

**IOSUD - UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI**  
**Școala doctorală de Științe Fundamentale și Inginerești**



**TEZĂ DE DOCTORAT**

**REZUMAT**

**CONTRIBUȚII PRIVIND MODELAREA ȘI**  
**CONDUCEREA AUTOMATĂ A**  
**PROCESELOR DE TRATARE A APELOR**  
**UZATE**

**Doctorand,**  
**Bogdan ROȘU**

**Conducător științific,**  
**Prof. dr. ing. habil. Marian BARBU**

**Seria I 8: Ingineria sistemelor Nr. 13**

**GALAȚI**

**2024**



**IOSUD - UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI**

**Școala doctorală de Științe Fundamentale și Inginerești**



# **TEZĂ DE DOCTORAT**

## **REZUMAT**

# **CONTRIBUȚII PRIVIND MODELAREA ȘI CONDUCEREA AUTOMATĂ A PROCESELOR DE TRATARE A APELOR UZATE**

**Doctorand,  
Bogdan ROȘU**

**Președinte**

**Prof. univ. dr. ing. Gabriela RÂPEANU**

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

**Conducător științific**

**Prof. univ. dr. ing. Marian BARBU**

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

**Referenți Științifici**

**Prof. univ. dr. ing. Gheorghe-Dorin ȘENDRESCU**

Universitatea din Craiova

**Prof. univ. dr. ing. Grigore STAMATESCU**

Universitatea Națională de Știință și Tehnologie

Politehnica București

**Prof. univ. dr. fiz. Gabriel MURARIU**

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

**Seria I8: Ingineria sistemelor Nr. 13**

**GALAȚI**

**2024**

**Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:**

**Domeniul fundamental ȘTIINȚE INGINEREȘTI**

- Seria I 1: **Biotehnologii**
- Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**
- Seria I 3: **Inginerie electrică**
- Seria I 4: **Inginerie industrială**
- Seria I 5: **Ingineria materialelor**
- Seria I 6: **Inginerie mecanică**
- Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**
- Seria I 8: **Ingineria sistemelor**
- Seria I 9: **Inginerie și management în agricultură și dezvoltare rurală**

**Domeniul fundamental ȘTIINȚE SOCIALE**

- Seria E 1: **Economie**
- Seria E 2: **Management**
- Seria E 3: **Marketing**
- Seria SSEF: **Știința sportului și educației fizice**
- Seria SJ: **Drept**

**Domeniul fundamental ȘTIINȚE UMANISTE**

- Seria U 1: **Filologie- Engleză**
- Seria U 2: **Filologie- Română**
- Seria U 3: **Istorie**
- Seria U 4: **Filologie - Franceză**

**Domeniul fundamental MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII**

- Seria C: **Chimie**

**Domeniul fundamental ȘTIINȚE BIOMEDICALE**

- Seria M: **Medicină**
- Seria F: **Farmacie**

## Mulțumiri

Parcursul studiilor doctorale a fost pentru mine o experiență academică intensă, marcată de provocări și realizări, în care am avut privilegiul de a întâlni oameni remarcabili, a căror susținere a fost esențială pentru finalizarea acestei teze de doctorat.

În primul rând, doresc să adresez sincere mulțumiri domnului *Prof. univ. dr. ing. Marian Barbu*, sub a cărui îndrumare am realizat această teză de doctorat. Implicarea, suportul științific și ajutorul oferit în această perioadă au fost esențiale pentru finalizarea acestei lucrări, motiv pentru care îi sunt profund recunoscător și îi apreciez în mod deosebit contribuția.

Mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare, *Prof. univ. dr. ing. Sergiu Caraman*, *Conf. dr. ing. George Ifrim* și *Conf. dr. ing. Răzvan Șolea*, pentru contribuția valoroasă la îmbunătățirea conținutului științific al acestei teze de doctorat, prin sfaturile oferite și sprijinul acordat, în special pe parcursul susținerii rapoartelor științifice.

Mulțumesc membrilor comisiei de evaluare, *Prof. univ. dr. ing. Gheorghe-Dorin Șendrescu*, *Prof. univ. dr. ing. Grigore Stamatescu* și *Prof. univ. dr. fiz. Gabriel Murariu* pentru dedicarea și efortul remarcabil depus în vederea susținerii publice a acestei teze de doctorat.

Doresc să adresez mulțumiri speciale profesorilor din cadrul Facultății de Științe și Mediu și a Facultății de Inginerie din cadrul Universității „Dunărea de Jos”, din Galați, care m-au inițiat pe acest drum al cercetării și al științei. Sunt profund recunoscător domnului *Prof. univ. dr. fiz. Gabriel Murariu* pentru ajutorul și sfaturile valoroase care au contribuit la îmbunătățirea conținutului acestei teze de doctorat. Mulțumesc, de asemenea, *Conf. dr. Mihaela Timofti* pentru îndrumarea oferită în cadrul elaborării lucrării de licență și *Lect. dr. Marius Bodor* pentru sprijinul acordat pe parcursul disertației. Aportul și ghidarea lor au fost esențiale în formarea mea academică. Totodată, doresc să le mulțumesc colegilor din cadrul Facultății de Automatică, Calculatoare, Inginerie Electrică și Electronică dar și colegilor din cadrul proiectelor de cercetare, în special *Dr. Mădălina Călmuc*, *Dr. Valentina-Andreea Călmuc*, *Dr. ing. Constantin Daniel-Eduard* și *Dr. ing. Larisa Condrachi (Diaconu)*, pentru sfaturile și ajutorul oferit de-a lungul acestui parcurs.

Îmi exprim profunda recunoștință față de colegii *Lect. dr. Adrian Roșu* și *Lect. dr. ing. Maxim Arseni*, pentru suportul moral, științific și tehnic oferit pe parcursul elaborării acestei teze de doctorat. Le mulțumesc în mod special pentru sprijinul acordat prin punerea la dispoziție a unui PC de ultimă generație și a unui laptop performant, care au fost esențiale pentru realizarea acestei lucrări.

În încheiere, doresc să adresez sincere mulțumiri soției mele, *medic Mariana Roșu*, care mi-a fost alături pe tot parcursul acestui drum, oferindu-mi sprijin moral, răbdare și înțelegere în momentele dificile. De asemenea, sunt profund recunoscător familiei mele, prietenilor și tuturor celor care m-au susținut printr-un sfat înțelept, o încurajare sinceră sau o discuție constructivă, contribuind în mod esențial la realizarea acestei teze de doctorat.

Această realizare este, în egală măsură, rodul susținerii și încrederii pe care mi-au oferit-o cei dragi, cărora le dedic cu recunoștință această lucrare.

Galați, Decembrie 2024

Drd. Bogdan Roșu



## CUPRINSUL REZUMATULUI TEZEI DE DOCTORAT

<b>INTRODUCERE .....</b>	<b>IX</b>
<b>Capitolul 1 STADIUL ACTUAL ÎN MODELAREA ȘI CONDUCEREA AUTOMATĂ A PROCESELOR DE TRATARE A APELOR UZATE .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducere privind problematica tratării apelor uzate .....	1
1.2 Evoluția sistemelor de tratare a apelor uzate.....	1
1.3 Importanța folosirii modelelor benchmark în domeniu tratării apelor uzate .....	2
1.4 Stadiul actual în modelarea proceselor de tratare a apelor uzate .....	2
1.5 Stadiul actual în conducerea automată a proceselor de tratare a apelor uzate.....	3
<b>Capitolul 2 PREZENTAREA INSTRUMENTULUI DE SIMULARE .....</b>	<b>5</b>
2.1 Introducere.....	5
2.2 Modelarea matematică a proceselor de tratare a apelor uzate incluse în BSM2.....	5
2.2.1 Decantorul primar.....	6
2.2.2 ASM1 .....	6
2.2.3 Decantorul secundar .....	6
2.2.4 Digestorul Anaerob (ADM1) .....	6
2.2.5 Instalația de îngroșare și instalația de uscare a nămolului.....	7
2.2.6 Instalația de stocare a apei.....	7
2.3 Interfața ASM/ADM .....	7
2.4 Elemente de conducere automată a procesului de tratare a apelor uzate în cadrul BSM2 .....	7
2.5 Analiză asupra influentului.....	7
2.6 Analiza asupra efluentului .....	8
2.7 Concluzii .....	8
<b>Capitolul 3 EVALUAREA STRATEGIILOR DE CONTROL UTILIZATE ÎN CADRUL BSM2 .....</b>	<b>9</b>
3.1 Implementarea strategiilor de control în cadrul BSM2 .....	9
3.1.1 Validarea rezultatelor .....	10
3.1.2 Analiză comparativă a rezultatelor.....	11
3.1.3 Clasificarea strategiilor după criteriile generale de performanță .....	12
3.2 Rezultate obținute pentru influentul în regim uscat .....	12
3.2.1 Analiză comparativă a rezultatelor.....	12
3.2.2 Clasificarea strategiilor după criteriile generale de performanță .....	13
3.3 Concluzii .....	14
<b>Capitolul 4 DETERMINAREA REFERINTELOR OPTIMALE ALE STRATEGIILOR DE CONTROL PROPUSE .....</b>	<b>15</b>
4.1 Dezvoltarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda Monte Carlo .....	15
4.1.1 Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda Monte Carlo pentru strategia B <sub>1P</sub> .....	15
4.1.2 Rezultate obținute prin aplicarea aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda Monte Carlo pentru strategia C <sub>1P</sub> .....	16

4.1.3	Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda Monte Carlo pentru strategia $C_{1U}$ .....	18
4.2	Dezvoltarea unui algoritm de optimizare bazat pe metode avansate de interpolare ...	19
4.2.1	Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe metode avansate de interpolare $C_{1P}$ .....	19
4.3	Dezvoltarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda (iterativă) a relaxării .....	21
4.3.1	Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda (iterativă) a relaxării $C_{1P}$ .....	22
4.4	Dezvoltarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda celor mai mici pătrate (LSM) .....	23
4.4.1	Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe LSM în cazul strategiei $B_{1P}$ .....	23
4.4.2	Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe LSM în cazul strategiei $C_{1P}$ .....	25
4.4.3	Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe LSM în cazul strategiei $C_{1U}$ .....	28
4.5	Rezultate finale (influent standard BSM2) .....	28
4.6	Rezultate finale (influent în regim uscat).....	30
4.7	Resurse Computaționale și Conducerea Simulărilor .....	32
4.8	Concluzii .....	33
<b>Capitolul 5</b>	<b>CONCLUZII FINALE .....</b>	<b>35</b>
5.1	Contribuții originale .....	35
5.2	Direcții viitoare.....	36
<b>LISTĂ DE LUCRĂRI .....</b>	<b>37</b>	
	Lucrări științifice publicate în domeniul tezei de doctorat.....	37
	Lucrări științifice publicate în alte domenii de cercetare științifică.....	37
	Participări la proiecte de cercetare ale Universității „Dunărea de Jos” din Galați.....	39
	Recunoașterea rezultatelor .....	40
	Stagii de cercetare practică în domeniul tezei de doctorat .....	40
<b>BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>41</b>	



## INTRODUCERE

Tratarea apelor uzate reprezintă una dintre provocările majore ale societății umane moderne, fiind crucială pentru protejarea sănătății publice, mediului înconjurător și resurselor de apă. Odată cu creșterea urbanizării și industrializării, volumul, complexitatea chimică și biologică a apelor uzate au crescut semnificativ, necesitând dezvoltarea unor soluții tehnologice avansate și eficiente pentru tratarea acestora. Instalațiile de tratare a apelor uzate au evoluat considerabil în timp, de la sisteme simple de sedimentare până la procese biochimice complexe. Acestea implică utilizarea tehnologiilor de control automatizat pentru a asigura o funcționare optimă și continuă.

Reglementările adoptate la nivelul Uniunii Europene au un rol esențial în ghidarea și standardizarea proceselor de tratare a apelor uzate. Directive precum *Directiva 91/271/CEE* [1] privind tratarea apelor urbane reziduale și *Directiva 2000/60/CE* [2], stabilesc cerințe stricte pentru colectarea, tratarea și evacuarea apelor uzate. Astfel, sunt impuse concentrații limită pentru conținutul în nutrienți, metale grele și compuși organici ai efluentului. Aceste acte normative au fost implementate cu scopul de a proteja sănătatea publică și ecosistemele acvatice prin impunerea colectării și tratării apelor uzate menajere și industriale, promovând astfel o utilizare durabilă a resurselor de apă.

Tratarea apelor uzate este prin excelență un domeniu interdisciplinar al cărui progres implică colaborarea strânsă între specialiști din diverse arii care își pot uni cunoștințele și expertiza pentru a găsi soluții eficiente și durabile. Un alt aspect important și favorabil dezvoltării rapide a acestui domeniu îl constituie colaborarea dintre mediul academic, agenții economici și alte părți interesate în vederea obținerii de fonduri pentru implementarea reală a soluțiilor inovatoare elaborate în centrele de cercetare universitare și institutele de specialitate.

Modelarea și conducerea automată a proceselor de tratare a apelor uzate sunt elemente esențiale în vederea dezvoltării tehnologice a acestui domeniu. Modelarea acestor procese implică stabilirea unui nivel adecvat de complexitate, astfel încât modelul matematic să surprindă elementele cheie ale procesului, fiind ușor de utilizat și de înțeles. Pe de altă parte, controlul automat al acestor procese reprezintă o adevărată provocare, având în vedere caracterul neliniar și dinamic al acestora. Aceste provocări necesită soluții avansate și inteligente de control, care permit adaptarea continuă a sistemului la variațiile neprevăzute ale influentului și condițiilor de operare, optimizând eficiența tratamentului și reducând costurile operaționale, asigurând totodată conformitatea cu legislația în vigoare. Pe măsură ce resursele energetice și de apă devin tot mai limitate, iar cerințele de calitate ale efluentului sunt tot mai stricte, dezvoltarea de modele precise și strategii de control eficiente este crucială.

Capacitatea de stocare și de tratare a stațiilor de epurare poate fi depășită în anumite situații de debitul influentului sau de nivelul de poluare prezent. Aceste situații pot apărea din cauza unor factori precum fenomenele meteorologice neprevăzute sau accidente industriale. Prin urmare, este esențială dezvoltarea de strategii de control pentru a preveni situațiile critice și pentru a menține performanța optimă în condiții normale de operare.

În contextul dezvoltării soluțiilor tehnologice avansate pentru tratarea apelor uzate, utilizarea modelelor benchmark reprezintă o metodă inovatoare și eficientă, oferind o alternativă superioară testării clasice pe stații pilot. Această abordare permite simularea și evaluarea performanțelor sistemelor de tratare într-un mediu controlat, facilitând astfel optimizarea și implementarea strategiilor de control automatizate fără riscurile și costurile asociate testărilor pe instalații reale.

## OBIECTIVUL ȘI STRUCTURA TEZEI DE DOCTORAT

Această teză de doctorat, intitulată „*CONTRIBUȚII PRIVIND MODELAREA ȘI CONDUCEREA AUTOMATĂ A PROCESELOR DE TRATARE A APELOR UZATE*”, își propune să aducă o contribuție în acest domeniu prin implementarea unor strategii de control automat și explorarea unor metode avansate de optimizare, evaluate riguros în cadrul modelelor benchmark.

Structura tezei este concepută pentru a acoperi atât aspectele teoretice cât și cele practice ale modelării și conducerii automate a proceselor de tratare a apelor uzate.

**Capitolul 1**, intitulat „*Stadiul actual în modelarea și conducerea automată a proceselor de tratare a apelor uzate*” cuprinde o introducere privind problematica tratării apelor uzate și importanța dezvoltării proceselor de tratare la nivel global în contextul actual. Capitolul 1, cuprinde o descriere a evoluției cronologice a instalațiilor de tratare a apelor uzate. În continuare, este dezbătută tema privind importanța utilizării modelelor benchmark în domeniul tratării apelor uzate cât și identificarea avantajelor și dezavantajelor prin comparație cu utilizarea stațiilor de tip pilot. Componenta fundamentală a Capitolului 1 o reprezintă stadiul actual al modelării și conducerii automate a proceselor de tratare a apelor uzate, fiind analizate din literatura de specialitate modelele cu nămol activ și cele de tip benchmark care au avut o contribuție semnificativă la dezvoltarea acestui domeniu.

**Capitolul 2**, intitulat „*Prezentarea instrumentului de simulare*” oferă o descriere detaliată a modelului BSM2, utilizat pentru evaluarea performanțelor strategiilor de control în tratarea apelor uzate. În introducerea capitolului este prezentat modelul BSM2. În continuare, este analizată structura și implicit componentele BSM2. Capitolul cuprinde o analiza a proceselor de tratare cu nămol activ descrise de ASM1. De asemenea, este analizată strategia de bază a BSM2 cât și componentele influentului și efluentului.

**Capitolul 3**, intitulat „*Evaluarea strategiilor de control utilizate în cadrul BSM2*” cuprinde descrierea detaliată a 3 strategii de control, cât și a configurațiilor combinate ale acestora, ce au fost implementate și evaluate în cadrul BSM2. Strategiile de control cuprind structuri de control diferite printre care și o structură de control în cascadă. În continuare, aceste strategii sunt testate individual pe un influent standard BSM2 și pe un influent în regim uscat. Performanțele privind tratarea influentului și costul operațional sunt considerate în vederea clasificării și identificării celor mai eficiente soluții de control. În vederea cuantificării acestor performanțe sunt enunțate două criterii generale de selecție, acest lucru este necesar pentru a identifica strategiile cu cele mai bune performanțe. În partea finală a capitolului sunt identificate și selectate strategiile cele mai performante ce vor fi supuse ulterior unor metode avansate de optimizare.

**Capitolul 4**, intitulat „*Determinarea referințelor optime ale a strategiilor de control propuse*” se concentrează pe optimizarea strategiilor de control care au obținut cele mai bune rezultate. Optimizarea este orientată pe referințe, astfel, se încercă prin aplicarea mai multor metode avansate de optimizare identificarea valorilor optime de referință pentru regulatoarele PI din cadrul strategiilor de control selectate. Prin urmare, sunt testate diverse metode de optimizare, precum metoda Monte Carlo, metoda iterativă a relaxării, metoda celor mai mici pătrate și o metodă avansată de interpolare derivată din metoda celor mai mici pătrate, fiind aplicate în contextul utilizării a două tipuri de influent (standard BSM2 și regim uscat). Capitolul se încheie cu o analiză a tuturor rezultatelor obținute, fiind comparate și clasificate versiunile optimizate și neoptimizate ale strategiilor de control selectate, în funcție de performanța generală obținută.

**Capitolul 5**, intitulat „*Concluzii*” trece în revistă cele mai importante aspecte prezentate în cadrul acestei teze. Astfel, sunt comentate contribuțiile aduse în cadrul acestei teze cât și impactul

lor în cadrul acestui domeniu. De asemenea, sunt analizate opțiunile de îmbunătățire a metodelor de optimizare aplicate ce stau la baza proiectării unor direcții viitoare.

**Teza de doctorat a fost realizată cu sprijinul financiar al proiectului „Excelența academică și valori antreprenoriale - sistem de burse pentru asigurarea oportunităților de formare și dezvoltare a competențelor antreprenoriale ale doctoranzilor și postdoctoranzilor – ANTREPRENORDOC”, Contract nr. 36355/23.05.2019 POCU/380/6/13 - Cod SMIS: 123847**



# Capitolul 1 STADIUL ACTUAL ÎN MODELAREA ȘI CONDUCEREA AUTOMATĂ A PROCESELOR DE TRATARE A APELOR UZATE

## 1.1 Introducere privind problematica tratării apelor uzate

Dezvoltarea industrială, economică și socială, a condus în timp la o creștere semnificativă a volumului de apă uzată generată, punând presiune asupra infrastructurii de tratare existentă. Apa uzată este un rezultat al poluării cu substanțe organice și chimice, cât și cu agenți patogeni care pot avea efecte devastatoare asupra sănătății oamenilor și a ecosistemelor acvatice. Poluarea corpurilor de apă de suprafață aflate în mișcare, prezintă consecințe dintre cele mai grave, lucru datorat propagării poluanților în aval către sursele de captare cu apă ale orașelor sau către alte corpuri colectoare, cum ar fi lacurile sau mările aflate la distanță față de punctul sursă de emisie. Prin urmare, tratarea corespunzătoare a apelor uzate este esențială pentru a preveni efectele poluării apei și a răspândirii bolilor, dar și pentru a conserva resursele de apă dulce. În plus, tratarea apelor uzate poate contribui la menținerea resurselor de apă dulce care sunt din ce în ce mai reduse și mai vulnerabile. Cu toate acestea, domeniului tratării apelor uzate se lovește de anumite provocări în ceea ce privește tratarea eficientă și accesibilă a apelor uzate la nivel global. Printre aceste provocări putem include costurile ridicate de operare, lipsa de motivație în ceea ce privește dezvoltarea de tehnologii noi accesibile tuturor, lipsa infrastructurii adecvate, mai ales în țările aflate în curs de dezvoltare și conștientizarea insuficientă cu privire la importanța protejării resurselor naturale de apă dulce. Pentru a face față acestei problematice cu care omenirea se confruntă în ziua de astăzi, sunt necesare desfășurarea unor eforturi comune continue, de la nivelurile științifice, administrative, comunitare și până la cele individuale, prin inovație tehnologică, adoptarea unor politici adecvate, investiții, promovarea cercetării și prin educarea publicului cu privire la importanța gestionării adecvate a apelor uzate. Prin urmare, putem afirma faptul că tratarea apelor uzate este o prioritate globală pentru a proteja atât sănătatea publică cât și mediul înconjurător, asigurând un viitor durabil și sustenabil pentru generațiile viitoare.

## 1.2 Evoluția sistemelor de tratare a apelor uzate

Descoperirea în 1914 a procesului de epurare a apelor uzate cu ajutorul nămolului activ, de către pionierii Ardern și Lockett [3], a reprezentat un pas extrem de important spre dezvoltarea în viitor a unor instalații mult mai performante. Observațiile celor doi cercetători din timpul experimentelor, descriu modul cum se formează materia solidă în urma aerării mostrelor de apă uzată, denumita nămol activ, cu rol în accelerarea procesului de oxidare. De asemenea, cei doi oameni de știință, au observat modul în care temperaturile mai mici de 10° C inhibă aproape complet procesul de tratare. De regulă, bazinele cu nămol activ sunt urmate de decantoare, precum în Figura 1.1, utilizate cu scopul de a separa materiile solide aflate în suspensie de apa tratată.

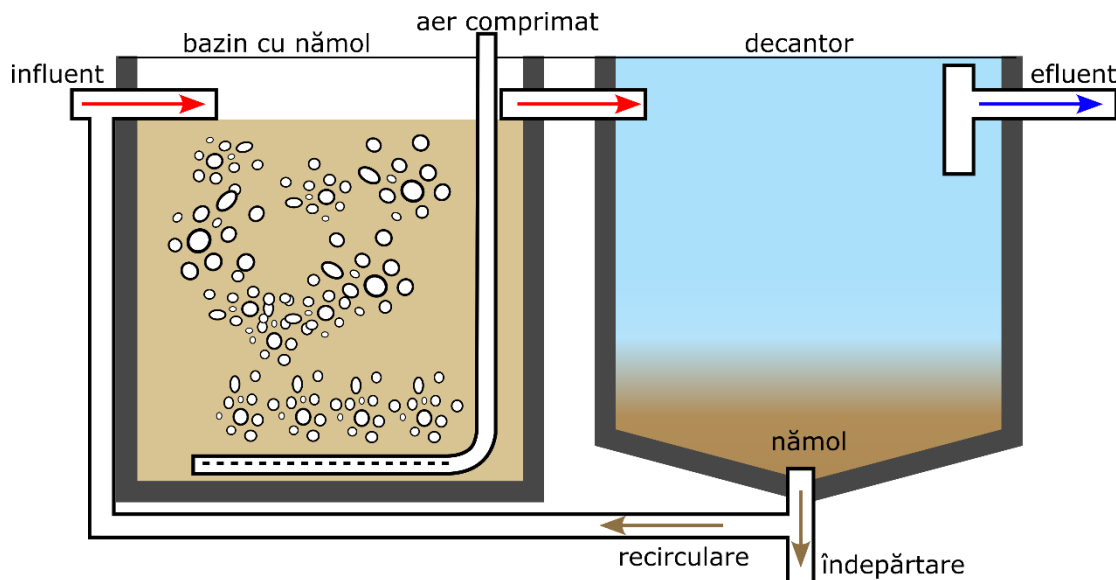


Figura 1.1 Prezentarea schematică a procesului de tratare cu nămol activ (adaptare după [4])

### 1.3 Importanța folosirii modelelor benchmark în domeniul tratării apelor uzate

Utilizarea BSM în domeniul epurării apelor uzate reprezintă un avantaj tehnologic superior față de metodele clasice de testare și evaluare a performanțelor unei SEAU de tip pilot. Procesele din cadrul unei SEAU sunt puternic non-lineare, mai ales din cauza variațiilor componentelor influentului. Astfel, odată ce apa uzată pătrunde în SEAU are un debit și o compoziție a poluanților variabilă în timp [5]. Acest lucru face ca modelarea proceselor de tratare a apelor uzate să fie o adevărată provocare. Scopul acestor modele este de a efectua predicții într-un mediu controlat privind performanțele SEAU, a tehnologiilor implementate aflate în testare cât și a strategiilor de control propuse pentru a fi aplicate în realitate. Acest lucru oferă operatorilor de SEAU o imagine de ansamblu ce ajută la ierarhizarea opțiunilor de tratare în funcție de randamentul lor și ajută la alegerea celor mai bune acțiuni privind operarea optimă a SEAU.

### 1.4 Stadiul actual în modelarea proceselor de tratare a apelor uzate

Tratarea apelor uzate cu nămol activ reprezintă una dintre cele mai utilizate metode din acest domeniu, fiind general acceptată de comunitatea științifică ca o soluție eficientă în vederea îndepărtării biologice a substanțelor organice și a nutrienților. Nămolul activ este în fapt o suspensie de biomasa bacteriană, capabilă să metabolizeze anumiți poluanți regăsiți în apele uzate. Aceste bacterii, cât și alte microorganisme prezente în nămolul activ, utilizează poluanții organici drept sursă de hrană și îi metabolizează într-o formă mai puțin nocivă.

În anul 1982, în cadrul *International Association on Water Pollution Research and Control (IAWPRC)*, a fost înființat un grup de lucru în domeniul modelării matematice pentru proiectarea și operarea proceselor cu nămol activ [5].

Primul model rezultat a fost *Activated Sludge Model No. 1 (ASM1)* [6], publicat în 1987, capabil să descrie procese precum oxidarea carbonului, nitrificarea și denitrificarea. ASM1 a fost general acceptat de comunitatea științifică, reprezentând un punct de referință pentru dezvoltarea modelelor viitoare și este în prezent foarte des întâlnit în literatura de specialitate.

În perioada 1980-1990, interesul cercetătorilor este direcționat către dezvoltarea proceselor de îndepărtare biologică a fosforului din apele uzate, fapt ce a condus în 1995 la publicarea *Activated Sludge Model No. 2 (ASM2)* [7].

O versiune extinsă a ASM3, denumită ASM3bioP și prezentată schematic în Figura 1.2, a fost dezvoltată în cadrul lucrării [8], având la baza procesele modificate ale ASM2d, dar fără fermentarea substraturilor ușor degradabile.

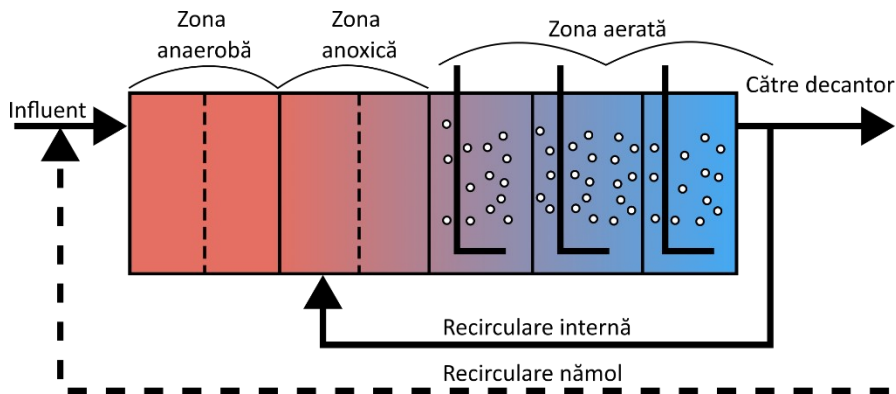


Figura 1.2 Structura bioreactorului din cadrul ASM3bioP (adaptare după [8])

### 1.5 Stadiul actual în conducerea automată a proceselor de tratare a apelor uzate

În literatura de specialitate au fost dezvoltate numeroase unelte tehnologice capabile să accepte implementarea și testarea diferitelor strategii de control. Printre cele mai apreciate unelte sunt modelele de tip benchmark (BSM) [9].

Unul din cele mai apreciate și utilizate modele în domeniu, este *Benchmark Simulation Model No. 1 (BSM1)* [10], prezentat în Figura 1.3.

BSM1 oferă posibilitatea de a testa mai multe strategii de control prin punerea la dispoziție a mai multor instrumente (traductoare, regulatoare PI și elemente de execuție). Pentru stabilirea unei strategii de control adecvate și realiste în cadrul BSM1 este necesară o selecție adecvată a acestor instrumente și utilizarea lor într-un număr limitat.

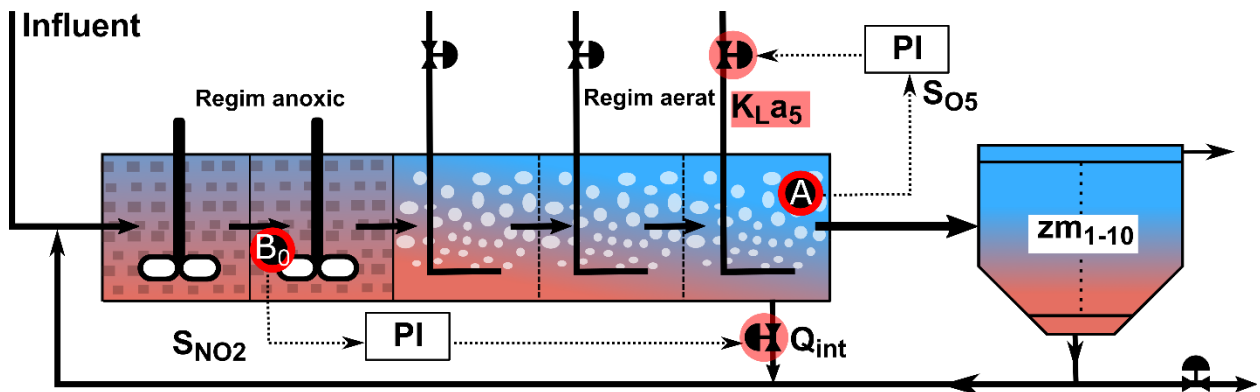


Figura 1.3 Structura și strategia de bază a modelului BSM1, unde  $Q_{int}$  este debitul de recirculare internă,  $S_O$  concentrația de DO,  $S_{NO}$  este concentrația nitratului (adaptare după [10])





## Capitolul 2 PREZENTAREA INSTRUMENTULUI DE SIMULARE

### 2.1 Introducere

În cadrul acestei lucrări a fost utilizat instrumentul de simulare BSM2. Acesta poate simula procesele de tratare ale apelor uzate specifice unei SEAU, cuprinzând atât treapta de tratare a apei uzate prin îndepărtarea nutrienților și a substanțelor organice, cât și cea de procesare și eliminare a nămolului activ. Scopul BSM2 este de a oferi un instrument eficient pentru evaluarea performanței strategiilor de control implementate de către utilizatori [11].

În structura BSM2 sunt cuprinse instalații specifice unei SEAU cu două trepte de tratare. Astfel, se regăsesc instalații standard utilizate în tratarea apelor uzate dar și a nămolului rezultat din procesul de decantare. Modelul de tip benchmark este capabil să simuleze procesele de bază întâlnite în cadrul instalațiilor moderne de tratare a apelor uzate cu nămol activ, fiind astfel un mediu ideal pentru testarea diferitelor strategii de control.

Structura de bază a BSM2 este prezentată în Figura 2.1.

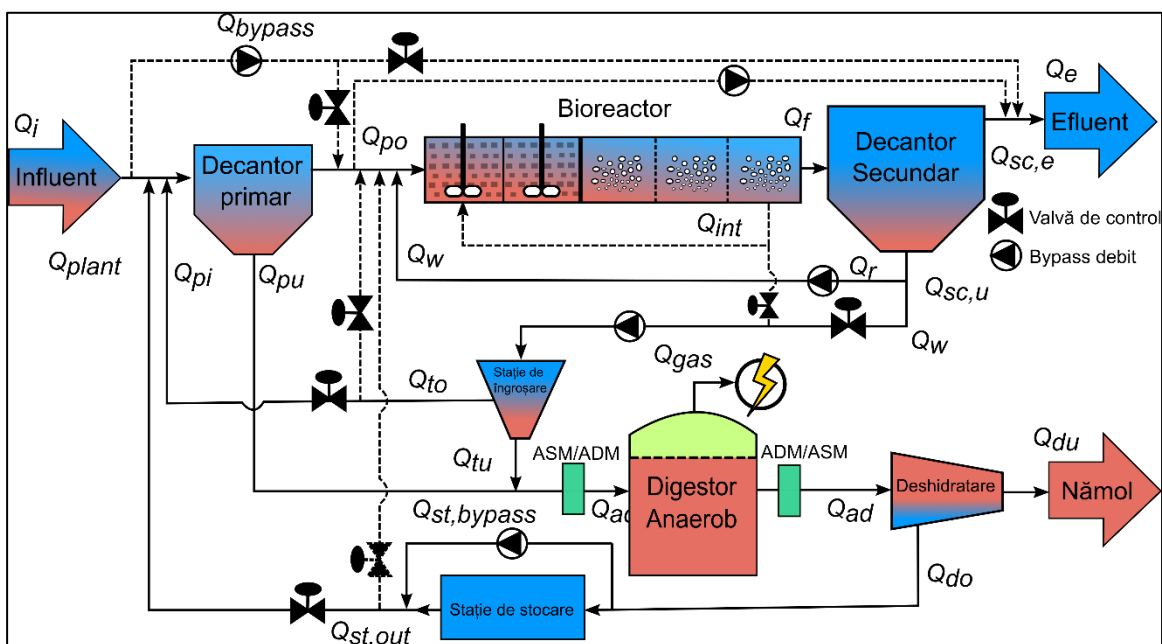


Figura 2.1 Structura BSM2 (adaptare după [12])

### 2.2 Modelarea matematică a proceselor de tratare a apelor uzate incluse în BSM2

BSM2 este alcătuit dintr-un set de modele matematice adaptate și interconectate pentru a forma o reprezentare cuprinzătoare a unei SEAU din realitate. În continuare, sunt descrise principalele modele matematice în cadrul BSM2. Modelele matematice sunt descrise în detaliu în lucrarea [5].

### 2.2.1 Decantorul primar

Decantorul primar, este prima instalație din cadrul BSM2 în care pătrunde influentul. În acest bazin are loc prima separare a apei uzate (transferată mai departe către bioreactor) și a nămolului (care este transferat către stația de digestie anaerobă).

### 2.2.2 ASM1

Modelul matematic ASM1, a fost realizat de cercetătorii din cadrul IWA în anul 1987 [13] și reprezintă componenta cea mai importantă a BSM2, având rolul de a simula procesele biologice desfășurate la nivelul bioreactorului:

1. îndepărtarea azotului prin nitrificare și denitrificare;
2. îndepărtarea carbonului organic.

### 2.2.3 Decantorul secundar

Decantorul secundar, prezentat în Figura 2.2, are ca scop îndepărtarea nămolului în exces, acesta este alcătuit din 10 straturi, fiecare strat având o înălțime ( $z_m$ ) de 0,4 m. [5].

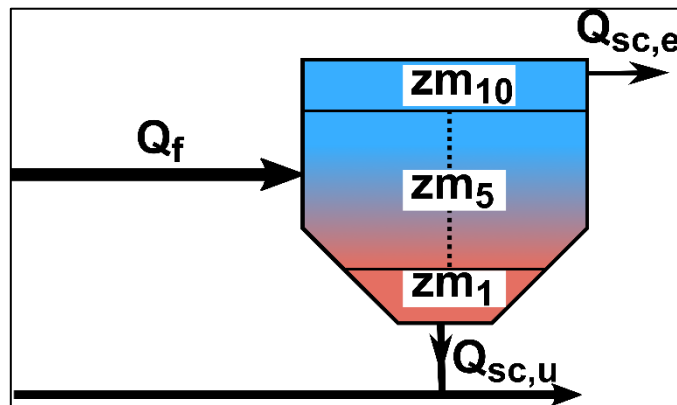


Figura 2.2 Reprezentare grafică a decantorului secundar (adaptare după [12], [14])

### 2.2.4 Digestorul Anaerob (ADM1)

În anul 1997, în cadrul Congresului privind Digestia Anaeroba ținută la Sendai (Japonia), a fost stabilit un grup de lucru alcătuit din cercetători din cadrul IWA pentru dezvoltarea unui model matematic al unei stații de digestie anaerobă [15]. Modelul ADM1, prezentat în Figura 2.3, este componenta cea mai importantă a BSM2, din cadrul etapei de tratare a nămolului rezidual.

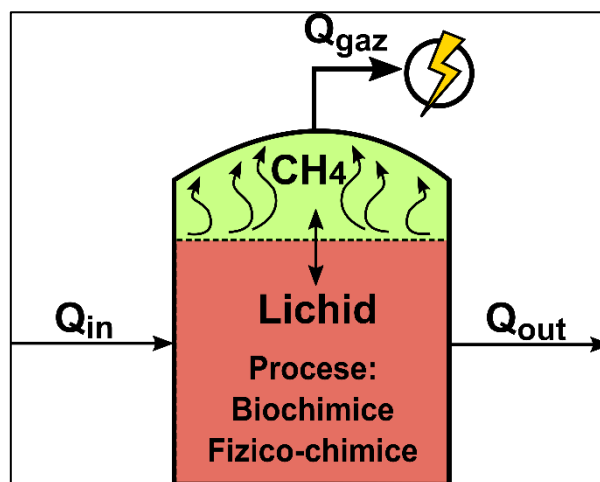


Figura 2.3 Schema unei stații de digestie anaerobă cu un singur compartiment (adaptare după [15])

### 2.2.5 Instalația de îngroșare și instalația de uscare a nămolului

Rolul instalației de îngroșare este de a colecta și compacta nămolul rezultat în urma procesului de decantare secundară, o parte din acesta este transferat înapoi către instalația de decantare primară.

### 2.2.6 Instalația de stocare a apei

Apa reziduală obținută în urma procesului de deshidratare a nămolului este stocată într-un rezervor, de unde este recirculată înapoi în sistem (decantorul primar).

## 2.3 Interfața ASM/ADM

În cadrul structurii modelului BSM2 au fost integrate două interfețe de tip ASM/ADM și respectiv ADM/ASM. Aceste interfețe au rolul de a face conversia variabilelor de stare dintre modelele integrate în structura BSM2, ASM1 și respectiv ADM1.

## 2.4 Elemente de conducere automată a procesului de tratare a apelor uzate în cadrul BSM2

BSM2 prezintă o strategie de control de bază, prezentată schematic în Figura 2.4, denumită în continuare  $Def_{CL}$  (default closed loop). Această strategie de bază este creată cu scopul de a familiariza utilizatorii cu interfața și capacitățile tehnice ale modelului.

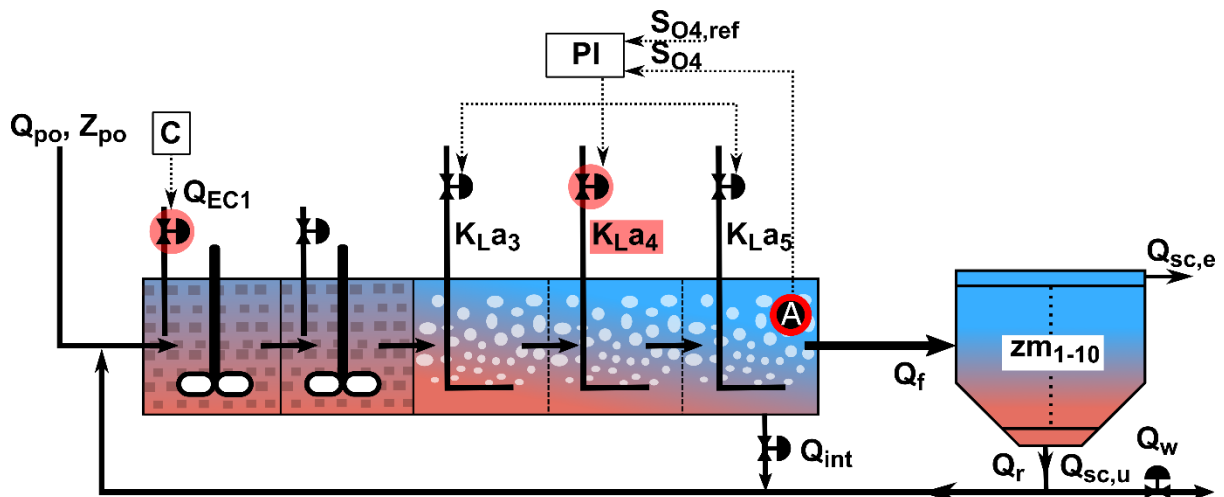


Figura 2.4 Prezentarea grafică a strategiei  $Def_{CL}$  (adaptare după [12])

## 2.5 Analiză asupra influentului

Influentul reprezintă debitul de apă uzată ce pătrunde în SEAU. În cadrul BSM2, influentul poate fi rulat în regim ideal sau dinamic.

Influentul dinamic poate fi generat prin utilizarea modelului ASMX [16] dezvoltat în cadrul IWA Task Group, prezentat în Figura 2.5.

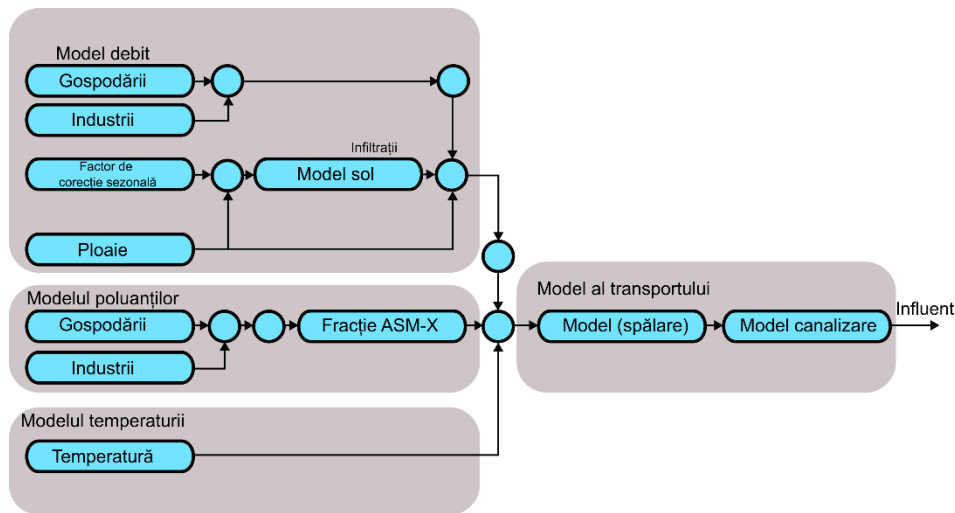


Figura 2.5 Prezentare schematică a modelului ASM<sub>X</sub> (adaptare după [16])

## 2.6 Analiza asupra efluentului

Evaluarea performanțelor strategiilor de control se realizează prin aplicarea ecuațiilor matematice ce descriu conținutul de poluanți din influent  $IQI$ , efluent –  $EQI$  (*Effluent Quality Index*) și costul de operare al SEAU –  $OCI$  (*Overall Cost Index*) descrise în detaliu în lucrarea [5].

## 2.7 Concluzii

La începutul acestui capitol au fost analizate componentele din structura BSM2, precum: decantorul primar, bioreactorul (ASM1), decantorul secundar, instalația de îngroșare, digesterul anaerob (ADM1), instalația de deshidratare a nămolului și instalația de stocare. În cadrul proceselor de tratare cu nămol activ, a fost efectuată o analiză detaliată a proceselor de nitrificare și denitrificare descrise în literatura de specialitate și procesul simplificat al ASM1.

În continuare au fost analizate elementele de conducere automată și strategia de bază a BSM2. Înțelegerea modului de funcționare a modelului este esențială în vederea implementării viitoare a unor strategii de control realizate de către utilizatori. De asemenea, există numeroase studii în literatura de specialitate axate pe optimizarea acestei strategii de control, a cărei performanțe poate fi considerată drept punct de referință.

Având în vedere structura, complexitatea proceselor descrise și posibilitatea de evaluare a performanțelor strategiilor de control implementate, face ca BSM2 să fie o unealtă tehnologică extrem de utilă cu contribuții semnificative în evoluția acestui domeniu.

## Capitolul 3 EVALUAREA STRATEGIILOR DE CONTROL UTILIZATE ÎN CADRUL BSM2

### 3.1 Implementarea strategiilor de control în cadrul BSM2

Scopul acestui capitol este de a obține o performanță îmbunătățită pentru o SEAU simulată prin implementarea, testarea, optimizarea și evaluarea a trei strategii de control în cadrul BSM2. Toate strategiile de control au fost implementate individual și într-un mod combinat, iar această metodă comparativă a fost aleasă pentru validarea strategiilor. Astfel a fost utilizat modelul BSM2 pentru efectuarea simulărilor și testarea strategiilor de control. Astfel, au fost implementate trei strategii de control, prezentate pentru prima dată în studiu [17]. Aceste strategii au fost testate și evaluate cu scopul de a identifica strategia care oferă cea mai bună performanță privind calitatea efluentului și eficiența energetică. Strategiile de control au fost testate într-o manieră individuală (strategia  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ), combinată (strategia  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ) și cuprinzătoare (strategia  $C_1$ ). Strategiile  $A_1$ ,  $A_2$  și  $A_3$  corespund strategiilor de control WL-A4, WL-A2 și SL-A1 din articolul [17].

Strategia de control  $A_1$ , reprezentată grafic în Figura 3.1, este prima strategie implementată și testată.

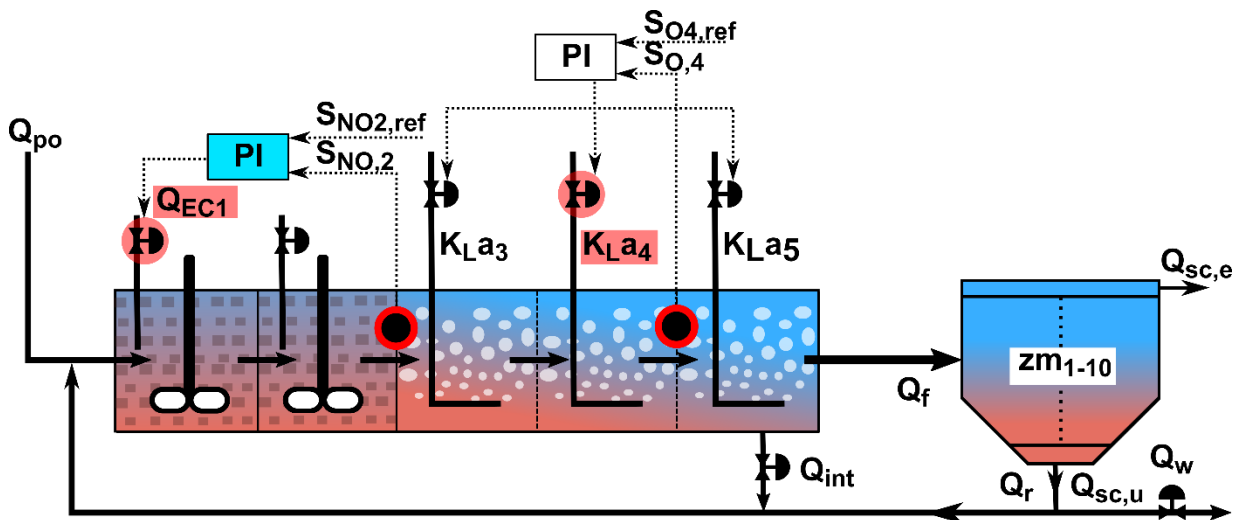


Figura 3.1 Prezentarea schematică a strategiei  $A_1$  [18]

Strategia de control  $A_2$ , reprezentată grafic în Figura 3.2, are drept scop îmbunătățirea procesului de nitrificare din zona aerată a bioreactorului. Acest lucru se realizează prin aplicarea buclei de control ce are drept scop menținerea parametrilor  $S_{NH}$  și  $S_O$  la un nivel optim.

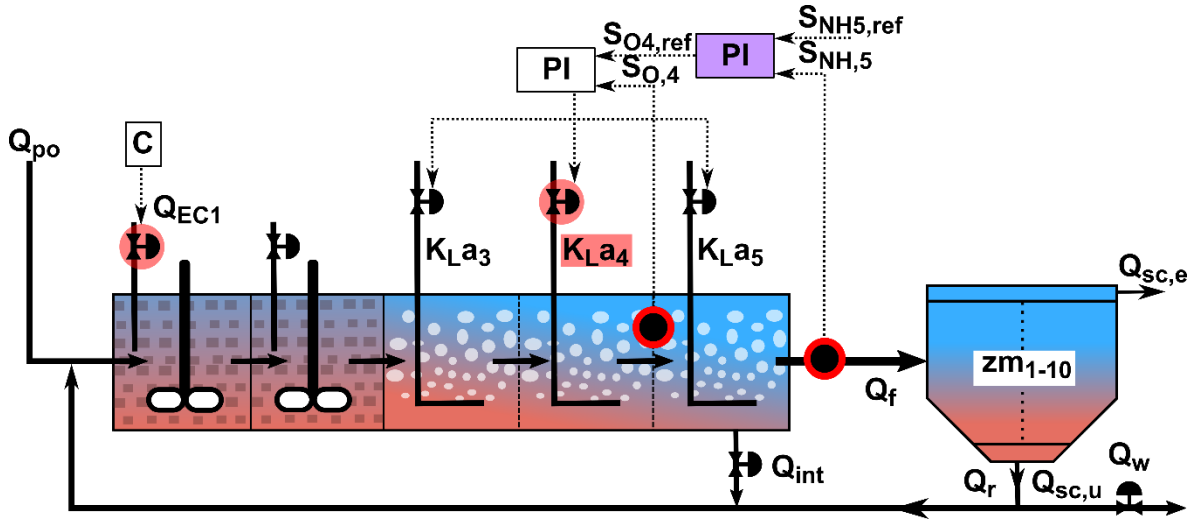


Figura 3.2 Prezentarea schematică a strategiei  $A_2$  [18]

Strategia de control  $A_3$  este reprezentată grafic în Figura 3.3.

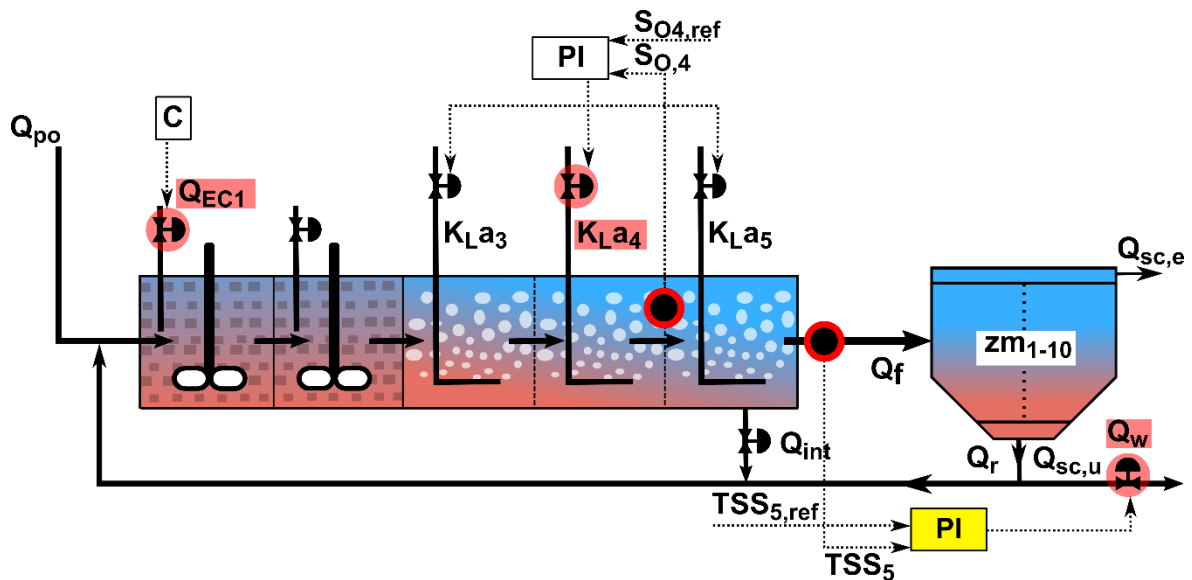


Figura 3.3 Prezentarea schematică a strategiei  $A_3$  [18]

Strategia  $B_1$ , reprezintă o combinație a strategiilor  $A_1$ ,  $A_2$  și componente ale  $Def_{CL}$  fiind axată pe optimizarea simultană a proceselor de denitrificare și nitrificare.

Strategia  $B_2$ , reprezintă o combinație a strategiilor  $A_1$ ,  $A_3$  și componente ale  $Def_{CL}$  fiind axată pe optimizarea simultană a proceselor de denitrificare și de îndepărtare a  $TSS$ .

Strategia  $B_3$ , reprezintă o combinație a strategiilor  $A_2$ ,  $A_3$  și componente ale  $Def_{CL}$  fiind axată pe optimizarea simultană a proceselor de nitrificare și de îndepărtare a  $TSS$ .

Strategia  $C_1$ , reprezintă o combinație a strategiilor  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  și componente ale  $Def_{CL}$  fiind cea mai complexă strategie aplicată în cadrul acestei lucrări.

### 3.1.1 Validarea rezultatelor

În cadrul acestei lucrări a fost efectuat un număr de 7 simulări, în care au fost implicate strategiile de control prezentate anterior. Datele obținute în cadrul acestor simulări vor fi prezentate în continuare. Influentele utilizat pentru testarea strategiilor de control este cel standard al BSM2.

În continuare strategiile testate în cadrul BSM2 cu acest tip de influent vor fi denumite:  $A_{1P}$ ,  $A_{2P}$ ,  $A_{3P}$ ,  $B_{1P}$ ,  $B_{2P}$ ,  $B_{3P}$  și  $C_{1P}$ .

Rezultatele privind evaluarea generală a performanței strategiei de control  $A_{1P}$  în Figura 3.4 a-b.

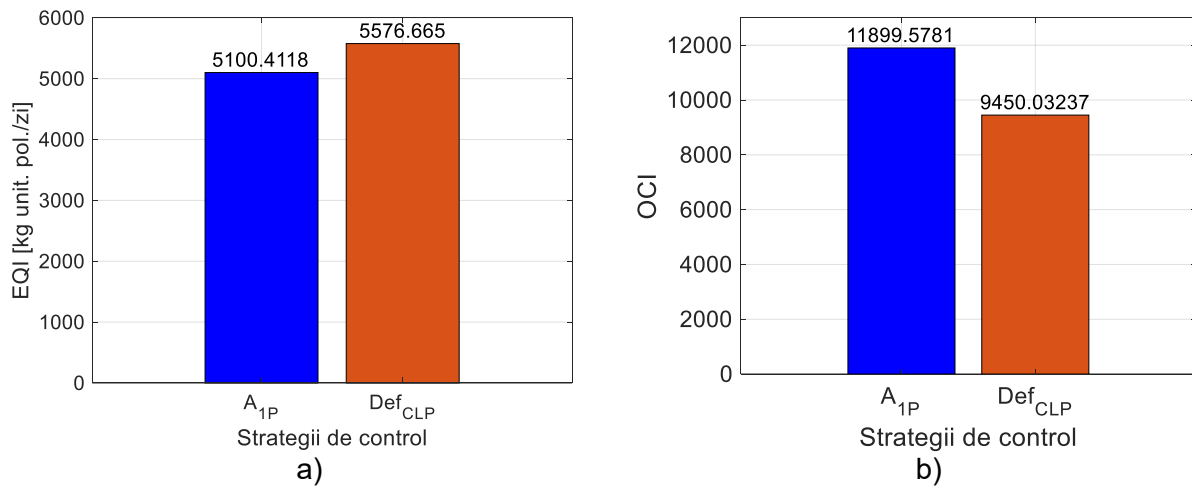


Figura 3.4 Rezultatele strategiei de control  $A_{1P}$  vs  $Def_{CLP}$  privind parametrii de evaluare a performanței EQI și OCI

### 3.1.2 Analiză comparativă a rezultatelor

Analiza comparativă a datelor obținute a fost efectuată cu scopul de a identifica strategiile care au obținut cele mai bune rezultate. În acest mod pot fi observate detalii privind performanța strategiilor considerate în zonele de interes. Pentru a măsura performanța globală a strategiilor testate este nevoie de utilizarea unor criterii de evaluare de nivel superior.

În Figura 3.5 sunt prezentate concentrațiile medii ale parametrilor de calitate ai efluentului. Au fost analizate în paralel rezultatele obținute pentru parametrii  $COD_{tot}$ ,  $BOD_5$ ,  $S_{NH}$ ,  $N_{tot}$  și  $TSS$ .

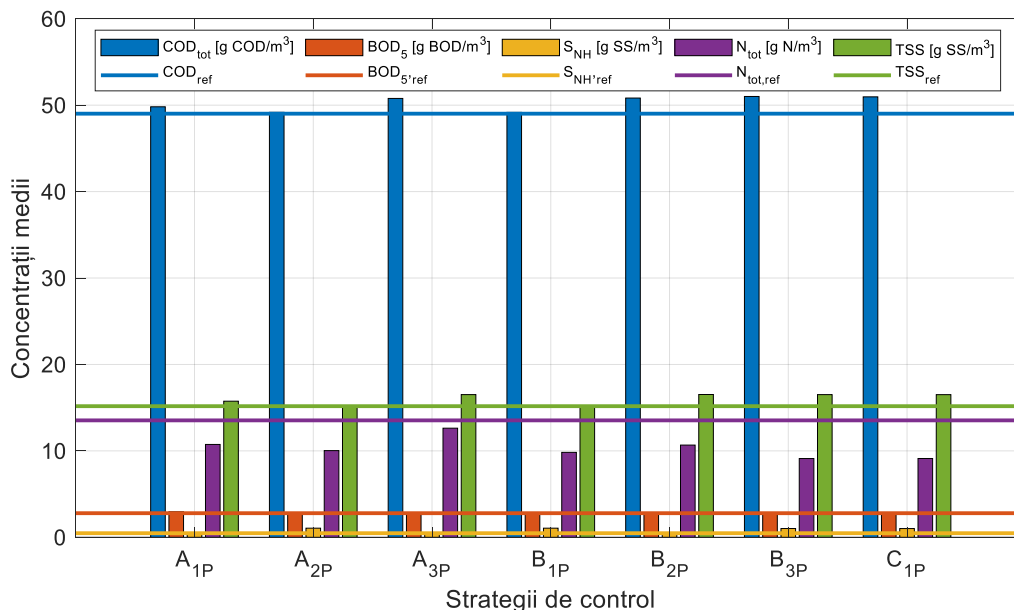


Figura 3.5 Concentrații medii obținute pentru parametrii  $COD_{tot}$ ,  $BOD_5$ ,  $S_{NH}$ ,  $N_{tot}$ ,  $TSS$  în perioada de observație, în cazul strategiilor,  $A_{1P}$ ,  $A_{2P}$ ,  $A_{3P}$ ,  $B_{1P}$ ,  $B_{2P}$ ,  $B_{3P}$  și  $C_{1P}$  vs. valori de referință ( $Def_{CLP}$ )

### 3.1.3 Clasificarea strategiilor după criteriile generale de performanță

În cadrul acestei lucrări a fost elaborat un criteriu general de performanță denumit *OPC* (Overall Performance Criterion) menit să cuantifice importanța criteriilor de evaluare privind performanța și costul de operare al strategiilor de control. Prin urmare, *OPC* consideră criteriile de evaluare *EQI* și *OCI* a fi importante în egală măsură, astfel, clasificarea strategiilor de control se poate realiza mult mai rapid.

*OPC* are formulă matematică din [18]:

$$OPC = \frac{\overline{EQI} + \overline{OCI}}{2} \quad (3.1)$$

A fost formulat criteriul *EFC* (Environmentally Friendly Criterion) conform relației matematice din [18]:

$$EFC = \frac{\overline{TD_{Ntot}} + \overline{TD_{CODtot}} + \overline{TD_{SNH}} + \overline{TD_{TSS}} + \overline{TD_{BOD5}}}{5} \quad (3.2)$$

Unde  $\overline{TD_{Ntot}}$ ,  $\overline{TD_{CODtot}}$ ,  $\overline{TD_{SNH}}$ ,  $\overline{TD_{TSS}}$  și  $\overline{TD_{BOD5}}$ , reprezintă valorile normalizate ale timpului depășirilor pentru toți parametrii de calitate ai efluentului.

În cadrul strategiei referință ( $Def_{CLP}$ ), valoarea  $EFC = 1$ .

## 3.2 Rezultate obținute pentru influentul în regim uscat

### 3.2.1 Analiză comparativă a rezultatelor

În continuare sunt analizate comparativ rezultatele obținute cu strategiile  $Def_{CL}$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  și  $C_1$  pentru un influent uscat. În cazul generării influentului uscat cu modelul ASM<sub>X</sub>, nu au fost luat în considerare aportul precipitațiilor, prin urmare influentul uscat este derivat din influentul standard BSM<sub>2</sub>.

Pentru a evita confuzia dintre rezultatele obținute cu influentul standard BSM<sub>2</sub> și influentul uscat, pentru rezultatele obținute în cadrul acestui subcapitol, strategiile de control testate în regim de influent uscat vor fi denumite în continuare  $Def_{CLU}$ ,  $A_{1U}$ ,  $A_{2U}$ ,  $A_{3U}$ ,  $B_{1U}$ ,  $B_{2U}$ ,  $B_{3U}$  și  $C_{1U}$ .

În cadrul acestei lucrări au fost efectuate un număr total de 7 simulări BSM<sub>2</sub> în cadrul cărora au fost testate strategiile de control  $Def_{CLU}$ ,  $A_{1U}$ ,  $A_{2U}$ ,  $A_{3U}$ ,  $B_{1U}$ ,  $B_{2U}$ ,  $B_{3U}$  și  $C_{1U}$ .

În Figura 3.6 sunt prezentate grafic rezultatele privind valorile medii ale concentrațiilor parametrilor de calitate ai efluentului simulărilor obținute prin simulare BSM<sub>2</sub> cu strategiile de control considerate.



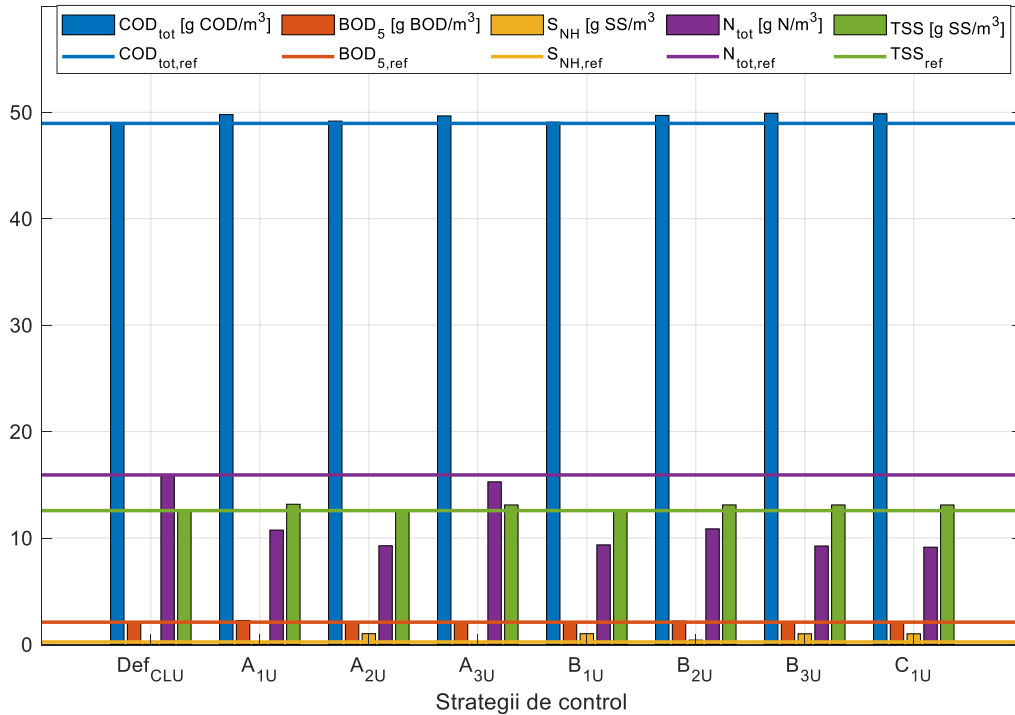


Figura 3.6 Concentrații medii obținute pentru parametrii  $COD_{tot}$ ,  $BOD_5$ ,  $S_{NH}$ ,  $N_{tot}$ ,  $TSS$ , în perioada de observație, în cazul strategiilor  $A_{1U}$ ,  $A_{2U}$ ,  $A_{3U}$ ,  $B_{1U}$ ,  $B_{2U}$ ,  $B_{3U}$  și  $C_{1U}$  vs. valori de referință ( $Def_{CLU}$ )

### 3.2.2 Clasificarea strategiilor după criteriile generale de performanță

Rezultatele finale privind criteriile de departajare  $OPC$  și  $EFC$ , prezentate în Figura 3.7, au fost analizate. În cazul criteriului  $EFC$ , având în vedere valorile  $TD$  pentru parametrii de calitate ai efluentului, putem observa că strategiile  $A_{1U}$ ,  $A_{2U}$  și  $B_{1U}$  au obținut o valoare  $EFC = 0$ . Acest lucru indică lipsa  $TD$ -ului în cazul tuturor parametrilor considerați, fapt ce indică o stabilitate superioară a strategiilor de control în menținerea parametrilor de calitate ai efluentului sub limita maximă de concentrație. Valori foarte bune au obținut și strategiile  $C_{1U}$ ,  $B_{3U}$  și  $B_{2U}$ . Strategia  $A_{3U}$  a obținut singurul rezultat  $EFC$  situat peste pragul de referință al  $Def_{CLU}$ .

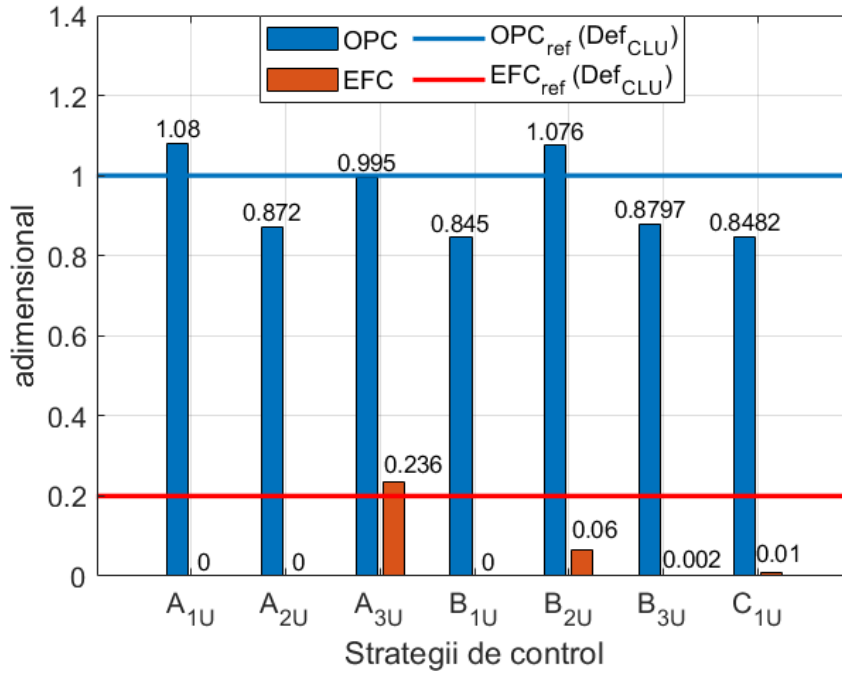


Figura 3.7 Valori ale OPC și EFC obținute pentru strategiile Def<sub>CLU</sub>, A<sub>1U</sub>, A<sub>2U</sub>, A<sub>3U</sub>, B<sub>1U</sub>, B<sub>2U</sub>, B<sub>3U</sub> și C<sub>1U</sub>

### 3.3 Concluzii

Strategiile de control prezentate și evaluate în acest capitol sunt A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> și C<sub>1</sub>. În vederea validării strategiilor de control, performanțele acestora au fost comparate individual cu rezultatele strategiei de control a BSM2, considerată drept referință.

În cadrul acestui capitol au fost enunțate două criterii de evaluare a performanței globale a strategiilor de control testate. Astfel, a fost formulat un criteriu ce cuantifică performanța de tratare și costul operațional (OPC) și un criteriu ce cuantifică timpii de depășire a concentrațiilor limită (EFC).

Finalul capitolului 3 cuprinde o analiză privind clasificarea strategiilor de control în funcție de performanțele globale obținute. În cazul ambelor tipuri de influent, strategiile de control B<sub>1</sub> și C<sub>1</sub> au obținut cele mai bune performanțe conform valorilor OPC și EFC.

În continuare, strategiile de control selectate vor fi supuse unor operațiuni de optimizare, cu scopul a obține performanțe superioare.

## Capitolul 4 DETERMINAREA REFERINȚELOR OPTIMALE ALE STRATEGIILOR DE CONTROL PROPUSE

În cadrul acestui capitol sunt aplicate diferite metode de optimizare în vederea determinării referințelor optimale ale strategiilor de control selectate. Capitolul abordează o temă de actualitate în acest domeniu având în vedere necesitatea de îmbunătățire a performanțelor SEAU în contextul unei legislații tot mai stricte privind concentrațiile maxime admise ale componentelor chimice ale efluentului, prin aplicarea unor metode avansate de optimizare, aplicabile pe o infrastructură deja existentă, fără a necesita modernizarea acesteia. Având în vedere costurile semnificative asociate modernizării infrastructurii SEAU pentru obținerea unei performanțe superioare, metodele de optimizare propuse sunt eficiente și nu implică cheltuieli suplimentare pentru actualizarea echipamentelor sau infrastructurii. Astfel, au fost testate 4 metode de optimizare aplicate strategiilor  $B_1$  și  $C_1$  cu scopul de a îmbunătăți performanța acestora privind eficientizarea procesului de tratare a influentului și reducerea costului de operare al SEAU simulate.

### 4.1 Dezvoltarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda Monte Carlo

*Metoda Monte Carlo* este o metodă complexă de calcul numeric utilizată pentru a analiza și a anticipa comportamentul sistemelor complexe prin aplicarea tehnicilor de eșantionare aleatorie și de analiză statistică.

Pentru a efectua simulări de tip Monte Carlo, este necesar să avem în vedere următorii pași:

1. Definirea problemei modelului;
2. Identificarea variabilelor de intrare și definirea probabilității lor de distribuție;
3. Generarea valorilor pe baza probabilității de distribuție;
4. Efectuarea unui număr considerabil de simulări în care sunt utilizate valorile generate atribuite mărimilor de intrare;
5. Prelucrarea datelor și interpretarea lor.

#### 4.1.1 Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda Monte Carlo pentru strategia $B_{1P}$

Strategia  $B_{1P}$  a fost aleasă pentru a testa și validarea metoda Monte Carlo aplicată în cadrul BSM2.

În Figura 4.1 a și b sunt prezentate valorile obținute variabil de control  $S_{NO2,ref}$  sub forma unei histograme cu șapte categorii privind valorile posibile în funcție de densitatea de probabilitate.

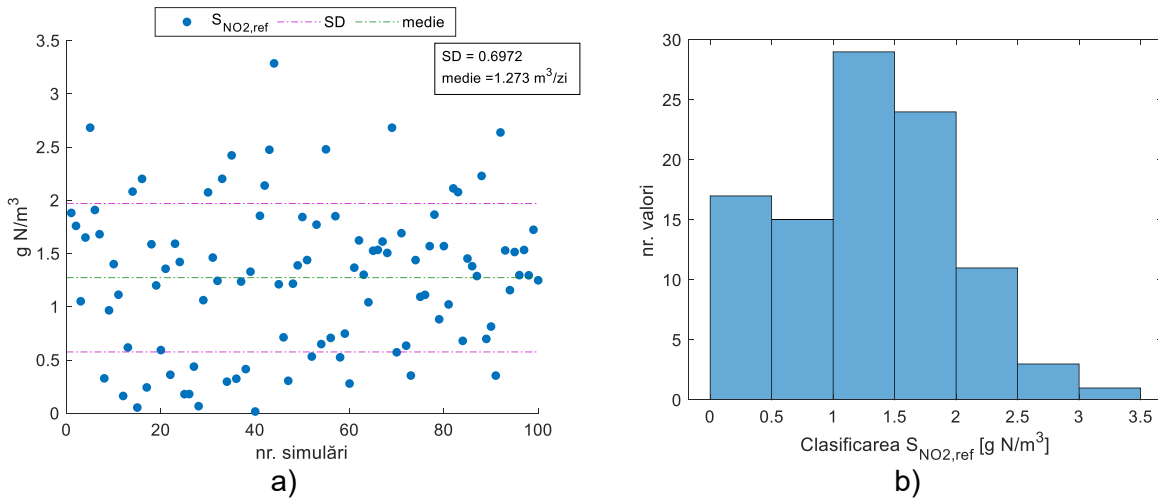


Figura 4.1 Analiza valorilor generate și aplicate pentru  $S_{NO_2,ref}$  în cadrul strategiei  $B_{1P}$ , reprezentând a) dispersia valorilor, și b) distribuția pe clase a valorilor [18]

Datele furnizate în Figura 4.2a și b reprezintă distribuția valorilor  $S_{NH_5,ref}$  în funcție de numărul de simulări și în funcție de intervalele de concentrație. Analiza datelor obținute a scos în evidență următoarele aspecte.

Histograma, prezentată în Figura 4.2b, ilustrează în continuare distribuția valorilor pe intervale de concentrații.

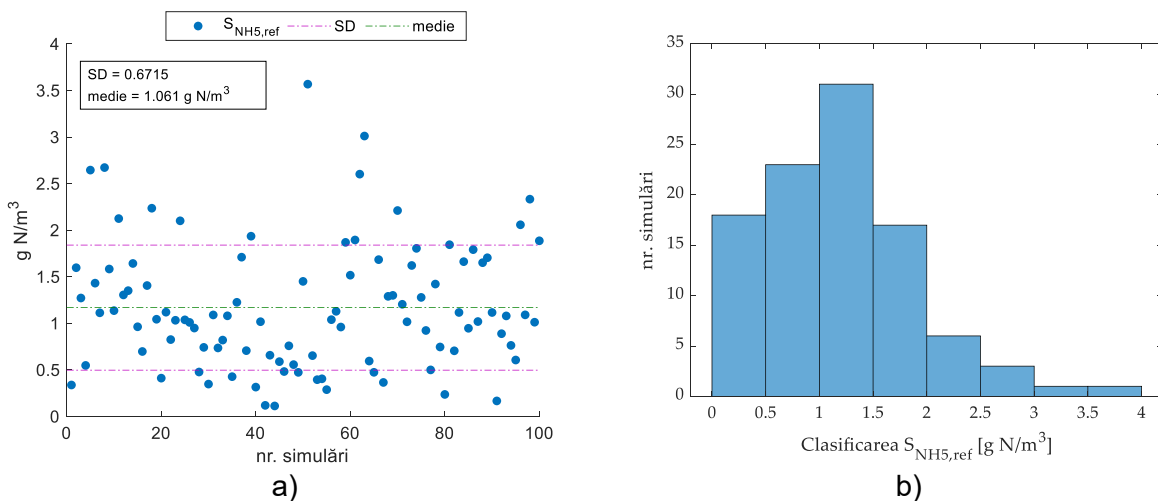


Figura 4.2 Analiza valorilor generate și aplicate pentru  $S_{NH_5,ref}$  în cadrul strategiei  $B_{1P}$ , reprezentând a) dispersia valorilor, și b) distribuția pe clase a valorilor [18]

În continuare, strategia  $B_{1P}$  cu parametrii  $S_{NO_2,ref}$ ,  $S_{NH_5,ref}$  optimizați prin metoda prezentată în acest subcapitol, având în vedere utilizarea versiunii de influent standard BSM2, va fi denumită în continuare  $B_{1P,MC}$ , în scop comparativ.

#### 4.1.2 Rezultate obținute prin aplicarea aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda Monte Carlo pentru strategia $C_{1P}$

În contextul strategiei de control  $C_{1P}$ , au fost efectuate un număr de 220 de simulări Monte Carlo pentru a evalua performanța stației având în vedere criteriul  $OPC$ .

Valorile obținute prin aplicarea formulei (4.1), pentru parametrul  $S_{NO_2,ref}$  sunt ilustrate în Figura 4.3a și b.

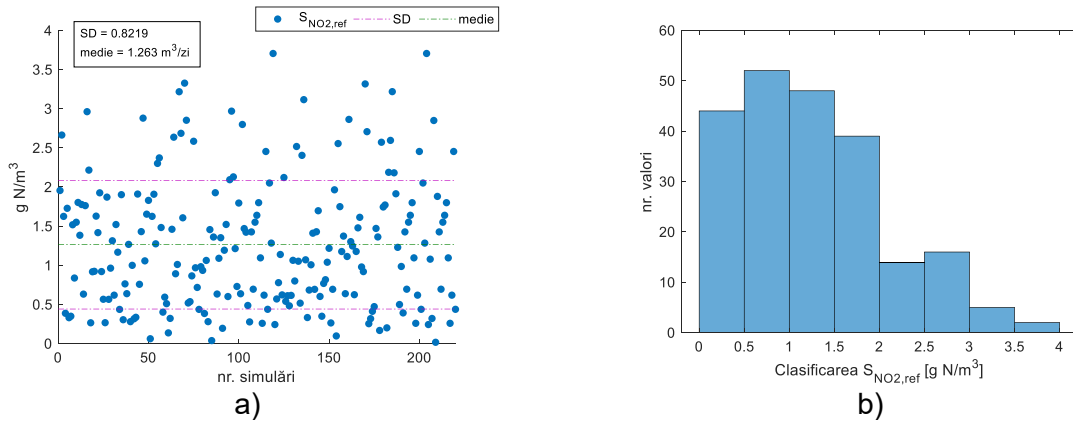


Figura 4.3 Analiza valorilor generate și aplicate pentru  $S_{NO_2,ref}$  în cadrul strategiei  $C_{1P}$ , reprezentând a) dispersia valorilor, și b) distribuția pe clase a valorilor [18]

În Figura 4.4a și b sunt prezentate valorile obținute prin aplicarea formulei (4.1) în cazul parametrului  $S_{NH_5,ref}$ .

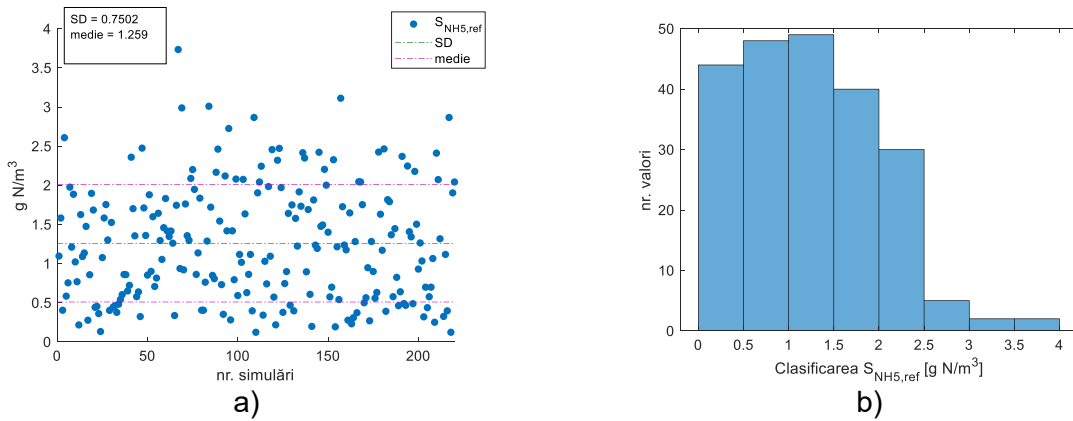


Figura 4.4 Analiza valorilor generate și aplicate pentru  $S_{NH_5,ref}$  în cadrul strategiei  $C_{1P}$ , reprezentând a) dispersia valorilor, și b) distribuția pe clase a valorilor [18]

În Figura 4.5a și b sunt prezentate datele privind valorile generate în cazul parametrului  $TSS_{5,ref}$ .

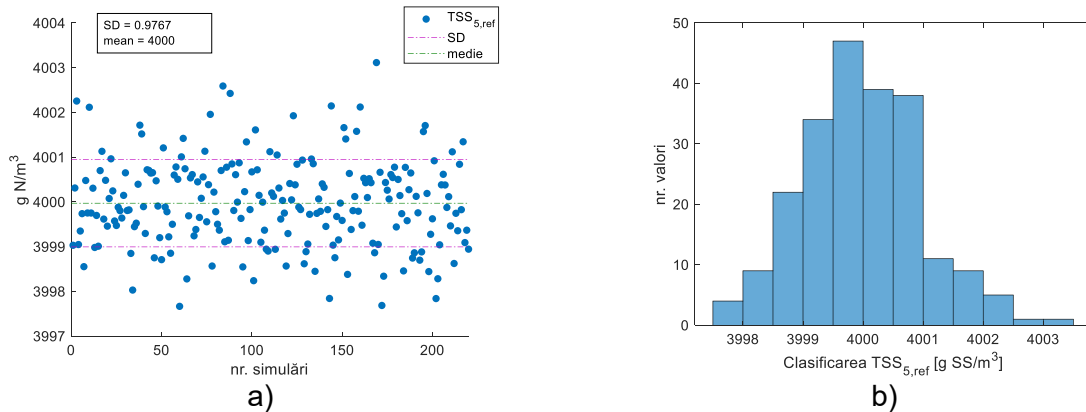


Figura 4.5 Analiza valorilor generate și aplicate pentru  $TSS_{5,ref}$  în cadrul strategiei  $C_{1P}$ , reprezentând a) dispersia valorilor, și b) distribuția pe clase a valorilor [18]

În continuare, strategia  $C_{1P}$  cu parametrii  $S_{NO_2,ref}$ ,  $S_{NH_5,ref}$  și  $TSS_{5,ref}$  optimizați prin metoda prezentată în acest subcapitol, având în vedere utilizarea versiunii de influent standard BSM2, va fi denumită în continuare  $C_{1P,MC}$ , în scop comparativ.

#### 4.1.3 Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda Monte Carlo pentru strategia $C_{1U}$

Variațiile debitului de influent în cazul apariției unor fenomene meteorologice extreme, precum ploile torențiale ce afectează în mod negativ performanța de tratare a SEAU. Prin urmare, a fost aplicată metoda Monte Carlo, prezentată în capitolele anterioare, având de data aceasta în considerare un influent în regim uscat.

În Figura 4.6a și b sunt prezentate valorile obținute prin aplicarea formulei (4.1), pentru parametrul  $S_{NO_2,ref}$ .

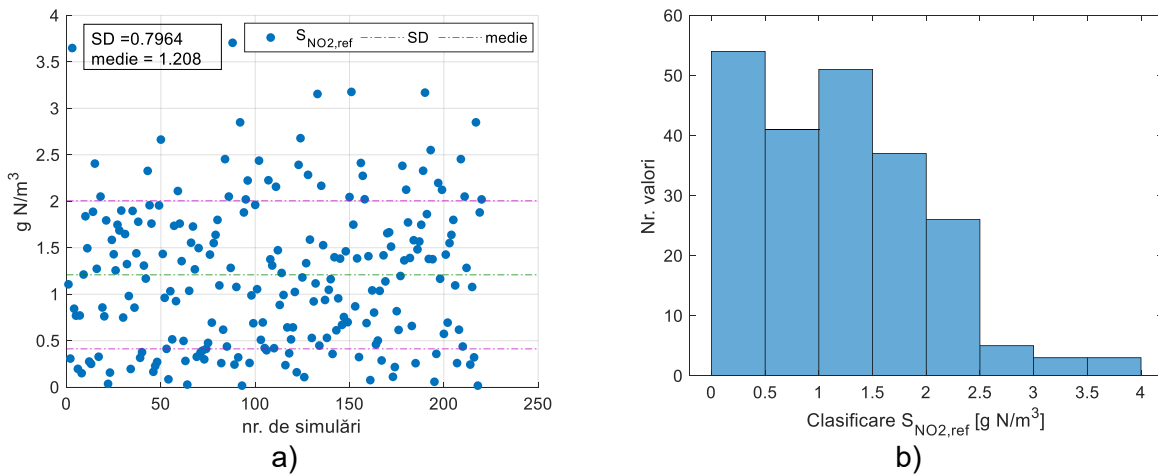


Figura 4.6 Analiza valorilor generate și aplicate pentru  $S_{NO_2,ref}$  în cadrul strategiei  $C_{1U}$  cu influent în regim uscat, reprezentând a) dispersia valorilor, și b) distribuția pe clase a valorilor

În Figura 4.7a și b sunt prezentate valorile obținute valorile generate pentru parametrul  $S_{NH_5,ref}$ . Valoarea medie a setului de date a fost de 1.226 g N/m³, cu o deviație standard de 0.662 g N/m³.

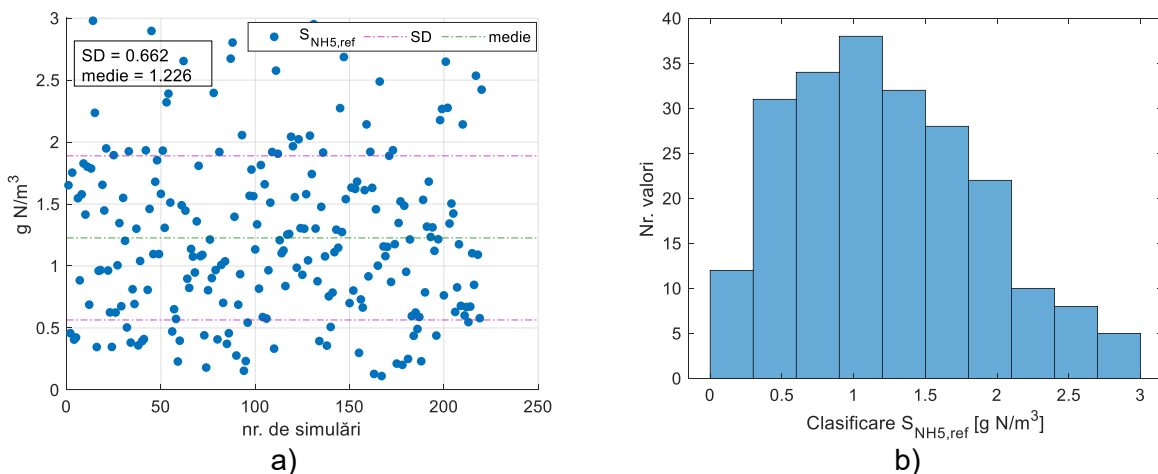


Figura 4.7 Analiza valorilor generate și aplicate pentru  $S_{NH_5,ref}$  în cadrul strategiei  $C_{1U}$  cu influent în regim uscat, reprezentând a) dispersia valorilor, și b) distribuția pe clase a valorilor

În Figura 4.8a și b sunt prezentate datele privind valorile generate în cazul parametrului  $TSS_{5,ref}$ . Analiza datelor a scos în evidență faptul că setul de date are o medie de 4000 g SS/m<sup>3</sup>, cu o deviație standard de 0.8929 g SS/m<sup>3</sup>.

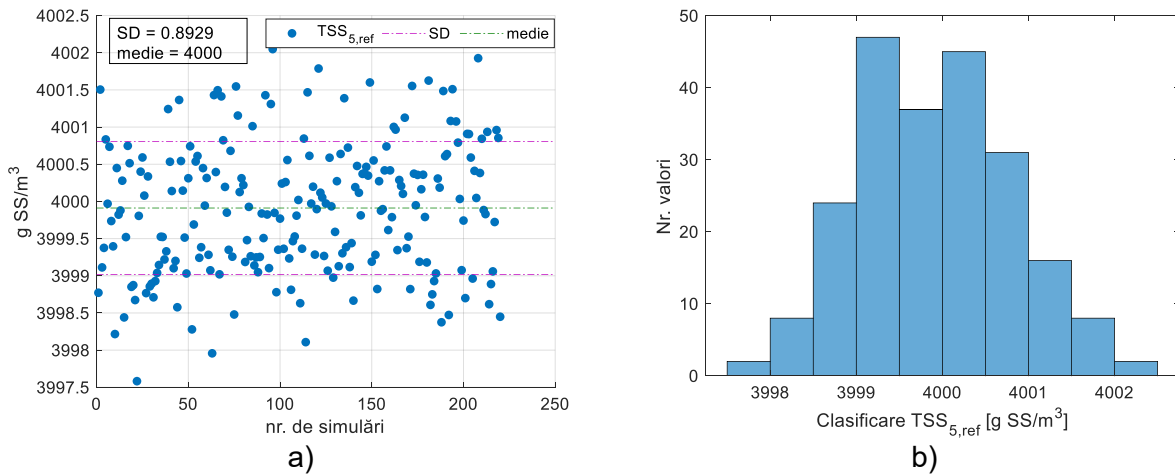


Figura 4.8 Analiza valorilor generate și aplicate pentru  $TSS_{5,ref}$  în cadrul strategiei  $C_{1U}$  cu influent în regim uscat, reprezentând a) dispersia valorilor, și b) distribuția pe clase a valorilor

## 4.2 Dezvoltarea unui algoritm de optimizare bazat pe metode avansate de interpolare

O metodă secundară de optimizare a fost aplicată pe setul de valori obținute în cadrul strategiei  $C_{1P}$ . Prin urmare toate datele de interes obținute în cele 220 de simulări au fost utilizate în vederea identificării unor valori de referință optimale. Rezultatele cât și metodele aplicate și prezentate în acest capitol au fost publicate în lucrarea [18].

### 4.2.1 Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe metode avansate de interpolare $C_{1P}$

Metoda aplicată urmărește îmbunătățirea rezultatelor privind criteriul  $OPC$  prin identificarea punctelor de minim global pentru parametrii  $X, Y$  și  $Z$ . Astfel, urmând procedura expusă mai sus, a fost construită o expresie polinomială, a fost utilizat un criteriu de optimizare și s-au construit ecuații liniare structurate într-un sistem algebric, în scopul găsirii valorilor coeficienților polinomului care minimizează suma erorilor pătratice.

În concluzie, după ce a fost ales ordinul polinomului pentru fiecare variabilă independentă ( $X, Y$  și  $Z$ ) precum și ordinul polinoamelor mixte ( $X$  și  $Y, Y$  și  $Z, X$  și  $Z$ ) s-a construit funcția și apoi, aplicând criteriul Lagrange (4.13), s-au obținut ecuațiile și apoi coeficienții funcției.

Pentru determinarea punctelor de extrem ale funcției, putem aplica metode algebrice standard deoarece funcția obținută este o funcție analitică. Punctul reprezentativ care permite ca funcția  $OPC$  obținută să fie optimizată i.e. - punctul de extrem global este determinat prin metoda gradientului sau iterativ, prin metoda tangentei.

În continuare sunt prezentate rezultatele acestei metodei analitice de optimizare.

Această metoda a relevat faptul că cel mai bun rezultat a putut fi obținut structuri simple, de exemplu pentru funcția cu următorii parametri:  $N_1 = 3, N_2 = 3, N_3 = 3, M_1 = 3, M_2 = 4, M_3 = 2$ , pentru acești parametri, s-au determinat următoarele soluții pentru coeficienții funcției:

$$\begin{array}{lll}
 A[0] := 144.6870434; & C[5] := 6.581981245; & G[4] := -0.4832290303 \times 10^{-4}; \\
 A[1] := 411.2977385; & C[6] := -1.273209679; & G[5] := 0.1570879774 \times 10^{-4}; \\
 A[2] := 74.17256538; & C[7] := 2.008805234; & G[6] := -0.3603226971 \times 10^{-5};
 \end{array}$$

A[3]: = 159.0149941;	C[8]: = -1.437730356;	G[7]: = $0.3133588949 \times 10^{-8}$ ;
B[1]: = -199.7443299;	C[9]: = 0.2761725198;	G[8]: = $0.1590685602 \times 10^{-8}$ ;
B[2]: = 190.6667779;	E[1]: = $-0.8144213907 \times 10^{-1}$ ;	G[9]: = $0.1221893654 \times 10^{-8}$ ;
B[3]: = -19.05267777;	E[2]: = $0.1214935281 \times 10^{-5}$ ;	H[1]: = $-0.1832604463 \times 10^{-1}$ ;
C[1]: = 11.71765377;	E[3]: = $0.2565978856 \times 10^{-8}$ ;	H[2]: = $-0.4305334064 \times 10^{-1}$ ;
C[2]: = -8.573052945;	G[1]: = $0.3931651198 \times 10^{-1}$ ;	H[3]: = $0.4581077092 \times 10^{-2}$ ;
C[3]: = 1.681799700;	G[2]: = -0.1060851966;	H[4]: = $0.1678736180 \times 10^{-4}$ ;
C[4]: = -9.138689286;	G[3]: = $-0.4503971113 \times 10^{-1}$ ;	H[5]: = $-0.9421420125 \times 10^{-6}$

(alți coeficienți fiind nuli).

Pentru mărimile de intrare considerate, punctul minim a fost găsit la  $\{X = 1.091164454, Y = 1.893995470, Z = 3998.074300\}$ .

Pentru o funcție de forma  $N_1 = 4, N_2 = 4, N_3 = 3$ , astfel, au fost determinate următoarele soluții pentru coeficienții funcției:

A[0]: = 38.79331422;	C[4]: = -8.898415146;	G[8]: = $-0.5129875824 \times 10^{-9}$ ;
A[1]: = 54.58356273;	C[5]: = 6.440742530;	G[9]: = $-0.4295523682 \times 10^{-11}$ ;
A[2]: = -54.89874267;	C[6]: = -1.252483625;	H[1]: = $-0.6654272043 \times 10^{-1}$ ;
A[3]: = 9.130285634;	C[7]: = 1.915502779;	H[2]: = $0.2237734293 \times 10^{-2}$ ;
A[4]: = $-0.2418902978 \times 10^{-1}$ ;	C[8]: = -1.376257336;	H[3]: = $-0.5754304934 \times 10^{-2}$ ;
B[1]: = 93.57855588;	C[9]: = 0.2653415192;	H[4]: = $0.1195946068 \times 10^{-4}$ ;
B[2]: = -8.137547649;	E[1]: = $-0.9051494077 \times 10^{-2}$ ;	H[5]: = $0.1399937351 \times 10^{-5}$ ;
B[3]: = 27.74898738;	G[3]: = $0.4950508805 \times 10^{-2}$ ;	H[6]: = $-0.2369347739 \times 10^{-5}$ ;
B[4]: = $0.1595063228 \times 10^{-1}$ ;	G[4]: = $-0.9930078603 \times 10^{-5}$ ;	H[7]: = $-0.3651999559 \times 10^{-9}$ ;
C[1]: = 11.66708693;	G[5]: = $0.5651440646 \times 10^{-5}$ ;	H[8]: = $-0.3075986937 \times 10^{-9}$ ;
C[2]: = -8.588660175;	G[6]: = $-0.1819238506 \times 10^{-5}$ ;	H[9]: = $0.5058582734 \times 10^{-9}$ ;
C[3]: = 1.696953413;	G[7]: = $0.1569527512 \times 10^{-8}$ ;	

(alți coeficienți fiind nuli).

Pentru mărimile de intrare considerate punctul minim a fost găsit la  $\{X = 2.230214834, Y = 1.749968224, Z = 603.8770144\}$ .

Unde, valoarea punctului de minim a coordonatei  $Z$  este considerată a fi deviată față de referință. În Figura 4.9 este reprezentată în spațiul tridimensional soluția dată de modelul  $N_1 = 4, N_2 = 4, N_3 = 3$ .

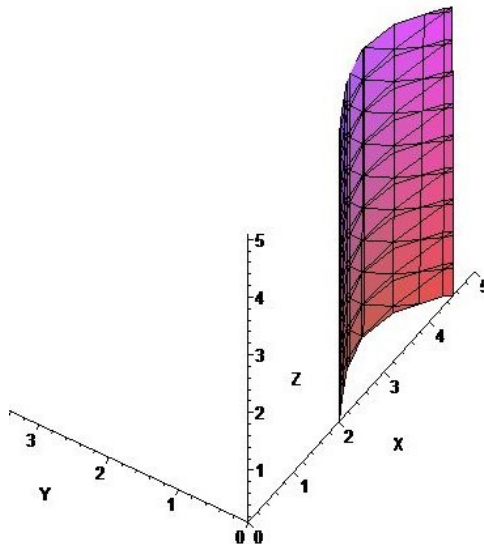


Figura 4.9 Soluția ecuației (4.13) pentru valorile specificate ale parametrilor  $N_1 = 4, N_2 = 4, N_3 = 3$ , [18]



### 4.3 Dezvoltarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda (iterativă) a relaxării

Metoda iterativă a relaxării reprezintă o metodă numerică utilizată pentru găsirea unor soluții approximate pentru diverse probleme de calcul prin utilizarea iterațiilor succesive. În cazul de față metoda a fost aplicată în vederea identificării valorilor optime de referință pentru regulatoarele de tip PI ale strategiei  $C_{1P,MC}$ .

Termenul de „relaxare”, în cazul denumirii acestei metode iterative, a fost introdus de către Southwell, R.V. pentru a descrie procesul general care a fost utilizat și dezvoltat anterior de către Carl Friedrich Gauss [19].

Algoritmul metodei relaxării este prezentat schematic în Figura 4.10.

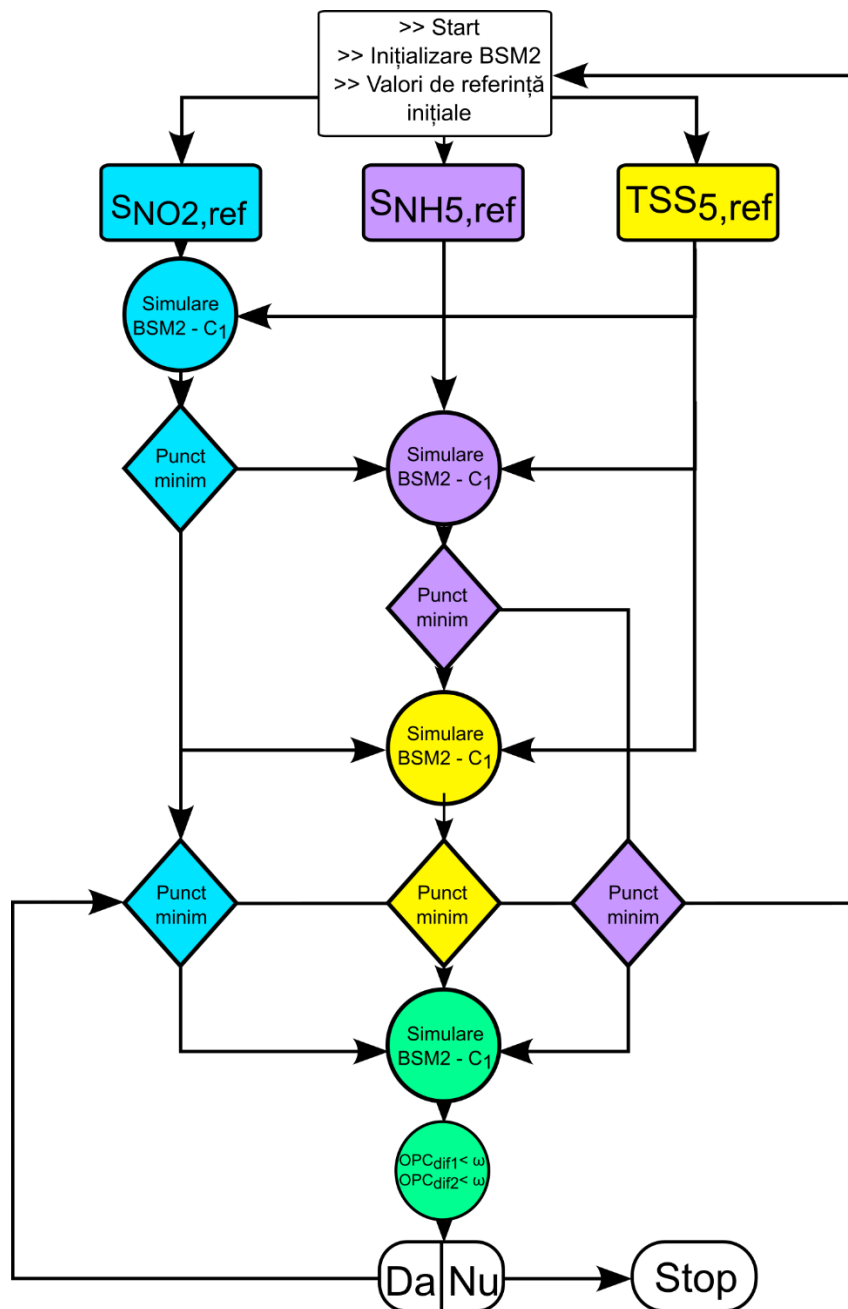


Figura 4.10 Schema algoritmului de optimizare în cadrul metodei iterative a relaxării

### 4.3.1 Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda (iterativă) a relaxării C<sub>1P</sub>

Metoda a fost aplicată pentru optimizarea variabilelor de control  $S_{NO2,ref}$ ,  $S_{NH5,ref}$  și  $TSS_{5,ref}$  pornind de la rezultatele finale ale strategiei C<sub>1P,MC</sub>, având drept referință valorile optime identificate prin metoda Monte Carlo.

Valorile optime obținute de variabilele de control  $S_{NO2,ref}$ ,  $S_{NH5,ref}$  și  $TSS_{5,ref}$  în cele 12 cicluri iterative, sunt prezentate în Figura 4.11a, b și c.

În Figura 4.11a putem observa cum valorile identificate pentru parametrul  $S_{NO2,ref}$  au o tendință ascendentă continuă. Tendința ascendentă scade semnificativ după terminarea ciclului iterativ nr.8.

În Figura 4.11b, este prezentată tendința generală a valorilor optime pentru parametrul  $S_{NH5,ref}$ . Datele arată că în acest caz tendința este în general ascendentă.

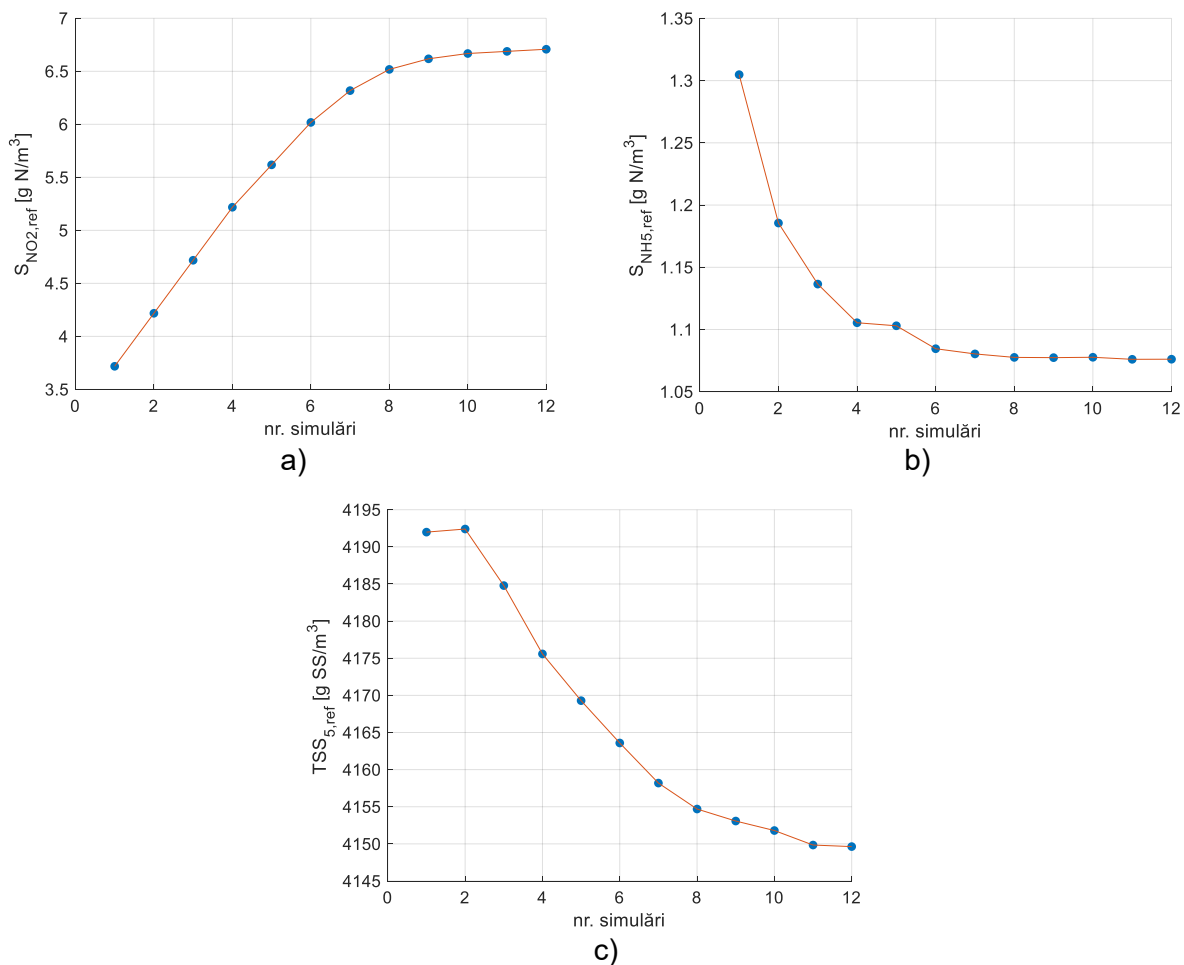


Figura 4.11 Valori de referință determinate pentru variabilele de control a)  $S_{NO2,ref}$ , b)  $S_{NH5,ref}$  și c)  $TSS_{5,ref}$ , obținute în cadrul fiecărui ciclu iterativ

În continuare, strategia C<sub>1P,MC</sub> cu parametrii  $S_{NO2,ref}$ ,  $S_{NH5,ref}$  și  $TSS_{5,ref}$  optimizați prin metoda prezentată în acest subcapitol, având în vedere utilizarea versiunii de influent standard BSM2, va fi denumită în continuare C<sub>1P,RLX</sub>, în scop comparativ.

#### 4.4 Dezvoltarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda celor mai mici pătrate (LSM)

Metoda celor mai mici pătrate (Least Squares Method - LSM) este utilizată cu scopul de a găsi cea mai bună ajustare a unei funcții matematice pentru un set de date experimentale. Se urmărește astfel ca suma pătratelor erorilor dintre valorile estimate ale funcției și datele observate să fie minimizată.

Această versiune a LSM, aplicată în cadrul acestei teze, are un caracter original dat de contextul aplicării dar și de formularea algoritmului de calcul.

În cadrul lucrării de față a fost aplicată metoda celor mai mici pătrate, astfel a fost utilizat un algoritm de interpolare, având drept mărimi de intrare  $S_{NO2,ref}$  și  $S_{NH,ref}$  și ca mărimi de interes  $EQI$  și  $OCI$ .

Pentru a valida metoda au fost antrenate mai multe rețele neuronale (ANN) de tip MLP (Multilayer Perceptron), a căror structură este prezentată în Figura 4.12.

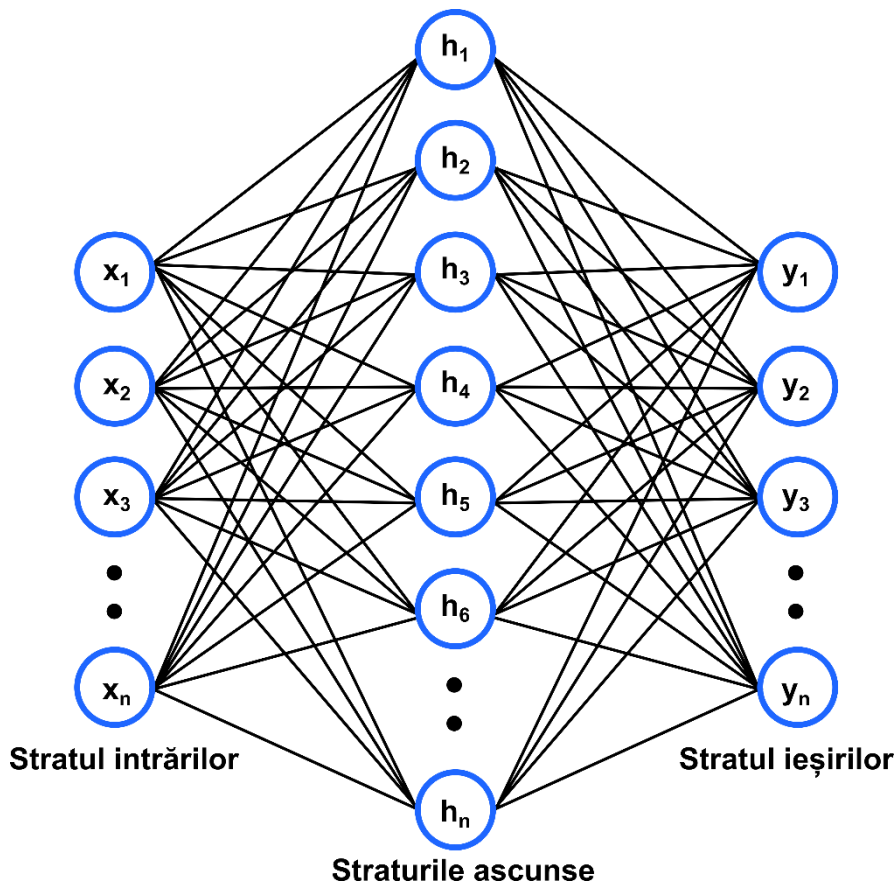


Figura 4.12 Arhitectura unei rețele neuronale de tip MLP cu  $x_n$  neuroni în stratul intrărilor,  $h_n$  neuroni în straturile ascunse și  $y_n$  neuroni în stratul ieșirilor (adaptare după [20])

Algoritmul a fost implementat și aplicat în cadrul programului TIBCO Statistica V 13.3 TIBCO Software Inc, Palo Alto, CA, USA [21].

Pentru a valida metoda au fost antrenate mai multe rețele neuronale de tip MLP.

##### 4.4.1 Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe LSM în cazul strategiei $B_{1P}$

Baza de date utilizată în cadrul aplicării acestei metode este cea obținută pentru strategia  $B_{1P,MC}$ , în cadrul căreia au fost efectuate un număr de 100 de simulări de tip Monte Carlo. Ulterior

rezultatele finale au fost utilizate în vederea identificării unor puncte de minim global cât și ale coordonatelor  $X$  și  $Y$ , reprezentând variabilele de control considerate.

Rezultatele obținute cât și valorile pentru parametrii  $X$  și  $Y$  sunt prezentate în Figura 4.13.

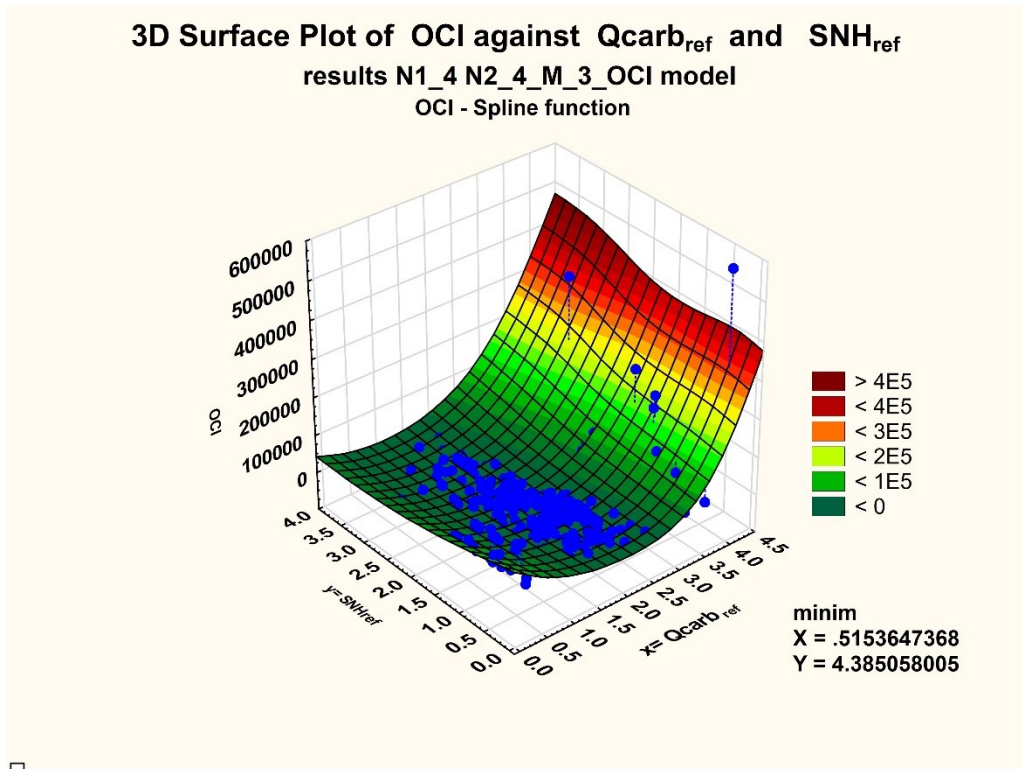


Figura 4.13 Rezultatele privind identificarea valorilor pentru  $X$  și  $Y$  în cazul  $OCI$  pentru modelul  $N_1 = 4$ ,  $N_2 = 4$ ,  $M = 3$ , prezentate sub forma unei interpolări în spațiul 3D, unde  $Q_{carb,ref} = S_{NO_2,ref}$  [22]

În Figura 4.14 sunt prezentate rezultatele obținute cât și valorile pentru parametrii  $X$  și  $Y$ . Analizând informațiile obținute, putem observa cum majoritatea datelor se regăsesc în zona de echilibru stabil, totuși într-un număr mai redus decât în cazul  $EQI$ . fapt ce indică o precizie mai slabă decât în cazul  $OCI$  în vederea identificării punctului de minim global. Astfel, sunt îndeplinite condiții pentru a identifica punctul minim global al coordonatelor considerate. Astfel valoarea lui  $X = 1.696$ , iar  $Y = 1.660$ .

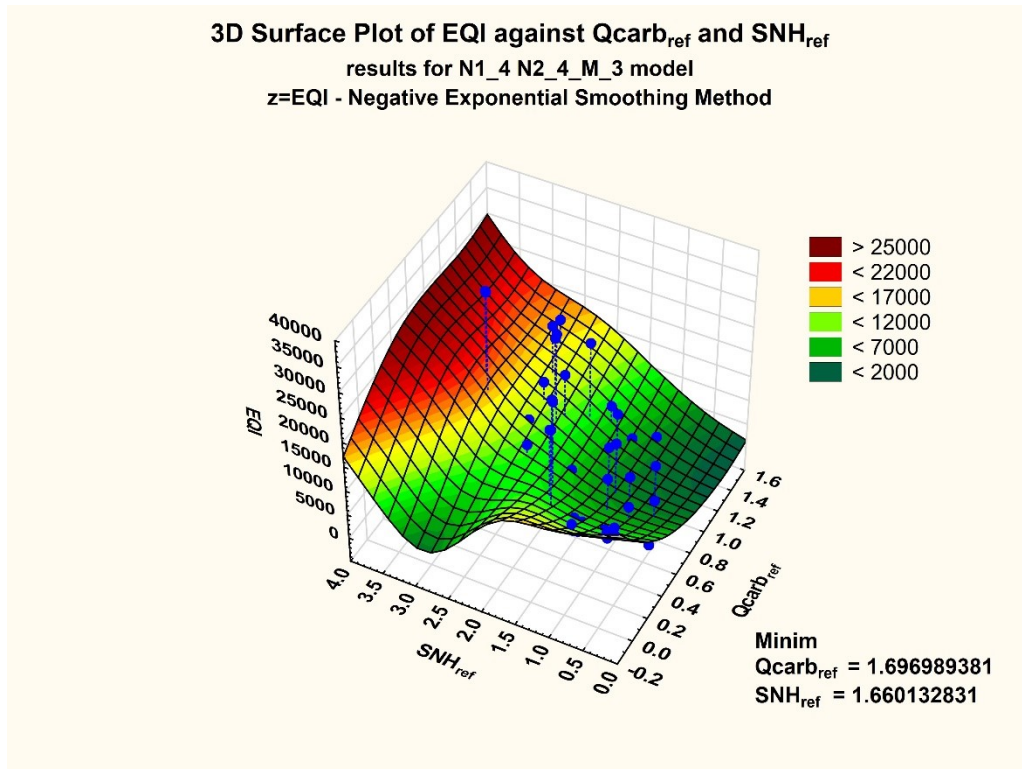


Figura 4.14 Rezultatele privind identificarea valorilor pentru  $X$  și  $Y$  în cazul  $EQI$  pentru modelul  $N_1 = 4$ ,  $N_2 = 4$ ,  $M = 3$ , prezentate sub forma unei interpolări în spațiu 3D, unde  $Q_{carb,ref} = S_{NO2,ref}$  [22]

Coordonatele punctului de minim global ( $X$  și  $Y$ ) reprezentând valorile de referință ale reguletoarelor parte din strategia  $B_1$ , au fost ulterior testate prin simulare în cadrul BSM2. Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 4.1.

Tabelul 4.1 Rezultatele metodei de optimizare LSM pentru  $OCI$  și  $EQI$

Mărim de interes	$X$ ( $S_{NO2,ref}$ ) [g N/m <sup>3</sup> ]	$Y$ ( $S_{NH5,ref}$ ) [g N/m <sup>3</sup> ]	$EQI$ [kg unit.pol./zi]	$OCI$	$OPC$	$EFC$
$B_{1P}$ (ref.)	1	1	5073.519	8649.498	0.912	0.784
$B_{1P,LSM}$ ( $OCI$ )	0.515	4.385	6697.006	7634.409	1.004	39.219
$B_{1P,LSM}$ ( $EQI$ )	1.696	1.660	5403.804	7089.981	0.859	0.895

În continuare strategia  $B_1$  optimizată în funcție de parametrul  $EQI$  prin LSM este denumită în scop comparativ  $B_{1P,LSM}$ .

#### 4.4.2 Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe LSM în cazul strategiei $C_{1P}$

În acest subcapitol a fost aplicată metoda LSM în vederea determinării unor soluții pentru a optimiza strategia de control  $C_{1P}$  utilizată în cadrul BSM2. Baza de date obținută în cadrul  $C_{1P,MC}$  a fost implicată în procesul de optimizare cu metoda LSM, reprezentând un număr de 220 de valori pentru parametrii de intrare ( $S_{NO2,ref}$ ,  $S_{NH5,ref}$ ,  $TSS_{5,ref}$ ) și de ieșire ( $OPC$ ).

Pentru identificarea valorilor optime au fost testate 4 modele având forma:

1.  $N_1 = 2$ ,  $N_2 = 2$ ,  $N_3 = 2$ ,  $M = 2$ ;
2.  $N_1 = 3$ ,  $N_2 = 2$ ,  $N_3 = 2$ ,  $M = 2$ ;
3.  $N_1 = 2$ ,  $N_2 = 3$ ,  $N_3 = 2$ ,  $M = 2$ ;

$$4. N_1 = 2, N_2 = 2, N_3 = 3, M = 2.$$

În cazul modelului  $N_1 = 2, N_2 = 2, N_3 = 2, M = 2$ , a fost obținută o funcție de forma:

$$\begin{aligned} f(X, Y, Z) = & 108.9376151 - 92.29606706 X + 44.94696736 X^2 - 14.56450771 Y \\ & + 9.276270503 Y^2 - 0.04343684254 Z + 0.4135163990 10^{-5} Z^2 \\ & + 0.7132192211 XY - 0.2357525292 X^2 Y - 0.2397835427 XY^2 \\ & + 0.07371075590 X^2 Y^2 + 0.02291643583 XZ - 0.01118876321 X^2 Z \\ & + 0.003461902375 YZ - 0.002261090681 Y^2 Z \end{aligned} \quad (4.1)$$

Soluțiile obținute de modelul  $N_1 = 2, N_2 = 2, N_3 = 2, M = 2$ , privind identificarea punctelor de extrem sunt prezentate în Tabelul 4.2. Astfel, au fost obținute în total 9 soluții pentru fiecare variabilă de control în parte.

*Tabelul 4.2 Soluții date de modelul  $N_1 = 2, N_2 = 2, N_3 = 2, M = 2$  privind identificarea punctului de minim global*

nr.	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>
	$S_{NO2,ref}$	$S_{NH5,ref}$	$TSS_{5,ref}$
1	0.7576935210	-0.2947075694	4076.416443
2	1.038439057	0.8502558312	3675.320467
3	1.337299944	1.579099075	3986.760877
4	0.6892220095+0.1688313 479*I	1.718969622+.3088817393 *I	4008.660589+8.05998101 4*I
5	1.513608872+0.43857350 06*I	- 0.5359036059+.808627691 1*I	4021.354949+5.47041765 9*I
6	1.731455500+0.65620737 76*I	2.429735084- 1.385394253*I	3999.919824- 4.706751519*I
7	1.731455500- .6562073776*I	2.429735084+1.385394253 *I	3999.919824+4.70675151 9*I
8	1.513608872- .4385735006*I	-0.5359036059- 0.8086276911*I	4021.354949- 5.470417659*I
9	0.6892220095- 0.1688313479*I	1.718969622- 0.3088817393*I	4008.660589- 8.059981014*I

Următoarea etapă constă în filtrarea valorilor propuse de model pentru a fi testate în cadrul BSM2 cu strategia  $C_{1P}$  activă. Prin urmare, soluțiile nr.2 și 3 ale modelului  $N_1 = 2, N_2 = 2, N_3 = 2, M = 2$  respectă condiția numerică de selecție.

În Figura 4.15 sunt prezentate în detaliu rezultatele privind costul de operare al stației. Astfel, în cazul costului producției de gaz metan ( $MET_{prod}$ ) putem observa că soluția de optimizare  $C_{1P,LSM}$  (2) din cadrul modelului  $N_1 = 2, N_2 = 2, N_3 = 2, M = 2$  a obținut cel mai bun rezultat, având în vedere faptul că producția de gaz metan scade costul de operare.

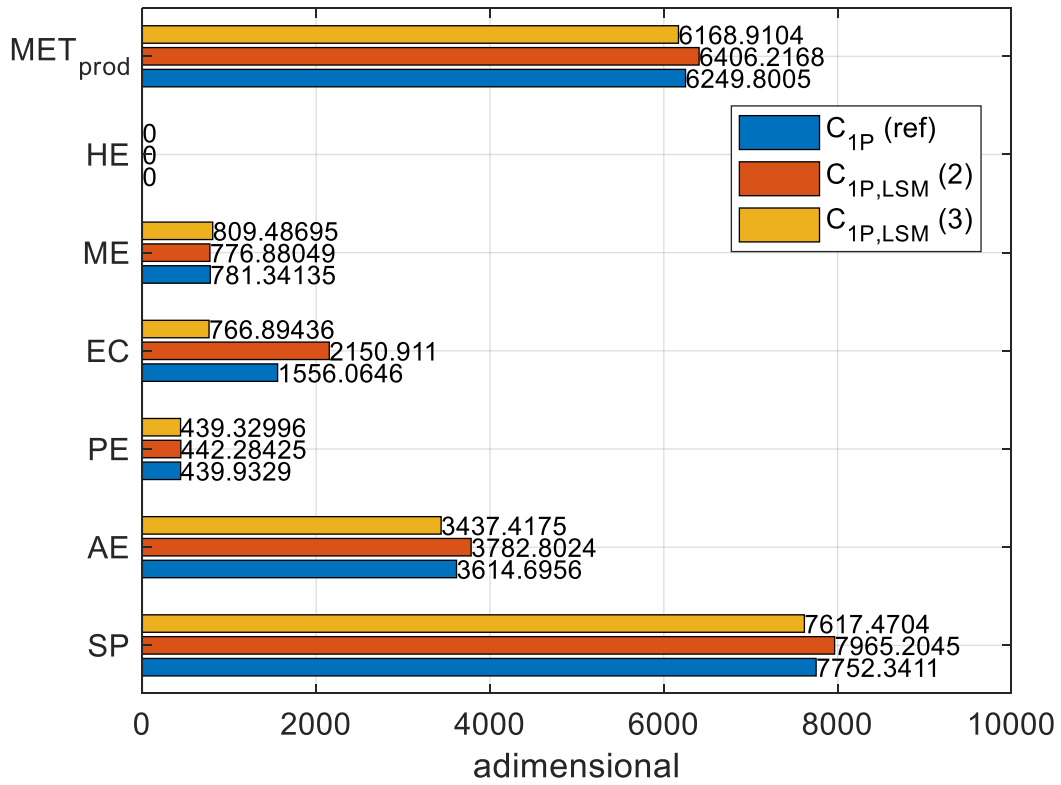


Figura 4.15 Indicii de cost pentru soluțiile modelului  $N_1 = 2, N_2 = 2, N_3 = 2, M = 2$

În Figura 4.16 sunt prezentate în detaliu rezultatele privind timpul de depășire al concentrației limită pentru toți parametrii de calitate ai efluentului.

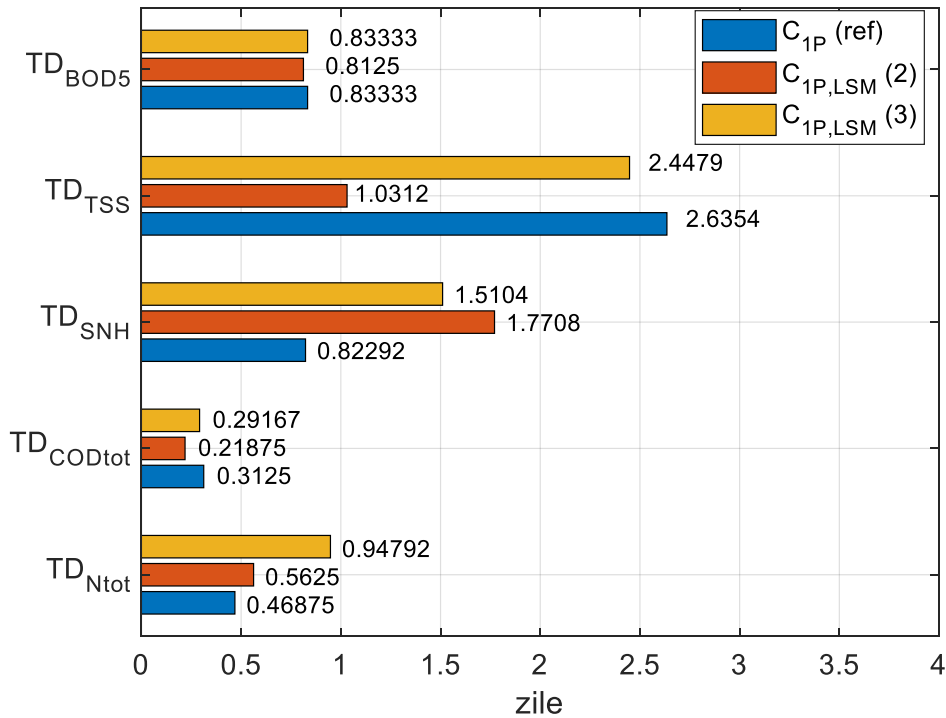


Figura 4.16 Durata depășirilor concentrațiilor limită pentru soluțiile modelului  $N_1 = 2, N_2 = 2, N_3 = 2, M = 2$

### 4.4.3 Rezultate obținute prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe LSM în cazul strategiei C<sub>1U</sub>

În cadrul acestui subcapitol, metoda LSM a fost aplicată cu scopul de a identifica valorile optime ale referințelor reguletoarelor PI, incluse în strategia C<sub>1U</sub>. De această dată s-a încercat optimizarea strategiei C<sub>1</sub> în cazul utilizării unui influent în regim uscat. Setul de date pe care a fost aplicată metoda LSM a fost obținut prin metoda de optimizare Monte Carlo aplicată strategiei C<sub>1U</sub>, reprezentând 220 de valori obținute pentru parametrii  $X = S_{NO2,ref}$ ,  $Y = S_{NH5,ref}$  și  $Z = TSS_{5,ref}$ . Prin aplicarea acestei metode se urmărește obținerea unui rezultat mai bun în privința criteriului OPC față valoarea de referință dată în cazul acesta de strategia C<sub>1U</sub> neoptimizată.

În cadrul acestei lucrări au fost selectate modelele a căror rezultate au fost cele mai promițătoare. Astfel, au fost testate soluțiile de optimizare date de următoarele modele:

1.  $N_1 = 1, N_2 = 2, N_3 = 1, M = 1$ ;
2.  $N_1 = 2, N_2 = 2, N_3 = 1, M = 1$ ;
3.  $N_1 = 2, N_2 = 2, N_3 = 2, M = 1$ .

Pentru  $N_1 = 1, N_2 = 2, N_3 = 1, M = 1$ , a fost obținută următoarea funcție independentă de  $X$ :

$$f(X, Y, Z) = 1442.077854 - 3790.764691 Y - 0.3602945637 Z + 0.9477165144 YZ \quad (4.2)$$

În cazul acesta, modelul obținut este independent de variabila  $X$ . Acest lucru sugerează ca  $X$  nu are o influență statistică semnificativă asupra variabilei dependente  $OPC$ . Prin urmare, în cadrul modelului construit variația variabilei de ieșire poate fi explicată doar prin variațiile  $Y$  și  $Z$ . Astfel, variabila  $X$  nu contribuie semnificativ la predicția valorii de ieșire.

Modelul indică punctul de minim (sau punctele de minim în anumite cazuri) pentru  $Y$  și  $Z$ , acolo unde modelul se potrivește cel mai bine cu ieșirile.

### 4.5 Rezultate finale (influent standard BSM2)

În acest subcapitol sunt analizate rezultatele finale obținute în urma aplicării metodelor de optimizare pentru strategiile B<sub>1P</sub> și C<sub>1P</sub>. Scopul acestei comparații este de a identifica strategia care a obținut cea mai bună performanță globală. Baza de date a fost analizată în detaliu, fiind interpretate și rezultatele pentru componentele ce stau la baza indicilor  $EQI$  și  $OCI$  dar și a criteriilor de selecție  $EFC$  și  $OPC$ .

În Figura 4.17 sunt prezentate rezultatele finale privind  $TD$  în cazul strategiilor de control testate.



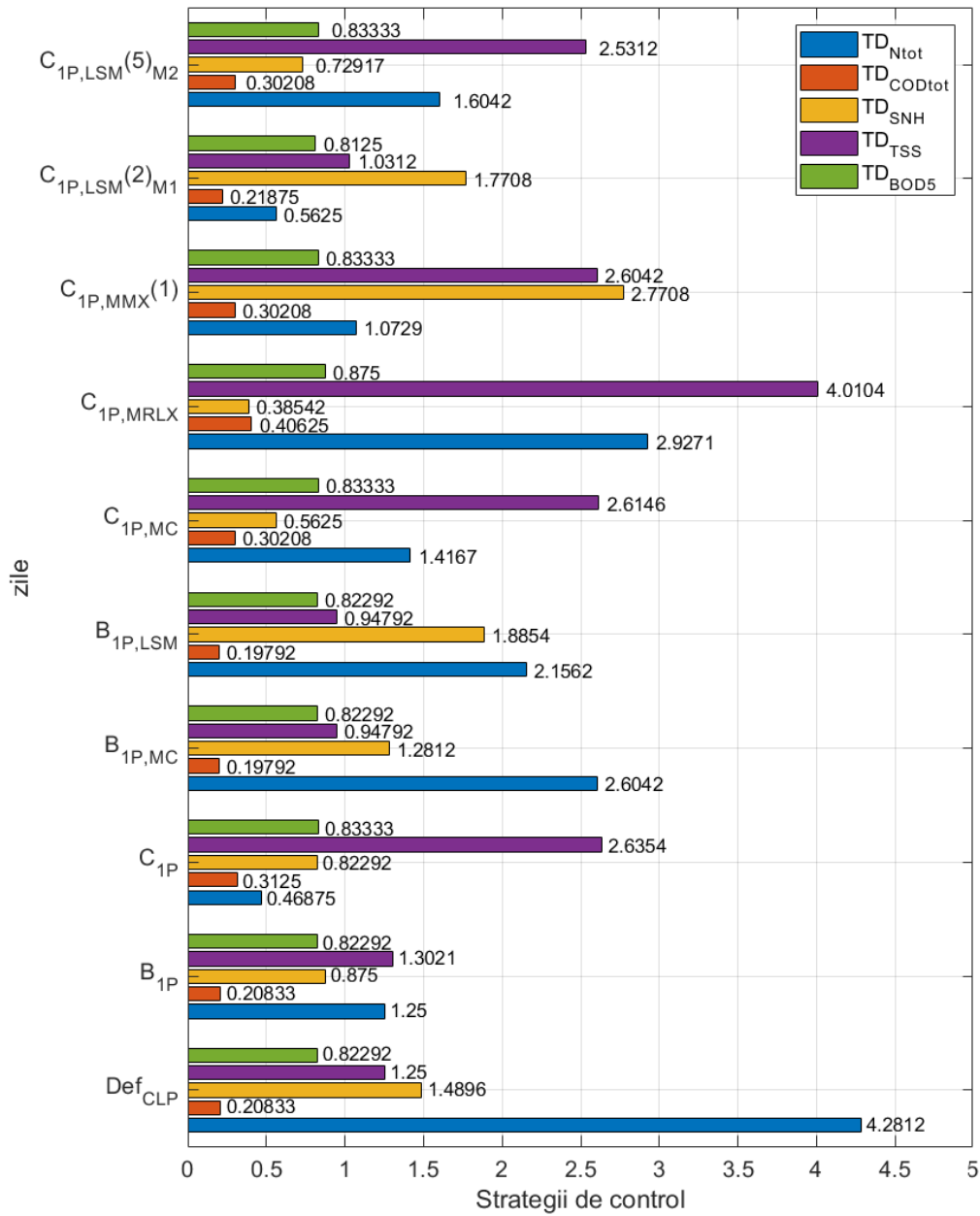


Figura 4.17 Rezultate privind  $TD_{Ntot}$ ,  $TD_{COD}$ ,  $TD_{SNH}$ ,  $TD_{TSS}$  și  $TD_{BOD5}$  pentru strategiile de control testate  $B_{1P}$ ,  $C_{1P}$ ,  $B_{1P,MC}$ ,  $B_{1P,LSM}$ ,  $C_{1P,MC}$ ,  $C_{1P,MRLX}$ ,  $C_{1P,MMX}$ ,  $C_{1P,LSM(2)M1}$  și  $C_{1P,LSM(5)M2}$  vs.  $Def_{CLP}$

Pentru a departaja strategiile de control în funcție de performanța energetică obținută în timpul operării SEAU în anumite sectoare de consum, este necesară consultarea indicilor de cost operațional, reprezentați grafic în Figura 4.18.

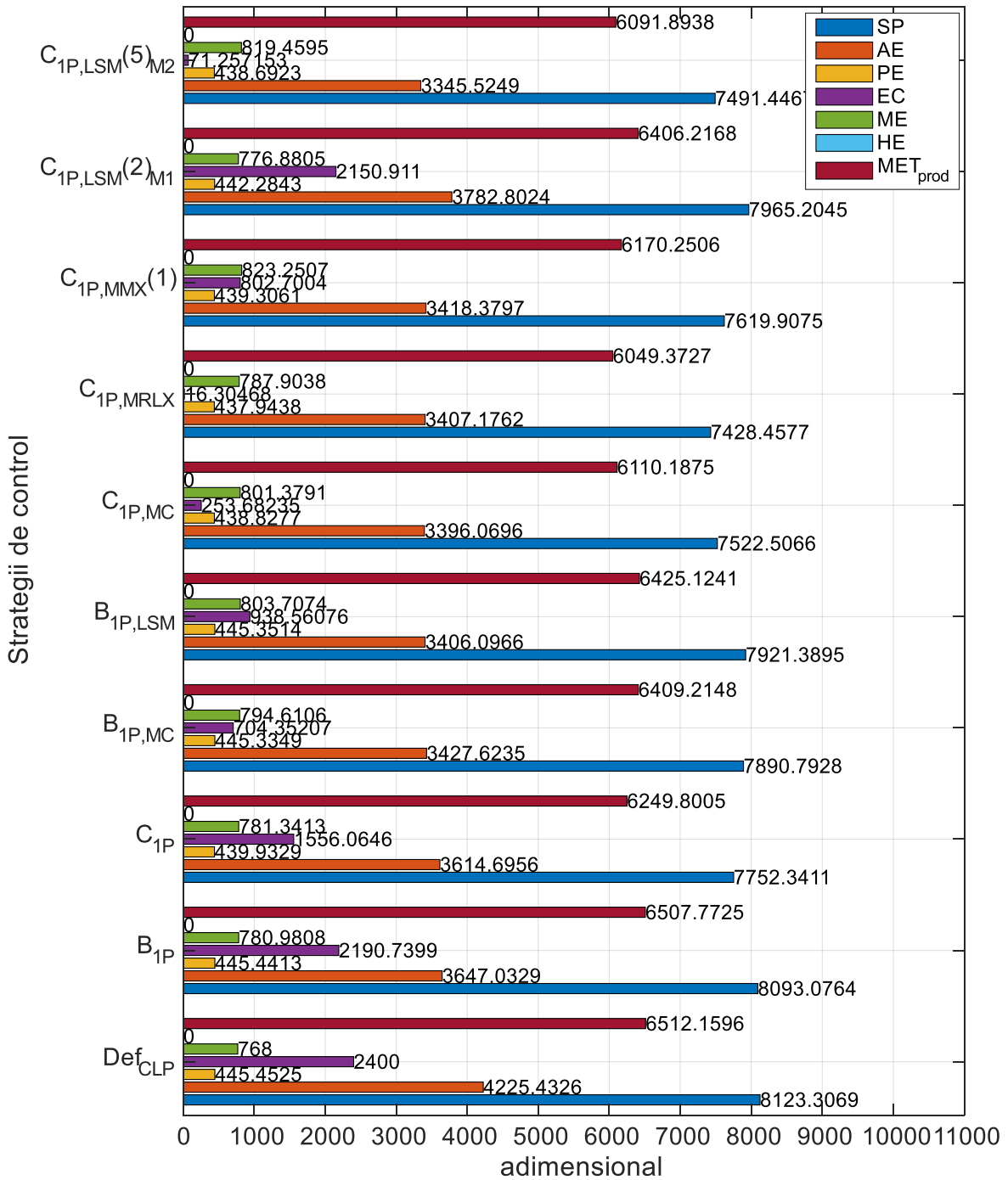


Figura 4.18 Rezultate finale ale indicilor de cost operațional SP, AE, PE, EC, ME, HE, MET<sub>prod</sub>, obținute prin aplicarea strategiilor de control testate B<sub>1P</sub>, C<sub>1P</sub>, B<sub>1P,MC</sub>, B<sub>1P,LSM</sub>, C<sub>1P,MC</sub>, C<sub>1P,MRLX</sub>, C<sub>1P,MMX</sub>(1), C<sub>1P,LSM</sub>(2)<sub>M1</sub> și C<sub>1P,LSM</sub>(5)<sub>M2</sub> vs. Def<sub>CLP</sub>

#### 4.6 Rezultate finale (influent în regim uscat)

În acest subcapitol au fost analizate cele mai bune rezultate obținute în urma aplicării metodelor de optimizare asupra strategiei de control C<sub>1U</sub>. Scopul acestei analize este de identifica

diferențele de performanță între versiunile optimizate și cea neoptimizată ale acestei strategii în condițiile unui influent în regim uscat. Astfel, au fost examinate în detaliu și componentele indicilor de performanță  $EQI$  și  $OCI$ , dar și a criteriilor de selecție  $EFC$  și  $OPC$ .

În cadrul acestei lucrări au fost aplicate 2 metode de optimizare asupra strategiei  $C_{1U}$ :

1. Metoda Monte Carlo ( $C_{1U,MC}$ );
2. metoda LSM ( $C_{1U,LSM(2)}$ ).

Rezultatele privind parametrul  $TD$  sunt prezentate în Figura 4.19. Analiza datelor privind  $TD_{Ntot}$  a scos în evidență faptul că toate versiunile strategiei  $C_{1U}$  au obținut valori situate sub pragul general de referință. Acest lucru indică o creștere a performanței stației în vederea menținerii concentrațiilor limită pentru  $N_{tot}$  sub valoarea maximă acceptată. În cazul  $TD_{COD}$ ,  $TD_{TSS}$  și  $TD_{BOD5}$ , nu au fost înregistrate depășiri, acest lucru indică faptul că în condițiile unui influent cu variații mici de debit, stația de tratare este capabilă să mențină concentrațiile acestor parametrii sub valorile limită.

În cazul  $TD_{SNH}$ , strategia de control  $C_{1U}$  neoptimizată a obținut singura valoare înregistrată fapt ce indică o acumulare a concentrației de  $S_{NH}$  în apa uzată ce străbate instalația, fapt ce a condus la producerea unui singur eveniment de depășire a valorii limită.

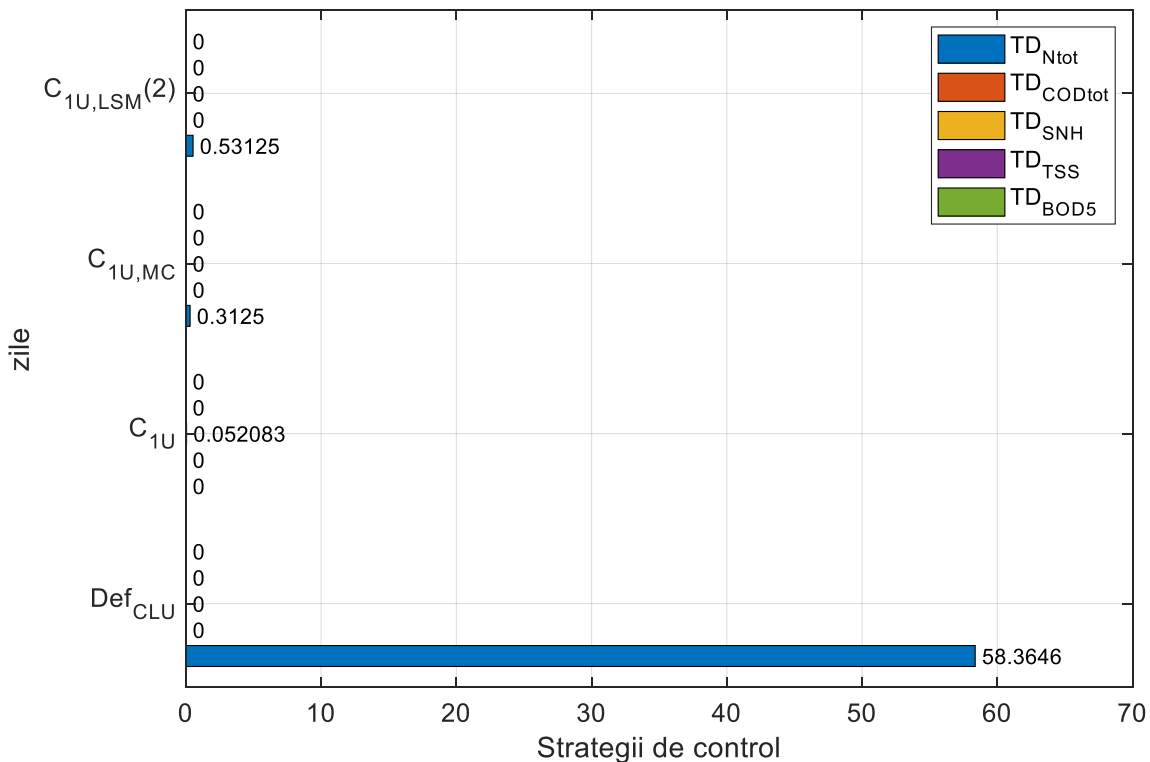


Figura 4.19 Rezultate privind  $TD_{Ntot}$ ,  $TD_{COD}$ ,  $TD_{SNH}$ ,  $TD_{TSS}$  și  $TD_{BOD5}$  obținute de strategiile de control  $C_{1U}$ ,  $C_{1U,MC}$  și  $C_{1U,LSM}$  vs.  $Def_{CLU}$

Rezultatele obținute pentru indicii de cost operațional  $TSS$ ,  $AE$ ,  $PE$ ,  $EC$ ,  $ME$ ,  $HE$  și  $MET_{prod}$  sunt prezentate grafic în Figura 4.20.

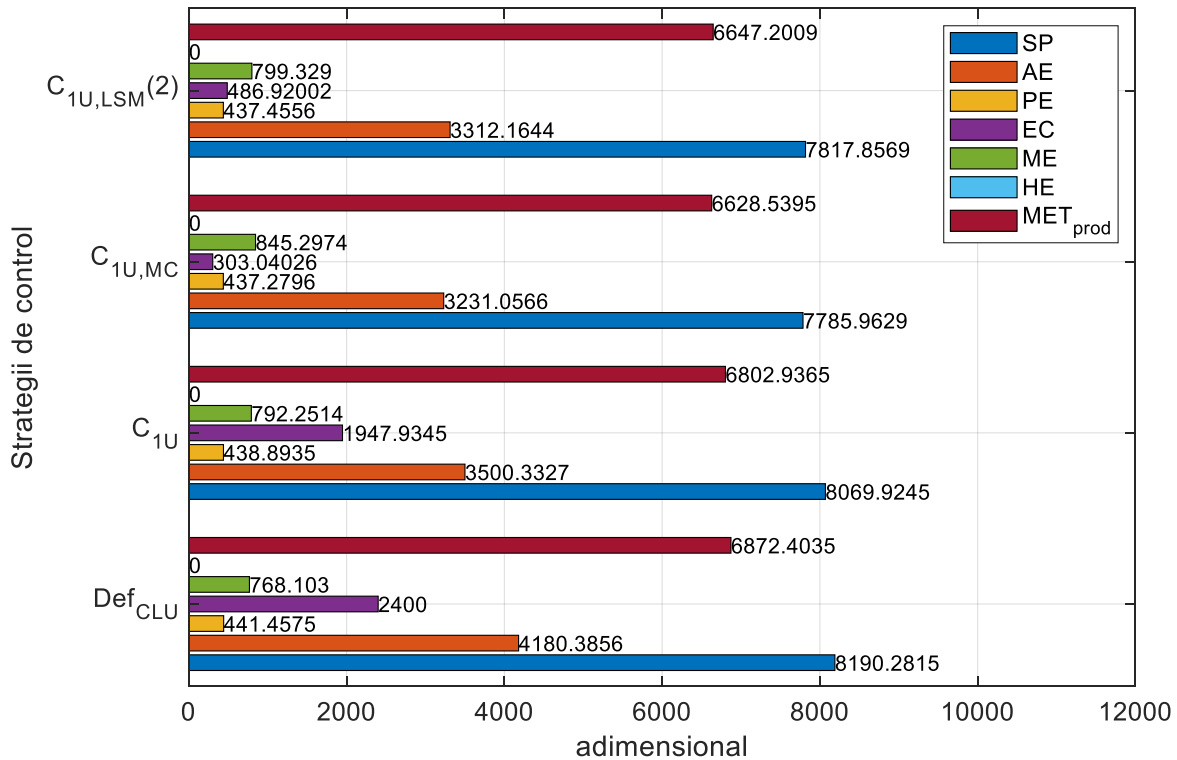


Figura 4.20 Rezultate finale ale indicilor de cost operațional SP, AE, PE, EC, ME, HE, MET<sub>prod</sub>, obținute prin aplicarea strategiilor de control testate  $C_{1U}$ ,  $C_{1U,MC}$  și  $C_{1U,LSM}$  vs. Def<sub>CLU</sub>

#### 4.7 Resurse Computaționale și Conducerea Simulărilor

Simulările BSM2 au fost rulate în mediul software MATLAB-Simulink versiunea R2021 (The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA) [23] și pe platforma hardware (PC), descrisă în Tabelul 4.3.

Tabelul 4.3 Specificații tehnice ale platformei hardware aleasă (PC server)

Componente	Specificații tehnice
CPU	Intel Core i9 9900KF @ 3.60 GHz Coffee Lake 14 nm Technology
RAM	64.0 GB Dual-Channel (15-15-15-36)
Graphics	Standard Monitor (1920 × 1080 @ 60 Hz) 4095 MB NVIDIA GeForce RTX 3060 Ti (Gigabyte)
Storage	7452 GB Seagate ST8000VX004-2M1101 (SATA) 931 GB Samsung SSD 860 EVO 1TB (SATA (SSD))

În cadrul testării strategiilor de control prezentate în această lucrare, având configurația software și hardware menționată, timpul de rulare al unei singure simulări este de ~3 ore. Datele privind timpul alocat simulărilor sunt prezentate în Tabelul 4.4.

Tabelul 4.4 Timpul alocat simulărilor în mediul Matlab-Simulink

Rezultate	nr. sim.	Timp/simulare
Def <sub>CLP</sub> și Def <sub>CLU</sub>	2	1 oră
A <sub>1P</sub> , A <sub>2P</sub> , A <sub>3P</sub> , B <sub>1P</sub> , B <sub>2P</sub> , B <sub>3P</sub> și C <sub>1P</sub> .	7	3 ore
A <sub>1U</sub> , A <sub>2U</sub> , A <sub>3U</sub> , B <sub>1U</sub> , B <sub>2U</sub> , B <sub>3U</sub> și C <sub>1U</sub> .	7	3 ore
B <sub>1P,MC</sub>	100	3 ore
C <sub>1P,MC</sub>	220	3 ore

$C_{1U,MC}$	220	3 ore
$C_{1P,MMX}$	2	3 ore
$C_{1P,MRLX}$	192	3 ore
$B_{1P,LSM}$	1	3 ore
$C_{1P,LSM}$	16	3 ore
$C_{1U,LSM}$	3	3 ore
Total	770	2310 ore (96.25 zile)

#### 4.8 Concluzii

În Capitolul 4 sunt aplicate patru metode avansate de optimizare pentru strategiile de control evaluate în cadrul BSM2. Algoritmii utilizați sunt descriși în detaliu, iar rezultatele finale sunt analizate minuțios pentru a identifica strategia de control cu cea mai bună performanță globală.

În final, performanțele strategiilor de control  $B_1$  și  $C_1$  au fost comparate cu versiunile lor optimizate, cu scopul de a identifica strategia cea mai performantă. Strategiile de control au fost separate în funcție de tipul de influent pe care au fost testate. Au fost analizați toți parametrii de interes ai calității efluentului și ai costului operațional. Departajarea finală s-a efectuat în funcție de rezultatele criteriului  $OPC$ . În cazul influentului standard BSM2, strategia care a obținut cele mai bune rezultate a fost  $C_{1P,MRLX}$ . Această strategie a obținut o performanță cu 20.9% mai mare decât  $Def_{CLP}$  și cu 8.96 mai bună decât cea a  $C_{1P}$  neoptimizată. Pentru influentul în regim uscat, cea mai bună performanță globală a fost obținută de strategia  $C_{1U,LSM}(2)$ . Rezultatele au arătat că  $C_{1U,LSM}(2)$  este cu 22.88% mai bună decât  $Def_{CLU}$  și cu 9.06% mai bună decât  $C_{1U}$  neoptimizată.



## Capitolul 5 CONCLUZII FINALE

Această teză de doctorat abordează problema tratării apelor uzate din perspectiva necesității de optimizare a strategiilor de control și de evaluare a performanțelor în cadrul modelelor benchmark, prin îmbunătățirea eficienței sistemelor deja existente, fără a implica investiții semnificative în modernizarea infrastructurii. Teza explorează o serie de subiecte interesante precum:

- evoluția în timp a instalațiilor de tratare a apelor uzate;
- stadiul actual al modelării și al controlului proceselor de tratare cu nămol activ;
- analiză asupra componentelor modelului BSM2;
- implementarea și evaluarea performanțelor unor strategii de control în cadrul BSM2;
- utilizarea unor metode avansate de optimizare a strategiilor de control considerate.

Teza explorează aplicarea și evaluarea strategiilor de control în cadrul BSM2, testând eficiența acestora în îmbunătățirea performanței proceselor de epurare. Evaluarea acestor strategii permite efectuarea unei clasificări a acestor strategii în funcție de performanța obținută. În total au fost testate 7 strategii de control, în condiții de operare diferite (influent în regim uscat și standard BSM2), fiind evaluați 22 de parametri de interes pentru fiecare strategie de control în parte ( $COD_{tot}$ ,  $BOD_5$ ,  $S_{NH}$ ,  $N_{tot}$ ,  $TSS$ ,  $He$ ,  $MET_{prod}$ ,  $EC$ ,  $PE$ ,  $ME$ ,  $AE$ ,  $SP$ , nr. depășirilor,  $TD_{COD}$ ,  $TD_{BOD5}$ ,  $TD_{SNH}$ ,  $TD_{N_{tot}}$ ,  $TD_{TSS}$ ,  $IQI$ ,  $OCI$ ,  $OPC$ ,  $EFC$ ). Baza de date sintetice formată în această secțiune a acestei lucrări cuprinde 308 de valori distincte ce au fost analizate, comparate și clasificate.

O componentă de maxim interes a acestei teze îl reprezintă formularea criteriilor de evaluare a performanței globale  $OPC$  și  $EFC$ , prezentate în detaliu în cadrul Capitolului 3 al acestei lucrări. Prin utilizarea acestor criterii de selecție pot fi identificate strategiile de control cele mai performante. Astfel dintre cele 7 strategii de control evaluate strategiile  $B_1$  și  $C_1$  au obținut cele mai bune rezultate.

Cea mai importantă secțiune a acestei teze o constituie investigarea aplicării metodelor avansate de optimizare ce pot contribui la dezvoltarea unor strategii de control mai eficiente. Aceste metode sunt esențiale pentru găsirea soluțiilor optime care îmbunătățesc performanța proceselor de tratare, reducând costurile și impactul asupra mediului. Astfel, au fost testate metode precum: metoda Monte Carlo, o metodă de interpolare avansată, metoda iterativă (metoda relaxării) și LSM. Metodele au fost aplicate pe valorile de referință ale reguletoarelor considerate cu scopul de a identifica valorile optime, mai precis, valorile care utilizate în timpul unei simulări obțin cea mai bună valoare a  $OPC$  (cea mai mică valoare).

### 5.1 Contribuții originale

Această teză de doctorat cuprinde următoarele contribuții originale:

#### Capitolul 3

1. Testarea strategiilor de control considerate ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  și  $C_1$ ) în contextul utilizării a doua tipuri de influent.
2. Validarea rezultatelor strategiilor de control considerate.

3. Analiză comparativă și detaliată a performanțelor strategiilor de control considerate în contextul utilizării unui influent standard BSM2 și uscat.

#### Capitolul 4

1. Dezvoltarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda Monte Carlo.
2. Optimizarea strategiilor considerate prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda Monte Carlo.
3. Dezvoltarea unui algoritm de optimizare bazat pe metode avansate de interpolare.
4. Optimizarea strategiilor de control considerate prin utilizarea unui algoritm de optimizare bazat pe metode avansate de interpolare.
5. Dezvoltarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda relaxării.
6. Optimizarea strategiilor de control considerate prin aplicarea unui algoritm de optimizare bazat pe metoda relaxării.
7. Dezvoltarea unui algoritm bazat pe metoda LSM.
8. Optimizarea strategiilor de control considerate prin aplicarea unui algoritm bazat pe metoda LSM.
9. Estimarea timpului alocat simulărilor în funcție de puterea de procesare disponibilă.

## 5.2 Direcții viitoare

În contextul cercetărilor și a contribuțiilor originale prezentate în această teză, se impun direcții viitoare care pot adânci și extinde înțelegerea domeniului studiat prin abordarea unor aspecte neexplorate ce pot contribuind la dezvoltarea și perfecționarea continuă a teoriei și practicii în domeniu.

1. Dezvoltarea unei formule care să integreze criteriile *OPC* și *EFC*, având în vedere necesitatea stabilirii ponderii procentuale a importanței fiecărui criteriu, astfel încât să se determine contribuția exactă a fiecăruia, (de exemplu, 75% *OPC*, 25% *EFC*).
2. Efectuarea unui număr mai mare de simulări ce vor fi analizate prin intermediul metodei Monte Carlo.
3. Stabilirea unui interval mai larg pentru  $TSS_{ref}$  în vederea generării valorilor prin aplicarea algoritmului bazat pe metoda Monte Carlo.
4. Îmbunătățirea algoritmului bazat pe metoda Monte Carlo, astfel încât să fie evitată trunchierea setului de date.
5. Implementarea unor strategii de control cu structuri avansate de control.
6. Implementarea unor strategii de control bazate pe structuri de control inteligent, cum ar fi sistemele fuzzy, pentru a îmbunătăți adaptabilitatea și performanța proceselor analizate.
7. Ca direcție viitoare, se urmărește eficientizarea buclelor de control pentru a optimiza timpul de execuție al simulărilor și a îmbunătăți rapiditatea și eficiența procesului de analiză.



## LISTĂ DE LUCRĂRI

### Lucrări științifice publicate în domeniul tezei de doctorat

1. **B. Roșu**, G. D. Mocanu, M. M. Pila, G. Murariu, A. Roșu, and M. Arseni, "*Enhancing the performance of a simulated WWTP: Comparative analysis of control strategies for the BSM2 model*," *\*Mathematics\**, vol. 11, no. 16, p. 3471, 2023.
2. **B. Roșu**, G. Murariu, M. Arseni, C. Iticescu, G. D. Mocanu, N. L. Simionescu, and A. Roșu, "*Study on optimizing the effluent quality parameters for a simulated wastewater treatment plant using dynamic two-dimensional reference point generation: A comparative approach*," in *\*2023 IEEE 28th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)\**, Sep. 2023, pp. 1-4, IEEE.
3. **B. Roșu**, G. Murariu, A. Roșu, C. Iticescu, G. Mocanu, E. Tupu, and M. Arseni, "*Optimizing the energy cost function for a wastewater treatment plant model by employing dynamic generation of a two-dimensional reference point*," in *\*2023 IEEE 28th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)\**, Sep. 2023, pp. 1-4, IEEE.
4. **B. Roșu**, A. Roșu, M. Arseni, Ș. M. Petrea, C. Iticescu, and P. L. Georgescu, "*The effects of optimizing a simulated wastewater treatment plant on effluent quality*," *\*Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering\**, vol. 11, 2022.
5. **B. Roșu**, L. Condrachi, A. Roșu, M. Arseni, and G. Murariu, "Optimizing the Performance of a Simulated Wastewater Treatment Plant by the Relaxation Method," *EIRP Proceedings*, vol. 16, no. 1, pp. 300-305, Jun. 2021, Contemporary Scientific and Technological Aspects towards an Entrepreneurial App.
6. G. Murariu, C. Iticescu, A. Murariu, **B. Rosu**, D. Munteanu, D.L. Buruiana, "*Assessment of Water Quality State Dynamics Using Adaptive Filtering Methods and Neural Networks Approaching. Case study - Danube River in Galati area*". *Revista de Chimie*, vol. 70, no. 6, pp. 1914-1919, 2019. [online]. <https://doi.org/10.37358/RC.19.6.7246>
7. G. Murariu, C. Iticescu, N. Barbuta-Misu, L. Georgescu, and **B. Rosu**, "*Analysis of the spatial variability of the factors describing the water quality to assess the economic impact on medium and long term-case study-danube river in the south-east area of Romania*," *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, vol. 18, no. 1.5, pp. 543–552, 2018, doi: 10.5593/SGEM2018V/1.5/S03.067.

### Lucrări științifice publicate în alte domenii de cercetare științifică

1. A. Roșu, **B. Roșu**, D.E. Constantin, M. Arseni, M. Voiculescu, L.P. Georgescu, G. Murariu, I. Popa, "*Overview Of Tropospheric No2 Using The Ozone Monitoring Observations Instrument And Human Perception About Air Quality For The Most Polluting Countries Accross The World*," *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, vol. 14, no. 2, pp. 423–430, 2019, doi: 10.26471/CJEES/2019/014/091.
2. A. Roșu, **B. Roșu**, D.-E. Constantin, M. Voiculescu, M. Arseni, G. Murariu, and L. P. Georgescu, "*Correlations between NO<sub>2</sub> distribution maps using gis and mobile doas*

- measurements in Galati city," Annals of the University Dunărea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, Special Issue, vol. 41, pp. 23-31, 2018.*
3. M. Arseni, A. Roșu, L. Georgescu, G. Murariu, and **B. Roșu**, "*Assessing flooded surface area using landsat satellite data on the siret river downstream of the lower Danube,*" Annals of the University Dunărea de Jos of Galați: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, Special Issue, vol. 41, pp. 11-17, 2018.
  4. O. Istrate, I. Racoviță, A.-E. Reclaru, A.-I. Angheluță, I.-D. Marin, A. Roșu, M. D. Dragu, D. Munteanu, **B. Roșu**, and G. Murariu, "*Introductory results on chromatic colour representative space analysis performed on satellite imagery. study case - Galati county forest in 1999,*" Annals of the University Dunărea de Jos of Galați: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, Special Issue, vol. 41, pp. 32-39, 2018.
  5. M. Călmuc, V. A. Călmuc, M. D. Dragu, A. Roșu, D. Munteanu, **B. Roșu**, and G. Murariu, "*Comparative study of descriptive statistics on physico-chemical parameters describing water quality. case study - the Danube river in the Galati area,*" Annals of the University Dunărea de Jos of Galați: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, Special Issue, vol. 41, pp. 48-55, 2018.
  6. I. Racoviță, O. Istrate, I.-D. Marin, A.-I. Angheluță, A.-E. Reclaru, M. D. Dragu, D. Munteanu, **B. Roșu**, G. Murariu, and A. Roșu, "*Using the usgs platform for geometric analysis of satellite imagery. study case - Independenta forest - between 2013-2017,*" Annals of the University Dunărea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, Special Issue, vol. 41, pp. 18-22, 2018.
  7. A. Roșu, D. E. Constantin, **B. Roșu**, M. Arseni, M. Voiculescu, C. Iticescu, and L. P. Georgescu, "*Impact of selecting different reference spectra on errors in DOAS analysis,*" Analele Universității "Dunărea de Jos" din Galați. Fascicula II, Matematică, Fizică, Mecanică Teoretică/Annals of the "Dunarea de Jos" University of Galati. Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, vol. 42, no. 1, pp. 109-116, 2019.
  8. A. Roșu, **B. Roșu**, D. E. Constantin, M. Voiculescu, M. Arseni, V. Călmuc, and L. P. Georgescu, "*Overview of NO<sub>2</sub> pollution level in the lower Danube basin during DANS measurements campaign,*" Annals of the University Dunărea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, vol. 41, no. 2, 2018.
  9. M. Voiculescu, **B. Roșu**, and A. I. Chelmuș, "*Study of air quality in the museum environment. Galati study case,*" Analele Universității "Dunărea de Jos" din Galați. Fascicula II, Matematică, Fizică, Mecanică Teoretică/Annals of the "Dunarea de Jos" University of Galati. Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, vol. 41, no. 2, pp. 204-211, 2018.
  10. A. Roșu, D.E. Constantin, M. Voiculescu, M. Arseni, **B. Roșu**, A. Merlaud, M. V. Roozendaal, P.L. Georgescu, "*Assessment of NO<sub>2</sub> Pollution Level during the COVID-19 Lockdown in a Romanian City,*" *International Journal of Environmental Research*

and *Public Health* 2021, Vol. 18, Page 544, vol. 18, no. 2, p. 544, Jan. 2021, doi: 10.3390/IJERPH18020544.

11. Condrachi, L., Simionov, I. A., Petrea, S. M., **Rosu, B.**, & Mogodan, A. „*Elements Prediction in the Tissues of Carassius Gibelio (Bloch, 1782) Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems*”. EIRP Proceedings, Vol. 16 No. 1 (2021).
12. G. Murariu, L. Dinca, N. Tudose, V. Crisan, L. Georgescu, D. Munteanu, M. D. Dragu, **B. Roșu**, G.D. Mocanu, “*Structural characteristics of the main resinous stands from southern carpathians, Romania,*” *Forests*, vol. 12, no. 8, p. 1029, Aug. 2021, doi: 10.3390/F12081029/S1.
13. A. Roșu, M. Arseni, **B. Roșu**, Ș.-M. Petrea, C. Iticescu, and L. P. Georgescu, "Study of the Influence of Manning Parameter Variation for Waterflow Simulation in Danube Delta, Romania," *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, vol. XI, pp. 374-381, 2022. Print ISSN 2285-6064, CD-ROM ISSN 2285-6072, Online ISSN 2393-5138, ISSN-L 2285-6064.
14. Ș.-M. Petrea, I.-A. Simionov, A. Antache, A. Nica, C. Antohi, D. S. Cristea, A. Roșu, V. Călmuc, and **B. Roșu**, "Prediction Models for Improving Waste Decision Support Management in Romania in Association with V4 Member Countries," *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, vol. XII, pp. 158, 2023. Print ISSN 2285-6064, CD-ROM ISSN 2285-6.

### **Participări la proiecte de cercetare ale Universității „Dunărea de Jos” din Galați**

#### Proiecte desfășurate în domeniul automatizărilor:

1. 6PS/02.11.2017 Cercetări în sprijinul modernizării sistemului național de monitorizare a ecosistemelor silvice prin utilizarea tehnicilor de teledetecție și a sistemelor de tip UAV, 2017 –2018. Poziția în cadrul proiectului: **Automatist**.
2. Advanced control algorithms for the photosynthetic growth of microalgae in photobioreactor – ALGROW, 2018-2019, Poziția în cadrul proiectului: **Membru al echipei**.

#### Proiecte desfășurate în alte domenii:

1. Contract nr. 14PFE/17.10.2018 Excelență, performanță și competitivitate în activități CDI la Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați – EXPERT (ID 345). Poziția în cadrul proiectului: **Membru al grupului țintă**.
2. Contract nr. 36355/23.05.2019 Excelența academică și valori antreprenoriale - sistem de burse pentru asigurarea oportunităților de formare și dezvoltare a competențelor antreprenoriale ale doctoranzilor și postdoctoranzilor – ANTREPRENORDOC, Poziția în cadrul proiectului: **Membru al grupului țintă**.
3. Îmbunătățirea condițiilor hidrologice în habitatele naturale acvatice din Rezervația Biosferei Delta Dunării pentru conservarea biodiversității și a resurselor halieutice - Complexele lacustre Gorgova-Uzlina, Roșu-Puiu”, POIM 120890. **Funcție Administrator baze de date**.
4. Îmbunătățirea condițiilor hidrologice în habitatele naturale acvatice din RBDD pentru conservarea biodiversității și a resurselor halieutice - Complexele lacustre Dunăvăț-Dranov, Razim-Sinoie, Zona Sinoie-Istria-Nunțași, POIM 120892. Poziția în cadrul proiectului: **Asistent de cercetare in ecologie și protecția mediului**.

## Recunoașterea rezultatelor

### Premii obținute în timpul desfășurării studiilor de doctorat

1. **Premiul 3** in cadrul 9th Edition of SCDS-UDJG, 10th and 11th of June 2021, cu lucrarea "*Improvement of effluent quality from a simulated wastewater treatment plant by using automatic control strategies*".

### Citări din lucrările științifice publicate în domeniul tezei de doctorat

1. Citare din **B. Roșu**, L. Condrachi, A. Roșu, M. Arseni, and G. Murariu, "Optimizing the Performance of a Simulated Wastewater Treatment Plant by the Relaxation Method," *EIRP Proceedings*, vol. 16, no. 1, pp. 300-305, Jun. 2021, Contemporary Scientific and Technological Aspects towards an Entrepreneurial App. – în L. Xiao, H. Ding, Y. Zhong, and C. Wang, "Optimal Control of Industrial Pollution under Stochastic Differential Models," *Sustainability*, vol. 15, no. 6, p. 5609, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su15065609>.
2. Citare din **B. Roșu**, G. D. Mocanu, M. M. Pila, G. Murariu, A. Roșu, și M. Arseni, "Enhancing the Performance of a Simulated WWTP: Comparative Analysis of Control Strategies for the BSM2 Model," *Mathematics*, vol. 11, no. 16, p. 3471, 2023. – în G. McQueen, "Linear Controller Synthesis of Wastewater Treatment Processes," Bachelor's thesis, supervised by Dr. N. Hudon, Mar. 2024, DOI: 10.13140/RG.2.2.19934.86088.

## Stagii de cercetare practică în domeniul tezei de doctorat

1. Stagiul de cercetare practică desfășurat la SEAU Galați aparținând de Societatea Apă Canal S.A. Galați, în perioada 22.03.2020 – 30.06.2021, în cadrul proiectului Excelența academică și valori antreprenoriale - sistem de burse pentru asigurarea oportunităților de formare și dezvoltare a competențelor antreprenoriale ale doctoranzilor și postdoctoranzilor - ANTREPRENORDOC

**BIBLIOGRAFIE**

- [1] D. Consiliului, "Directiva nr. 271 din 21/05/1991," no. 271, 1998.
- [2] "EUR-Lex - 32000L0060 - EN," *Official Journal L 327*, 22/12/2000 P. 0001 - 0073; .
- [3] E. Ardern and W. T. Lockett, "Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters," *Journal of the Society of Chemical Industry*, vol. 33, no. 10, pp. 523–539, 1914, doi: 10.1002/jctb.5000331005.
- [4] E. Tilley, L. Ulrich, C. Lüthi, P. Reymond, and C. Zurbrügg, "Compendium of sanitation systems and technologies," 2014, Accessed: Jun. 05, 2023. [Online]. Available: [https://scholar.google.com/ftp://ftp3.us.freebsd.org/pub/misc/cd3wd/1002/\\_sa\\_Compendum\\_of\\_Sanitation\\_Sys\\_and\\_Tech\\_2008\\_e4c\\_en\\_145590.pdf](https://scholar.google.com/ftp://ftp3.us.freebsd.org/pub/misc/cd3wd/1002/_sa_Compendum_of_Sanitation_Sys_and_Tech_2008_e4c_en_145590.pdf)
- [5] J. Alex *et al.*, "Benchmark Simulation Model no. 2 (BSM2)," *Water Science & Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 1–99, 2018.
- [6] M. Henze, W. Gujer, T. Mino, and M. van Loosedrecht, "Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3," *Water Intelligence Online*, vol. 5, no. 0, pp. 9781780402369–9781780402369, Oct. 2006, doi: 10.2166/9781780402369.
- [7] W. Gujer, M. Henze, T. Mino, T. Matsuo, M. C. Wentzel, and G. v. R. Marais, "The Activated Sludge Model No. 2: Biological phosphorus removal," *Water Science and Technology*, vol. 31, no. 2, pp. 1–11, Jan. 1995, doi: 10.1016/0273-1223(95)00175-M.
- [8] K. Solon, "Activated Sludge Model No. 3 with bioP module (ASM bioP) implemented within the Benchmark Simulation Model No.1," 2015.
- [9] J. B. Copp, U. Jeppsson, P. A. Vanrolleghem, J. B. ; Copp, and U. ; Jeppsson, "The Benchmark Simulation Models-A Valuable Collection of Modelling Tools 'The Benchmark Simulation Models-A Valuable Collection of Modelling Tools' The Benchmark Simulation Models-A Valuable Collection of Modelling Tools," vol. 12, p. 0, 2008, Accessed: Jun. 27, 2024. [Online]. Available: <https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2008/all/233>
- [10] J. Alex *et al.*, "Benchmark Simulation Model no. 1 (BSM1)," *Benchmark Simulation Model*, no. 1, 2008.
- [11] U. Jeppsson *et al.*, "Benchmark simulation model no 2: General protocol and exploratory case studies," *Water Science and Technology*, vol. 56, no. 8, pp. 67–78, 2007, doi: 10.2166/wst.2007.604.
- [12] J. Alex *et al.*, "Benchmark Simulation Model no. 2 (BSM2)," *Water Science & Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 1–99, 2018.
- [13] M. Henze, W. Gujer, M. van Loosedrecht, and T. Mino, "Asm: Iwa Task Group on Mathematical Modelling for Design and," *IWA Publishing*, 2000.
- [14] I. Takács, G. G. Patry, and D. Nolasco, "A dynamic model of the clarification-thickening process," *Water Res*, vol. 25, no. 10, pp. 1263–1271, Oct. 1991, doi: 10.1016/0043-1354(91)90066-Y.
- [15] D. J. Batstone *et al.*, "The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1).," *Water Sci Technol*, vol. 45, no. 10, pp. 65–73, 2002, doi: 10.2166/wst.2002.0292.
- [16] K. V. Gernaey, X. Flores-Alsina, C. Rosen, L. Benedetti, and U. Jeppsson, "Dynamic influent pollutant disturbance scenario generation using a phenomenological modelling approach," *Environmental Modelling & Software*, vol. 26, no. 11, pp. 1255–1267, Nov. 2011, doi: 10.1016/J.ENVSOFT.2011.06.001.
- [17] M. Barbu, I. Santin, and R. Vilanova, "Applying Control Actions for Water Line and Sludge Line to Increase Wastewater Treatment Plant Performance," *Ind Eng Chem Res*, vol. 57, no. 16, pp. 5630–5638, Apr. 2018, doi: 10.1021/ACS.IECR.7B05298/SUPPL\_FILE/IE7B05298\_SI\_001.PDF.
- [18] B. Roșu, G. D. Mocanu, M. M. Pila, G. Murariu, A. Roșu, and M. Arseni, "Enhancing the Performance of a Simulated WWTP: Comparative Analysis of Control Strategies for the BSM2 Model," *Mathematics 2023, Vol. 11, Page 3471*, vol. 11, no. 16, p. 3471, Aug. 2023, doi: 10.3390/MATH11163471.
- [19] Y. Saad, "Iterative methods for linear systems of equations: A brief historical journey", Accessed: Sep. 24, 2023. [Online]. Available: <https://gdz.sub.uni-goettingen.de/volumes/id/PPN235957348>

- [20] M. Sun, C. Rao, and Z. Hu, "Air quality prediction using a novel three-stage model based on time series decomposition," *Environ Dev Sustain*, pp. 1–26, May 2024, doi: 10.1007/S10668-024-04955-1/METRICS.
- [21] "TIBCO Statistica, v. 13.3.0, TIBCO Software Inc, Palo Alto, CA, USA; 2017. Available from: <https://www.tibco.com/products/tibco-statistica>."
- [22] B. Roşu *et al.*, "Optimizing the energy cost function for a wastewater treatment plant model by employing dynamic generation of a two-dimensional reference point," *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA*, vol. 2023-September, 2023, doi: 10.1109/ETFA54631.2023.10275596.
- [23] Inc. (2021) The MathWorks, "MATLAB Version: 9.10.0.1649659 (R2021a) Update 1, Simulink Version 10.3." Accessed: Jul. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com>