa apa spalare filtre; 16. Instalatie preparare-dozare clor. 17. Instalatie de filtrare pe membrane. [95]

4 REZULTATELE CERCETARILOR EXPERIMENTALE

4.1 Cercetari experimentale de laborator

Cercetarile experimentale de laborator au fost efectuate pentru a se stabili necesitatea utilizarii reactivilor de coagulare-floculare, care sunt dozele necesare recomandate si care este in final efectul pe care reactivii il produc asupra apei ce se trateaza. [95]

4.1.1 Teste de coagulare cu sulfat de aluminiu

Rezultatele testului de coagulare cu sulfat de aluminiu la pH-ul natural al apei sunt prezentate in teza.

S-a constatat o reducere a turbiditatii pana la valori de 0.44 NTU la o doza de sulfat de aluminiu de 25 - 30 mg/l.

Concentratia de substante organice corespunzatoare acestei doze a fost de 12.62 mg KMnO₄/l (reducere de 15.7%).

S-a efectuat un test de coagulare la pH = 6.7. Rezultatele acestuia sunt prezentate in teza.

S-a observat reducerea turbiditatii la valori sub 1 NTU de la doze de sulfat de aluminiu incepand cu 10 mg/l.

Din punct de vedere al reducerii incarcarii organice, coagularea la pH redus a condus la eficiente mai bune de retinere.

S-a constatat ca reducerea pH-ului inainte de coagulare determina reducerea substantelor organice oxidabile cu o eficienta de 41.69% la o doza de 25 mg/l fata de 16.75% pentru aceeaasi doza in cazul coagularii la pH-ul natural al apei. Si eficienta de reducere a concentratiei de carbon organic total a fost mai mare in cazul reducerii pH-ului inainte de coagulare. [95], [99], [100]

4.1.2 Test de coagulare cu policlorura bazica de aluminiu – MOPAC

S-a realizat un test de coagulare cu MOPAC, care este o policlorura bazica de aluminiu utilizata in procese de tratare a apei. Rezultatele testului de coagulare cu MOPAC sunt prezentate in teza.

S-a observat reducerea turbiditatii pana la valori de 0.3 NTU la o doza de MOPAC de 25 mg/l.

Concentratia de substante organice corespunzatoare acestei doze a fost de 11.69 mg KMnO₄/l fata de 15.16 mg KMnO₄/l pentru apa bruta, iar concentratia de carbon organic total a fost de 3.92 mg C/l fata de 5.77 mg C/l pentru apa bruta (reducere 32%).[95], [99], [100]

4.1.3 Test de coagulare cu policlorura bazica de aluminiu - PAX18

S-a realizat un test de coagulare cu PAX 18, care este o policlorura bazica de aluminiu utilizata in procese de tratare a apei. Rezultatele testului de coagulare cu PAX 18 sunt prezentate in teza.

In cazul utilizarii reactivului PAX 18 pentru coagulare turbiditatea s-a redus pana la valori de 0.26 NTU pentru o doza de 30 mg/l PAX 18 fata de 7.36 NTU

pentru apa bruta. Concentratia de substante organice corespunzatoare acestei doze a fost de 9.48 mg KMnO_4/l fata de 15.16 mg KMnO_4/l pentru apa bruta (eficienta de reducere 37%). [95], [99], [100]

4.1.4 Test de coagulare cu clorura ferica

Rezultatele testului de coagulare cu clorura ferica sunt prezentate in teza.

S-a observat o scadere a turbiditatii apei la valori sub 1 NTU in cazul utilizarii clorurii ferice inasa trebuie mentionat ca supernatantul ramane usor colorat. [95], [99], [100]

4.1.5 Test de coagulare cu utilizarea de polielectroliti

In vederea imbunatatirii procesului de coagulare, s-a efectuat un jar test cu sulfat de aluminiu si polielectrolit anionic AN 910 PWG.

S-a constatat din punct de vedere al turbiditatii adaosul a 0.05 – 0.1 mg/l AN 910 PWG conduce la cresterea eficientei procesului de coagulare. Din punct de vedere al incarcarii organice, adaosul de polimer nu conduce la eficiente mai bune fata de coagularea numai cu sulfat de aluminiu.

Analiza rezultatelor testelor de coagulare - floclurare a pus in evidenta urmatoarele: cea mai buna eficienta in reducerea turbiditatii si a incarcarii organice s-a obtinut cu reactivul MOPAC in doze de 5 – 15 mg/l (0.3 – 1 mg Al^{3+}/l) dar si cu PAX 18 pentru doze similare; in figura urmatoare sunt prezentate rezultatele comparativ; incarcarea organica s-a redus cu 22% pentru oxidabilitate si respectiv cu 32% pentru carbonul organic total in cazul utilizarii MOPAC, respectiv cu 16% pentru oxidabilitate si 13% pentru carbonul organic in cazul utilizarii sulfatului de aluminiu. Concentratia de carbon organic total in apa sedimentata a fost de 3.92 mg C/l in cazul utilizarii MOPAC. [95], [99], [100]

4.1.6 Teste de oxidare

In vederea determinarii timpului de contact necesar pentru inactivarea speciei *Dreissena Polymorpha* s-a efectuat un test care a constatat in: determinarea cantitativa a larvelor de *Dreissena Polymorpha* pentru o proba de apa bruta; adaosul unei doze de 2 mg Cl_2/l sub forma de hipoclorit de sodiu la proba de apa bruta (0.2 ml pentru recipientul de 1 l, respectiv 0.4 ml pentru un recipient de 2 l); determinarea cantitativa a larvelor speciei *Dreissena Polymorpha* la timp de contact 30 min., respectiv o ora.

Rezultatele testului sunt prezentate in teza. Acestea au aratat ca timpul de contact de 30 min. la o doza de 2 mg Cl_2/l , este insuficient pentru inactivarea larvelor, acestea putand ajunge in statia de tratare. Dupa un timp de contact de 1 ora, larvele speciei *Dreissena Polymorpha* au fost absente. [95], [99], [100]

4.2 Cercetari experimentale pe instalatia pilot

Pentru a se putea stabili solutia eficienta de tratare a apei care alimenteaza Statia de tratare Palas au fost efectuate 4 cicluri experimentale in vederea eficientei de reducere a urmatoarelor indicatori: turbiditate, carbon organic total, substante organice, pH.

In acest sens au fost efectuate analize la intervale de 1 ora pentru: apa decantata, apa filtrata rapid pe nisip, apa filtrata pe carbune activ granular. [95]

4.2.1 Ciclul experimental nr. 1

- preoxidare cu hipoclorit de sodiu;
- coagulare – floculare cu sulfat de aluminiu;
- decantare;
- filtrare rapida pe nisip;
- post-oxidare cu ozon;
- adsorbție pe carbune activ granular.

În teza sunt prezentați parametrii de funcționare ai instalației pentru ciclul experimental nr. 1 și calitatea apei brute.

Apa brută a avut o turbiditate de 7.67 NTU și o încărcare în materii organice de 7.06 mg C/l respectiv 3.79 mg O₂/l – concentrația de substanțe organice determinate prin metoda cu permanganat de potasiu.

Analiza calitativă a componentei fitoplanctonice a evidențiat predominanța clorofitelor oligosaprobe și betamezosaprobe, cât și diatomee oligo – betamezosaprobe. Cantitativ, clorofitele au înregistrat cel mai mare procent atât în abundența numerică (85%), cât și biomasa (98%). [95], [99], [100]

În raport cu prevederile Ordinului 161/2006 [93] apa se încadrează în categoria de calitate oligosaproba, apa cu impurificare scăzută, cu conținut ridicat de oxigen dizolvat, fără forme polisaprobe, cu conținut redus de bacterii și număr ridicat de insecte și larve de insecte, iar valoarea determinată pentru indexul saprobic corespunde stării ecologice "foarte bună".

Concentrația de clorofilă "a" de 7.77 μg/l încadrează proba de apă în clasa I de calitate care corespunde stării ecologice "foarte bună".

Determinările cantitative pentru *Dreissena Polymorpha* indică prezența acestei specii în stadiul de larvă veligera în proba de apă.

Din punct de vedere microbiologic, apa brută se încadrează în Categoria de calitate A1 conform NTPA 013/2006. [92]

Doza de sulfat de aluminiu a fost determinată printr-un test de coagulare-floculare. Doza optimă determinată a fost de 35 – 40 mg/l sulfat de aluminiu.

Reducerea turbidității a fost nesemnificativă după etapa de decantare (de la 7.66 NTU pentru apă brută la 6.89 NTU pentru apă decantată). Se poate afirma că decantorul practic nu a funcționat datorită turbidității reduse a apei brute. După treapta de filtrare turbiditatea apei a scăzut semnificativ, la valori de 0.58 NTU, iar după treapta de adsorbție pe carbune activ granular la 0.1 NTU.

Concentrația de substanțe organice oxidabile cu permanganat de potasiu s-a redus de la 14.89 mg KMnO₄/l pentru apă brută, la 11.55 mg KMnO₄/l pentru apă decantată, respectiv la 9.2 mg KMnO₄/l pentru apă filtrată pe nisip (eficiența de reducere față de apă brută 38%). După treapta de afânare (post-oxidare cu ozon și adsorbție pe carbune activ granular) concentrația de substanțe organice s-a redus semnificativ ajungând la 1.19 mg KMnO₄/l (eficiența de reducere față de apă brută a fost de 92 %). [95], [99], [100]

Concentrația de carbon organic total s-a redus de la 7.96 mg/l pentru apă brută, la 7.1 mg/l pentru apă decantată și respectiv 5.92 mg/l pentru apă filtrată pe nisip (eficiența de reducere 25 %). După treapta de afânare, concentrația de carbon organic total a fost de 2.46 mg/l (eficiența de reducere 69.1%).

S-a observat ca reducerea semnificativa a turbiditatii a avut loc dupa treapta de filtrare pe nisip in timp ce reducerea incarcarii organice se realizeaza cu cea mai mare eficienta dupa post-oxidare cu ozon si adsorbtie pe carbune activ granular.

S-au efectuat determinari de carbon organic dizolvat biodegradabil (BDOC) pentru apa bruta, apa filtrata rapid pe nisip si apa filtrata pe carbune activ granular.

S-a observat ca pentru apa bruta concentratia BDOC a fost de 2.67 mg C/l fata de 7.96 mg C/l concentratia de carbon organic total (33.6%); pentru apa filtrata pe nisip concentratia BDOC a fost 1.8 mg C/l fata de 5.92 mg C/l concentratia de carbon organic total (30.4%); pentru apa filtrata pe carbune activ concentratia de BDOC a fost de 2.21 mg C/l fata de 2.46 mg C/l concentratia de carbon organic total (89.8%).

S-a constatat ca post-oxidarea cu ozon a condus la cresterea biodegradabilitatii substantelor organice. [95], [99], [100]

4.2.2 Ciclu experimental nr. 2

Dat fiind faptul ca in ciclul experimental nr. 1 s-a constatat ca treapta de decantare nu functioneaza, in ciclul experimental nr. 2 filiera de tratare a constat in urmatoarele trepte de tratare:

- preoxidare cu hipoclorit de sodiu;
- coagulare – floclare cu sulfat de aluminiu si polielectrolit AN 910 PWG;
- filtrare rapida pe nisip;
- post-oxidare cu ozon;
- adsorbtie pe carbune activ granular.

Parametrii de functionare ai instalatiei pentru ciclul experimental nr. 2 si calitatea apei brute sunt prezentati in teza.

Rezultatele prezentate incadreaza apa bruta in categoria de calitate "apa oligosaproba" cu impurificare redusa.

Concentratia de clorofila "a", deasemenea incadreaza apa in categoria de calitate I care corespunde starii ecologice "foarte buna" conform Ordinului nr.161/2006. [93]

Specia *Dreissena polymorpha* exista in proba de apa analizata in stadiul de larva veligera cu o densitate numerica de 4000 exemplare/l si o biomasa remanenta de 3.11 mg/l. [95], [99], [100]

Turbiditatea apei s-a redus la valori de 0.16 NTU pentru apa filtrata pe nisip, fata de 7.63 NTU pentru apa bruta. In figura urmatoare este prezentata variatia turbiditatii pe filiera de tratare.

Incarcarea organica a apei evaluata prin consumul de permanganat de potasiu s-a redus la 8.33 mg KMnO_4 /l dupa coagulare–floclare si filtrare rapida pe nisip (eficienta de reducere 50.27%), respectiv la 0.71 KMnO_4 /l dupa treapta de post-oxidare cu ozon si adsorbtie pe carbune activ granular (eficienta de reducere fata de apa bruta 95.76%).

Concentratia de carbon organic total s-a redus de la valori de 9.57 mg C/l pentru apa bruta la valori de 4.86 mg C/l pentru apa filtrata (eficienta de retinere de 49.22%), respectiv la valori de 1.68 mg C/l dupa treapta de post-oxidare cu ozon si adsorbtie pe carbune activ granular (eficienta de reducere de 82.45 %).

Reducerea turbiditatii a avut loc cu eficienta ridicata prin procesele de coagulare-floculare si filtrare rapida pe nisip, in timp ce reducerea incarcarii organice s-a realizat cu eficienta foarte buna dupa treapta de post-oxidare cu ozon si adsorbtie pe carbune activ granular.

Testele de biodegradabilitate au pus in evidenta urmatoarele: concentratia de BDOC pentru apa bruta a fost de 2.67 mg C/l fata de 9.57 mg C/l concentratia de carbon organic total; pentru apa filtrata pe nisip concentratia de BDOC a fost de 2.26 mg C/l fata de 4.86 mg C/l concentratia de carbon organic total; pentru apa postoxidata cu ozon si filtrata pe carbune activ granular concentratia BDOC a fost de 1.05 mg C/l fata de 1.68 mg C/l concentratia de carbon organic total; daca pentru apa filtrata pe nisip concentratia de carbon organic biodegradabil a fost cca. 46.5 % din concentratia de carbon organic total, pentru apa postoxidata cu ozon si filtrata pe carbune activ concentratia de carbon organic biodegradabil a fost de 62.5%. Post-oxidarea cu ozon conduce la marirea biodegradabilitatii substantelor organice. [95], [99], [100]

4.2.3 Ciclu experimental nr. 3

Data fiind incarcarea organica ridicata a apei brute, in acest ciclu experimental s-a optat pentru coagulare avansata.

Ca urmare a necesitatii de reducere a materiilor organice naturale in filierele de tratare a apei in vederea potabilizarii, data fiind dependenta potentialului de formare a THM de concentratia de carbon organic total, a aparut procesul cunoscut sub denumirea de coagulare avansata. [95]

Ciclu experimental nr. 3:

- preoxidare cu hipoclorit de sodiu;
- reducere pH la 6;
- coagulare – floculare cu sulfat de aluminiu;
- filtrare rapida pe nisip;
- post-oxidare cu ozon;
- adsorbtie pe carbune activ granular.

In teza sunt prezentati parametrii de functionare ai instalatiei in ciclul experimental nr. 3 si calitatea apei.

Determinarile biologice au incadrat apa in categoria de calitate oligosaproba, apa cu impurificare redusa iar valoarea determinata pentru indexul saprobic corespunde starii ecologice foarte bune.

Valoarea concentratie de clorofila "a" de 3.79 µg/l incadreaza apa in clasa de calitate I care corespunde starii ecologice "foarte buna". Au fost identificate, de asemenea larve ale speciei *Dreissena polymorpha* in stare veligera.

Injectarea acidului sulfuric pentru reducerea pH-ului s-a realizat in camera de reactie rapida, iar injectarea sulfatului de aluminiu in camera de reactie lenta.

Reducerea pH-ului la 6.5 – 6.7 s-a realizat cu acid sulfuric de concentratie 6%. Doza necesara determinata prin titrare potentiometrica a fost de 140 mg/l. Valoarea medie a pH-ului a fost 6.6 fata de 8.2, valoarea pH-ului pentru apa bruta.

Din punct de vedere al turbiditatii, procesele de coagulare-floculare si filtrare rapida pe nisip au condus la reducerea acesteia pana la valori de 0.06 NTU fata de 2.81 NTU turbiditatea apei brute (eficienta de reducere de 97.86%). [95], [99], [100]

Concentratia de substante organice evaluata prin consumul de permanganat de potasiu s-a redus de la 11.69 mg KMnO_4/l pentru apa bruta, la 6.36 mg KMnO_4/l pentru apa filtrata pe nisip (eficienta de retinere de 45.59%, respectiv la 0.36 mg KMnO_4/l pentru apa filtrata pe carbune activ granular (eficiente de reducere de peste 95%).

Concentratia de carbon organic total este prezentata in figura urmatoare. Se observa o reducere de 56% dupa treapta de filtrare rapida pe nisip (de la 5.67 mg C/l pentru apa bruta, la 2.48 mg C/l pentru apa filtrata pe nisip), respectiv de 94.71% dupa postoxidare si adsorbție pe carbune activ granular. Concentratia TOC in apa filtrata pe carbune activ granular a fost de 0.3 mg C/l.

S-a observat ca eficientele de reducere a incarcarii organice au fost de peste 95 % atat pentru consumul de permanganat, cat si pentru carbonul organic total.

Ca si in ciclurile anterioare, post-oxidarea cu ozon conduce la cresterea biodegradabilitatii materiilor organice. Pentru neutralizarea acidului sulfuric adaugat pentru reducerea pH-ului inainte de coagulare, s-a determinat prin titrare potentiometrica doza de var necesara echilibrarii apei. Aceasta a fost de 110 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{l}$. [95], [99], [100]

4.2.4 Ciclul experimental nr. 4

Ciclul experimental nr. 4 a urmarit influenta adaosului de polimer in eficienta proceselor de tratare. In acest sens s-a reluat schema tehnologica din ciclul experimental nr. 1 si s-au adaugat 0.1 mg/l polielectrolit AN 910 PWG. [95]

Ciclul experimental nr. 4:

- preoxidare cu hipoclorit de sodiu;
- coagulare – floclare cu sulfat de aluminiu si polielectrolit AN 910 PWG;
- decantare;
- filtrare rapida pe nisip;
- post-oxidare cu ozon;
- adsorbție pe carbune activ granular.

Calitatea apei brute din acest ciclu experimental a fost identica cu cea din ciclul experimental nr. 3. [95]

Parametrii de functionare ai instalatiei pilot sunt prezentati in teza.

S-a observat reducerea turbiditatii dupa treapta de decantare pana la valori de 0.5 – 0.6 NTU fata de 3.53 NTU pentru apa bruta. Spre deosebire de coagularea cu sulfat de aluminiu fara polimer care a condus la eficiente de reducere a turbiditatii de 10%, adaosul de polimer a condus la eficiente de reducere a turbiditatii dupa treapta de decantare de 82%.

Din punct de vedere al incarcarii organice evaluata prin consumul de permanganat, din figura urmatoare, se observa o reducere de cca. 35% dupa treapta de decantare (de la 11.69 mg KMnO_4/l pentru apa bruta, la 7.58 mg KMnO_4/l pentru apa decantata). Treapta de filtrare nu conduce la reducerea suplimentara a incarcarii organice, insa dupa post-oxidarea cu ozon si adsorbția pe carbune activ granular, eficienta de retinere a incarcarii organice ajunge la 89.65% (1.21 mg KMnO_4/l pentru efluentul filtrului de carbune activ). [95], [99], [100]

Concentratia de carbon organic total prezinta o variatie similara consumului de permanganat cu eficienta de reducere de 37% dupa treapta de decantare, respectiv 91.71% dupa post-oxidarea cu ozon si adsorbtie pe carbune activ. Efluentul filtrului de carbune activ are o concentratie de carbon organic total de 0.47 mg C/l, in timp ce efluentul filtrului de nisip de 3.13 mg C/l.

S-a remarcat cresterea brusca a eficientelor de retinere a incarcarii organice dupa post-oxidarea cu ozon si adsorbtie pe carbune activ granular.

Testele de biodegradabilitate au aratat o concentratie foarte redusa de carbon organic dizolvat biodegradabil in apa filtrata pe carbune activ granular.

Adaosul de polimer in doze de 0.1 mg/l a condus la cresterea eficientei procesului de coagulare-floculare atat in ceea ce priveste reducerea turbiditatii, cat si din punct de vedere al reducerii incarcarii organice. [95], [99], [100]

4.3 Concluziile cercetarilor experimentale

In vederea stabilirii tehnologiei optime a parametrilor de functionare precum si a tipurilor si dozelor de reactivi pentru statia de tratare Palas Constanta s-au realizat determinari experimentale de laborator privind stabilirea reactivilor de coagulare-floculare optimi, precum si patru cicluri experimentale pe instalatia pilot.

Pentru a stabili calitatea apei brute si tratate in statia de tratare Palas Constanta s-au efectuat analize complexe in laboratorul Universitatii Tehnice de Construcii Bucuresti, Catedra de Inginerie Sanitara si Protectia Apelor.

Analiza rezultatelor privind calitatea apei bruta si tratata a pus in evidenta urmatoarele: apa bruta care alimenteaza statia de tratare Palas Constanta este relativ limpede, insa are incarcare organica relativ ridicata cu potential de formare a subprodusilor de dezinfectie (trihalometani); din punct de vedere biologic, probele de apa bruta analizate, prelevate atat din canalul Dunare – Marea Neagra in sectiunea Galesu cat si de la intrarea in statia de tratare Palas Constanta, se incadreaza in categoria de calitate: oligosaproba-β-mezosaproba, apa cu impurificare scazuta spre moderata, cu continut ridicat de oxigen dizolvat, fara forme polisaprobe. Apa prezinta un numar redus de bacterii si numar ridicat de insecte si larve de insecte, iar valoarea determinata pentru indexul saprobic corespunde starii ecologice "buna"; valorile obtinute pentru concentratia de clorofila "a" incadreaza apa in categoria de calitate I – II care corespunde starii ecologice "forte buna" – "buna"; determinarile de *Dreissena Polymorpha* indica o abundenta numerica semnificativa, atat a speciilor juvenile cat si adulte; apa tratata in statia de tratare Palas Constanta prezinta depasiri la turbiditate in unele cazuri fata de valoarea impusa de Legea 458/2002 [39] pentru apa potabila produsa din surse de suprafata (1 NTU); din punct de vedere al incarcarii organice apa tratata a avut concentratii ale substantelor organice oxidabile cu permanganat de potasiu de 11 – 12 mg KMnO₄/l, respectiv 3.5 – 6.2 mg C/l concentratia de carbon organic total. Conform literaturii de specialitate concentratii mai mari de carbon organic total in apa tratata (> 2 mg/l) conduc la o apa cu potential de dezvoltare bacteriana in reseaua de distributie, respectiv cu potential de formare a trihalometanilor in cazul utilizarii unor doze ridicate de clor pentru dezinfectie. [95], [99], [100]

Cercetari la nivel mondial (Chapra, Canale si Amy, 1997) [16], au aratat ca exista o corelatie stransa intre potentialul de formare a trihalometanilor si concentratia de carbon organic total din apa bruta. In acest sens s-a stabilit relatia de calcul urmatoare:

$$\text{THMFP} = 43.78 \text{TOC}^{1.248} \quad [16], [95] \quad (1)$$

unde:

THMFP ($\mu\text{g/l}$) – potential de formare a trihalometanilor;

TOC (mg/l) – concentratie de carbon organic total.

Conform acestei formule, pentru o concentratie medie de 8 mg C/l in apa bruta, potentialul de formare a trihalometanilor este de 586.58 $\mu\text{g/l}$, daca doza de clor si timpul de contact sunt corespunzatoare.

Reducerea incarcarii organice dupa treapta de filtrare pe nisip s-a realizat pana la concentratii de 3 mg/l, ceea ce conduce la un potential de formare a THM de 172.47 $\mu\text{g/l}$, fata de maxim admisibil 100 $\mu\text{g/l}$ (conform Legii 458/2002 [39]), ceea ce prezinta risc important de formare a cancerului.

Prin urmare, pentru evitarea formarii acestor compusi sau pentru retinerea compusilor formati in treapta de pre-oxidare la sursa, este necesara post-oxidarea cu ozon si adsorbția pe carbune activ. Desi in probele prelevate in cadrul experimentelor dupa treapta de filtrare pe nisip concentratia THM analizata a fost sub limita admisa de legislatia in vigoare (100 $\mu\text{g/l}$ conform Legii 458/2002 [39]) potentialul de formare exista si implicit riscul asupra sanatatii umane. [95], [99], [100]

Rezultatele ciclurilor experimentale realizate pe instalatia pilot sunt prezentate comparativ in teza.

Rezultatele ciclurilor experimentale realizate pe instalatia pilot au pus in evidenta urmatoarele: necesitatea realizarii procesului de pre-oxidare cu un timp de contact de min. 1 ora, astfel incat sa se asigure inactivarea speciilor de *Dreissena Polymorpha* si sa se evite patrunderea in statia de tratare a acestora; necesitatea realizarii procesului de coagulare cu eficienta cat mai ridicata, in vederea reducerii turbiditatii pe de o parte, cat si reducerii incarcarii organice; datorita turbiditatii scazute a apei brute, treapta de decantare nu conduce la eficientele dorite; utilizarea polielectrolitilor conduce la o imbunatatire a procesului de coagulare-floculare; din punct de vedere al eficientei de reducere a turbiditatii, ciclurile cu filtrare directa au condus la rezultatele cele mai bune (ciclurile II si III); din punct de vedere al incarcarii organice, eficientele cele mai ridicate s-au obtinut in cazul coagularii avansate (56 % eficienta de reducere a TOC dupa filtrare pe nisip, respectiv 95 % dupa post-oxidare cu ozon si adsorbție pe CAG); se observa ca pentru toate cele 4 cicluri experimentale, eficienta de peste 90 % in retinerea incarcarii organice s-au obtinut numai dupa post-oxidare cu ozon si adsorbție pe CAG. Concentratii de carbon organic total mai mici de 2 mg C/l pentru o apa biostabila se pot obtine prin post-oxidare si adsorbție CAG. [95], [99], [100]

In teza sunt prezentate avantajele si dezavantajele schemelor tehnologice experimentate.

Pe baza celor prezentate se recomanda urmatoarea schema tehnologica pentru tratarea apei la statia de tratare Palas Constanta : **preoxidare cu clor** (1.5 – 2 mg/l) la captarea Galesu, cu asigurarea unui timp de contact de cel putin 1 ora pentru inactivarea larvelor de *Dreissena Polymorpha* inainte ca apa sa ajunga in statia de tratare; in momentul de fata injectia clorului se realizeaza in refularea pompelor de apa bruta de la priza Galesu, care incarca aductiunile; solutia tehnica actuala poate fi pastrata, considerand ca aductiunea lucreaza ca bazin de contact; timpul de contact asigurat de aductiune este de 1.5 – 2.0 ore, suficient pentru inactivarea completa a larvelor sau molustelor adulte de *Dreissena Polymorpha*; **coagulare-floculare** in prezenta unui coagulant si a unui polielectrolit. Testele au

demonstrat ca sulfatul de aluminiu se comporta foarte bine ca si coagulant, dar se pot utiliza eventual si alti reactivi care dau rezultate. Adaosul de polielectrolit ca adjuvant de coagulare se va face numai in perioadele in care este necesar (temperaturi scazute ale apei brute). Se recomanda un polimer anionic. Dozele de coagulant si polielectrolit se vor determina prin teste de laborator (jar - test) ori de cate ori se schimba calitatea apei brute. Procesul se va desfasura in **camere de reactie rapida si lenta**, amenajate corespunzator. Nu se recomanda utilizarea unei trepte de decantare, pentru ca apa bruta este in general foarte limpede, iar tipul de decantor existent in Statia de Tratare Palas nu corespunde calitatii apei sursei si nu poate forma stratul suspensional, fiind in mod practic inefficient. Este recomandabila transformarea decantoarelor existente in camere de reactie rapida si lenta, prin amenajari corespunzatoare si dotarea acestora cu agitatoare mecanice care sa asigure gradienti de reactie variabili in functie de caracteristicile apei brute. Treapta de coagulare-floculare este absolut necesara datorita faptului ca este necesara reducerea semnificativa a materiilor organice naturale si implicit a riscului de formare THM si a riscului asupra sanatatii umane. Suplimentar, apa devine biostabila prin reducerea continutului de carbon organic total si creste perioada in care aceasta isi pastreaza calitatile. Fara coagulare-floculare suspensiile prezente in apa nu pot fi retinute, trecand practic prin filtrele rapide de nisip; **filtrare directa** – filtre rapide de nisip. Se recomanda reabilitarea tehnologica dar si a structurii corespunzatoare pentru statia de filtre rapide de nisip din cadrul Statiei de Tratare Palas si dotarea acesteia cu echipamente moderne in ceea ce priveste automatizarea si conducerea procesului. Trebuie mentionat ca in cazul in care se va utiliza polielectrolit ca adjuvant de coagulare, acesta poate conduce la colmatarea mai frecventa a filtrelor si la necesitatea spalarii dese a acestora. In acest sens, se recomanda utilizarea polielectrolitului numai in situatii deosebite, in care coagulantul este inefficient (temperaturi reduse, turbiditati ridicate, etc.), pe perioade limitate; dupa treapta de filtrare directa se recomanda realizarea unei statii de pompare apa filtrata intermediara pentru asigurarea fluxului tehnologic in obiectele urmatoare; **post-oxidare cu ozon**; aceasta treapta are rolul de a oxida compusii de natura organica in general si in special cei care sunt precursori de formare a trihalometanilor (substante cu potential cancerigen); Post-oxidarea cu ozon va realiza si o imbunatatire semnificativa a gustului si mirosului apei precum si o crestere a biostabilitatii apei tratate; se recomanda realizarea bazinelor de contact ozon la o cota suficienta pentru asigurarea curgerii gravitationale catre statia de filtre de carbune activ granular; **adsorbtie prin filtrare pe carbune activ granular**; aceasta treapta are rolul de a retine compusii organici oxidati de ozon; treapta nu functioneaza corespunzator decat daca apa este perfect limpede si daca substantele organice sunt anterior oxidate cu ozon; treapta de filtrare pe CAG este in acest sens dependenta de prezenta si eficienta proceselor de tratare anterioare (coagulare-floculare, filtrare rapida pe nisip si post-oxidare cu ozon); sortul de carbune activ granular se va selecta pentru a corespunde retinerii compusilor organici; fluxul hidraulic va fi asigurat prin curgerea gravitationala din bazinele de contact post-oxidare cu ozon; **dezinfectie cu clor** (0.5 mg/l) pentru a asigura doza de marcaj conform Legii 458/2002 [39] privind calitatea apei potabile cu completarile si adaugirile ulterioare. [95], [99], [100]

In teza sunt prezentati parametrii generali recomandati pentru schema propusa de tratare.

5 PROPUNERI DE REABILITARE PENTRU STATIA DE TRATARE PALAS-LOCALITATEA CONSTANTA

Prezentele propuneri au ca scop reabilitarea Stației de tratare Palas, astfel încât să poată furniza apă potabilă de calitate, la debite care să acopere pe cele tratate în prezent și să permită extinderi viitoare ale consumului, în conformitate cu ponderea acordată surselor de suprafață în sistemele de distribuție a apei potabile din județul Constanța.

5.1 Propuneri de reabilitare la Sursa Galesu

La **sursa Galesu**, (in locul tratamentului cu clor gazos) - cu producere la fata locului se va introduce o **dezinfecție** cu hipoclorit de sodiu.

5.2 Propuneri de reabilitare in incinta Statiei de tratare Palas

Actuala schema tehnologica de functionare va suferi urmatoarele modificari, respectiv: prevederea unei noi **camere de distributie** a apei la intrarea in statia Palas; decantoarele se vor amenaja in **bazine de reactie rapida si reactie lenta**, prin profilarea lor hidraulica corespunzatoare; introducerea unui **sistem** nou de **stocare si dozare automata a reactivilor** care vor fi introdusi prin conductele de aductiune inainte de camera de distributie; introducerea in schema a unor **filtre de carbune activat granular**, ca treapta de finisare, avand ca principal obiectiv imbunatatirea calitatilor organoleptice ale apei; galeria de conducte a filtrelor va fi reabilitata in intregime iar toate componentele vor fi inlocuite cu altele din materiale rezistente la coroziune; **filtrele care se pastreaza pe sistemul de nisip** vor fi reabilitate integral; **suflantele** vor fi puse pe un suport betonat iar constructia care le apara in prezent de intemperii va fi inlocuita cu o constructie usoara noua, cu insonorizare; reabilitarea **statiei de pompare nr.4 (SP4)** inclusiv insonorizarea acceselor, refacerea tencuielilor si zugravelilor exterioare si interioare si reabilitarea tamplariei; construirea unui **decantor radial** pentru preluarea apei de spalare provenind de la filtre, inclusiv un sistem de pompare a namolului depus si a apei clarificate; reabilitarea si suplimentarea **retelelor din incinta**, incluzand conductele de transport apa care nu mai sunt din materiale acceptabile, precum si conducte noi de transport apa pentru a face legatura intre diversele elemente ale fluxului tehnologic; de asemenea vor fi reabilitate si conductele de reactivi, conductele de aer comprimat, conductele de aer suflat; se va instala o retea de canalizare corect dimensionata care sa preia namolul produs in decantorul radial nou, in camerele de reactie rapida si lenta, precum si celelate debite de canalizare provenite de la cladirile administrative; **instalatia de productie a hipocloritului de sodiu**, pentru o siguranta sporita in exploatare, in interiorul Statiei de tratare Palas, cu injectie in toate rezervoarele care conduc spre consumatori; dezinfectarea va trata intregul debit instalat al statiei Palas; introducerea unui **sistem SCADA** cu dispecerizare; reabilitarea **aleilor** din incinta. [90]

6 CONCLUZII

6.1 Indeplinirea obiectivelor tezei de doctorat

Obiectivele propuse in cadrul tezei de doctorat au fost urmatoarele: 1.Imbunatatirea proceselor fizico-chimice de coagulare-floculare in procesul de tratare a apei de suprafata; 2.Efectuarea de studii teoretice si experimentale pentru optimizarea proceselor hidrodinamice de filtrare a apei; 3.Optimizarea proceselor de tratare a apei in statia Palas Constanta.

Pentru indeplinirea obiectivelor mai sus amintite, in cadrul tezei au fost prezentate elemente privind procesele de tratare a apei, facandu-se referire in mod special, la procesele de coagulare-floculare.

De asemenea, au fost prezentate in lucrare, scheme ale statiilor de tratare a apei, fiind descrisa, ca studiu de caz, situatia Statiei de tratare Palas din localitatea Constanta, pe obiectele existente in incinta.

Lucrarea prezinta cercetarilor experimentale efectuate in laborator si pe instalatia pilot si o analiza a rezultatelor experimentale obtinute in cadrul acestora (se regasesc in Capitolele 3 si 4).

Pentru realizarea obiectivelor nr. 1 si 2 ale tezei de doctorat, au fost prezentate in cadrul tezei, testele de coagulare-floculare care au fost efectuate cu: sulfat de aluminiu, policlorura bazica de aluminiu (MOPAC, PAX 18), clorura ferica si testele de coagulare avansata (pH redus la valoarea de 6.5) cu sulfat de aluminiu si testele cu sulfat de aluminiu si polimer (AN 910) (se regasesc in Capitolul 4).

De asemenea, pentru indeplinirea primelor doua obiective ale tezei, cercetarile experimentale de laborator, prezentate in lucrare, au evidentiat urmatoarele : au fost stabiliti cei mai eficienti reactivi de coagulare-floculare si dozele recomandate, pentru ca efectul reactivilor asupra apei tratate, sa fie maxim (se regasesc in Capitolul 4).

Pentru stabilirea solutiei optime de tratare a apei din Statia Palas, au fost descrise cele patru cicluri experimentale realizate, care au urmarit reducerea indicatorilor urmasori : turbiditate, carbon organic total, substante organice, pH si au fost analizate probe pentru: apa decantata, apa filtrata rapid pe nisip, apa filtrata pe carbune activ granular (se regasesc in Capitolul 4), indeplinindu-se astfel ultimele doua obiective propuse in teza.

Lucrarea prezinta concluziile rezultate in urma cercetarilor experimentale efectuate, recomandarile in legatura cu schema tehnologica de tratare a apei si de asemenea, propunerile de reabilitare, pe obiectele din incinta Statiei Palas din localitatea Constanta (se regasesc in Capitolele 4 si 5). Astfel, obiectivul propus al tezei nr. 3 a fost atins.

6.2 Elemente originale si contributiile autorului

Lucrarea cuprinde o serie de elemente teoretice si practice privind procesele de tratare a apei, in special procesele de coagulare-floculare utilizate in tratarea apei, in vederea potabilizarii.

In ultima perioada, procesul de coagulare-floculare a devenit un proces independent in fluxul tehnologic al statiilor de tratare si se considera cel mai important din punct de vedere al eficientei tratarii apei.

Lucrarea se constituie din cercetari efectuate in laborator si pe instalatia pilot. Analiza unui numar mare de probe si interpretarea rezultatelor, in acord cu cele mai importante descoperiri in domeniu, constituie originalitatea lucrarii.

In lucrare se regasesc criteriile de eficienta a reactivilor de coagulare-floculare pentru reducerea turbiditatii, carbonului organic total, substantelor organice si a pH-ului. In acest fel, operatorul are la dispozitie metodologia de alegere a celor mai eficienti reactivi, in vederea obtinerii rezultatelor dorite cu privire la calitatea apei tratate in statie si furnizata populatiei.

Cercetarile experimentale, prezentate in lucrare, efectuate atat in laborator, cat si pe instalatia pilot, aduc noutati in ceea ce priveste adoptarea solutiilor tehnologice cu privire la obtinerea unor indicatori specifici de calitate a apei, indicatori a caror valoare trebuie sa se incadreze in limitele prevazute de legislatia actuala, privind calitatea apei destinata consumului uman.

De asemenea, in completarea celor de mai sus, au fost redactate trei lucrari stiintifice, dintre care una urmeaza sa fie publicata in Revista Romana de Inginerie Civila si doua in Analele Universitatii "Ovidius" din Constanta – Seria Inginerie Civila.

6.3 Perspectiva dezvoltarii subiectului

Retehnologizarea unui numar de statii de tratare, implicit a Statiei de tratare Palas Constanta impune urmatoarele : elaborarea unor studii de tratabilitate complete, care sa conduca la alegerea unei solutii optime de tratare; realizarea unor statii pilot la toate instalatiile care au o productie de apa peste 10 000 m³/zi; realizarea si dezvoltarea unor laboratoare de analiza in administrarea operatorilor de apa, laboratoare dotate corespunzator astfel incat sa analizeze in permanenta evolutia calitatii apei provenita de la surse si de asemenea a apei furnizate consumatorilor.

Pentru asigurarea calitatii apei destinata consumului uman este necesar ca operatorii de apa sa actualizeze permanent tehnologia de tratare, prin achizitionarea celor mai noi echipamente din domeniu si de asemenea, sa intreprinda demersuri in ceea ce priveste pregatirea personalului de operare.

BIBLIOGRAFIE

1. **W. Stumm and J.J. Morgan**, - "*Aquatic Chemistry*", 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, 1981;
2. **Owen, D.M., et al**, - "*NOM Characterization and Treatability*", Journal AWWA, 87:1:46, 1995;
3. **J. Lyklema**, - "Surface Chemistry of colloids in Connection with Stability, The scientific basis of flocculation", Sijthoff and Noordhoff, the Netherlands, 1978.
4. **J. Gregory**, - "*Effects of polymers on colloid stability*", in K.J. Ives The scientific basis of flocculation, Sijthoff and Noordhoff, the Netherlands, 1978.
5. **AWWA** – "*Water Quality and Treatment – a handbook of community water supplies*" – fifth edition;
6. **O'Melia, C.R.**, "*From algae to aquifers: Solid – liquid separation in aquatic systems.*" In ACS Advances in Chemistry Series No. 244, *Aquatic Chemistry: Interfacial and Interspecies Processes*, C.P. Huang, C.R. O'Melia and J.J. Morgan, eds. Washington, D.C., American Chemical Soc., 1995.
7. **Letterman, R.D.** - "*Filtration Strategies to Meet the Surface Water Treatment Rule*". - Denver, CO: America Water Works Association, 1991.
8. **Bertsch, P.M., D.R. Parker** – "*Aqueous Polynuclear Aluminium Species*". The Environmental Chemistry of Aluminium, 2nd ed., ch4, p 117, G. Sposito, ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 1996.
9. **Letterman, R.D., C.T. Discoll** – "*Control of residual Aluminum in Filtered Water*" – Final report to American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO, 135pp, 1993.
10. **Hayden, P.L., and A.J. Rubin** – "*Systematic investigation of the hydrolysis and precipitation of aluminium (III). In aqueous – Environmental Chemistry of Metals, A.J. Rubin*", ed. ANN Arbor. MI Ann Arbor Science, 1974.
11. **Dempsey, B.A.** – "*Chemistry of coagulants*" - AWWA Seminar Proceedings, Influence of coagulation on the Selection, Operation, and Performance of Water Treatment Facilities.. AWWA Annual Conference, June 14, 1987, Kansas City, MO 1987.
12. **Edzwald J.K.** – "*Coagulation in drinking water treatment: Particles, organics and coagulants*" – Water Science Technology, 27 (11), 1993: 21 – 35.
13. **Edwards, M.** – "*Predicting DOC removal during enhanced coagulation*". Jour AWWA, 85(5), 1997: 78 – 89.
14. **Letterman, R.D., R. Chappell, and B. Mates** – "*Effect of pH and alkalinity on the removal of NOM with Al and Fe salt coagulants* – Proceedings of the AWWA Water Quality Technology Conference, November 17 – 21, Boston, M.A., 1996.
15. **Racoviteanu, G.** - "*Optimizarea schemelor tehnologice ale statiilor de potabilizare a apei – Contributii la elaborarea solutiilor pentru asigurarea biostabilitatii apei*", Teza de doctorat, U.T.C.B., Bucuresti, 1999.

16. **Chapra S.C., R.P. Canale, and G.L. Amy** - *"Empirical models for disinfection by-products in lakes and reservoirs"* - Journal of Environ Engineering, ASCE, 123 (7), 1997:714 - 715.
17. **United States Environmental Protection Agency** - *"Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitative Softening Guidance Manual"* - EPA 815 - R-99-012, 1999.
18. **United States Environmental Protection Agency** - *"Disinfectants and Disinfection By-product. Final Rule, Fed Reg., 63:241:69390, 1998.*
19. **P. N. Johnson and A. Amirtharajah** - *"Feric chloride and Alum as single and dual coagulants"* Journal AWWA, vol. 75 nr.5, 1983.
20. **B. A. Dempsey et al.,** - *"Polyaluminum chloride and alum coagulation of clay-fulvic acid suspensions"*, Journal AWWA, vol. 77, no. 3, 1985.
21. **B. A. Dempsey et al.,** - *"The coagulation of humic substances by means of aluminum salts"*, Journal AWWA, vol. 76, no. 4, 1984.
22. **E.S. Hall and R. F. Packham,** - *"Coagulation of organic color with hydrolyzing coagulants"*Journal AWWA, vol. 57, no. 9, 1965, p. 1149.
23. **A. P. Black and D. G. Willems,** - *"Electrophoretic Studies of Coagulation for the Removal of Organic Color"*, Journal AWWA, vol. 53, 1961, p.589.
24. **A. P. Black and R. F. Christman,** - *"Characteristics of Colored Surface Waters"*, Journal AWWA, vol. 55, no. 6, 1963, p. 753.
25. **J. K. Edzwald et. al.,** - *"Polymer coagulation of humic acid water"* ASCE Journal Environ. Engineering Division, vol. 103, no. EE6, 1977, p. 989.
26. **J.K. Edzwald et al.,** - *"Organics, polymers, and performance in direct filtration"* ASCE Journal Environ. Engineering Division, vol. 113, no.1, 1987, p. 167.
27. **M. J. Semmens and T. K. Field,** - *"Coagulation: Experiences in organics removal"* Journal AWWA, vol. 72, no. 8, 1980, p. 476.
28. **R. E. Hubel and J. K. Edzwald,** - *"Removing Trihalomethane Precursors by Coagulation"*, Journal AWWA, vol. 79, nr. 7, 1987, p. 98.
29. **Stevens, A.A., et al.,** - *"Chlorination of organics in drinking water"*, Journal AWWA, nov. 1976.
30. **Edzwald, J.K., Becker, W.C., Wattier, K.L.** - *"Surrogate parameters for monitoring organic matter and THM precursors"*, Journal AWWA, Apr. 1985.
31. **White M.C., J.D., Thompson, G.W.,Harrington A., Singer,P.C.** - *"Evaluating criteria for enhanced coagulation compliance"*, Journal AWWA, mai 1997.
32. **George Kastl, Arumugam Sathasivan, Ian Fisher, John van Leeuwen** - *"Modeling DOC removal by enhanced coagulation"* - Journal AWWA, vol 96, nr. 2, 2004, p79.
33. **Carlson, K.H., Gregory, S. MacMillan** - *"The Efficacy of preozonation and Enhanced Coagulation for Treating Low Alkalinity, High Color Water"*, Proc. 1996, AWWA Annual Conference, Research Division, Toronto, Ontario.
34. **Degremont** - *"Memento technique de l'eau"*, Lavoisier, Paris, Ninth edition, 1989.

35. **Manaila, E., Martin. D., Craciun, G., Ighigeanu, D., Matei, C., Oproiu, C., Iacob, N., Iovu, H., Sandu, M., Vulpasu, E., Racoviteanu, G.** - *"Application of Polyelectrolytes Obtained by Radiation Processing to Potable and Waste Water Treatment"*, IEEE Transactions on Industry Applications, May/June 2005, Volume 41, Number 3, ITIACR, ISSN 0093-9994 (8 pagini).
36. **Racoviteanu G., Vulpasu E., Dinet, E.** - *"Researches Concerning the Reduction of the Total Organic Carbon, Turbidity and Organic Substances Using Polymer Mixtures"* - Poster, 4-th IWA World Water Congress and Exhibition, 2004, Marrakech
37. **Sandu, M., Vulpasu, E.,** - *"Imbunatatirea performantelor filierelor tehnologice de tratarea apei prin utilizarea amestecului de polimeri"* SIMI 2007, organizat de catre INCD-ECOIND, Societatea de Chimie din Romania si Asociatia Balcanica de Mediu, Filiala RO-B.E.N.A., 25 - 27 Octombrie 2007, Bucuresti.
38. **Directiva 98/83/EC** - *"Plan de implementare privind calitatea apei destinate consumului uman"*.
39. **Legea 458/2002 M.O. Nr. 552/29 iulie 2002** - *"Legea privind calitatea apei potabile"*.
40. **HG 100/2002 M.O. nr. 130/19 februarie 2002** - *"Norme de calitate pe care trebuie sa le indeplineasca apele de suprafata utilizate pentru potabilizare"*.
41. **Van der Kooij, D., Slaats, P.G.** - *"Chemical and biological stability of drinking water: preconditions to maintain water quality in the distribution system"*, Conferința Internațională: Calitatea apei potabile în rețelele de distribuție, EXPO APA 2000, București, 5 - 7 Septembrie 2000.
42. **M. Sandu, G. Racoviteanu** - *"Manual pentru inspectia sanitara si monitorizarea calitatii apei in sistemele de alimentare cu apa"* - Editura Conspress Bucuresti, 2006, ISBN 973-7797-78-7.
43. **Ministerul Mediului si Gospodaririi Apelor** - *"Plan Operational Sectorial De Mediu"*, Bucuresti 2006.
44. **Mănescu A., Sandu M., Ianculescu O.** - *"Alimentări cu apă"*, 1994, Editura Didactică și Pedagogică, București.
45. **Christian Volk, & colab.** - *"Impact of enhanced and optimized coagulation on removal of organic matter and its biodegradable fraction in drinking water"* - Wat res. Vol 34. No 12, pp 3247 - 3257, 2000.
46. **Taylor, J.S., Wiesner, M.** - *"Membranes, In Water Treatment Membrane Process"*, Mallevialle, J., Odendaal, P.E., Wiesner, M.R. (ed) McGraw-Hill, New York,. (1996).
47. **Taylor, J.S., Wiesner, M. Mallevialle, J., Odendaal, P.E., Wiesner, M.R.** - *"Water Treatment Membrane Process"*, McGraw-Hill, New York, USA, 1996.
48. **Desjardins, R.** - *"Le traitement des eaux"* - Editions de l'Ecole Polytechnique de Montreal, 1990.
49. **E.D.H.** - *"Guideliness for Canadian Drinking Water Quality"*, 1993.
50. **Racoviteanu, G., Sandu, M., Vulpasu, E., Dinet, E.** - *"Tehnologii de tratare a apelor cu hidrogen sulfurat si amoniu. Comparatie tehnico-economica"*, Simpozionul International "Mediu si Industria" SIMI 2007,

- organizat de catre INCD-ECOIND, Societatea de Chimie din Romania si Asociatia Balcanica de Mediu, Filiala RO-B.E.N.A., 25 - 27 Octombrie 2007, Bucuresti.
51. **L. Ichim, E. Vulpasu** - *"Modern methods for chemical dosage controlling in water treatment plant"* - Conference for young professionals EXPO APA 2005, iunie 2005, pag. 12 - 23, ISBN 973-0-03972-0.
52. **Racoviteanu, G.Stefanescu, C., Megelea, E.** - *"Perfectionarea proceselor de coagulare- floclulare; Incercari efectuate in uzinele de apa din tara noastra"* - Sesiunea Stiintifica U.T.C.B. - C.N.P.D.A.R., (oct.1997).
53. **Sandu, M., Racoviteanu, G., Sandu, R.A., Vulpasu, E.** - *"Studies regarding achievement of biological stability in Romania's WTP"*, 1st World Congress of the International Water Association (IWA), 3-7 iulie 2000, Paris, Franța (5 pagini). ISBN: 2-9515416-0-0, EAN: 9782951541603.
54. **Degremont** - *"Water treatment handbook - Seventh edition"*, ISBN 978-2-7430-0970-0, France, 2007
55. **Liang, S.** - *"Bench-scale study for trihalomethane precursor removal"*, Metropolitan water district of Southern California, L.A., 1992.
56. **Edzwald, J.K., Becker, W.C., Wattier, K.L.** - *"Surrogate parameters for monitoring organic matter and THM precursors"*, Journal AWWA, Apr. 1985.
57. **Carlson, M.,** - *"Disinfection Byproducts precursor removal"* - AWWA Conference, Philadelphia, 1991.
58. **Vrijenhoek, E.M., A.E. Childress, M. Elimelech, T.S. Tanaka and M.D. Beuhler** - *"Removing Particles and THM Precursors by Enhanced Coagulation"* - Journal AWWA 90:4:139, 1998.
59. **Weber, W.J. Jr. and A.M. Jodellah** - *"Removing Humic Substances by Chemical Treatment and Adsorption"* - Journal AWWA, 77:4:132, 1985.
60. **Chilarescu, I., Sandu, M., Berevoianu, C., Racoviteanu, G.** - *"Automatic determination of coagulation-flocculation reagents dose"*, 8th Gothenburg Symposium, Praga, Rep. Ceha, Sept. 1998.
61. **Chilarescu, I., Racoviteanu, G.** - *"Un nou concept pentru determinarea automata a dozei optime de reactivi de coagulare-floclulare folositi la potabilizarea apei"*, ROMAQUA, nr. 3-4/1998.
62. **Sandu, M., Bucur, A., Racoviteanu, G.** - *"Progrese în procesele de coagulare-floclulare"*, Simpozion national CNPDAR "Reducerea pierderilor energetice si a consumurilor de apa în sistemele de alimentare cu apa", Bucuresti, Apr. 1997.
63. **Semmens, M.J., Staples A.B.** - *"Nature of organics removed during treatment of Mississippi river water"*, Journal AWWA, Feb. 1986.
64. **Semmens, M.J., Field, T.K.** - *"Coagulation: experiences in organics removal"*, Journal AWWA, Aug. 1980.
65. **Oprea I.** - *"Studiu bibliografic si concluzii"*, Referat de doctorat nr. 3, Constanta 2013.

66. **Oprea I.** – *“Contributii la studiul proceselor hidrodinamice in statiile de tratare”* – Referat de doctorat nr. 4, Constanta 2013.
67. **Ministerul Mediului si Gospodarii Apelor** – *“Plan operational sectorial de mediu 2007 – 2013”*, Bucuresti 2007.
68. **ASRO** – *“Colectia de standarde privind calitatea apei”*.
69. **Escobar, C.I., Randall, A.A.** – *“Influence of NF on distribution system biostability”*, Journal AWWA, Iunie 1999.
70. **Krasner, S.W. et al.** – *“Three approaches for characterizing NOM”*, Journal AWWA, Iunie 1996.
71. **Young, J.S., Singer, P.C.** – *“Chloroform formation in public water supplies: a case study”*, Journal AWWA, Feb. 1997.
72. **Legea 311/2004** – *“pentru modificarea si completarea Legii 458/2002 privind calitatea apei potabile”*.
73. **Directiva 75/440/CEE din 16 iunie 1975 a Consiliului Comunitatilor Europene** – *“privind cerințele calitative pentru apa de suprafață destinată preparării apei potabile în statele membre”*.
74. **SR STAS 1342/1984** – *„Apa potabila”*.
75. **SR STAS 1342/1991** – *„Apa potabila”*.
76. **Rojanschi V., Ocnean T.** – *„Cartea operatorului din statii de tratare si epurare a apelor”*. Edit. Tehnica, Bucuresti 1989.
77. **Ecoterra** – *„Journal of Environmental – Research and Protection”*, 2012, no. 32.(Toma P.D., 2012 Consideratii privind exploatarea statiilor de tratare a apei. Ecoterra 32:27-34)
78. **Ionescu Gh.** – *„Instalatii de alimentare cu apa”*. Edit. Matrix Rom, Bucuresti, 2004.
79. **Manescu A., Sandu M., Ianculescu O.** – *„Alimentari cu apa”*. Edit. Conspress, Bucuresti, 2009.
80. **Vulpasu E.** – *„Tratarea apei, coagularea-flocularea suspensiilor din apa”*. Edit. Conspress, Bucuresti, 2008.
81. **Brosura ECOAQUA (www.greenagenda.org/eco-aqua/potabil.htm)**
82. **Ludoterm (www.apetratate.ro)** – Internet.
83. **SR STAS 1343-1/2006** - *“Alimentari cu apa. Determinarea cantitatilor de apa de alimentare pentru centre populate”*.
84. **Discovery Magazine**
85. **Arborele Lumii**
86. **Curs de geografie** – Universitatea Politehnica, Fac. De Energetica.
87. **Surse de poluarea apei** – Internet.

88. **H.G. 101/03.04.1997** – „Aprobarea Normelor speciale privind caracterul si marimea zonelor de protectie sanitara”.
89. **L.I.A.P. PALAS Constanta** – *Analize ale Laboratorului de incercari apa potabila Palas – localitatea Constanta.*
90. **Statie de tratare Palas** – „Reabilitare linie noua statie de tratare - localitatea Constanta”.
91. **Ordonanta nr. 1/19.01.2011** – „Hotararea de Guvern privind modificarea si completarea legii 458/2002 privind calitatea apei potabile”.
92. **NTPA 013/2006** – „Normă de calitate pe care trebuie să o îndeplinească apele de suprafață utilizate pentru potabilizare”.
93. **Ordinul nr. 161/16.02.2006** - pentru aprobarea Normativului privind clasificarea calitatii apelor de suprafata in vederea stabilirii starii ecologice a corpurilor de apa
94. **www.aquamundus.ro**
95. **U.T.C.B.** - *”Studiu de tratabilitate Statia de tratare Palas Constanta”.*
96. **Oprea I.** – *„Increasing the efficiency of the coagulation and flocculation processes in water treatment plants”, Ovidius University Annals of Constanta - Series CIVIL ENGINEERING, XV (15), 2013, articol acceptat spre publicare.*
97. **Oprea I.** – *„Rehabilitation and efficiency solutions for Palas-Constanta water treatment plant”, Ovidius University Annals of Constanta - Series CIVIL ENGINEERING, XV (15), 2013, articol acceptat spre publicare.*
98. **Oprea I.** – *”Imbunatatirea calitatii apei in statiile de tratare cu captare din sursele de suprafata”, revista Romana de Inginerie Civila, nr.1/2014, articol acceptat spre publicare.*
99. **Vulpasu, E., Sandu, M., Racoviteanu, G., Dinet, E.** – *„Studii si cercetari pentru asigurarea unei ape potabile lipsita de risc pentru consumator”, revista ROMAQUA, nr.5/2008, vol.59.*
100. **Vulpasu, E., Racoviteanu, G.** – *„Cercetari la scara pilot pentru optimizarea schemei de tratare a Statiei Palas Constanta”, revista ROMAQUA, XVIII, nr.5/2012, vol.83, pag. 6-25.*