

EVALUAREA ȘI OPTIMIZAREA SISTEMELOR DE EPURARE A APELOR UZATE PRIN CREAREA ÎN PREMIERĂ ÎN REPUBLICA MOLDOVA A DEPARTAMENTULUI DE EXPERTIZĂ ȘI AUDIT TEHNOLOGIC

<https://doi.org/10.52673/18570461.24.4-75.04>

CZU: 628.315.1

Doctor habilitat în științe chimice, conferențiar universitar **Igor POVAR**

E-mail: ipovar@yahoo.ca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2536-6706>

Cercetător științific **Alexandru VIȘNEVSCHI**

E-mail: alexandru.visnevschi0@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2049-8312>

Cercetător științific **Oxana SPÎNU**

E-mail: oxana_spinu@yahoo.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3166-1931>

Doctor în științe chimice, cercetător științific coordonator **Petru SPĂTARU**

E-mail: spatarupetru@yahoo.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0192-1085>

Institutul de Chimie, USM

EVALUATION AND OPTIMIZATION OF WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS THROUGH THE CREATION OF THE FIRST DEPARTMENT OF EXPERTISE AND TECHNOLOGICAL AUDIT IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA

Summary. The project proposed by the Institute of Chemistry of the State University of Moldova, in collaboration with L.L.C. "METIOLIS" and L.L.C. "IZODROMGAZ," aims to establish a specialized department for evaluating and optimizing wastewater treatment systems in Moldova. The initiative introduces advanced solutions aligned with international standards to enhance the efficiency of treatment plants. The developed technology simultaneously integrates nitrification and denitrification processes based on microbial clusters, reducing the biogenic impact and mitigating eutrophication. Applicable for both new and existing treatment plants, this innovative biological treatment technology uses biofilm cocoon carriers to increase microbial biomass concentration, utilizing internal carbon sources without external inputs. Successfully implemented at the Causeni WWTP, the project leverages advanced scientific equipment for precise research, offering competitive advantages to private sector partners. Activities include analyzing wastewater parameters, assessing technical system conditions, improving infrastructure, and protecting intellectual property. Expected outcomes include improved environmental quality, energy savings, and job creation, demonstrating the sustainability and socio-economic benefits of advanced research in wastewater treatment.

Keywords: technology audit, quality of life, aquatic environment, wastewater treatment plant (WWTP).

Rezumat. Proiectul propus de Institutul de Chimie al Universității de Stat din Moldova, în colaborare cu S.R.L. „METIOLIS” și S.R.L. „IZODROMGAZ”, urmărește crearea unui departament specializat pentru evaluarea și optimizarea sistemelor de tratare a apelor uzate din Republica Moldova. Inițiativa introduce soluții avansate, aliniate standardelor internaționale, pentru îmbunătățirea eficienței stațiilor de epurare. Tehnologia dezvoltată integrează simultan procesele de nitrificare și denitrificare bazate pe agregate microbiene, reducând impactul biogen și atenuând eutrofizarea. Aplicabilă atât pentru stațiile noi, cât și pentru cele existente, această tehnologie inovatoare de tratare biologică utilizează purtători biofilm tip cocon pentru a crește concentrația biomasei microbiene, folosind surse interne de carbon fără aporturi externe. Implementată cu succes la SEB Căușeni, tehnologia valorifică echipamente științifice avansate pentru cercetări precise, oferind partenerilor din sectorul privat avantaje competitive. Activitățile includ analiza parametrilor apei uzate, evaluarea condițiilor tehnice ale sistemelor, îmbunătățirea infrastructurii și protejarea drepturilor de proprietate intelectuală. Rezultatele preconizate includ îmbunătățirea calității mediului, economii de energie și crearea de locuri de muncă, demonstrând sustenabilitatea și beneficiile socio-economice ale cercetării avansate în domeniul tratării apelor uzate.

Cuvinte-cheie: apă uzată, audit tehnologic, calitatea vieții, mediu acvatic, stație de epurare (SEB).

INTRODUCERE

Republica Moldova se confruntă în prezent cu provocări majore legate de protecția mediului acvatic, generate de tratarea insuficientă a apelor uzate menajere și industriale de mică anvergură, evacuate în stațiile de epurare din zonele rurale. Această situație complexă este determinată de mai mulți factori, inclusiv:

- *Factori umani* – lipsa de specialiști pentru analiza eficienței tratamentului și gestionarea stațiilor de epurare; lipsa tinerilor specialiști familiarizați cu tehnologiile noi și avansate, cu metodele de remediere a situațiilor critice și reglementarea proceselor de tratament;
- *Factori financiari* – insuficiența sau lipsa echipamentelor și utilajelor necesare pentru întreținerea stațiilor de epurare a apelor uzate;
- *Factori tehnologici* – consumul redus de apă potabilă în gospodărie, care are drept consecință creșterea concentrațiilor de poluanți în apele uzate din zonele rezidențiale.

Migrarea întreprinderilor industriei alimentare din zonele urbane în zone rurale, în urma unui control mai strict privind respectarea cerințelor pentru evacuarea apelor uzate, influențează semnificativ caracterul poluării apelor reziduale. În anii 2005–2006 au apărut furnizori de servicii de proiectare și construcție a stațiilor de tratare pentru zonele rurale, folosind tehnologii clasice cum ar fi bioreactoarele ciclice și reactoarele de tip MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) [1-3]. Acești furnizori oferă însă doar servicii de mentenanță și nu efectuează teste în perioada de garanție (maximum 24 de luni), lăsând administratorul stației de epurare fără asistență profesională necesară pentru a gestiona gradul de poluare a apei uzate, fluctuațiile debitului, poluarea accidentală și alți factori ce afectează regimul tehnologic bazat pe metode de tratare biologică aerobă și anaerobă. Astfel, situația gravă în domeniul protecției mediului acvatic în Republica Moldova solicită imperios implicarea mediului academic.

În Republica Moldova, legislația actuală nu prevede metode clare de calcul pentru determinarea capacității stației de tratare avansată a apelor uzate, în special pentru eliminarea azotului, la etapa de proiectare a stațiilor de epurare. Această lacună legislativă îi condiționează pe proiectanți să recurgă la recomandări [4] privind necesitatea efectuării calculului unui șir de parametri tehnologici și fizico-chimici în baza cercetărilor științifice și a expertizei oferite. În contextul dat, a apărut necesitatea elaborării unei metode standardizate de estimare a volumelor necesare și a parametrilor esențiali, precum doza de nămol și concentrația de oxigen dizolvat în bazinele de aerare.

METODOLOGIA CERCETĂRII

Propunerea respectivă vizează înființarea unui departament specializat în evaluarea și expertiza sistemelor de epurare a apelor uzate în Republica Moldova. Proiectul aduce o componentă inovatoare în tehnologiile de epurare, oferind soluții avansate și recomandări conforme standardelor internaționale pentru îmbunătățirea eficienței stațiilor de epurare.

Soluția inovatoare constă în extinderea tipurilor de instalații de epurare biologică a apelor uzate menajere, care includ simultan procesele de nitrificare și denitrificare, bazate pe cocoane de aglomerații de microorganisme. Acest procedeu reduce impactul biogen asupra mediului, diminuează procesul de eutrofizare a ecosistemelor acvatice naturale și poate fi aplicat atât la construcția stațiilor noi, cât și la reconstrucția sau reabilitarea celor existente cu un grad redus de eliminare a poluanților. Se va folosi metoda de optimizare a proceselor de eliminare a poluanților din apele uzate în procesul de epurare prin utilizarea modelărilor cinetice pe baza ASM1 (Activated Sludge Model) [5], pentru a simula parametrii operaționali și primi rezultate scontate. Pe durata proiectului, sunt în curs de elaborare și vor continua să fie realizate proiecte de reconstrucție și studii de fezabilitate, de proiectare a reconstrucției sistemelor de epurare și/sau studii de fezabilitate tehnică pentru reabilitarea acestora, identificând lucrările necesare pentru modernizare și îmbunătățirea infrastructurii existente. Protecția drepturilor de proprietate intelectuală va fi asigurată prin activități dedicate evaluării și protejării rezultatelor inovatoare obținute în cadrul proiectului, respectând specificațiile și reglementările aplicabile în domeniul proprietății intelectuale. În cadrul proiectului se va pune accent și pe inovarea de proces și organizațională, identificând și implementând practici și tehnologii noi în serviciile de epurare a apelor uzate, având ca scop îmbunătățirea eficienței și a performanțelor sistemelor de epurare. Procesul și instalația dezvoltate au fost implementate pe o linie de tratare a apelor uzate la stația de epurare Căușeni, cu un debit de influent proiectat de 1.200 m³ pe zi. Instalația include un rezervor de omogenizare, patru bazine de aerare consecutive cu flux gravitațional și un clarificator secundar. Ultimul bazin de aerare conține un bloc de biofiltru cu o suprafață de 30 m² construit din segmente de configurații (Figura 1) cu suprafață specifică ramificată dezvoltată de 150 m²/m³, un sistem de stripare cu aerare intensă ce funcționează intermitent și o zonă de post-aerare cu turbulență fină, având un volum de 120 m³. Volumul total al bazinelor de aerare este de 800 m³. Stația de epurare este opera-

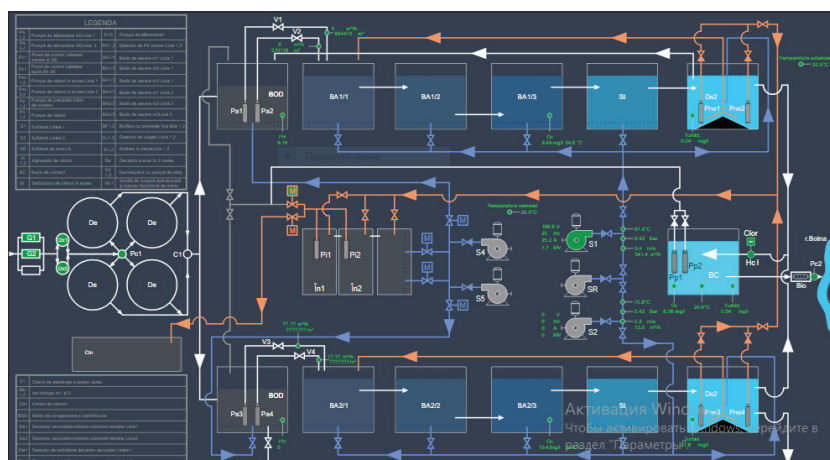


Figura 1. Schema activă din sistemul SCADA de la SEAU Căușeni.

tă și monitorizată de un sistem SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), care furnizează date în timp real despre parametrii cheie: debitul de influent în bazinele de aerare, debitul de nămol activ reciclat în bazinele de aerare, pH-ul apei de influent, nivelurile de oxigen dizolvat în bazine, temperatura apei de influent și nivelurile de oxigen dizolvat și turbiditate în efluent. SCADA permite operatorilor să monitorizeze de la distanță procesele industriale, să colecteze date în timp real, să controleze echipamentele și să răspundă rapid la incidente.

Debitul de aer pentru aerare este asigurat de un set de compresoare cu lobi, reglat prin convertizoare de frecvență pe baza semnalelor transmise de senzorii de oxigen dizolvat din bazinele de aerare. Concentrația de oxigen dizolvat poate fi ajustată și menținută conform cerințelor, pentru a atinge parametrii fizico-chimici doriți în efluentul stației. Datele sunt stocate la fiecare 4 minute și pot fi vizualizate și analizate sub formă de grafice sau tabele, atât individual pentru fiecare parametru, cât și într-un mod complex. Configurația stației de epurare a apelor uzate (SEAU) Căușeni și locația senzorilor online sunt ilustrate în diagrama activă, prezentată ca o captură de ecran din sistemul SCADA (Figura 1).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Implementarea lucrărilor de reconstrucție va duce la îmbunătățirea capacității și eficienței stațiilor de epurare, reducând impactul negativ asupra mediului și asigurând tratarea adecvată a apelor uzate. Exploatarea afacerii rezultate va dezvolta cifra de afaceri prin furnizarea de servicii îmbunătățite de epurare a apelor uzate, generând astfel creșterea veniturilor și a profitabilității întreprinderii. Proiectul va contribui la crearea de noi locuri de muncă, reducând șomajul și stimulând dezvoltarea economică regională prin

angajarea de personal în domeniul epurării apelor uzate. Creșterea eficienței muncii va fi posibilă prin implementarea unor tehnologii și procese inovatoare, permițând o mai bună gestionare a resurselor și o optimizare a costurilor operaționale. Accesarea de noi piețe și extinderea activităților de afaceri pe plan național și internațional va consolida poziția pe piață și va diversifica portofoliul. Îmbunătățirea calității produselor, serviciilor și tehnologiilor va conduce la creșterea satisfacției clienților și la consolidarea încrederii în brandul instituției. Îmbunătățirea competitivității întreprinderii va fi obținută prin adoptarea unor practici și tehnologii inovatoare de epurare, iar aplicarea ecuațiilor cinetice de modelare va oferi un avantaj competitiv și va consolida poziția de lider în domeniu.

Rezultatele estimate ale proiectului vor include elaborarea proiectului de reconstrucție și a studiului de fezabilitate tehnică, contribuind la modernizarea și adaptarea infrastructurii existente a stațiilor de epurare la standardele tehnice și de mediu actuale prin implementarea unei noi tehnologii de nitrificare și denitrificare simultană, elaborate de autori.

În procesul tehnologic elaborat, pelicula biologică detașată se realizează prin striparea intensă a aerului dintr-un pat fix introdus în sistemul de tratare ca un compartiment de biofiltru scufundat, compus din configurații polimerice structurate cu o suprafață dezvoltată. Configurațiile polimerice structurate acționează ca suport pentru atașarea și dezvoltarea peliculei biologice, îmbunătățind procesele de oxidare a substanțelor organice și nitrificare. În stratul intern cu deficit de oxigen (în funcție de difuzie a substanței), procesul reduce nitrării la azot. Pentru detașarea peliculei biologice dezvoltate, blocul filtrant este echipat cu un sistem separat de aerare intensă a aerului. Datorită mișcării în curenți turbulenți lenți în zona de post-aerare



Figura 2. Cocoane aglomerate de microorganisme colectate din fluxul ciclului tehnologic la linia experimentală a SEAU.

cu bule fine, pelicula biologică detașată din suportul fix formează cocoane conglomerate de microfloră atașată (Figurile 2; 3). Aceste cocoane de conglomerate de microorganisme, recirculate în amonte de limpezitorul secundar prin pompe de reciclare, îndeplinesc funcția de oxidare și reducere simultană în dependență de fracțiunea de epurare-procesare conform fluxului tehnologic. Dimensiunile cocoanelor dezvoltate și captate variază în intervalele de lungime 2-16 mm și de diametru 1,5-2,5 mm, cu o densitate de conglomerării de microorganisme până la 58 g/L, ceea ce este de circa 20 de ori mai mare în raport cu concentrația nămolului activ, majorând proporțional potențialul de eliminare a substanțelor organice și biogene din apele epurate.

Ca urmare a timpului prelungit de circulație în sistemul de tratare (aerare-clarificare-aerare), cocoanele aglomerate de microfloră, atașate prin procesul de liză și hidroliză a masei bacteriene din conținutul intercocular în condiții anaerobe, formează o sursă de carbon necesară ca un donator consumabil pentru procesul de denitrificare. Procesul de purificare dezvoltat elimină dezavantajele menționate mai sus prin utilizarea purtătorilor conglomerati de microorganisme sub formă de cocoane de peliculă biologică, evitând necesitatea injectării unei surse externe de carbon. Carbonul necesar pentru procesul de denitrificare provine din liza și hidroliza microorganismelor din spațiul intercocular, asigurând un mediu anaerob pe o perioadă prelungită pentru a menține integritatea structurii cocoanelor.

Provocarea tehnică abordată de instalația și procesul de tratare a apelor uzate dezvoltate de autori constă în capacitatea acestora de a funcționa fără a necesita introducerea suplimentară a unui suport plutitor (cum ar fi nisip, particule de cărbune activ, rășină etc.) pentru dezvoltarea bio-filmului și fără a necesita injectarea unei surse externe de carbon (metanol, acetat, etanol etc.) pentru asigurarea procesului de denitrificare. Procesul de epurare biologică a apelor uzate



Figura 3. Secțiunea unui cocon aglomerat.

municipale cu nitrificare și denitrificare simultană se caracterizează prin utilizarea cocoanelor de conglomerat ale peliculei biologice, care crește concentrația masei microorganismelor și utilizarea unei surse interne de carbon din spațiul intracoccal, fără a fi nevoie de injecție externă. Aceasta se datorează lizei și hidrolizei microorganismelor din spațiul intracoccal, asigurând un mediu anaerob, susținut de cocoane. Un avantaj semnificativ al cocoanelor conglomeratelor de microorganisme se datorează dimensiunii lor suficient de mari, care permite formarea de zone oxice (nitrificare), anoxice (denitrificare) și anaerobe în centrul flocului. În aceste zone centrale, unde oxigenul și nitrații sunt practic absenți, au loc procese anaerobe precum fermentația și liza bacteriană. Procesele date contribuie la descompunerea materialelor organice complexe în compuși mai simpli care pot fi utilizați de alte microorganisme din straturile exterioare. Acest lucru asigură o eficiență sporită în îndepărtarea compușilor organici și biogene din apele uzate. Ca urmare, crește gradul de purificare a substanțelor organice și biogene fără utilizarea surselor externe de carbon, se simplifică echipamentele și configurațiile de construcție, acestea putând fi integrate în construcțiile existente, reducând volumele de deșeuri generate în procesul de tratare biologică.

Astfel, se propune o abordare inovatoare și practică pentru operatorii stațiilor de epurare a apelor uzate, sugerând totodată utilizarea ecuațiilor cinetice elaborate pentru procesele de nitrificare în sistemele clasice de epurare bazate pe nămol suspendat. Această metodă aduce îmbunătățiri semnificative în gestionarea și optimizarea proceselor de tratare, oferind posibilitatea de a estima cu precizie potențialul de oxidare a amoniului specific fiecărei stații de epurare în parte. Cu alte cuvinte, rezultatele calculului ne oferă posibilitatea de a estima potențialul de epurare pentru stația analizată. În plus, ecuația cinetică dedusă mai jos (4) indică parametrii care, de obicei, nu sunt măsurați, dar care ar trebui determinați suplimentar pentru ajusta-

rea parametrilor operaționali (oxigenul dizolvat în bazinul de aerare, doza de nămol și debitul influentului) în vederea intensificării procesului și obținerii rezultatelor dorite sau planificate. Această ecuație permite simularea diferitelor scenarii de operare și ajustarea parametrilor procesului pentru a maximiza eficiența eliminării poluanților. Simulările facilitează testarea rapidă a numeroaselor scenarii de operare, fără intervenții fizice în proces, fiind astfel extrem de utile pentru identificarea condițiilor optime de funcționare, cum ar fi concentrația ideală de oxigen dizolvat, doza de nămol sau viteza de recirculare. Modelarea cinetică permite ajustări în timp real, adaptând procesul la schimbări neprevăzute în condițiile de operare, cum ar fi variațiile sezoniere ale compoziției influentului. Pentru estimarea potențialului de oxidare a amoniului în fluxul tehnologic al stației de tratare a apelor uzate nou construită din orașul Căușeni, a fost utilizată ecuația

$$\rho_{NH_4,s} = \frac{1}{Y_{NH_4,max}} \cdot \mu_{NH_4,20C,max} e^{\chi(1(t-20))} \cdot \left(\frac{S_{NH_4}}{K_{S,NH_4,A1} + S_{NH_4}} \frac{S_{NO_2}}{K_{S,NO_2,A2} + S_{NO_2}} \frac{S_{O_2}}{K_{S,O_2,A1} + S_{O_2}} \right) \frac{K_{pH}}{K_{pH1} + (10^{pH,opt-pH1} - 1)} - \beta \cdot X_{Ba} \quad (1)$$

pentru determinarea vitezei de nitrificare în sistemele cu nămol activ în suspensie, folosind modelul cinetic ASM [5] și ecuația bilanțului de masă pentru sistemul de tratare a apelor uzate de reciclare:

$$Q_i \cdot S_{NH_4,i} - \rho_{NH_4,s} \cdot V = Q_e \cdot S_{NH_4,e} + Q_{ex} \cdot S_{NH_4,ex} \quad (2)$$

unde Q_i , Q_e , Q_{ex} reprezintă debitele de influent, efluent și exces de nămol din sistem, m^3/zi și $S_{NH_4,i}$, $S_{NH_4,e}$, $S_{NH_4,ex}$ sunt concentrațiile respective de $N-NH_4$, g/m^3 .

Având în vedere că $Q_i = Q_e$, $Q_{ex} = 0$ and $Q_{ex} \cdot S_{NH_4,ex} = 0$, se obține:

$$Q_i \cdot S_{NH_4,i} - \rho_{NH_4,s} \cdot V = Q_e \cdot S_{NH_4,e} \text{ or } \frac{V}{Q_i} \cdot \rho_{NH_4,s} = S_{NH_4,i} - S_{NH_4,e} \quad (3)$$

unde $\frac{V}{Q_i}$ este timpul de retenție hidraulică în sistemul de aerare $S_{NH_4,e}$.

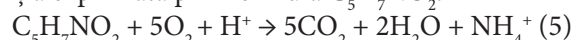
Atunci, ecuația de estimare a potențialului de oxidare a amoniului în procesul de epurare al stației de epurare a apelor uzate este următoarea:

$$S_{NH_4,i} = \frac{V}{Q_i} \cdot \frac{1}{Y_{NH_4,max}} \cdot \mu_{NH_4,20C,max} e^{\chi(t-20)} \cdot \left(\frac{S_{NH_4,e}}{K_{S,NH_4,A} + S_{NH_4,e}} \frac{S_{O_2}}{K_{S,O_2,A} + S_{O_2}} \frac{K_{pH}}{K_{pH} + (10^{pH,opt-pH1} - 1)} \right) - \beta \cdot X_{Ba} + S_{NH_4,e} \quad (4)$$

Întrucât X_{Ba} , exprimat prin $gCCO_{Cr} / g$ biomasă activă constituie un parametru care nu este monitorizat la stațiile de epurare, ecuația pentru estimarea

potențialului de oxidare a amoniului a fost adaptată pentru a fi utilizată de operatori și proiectanți, luând în considerare parametrii constructivi și fizico-chimici ce pot fi monitorizați în procesul de funcționare sau proiectare a unui complex de epurare bazat pe nămol activ suspendat. Astfel, s-a introdus fracția de biomasă activă în nămol activ, $\delta_b = 0,65$, având în vedere că 0,25-0,3 reprezintă substanța minerală și 0,05-0,1 reprezintă biomasa puțin activă din cauza lizei bacteriene.

Calculul CCO_{Cr} al biomasei active consideră compoziția exprimată prin formula $C_5H_7NO_2$:



Din formula (5) reiese că un mol de biomasă, cu masa de 113 g, corespunde cu 5 moli de oxigen, având masa de 160 g. Astfel, se deduce că pentru fiecare gram de biomasă activă sunt necesari:

$$160 \text{ g de } CCO_{Cr} / 113 \text{ g de biomasă} = 1.42 \text{ g } CCO_{Cr} / \text{g biomasă}$$

$$1,42 \text{ g } CCO_{Cr} / \text{g biomasă} \cdot 0,65 = 0,923 \text{ numeric} \approx$$

1 g MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids), parametru care se monitorizează la stațiile de epurare numit *Doza de nămol în unități grame*.

Pentru calculul diagramei 3D și al tabelului numeric de estimare a potențialului de oxidare a amoniului în fluxul tehnologic, au fost utilizați coeficienții stoichiometrici și constantele din ecuația (4) pentru fiecare proces și substrat (Tabelul 1), preluați din ASM1 [5], precum și parametrii de funcționare și operaționali ai stației (Tabelul 2).

Prin înlocuirea parametrilor specificați în Tabelul 1 și a parametrilor operaționali pentru stația studiată în ecuația (4), cu $Q_i = 1200 \text{ m}^3/zi$, $V = 800 \text{ m}^3$, MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids) = 2000 g/m^3 și $NH_4^+ = 2,0 \text{ g/m}^3$, datele sunt reprezentate grafic în diagrama 3D (Figura 4) și în formă tabelară (Tabelul 3). Astfel, se obține o serie de diagrame 3D bazate pe valori variabile ale parametrilor operaționali.

Datele prezentate în diagrama 3D (Figura 4) și în tabelul numeric (Tabelul 3) pentru estimarea potențialului de oxidare a amoniului în fluxul tehnologic al stației de epurare Căușeni sunt calculate pentru o concentrație de NH_4^+ în efluent de $2,0 \text{ mg/L}$, conform cerințelor existente [6]. Aceste date indică valorile maxime ale azotului din amoniu în influentul stației de epurare care pot fi tratate exclusiv prin metoda cu nămol activ suspendat.

Pentru a demonstra simultaneitatea proceselor de nitrificare și denitrificare în apele uzate în cadrul unui singur flux aerat al stației de epurare a apelor uzate Căușeni, fără a delimita zonele oxice și anoxice, eficiența fiecărui proces a fost calculată la diferite temperaturi folosind următoarele formule:

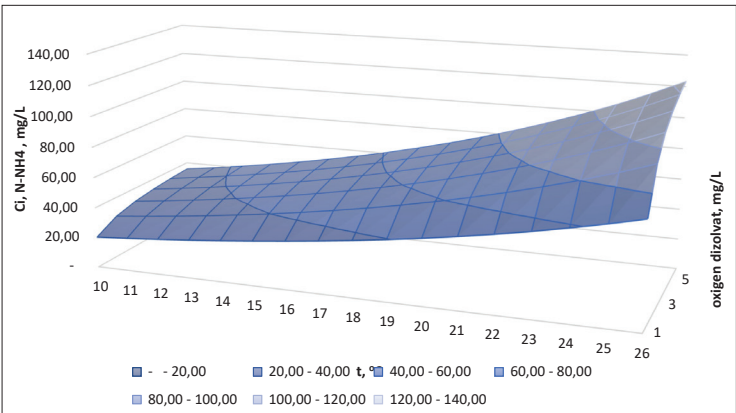


Figura 4. Diagrama 3D pentru estimarea potențialului de oxidare a amoniului în fluxul procesului stației de epurare.

Tabelul 1

Coefficienți și constante stoichiometrice pentru procesul de nitrificare în sistemele cu nămol activ

Simbolul	Coefficienți și constante stoichiometrice	Unitatea de măsură	Valoarea
$Y_{NH_4,max}$	Rata de creștere a biomasei pentru bacteriile oxidante de amoniu	g MLSS /gN	0,24
$\mu_{NH_4,20C,max}$	Viteza maximă de creștere specifică pentru bacteriile oxidante de amoniu	zi ⁻¹	0,8
$K_{s,NH_4,A}$	Constanta de saturație numeric egală cu valoarea concentrației N-NH ₄ la care viteza specifică este jumătate din valoarea maximă (pentru procesul de nitrificare)	gN-NH ₄ /m ³	0,5
$K_{s,O_2,A}$	Constanta de saturație O ₂ pentru bacteriile autotrofe nitrificatoare numeric egală cu valoarea la care saturația este jumătate din valoarea maximă.	gO ₂ /m ³	1,00
K_{pH}	pH constanta		200
χ	Constanta de temperatură	°C ⁻¹	0,08
η_a	Fracția de bacterii autotrofe în masa bacteriană activă		0,05
δ_b	Fracția de masă bacteriană activă în nămol activ egală cu raportul VSS (Volatile Suspended Solids)/MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids)		0,65
β	Rata de mortalitate a masei bacteriene autotrofe	zi ⁻¹	0,05

Tabelul 2

Parametrii de funcționare și operaționali ai stației de epurare Căușeni

Simbolul	Parametrul	Unitatea de măsură	Valoarea
V	Volumul compartimentelor aerate	m ³	800
Qi	Debitul apelor uzate influente în stația de epurare	m ³ /zi	900-1300
$S_{NH_4,e}$	Concentrația de N-NH ₄ în efluentul din stația de epurare	g/m ³	variabilă
S_{O_2}	Concentrația de oxigen dizolvat în compartimentele aerate	gO ₂ /m ³	variabilă
pH	pH-ul apelor uzate în influentul stației de epurare		variabilă
MLSS	Doza de nămol activ în materie în suspensie în compartimentele aerate	g/m ³	1900-2200
t	Temperatura apelor uzate supuse tratării	°C	9-26

Tabelul 3

Calculul parametrilor operaționali și constructivi $Q_i = 1200 \text{ m}^3/\text{zi}$, $V = 800 \text{ m}^3$, MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids) = 2000 g/m^3 și $\text{NH}_4^+ = 2,0 \text{ g/m}^3$

DO, mg/L	t, °C							
	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0
1,00	20,10	21,64	23,32	25,13	27,09	29,22	31,53	34,02
2,00	27,23	29,37	31,68	34,19	36,91	39,86	43,05	46,50
3,00	30,79	33,23	35,87	38,72	41,82	45,17	48,81	52,74
4,00	32,93	35,54	38,37	41,44	44,76	48,36	52,26	56,49
5,00	34,36	37,09	40,05	43,25	46,73	50,49	54,57	58,98
6,00	35,37	38,19	41,24	44,55	48,13	52,01	56,21	60,76

DO, mg/L	t, °C								
	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0
1,00	34,02	36,73	39,66	42,83	46,27	49,99	54,03	58,40	63,13
2,00	46,50	50,25	54,30	58,70	63,46	68,61	74,20	80,25	86,80
3,00	52,74	57,01	61,62	66,63	72,05	77,92	84,28	91,17	98,64
4,00	56,49	61,06	66,02	71,39	77,20	83,51	90,33	97,73	105,74
5,00	58,98	63,77	68,95	74,56	80,64	87,23	94,36	102,09	110,47
6,00	60,76	65,70	71,04		83,10	89,89	97,25	105,22	113,85

Tabelul 4

Calculul eficienței simultane de nitrificare ($\text{Ef\% N-NH}_4$) și eficienței de denitrificare ($\text{Eff\% N}$) în procesul de epurare a apelor uzate la diferite temperaturi, pe baza parametrilor fizico-chimici determinați experimental, pentru stația de epurare a apelor uzate din Căușeni

Nr.	Temp.	COD _{Cr} influent	COD _{Cr} efluent.	N-NO ₃ efluent	N-NO ₂ efluent	N-NH ₄ influent	N-NH ₄ efluent	Eff N-NH ₄	Eff N
	°C	gO ₂ /m ³	gO ₂ /m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³	%	%
1	9,1	462	109,3	42,9	6,8	82,5	16,5	80,0	19,8
2	10,2	535,7	118,2	36,5	4,6	65,7	2,26	96,6	34,0
3	15,1	522,6	116,4	42,5	0,05	70,4	0,66	99,1	38,6
4*	15,9	556,8	93,1	12,1	0,19	49,5	2,41	95,2	70,2
5	17,3	616,2	99,1	1,65	8,11	103,3	7,9	92,4	82,9
6*	17,6	488,3	73,2	16,7	0,11	69,0	0,72	98,9	74,1
7	20,8	493,7	96,6	5,32	0,03	65,3	0,43	99,3	91,1
8*	20,4	341,1	29,5	6,3	0,11	61,2	0,62	98,8	88,6
9	25,4	622,5	64	13,4	0,45	79,8	0,94	98,8	81,5

Notă: Probele marcate cu * sunt analizate în figurile 5-7.

$$\text{Ef\% N-NH}_4 = (\text{N-NH}_4 \text{ inf} - \text{N-NH}_4 \text{ efl}) \cdot 100\% / \text{N-NH}_4 \text{ inf} \quad (6)$$

$$\text{Ef\% N} = (\text{N-NH}_4 \text{ inf} - (\text{N-NH}_4 \text{ efl} + \text{N-NO}_3 \text{ efl} + \text{N-NO}_2 \text{ efl})) \cdot 100\% / \text{N-NH}_4 \text{ inf} \quad (7)$$

unde N-NH₄ inf este concentrația de azot de amoniu din influent; N-NH₄ efluent simbolizează concentrația de azot de amoniu în efluent; N-NO₃ efluent desemnează concentrația de azot azotat în efluent și N-NO₂ efluent indică concentrația de azot nitrat în efluent.

Din Tabelul 4 reiese că nitrificarea atinge o eficiență de până la 99,3%. Simultan, denitrificarea are loc la viteze cuprinse între 19,9% și 91,1%, ceea ce se corelează fundamental cu temperaturile apei uzate tratate. Datele prezentate în Tabelul 4 arată că prezența cocoanelor conglomerate de microorganisme în nămroșul activat în fluxul tehnologic inițiază și intensifică procesul de denitrificare în condiții de aerare continuă, datorită funcționării peliculei biologice din cocoane.

Pentru a demonstra procesul de nitrificare intensificat în prezența cocoanelor conglomerate de microorganisme în nămolul activat (Sistemul I), comparativ cu sistemul cu doar nămol activ (Sistemul II), eficiența nitrificării în Sistemul II a fost calculată pe baza modelării cinetice și a bilanțului de mase în condiții de echilibru. Tabelul 4 afișează rezultatele comparative ale datelor experimentale pentru Sistemul I și ale celor calculate pentru Sistemul II pe baza formulelor:

$$\Delta N-NH_4 \text{ ex.} = N-NH_4 \text{ inf} - N-NH_4 \text{ efl} \quad (8)$$

$$\Delta N-NH_4 \text{ calc.} = N-NH_4 \text{ inf calc} - N-NH_4 \text{ efl} \quad (9)$$

$$\Delta N-NH_4 = \Delta N-NH_4 \text{ ex.} - \Delta N-NH_4 \text{ calc.} \quad (10)$$

unde $N-NH_4$ inf calc este concentrația calculată de azot de amoniu în influent conform formulei (4); $\Delta N-NH_4$ ex. reprezintă cantitatea de azot de amoniu eliminat în Sistemul I; $\Delta N-NH_4$ calc. reprezintă cantitatea de azot de amoniu îndepărtat în Sistemul II, iar $\Delta N-NH_4$ denotă cantitatea de azot de amoniu îndepărtat de cocoanele microbiene în fluxul continuu al stației investigate.

Rezultatele prezentate în Tabelul 5 arată că prezența cocoanelor conglomerate de microorganisme în nămolul activat îmbunătățește semnificativ procesul de nitrificare în fluxul tehnologic continuu, datorită funcționării peliculei biologice din interiorul cocoanelor. Este de remarcat faptul că Sistemul I, cu cocoane de microorganisme în nămolul activat, demonstrează performanțe îmbunătățite la concentrații mari de azot amoniacal în efluent comparativ cu Proba 4*, care are o concentrație mai mică de azot amoniac.

În Figurile 5, 6 și 7 sunt prezentate diagramele proceselor simultane de nitrificare și denitrificare în fluxul tehnologic al stației de epurare a apelor uzate din orașul Căușeni la diferite temperaturi ale apelor uzate. Pe partea stângă a figurilor marcate cu a) pe

axa y sunt indicate concentrațiile CCO_{Cr} de specii care conțin N, în timp ce în partea dreaptă este afișat conținutul de specii care conțin N.

Pentru evaluarea proceselor din fiecare compartiment separat, au fost prelevate probe din influent, proba mixtă de influent și nămolul reciclat din decantorul secundar, precum și din aval de fiecare compartiment aerat (trei la număr), unitatea de biofiltru, decantorul secundar și efluent. Astfel, se poate construi profilul concentrațiilor tuturor elementelor estimate pe întreg fluxul tehnologic.

Procesul de nitrificare se manifestă prin scăderea concentrației de $N-NH_4$ în toate compartimentele aerate și unitatea de biofiltru, indicată de panta de oxidare a amoniului. Procesul de denitrificare este vizibil prin pantele descendente de oxidare a amoniului și prin pantele de reducere a nitraților (scăderea concentrației de $N-NO_3$), care au loc datorită consumului de carbon ca substrat pentru procesul de denitrificare, disponibil în CCO_{Cr} în primul rezervor de aerare și mai pronunțat în compartimentele 3 și 4, la temperaturi de 17,6 °C și 20,4 °C. Acest fenomen este cauzat de consumul de substrat format în cocoanele conglomerate de microorganisme prin liză bacteriană în zona interfloculară anaerobă, unde sursa de carbon din apa uzată (CCO_{Cr}) a fost deja oxidată, așa cum este ilustrat în diagrama CCO_{Cr} .

Toate figurile arată că procesele de nitrificare și denitrificare se desfășoară simultan la temperaturile evaluate de-a lungul fluxului tehnologic, incluzând influentul, influentul combinat cu nămolul activ reciclat din decantorul secundar, fiecare dintre cele trei rezervoare de aerare, blocul de biofiltru, zona de post-aerare și efluentul.

Tabelul 5

Diferența dintre cantitatea de amoniu oxidat determinată experimental pentru Sistemul I în prezența cocoanelor conglomerate de microorganisme în nămolul activat, și cantitatea calculată de amoniu oxidat pentru Sistemul II

Nr.	$\Delta N-NH_4 \text{ exp.,}$ g/m^3	$N-NH_4 \text{ influent calc.}$ g/m^3	$\Delta N-NH_4 \text{ calc}$ g/m^3	$\Delta N-NH_4$ g/m^3
1	66,00	59,53	43,03	22,97
2	63,44	35,78	33,52	29,92
3	69,74	36,48	35,82	33,92
4*	47,09	45,66	43,25	3,84
5	95,40	75,29	67,39	28,01
6*	68,28	40,80	40,08	28,20
7	64,87	32,63	32,2	32,67
8*	60,58	41,04	40,42	20,16
9	78,86	70,8	69,86	9,00

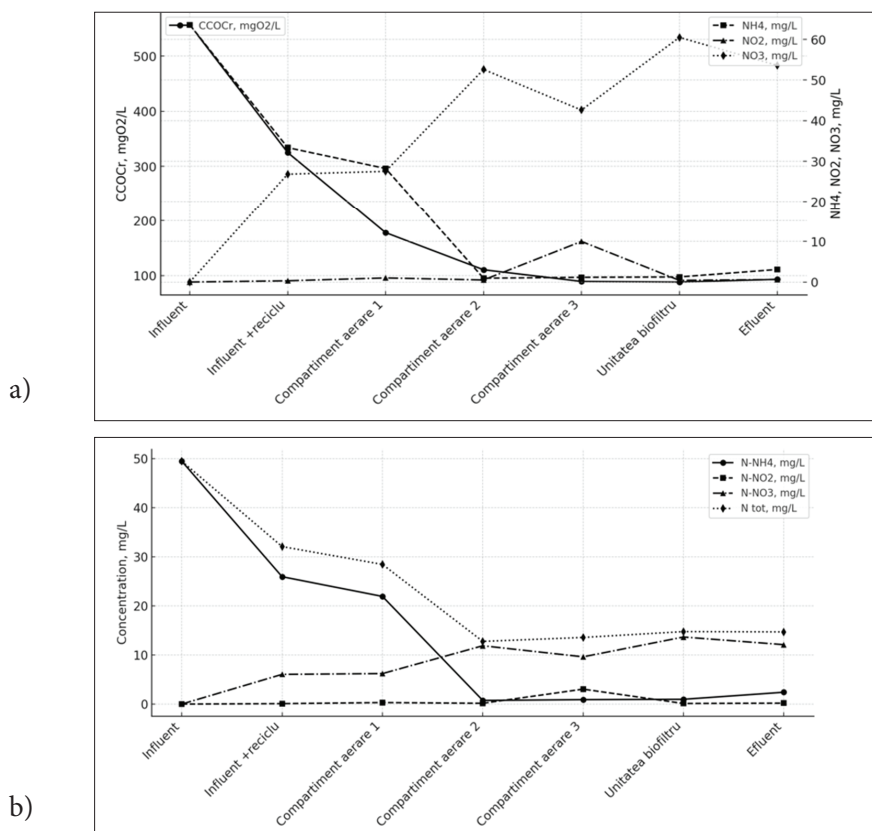


Figura 5. Diagrame: a) CCO_{Cr} , NH_4 , NO_3 , NO_2 ; b) N total, N-NH_4 , N-NO_3 , N-NO_2 ale proceselor simultane de nitrificare și denitrificare în fluxul tehnologic al stației de epurare a apelor uzate Căușeni la temperatura de 15,9 °C.

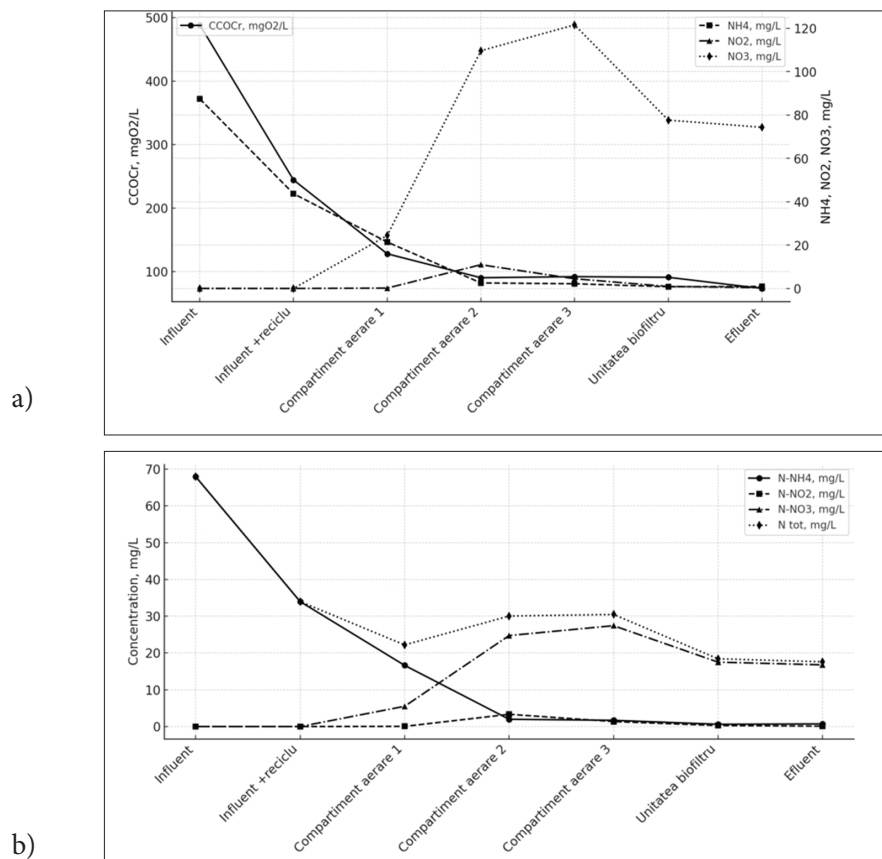


Figura 6. Diagrame: a) CCO_{Cr} , NH_4 , NO_3 , NO_2 ; b) N total, N-NH_4 , N-NO_3 , N-NO_2 ale proceselor simultane de nitrificare și denitrificare în fluxul tehnologic al stației de epurare a apelor uzate Căușeni la temperatura de 17,6 °C.

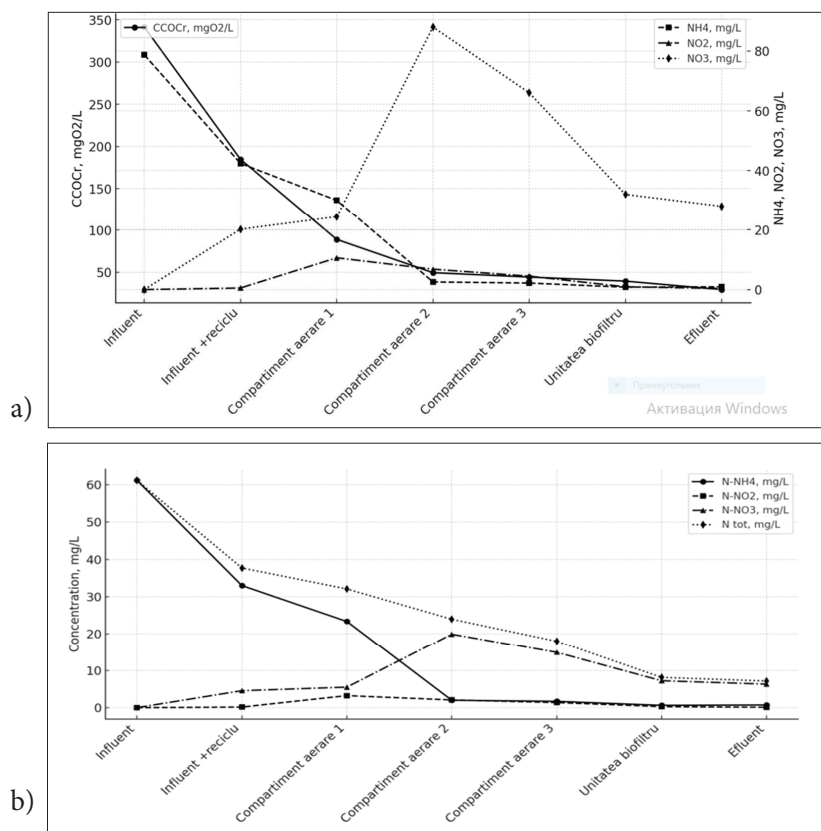


Figura 7. Diagrame a) CCO_{Cr} , NH_4 , NO_3 , NO_2 ; b) N total, N-NH_4 , N-NO_3 , N-NO_2 ale proceselor simultane de nitrificare și denitrificare în fluxul tehnologic al stației de epurare a apelor uzate Căușeni la temperatura de 20,4 °C.

Conform ecuației (4), se pot construi diagrame 3D (Figura 8) pentru diverse temperaturi ale apelor uzate, precum și pentru diferite timpuri de retenție hidraulică. Aceste diagrame permit prezentarea valorilor N-NH_4 + potențial tratate până la nivelurile normative prin modificarea parametrilor operaționali, într-o formă tabelară.

Aplicarea acestor date în formă tabelară poate servi drept exemplu pentru selectarea unui scenariu

optim ce permite obținerea rezultatelor dorite în procesul de epurare, ținând cont de caracteristicile individuale ale stației, cum ar fi timpul de retenție hidraulică $\theta = V/Q_i = 0.7$ și temperatura apelor uzate de 20 °C. Aceste informații sunt prezentate în Tabelul 6. Tabelele realizate pe baza ecuației (4) pot fi utilizate pentru ajustarea parametrilor operaționali ai stațiilor de epurare în limitele practice și optimizării proceselor de tratament:

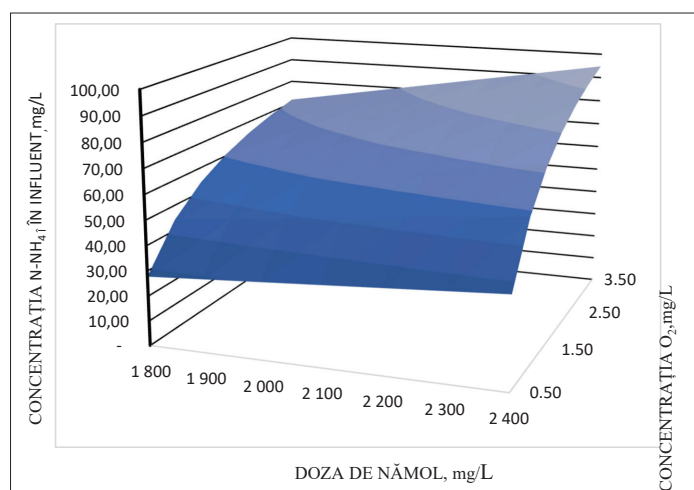


Figura 8. Diagrama 3D a concentrației de N-NH_4 în influentul stației de epurare și simularea variațiilor operaționale posibile pentru a obține un rezultat conform [6] în efluent pentru NH_4^+ - 2,0 mg/l la o temperatură a apelor uzate de 23 °C și un timp de retenție hidraulică $\theta = 0,7$.

Tabelul 6

Aplicația pentru selectarea unui scenariu potrivit pentru a obține rezultatul scontat în procesul de epurare cu caracteristicile individuale a stației cum ar fi timpul de retenție hidraulic $\theta = \frac{V}{Q_i} = 0,7$ și temperatura apelor uzate 20 °C

OD\doza	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
0,50	27,81	29,27	30,73	32,19	33,65	35,11	36,57
1,00	44,20	46,57	48,93	51,30	53,67	56,04	58,41
1,50	54,03	56,94	59,86	62,77	65,69	68,60	71,52
2,00	60,58	63,86	67,14	70,42	73,70	76,98	80,25
2,50	65,26	68,80	72,34	75,88	79,42	82,96	86,50
3,00	68,77	72,50	76,24	79,97	83,71	87,44	91,18
3,50	71,50	75,39	79,27	83,16	87,04	90,93	94,82

Oxygenul dizolvat (OD) în bazinele de aerare de la 0,5 mg/L până la 3,5 mg/L. Din motivul că menținerea în bazinele de aerare a concentrației mai mari de 3,5 mg/L duce la un consum extrem de mare a energiei electrice a suflantelor și necesită montarea suflantelor suplimentare, fapt ce nu este posibil operativ, debitul de aer și potențialul suflantelor pentru menținerea proceselor în compartimentele aerate la momentul proiectării se stabilește în limitele 2,0-2,5 mg/L.

Doza de nămol variază de la 1800 mg/L până la 2400 mg/L. O doză mai mare poate duce la dereglarea procesului de sedimentare în decantoarele secundare și provoca instabilitatea procesului integral de epurare prin evacuarea necontrolată a nămolului activ din sistem.

Temperatura apelor uzate reprezintă un factor extern variabil, fluctuant sezonier între 10 °C și 26 °C în Republica Moldova. Această variație de temperatură este esențială în procesul de oxidare a amoniului, deoarece afectează sensibilitatea dezvoltării bacteriilor autotrofe responsabile de nitrificare. Conform legislației Republicii Moldova [6] și altor reglementări internaționale [7], procesele de oxidare a amoniului sau de eliminare a azotului sunt reglementate doar pentru temperaturi mai mari de 12-15 °C. În cadrul studiilor, temperatura apelor uzate a variat între 14 și 26 °C, cu pași de 2 °C.

Valoarea timpului de retenție hidraulic $\theta = \frac{V}{Q_i}$, unde V în m³ este volumul constructiv (individual pentru o stație selectată) bazinelor de aerare, Q_i este debitul efectiv al influentului în stație monitorizat de un debitmetru adecvat în m³/zi, este un parametru constructiv și poate varia de la 0,3 până la 1,0.

Fracția bacteriilor autotrofe nitrificatoare în cultura mixtă a nămolului activ este influențată de raportul de C/N , unde C este carbonul biodegradabil, iar N azotul total. Prin analiza parametrilor fizico-chimici în influenții stațiilor de epurare din Republica Moldova acest raport pentru ape menajere este în medie de 5-6. Cu cât raportul respectiv este mai mare, cu atât fracția de bacterii este mai redusă și invers (Tabelul 7) [8]. În tabelele aplicative fracția bacteriilor autotrofe nitrificatoare în cultura mixtă a nămolului activ conform raportului C/N 5-6 a fost utilizată valoarea 0,05. Pentru alte raporturi C/N fracția de bacterii autotrofe η_a poate fi preluată din Tabelul 7.

Tabelele sunt elaborate pentru un timp de retenție de $\theta = \frac{V}{Q_i} = 0,7$. Dat fiind faptul că factorul θ este în ecuație un factor de corecție liniar, tabelele pot fi folosite și pentru alte valori θ ale parametrilor constructivi individuali pentru fiecare stație.

După finalizarea proiectului se estimează că vor apărea o serie de efecte socio-economice pozitive. Îmbunătățirea mediului înconjurător va fi realizată prin

Tabelul 7

Dependența fracției de bacterii autotrofe nitrificatoare în cultura mixtă a nămolului activ de raportul C/N

Raport C/N	Fracția de bacterii autotrofe η_a	Raport C/N	Fracția de bacterii autotrofe η_a
0,5	0,35	5	0,054
1	0,21	6	0,043
2	0,12	7	0,037
3	0,083	8	0,033
4	0,064	9	0,029

creșterea eficacității stațiilor de epurare în zonele urbane, reducând poluarea apei și protejând biodiversitatea. Aceasta va conduce la îmbunătățirea sănătății locuitorilor și la sporirea atracției turistice a zonelor afectate. Economisirea energiei va fi posibilă prin optimizarea consumului de energie pentru procesele de epurare, ducând la reduceri semnificative ale costurilor operaționale ale stațiilor de epurare și aducând beneficii economice notabile. Economia de energie realizată poate fi reinvestită în alte proiecte de dezvoltare locală sau în îmbunătățirea infrastructurii comunității. Protecția ecosistemelor acvatice va fi asigurată prin reducerea procesului de eutrofizare a rețelei acvatice din Republica Moldova, care prezintă un proces ecologic cauzat de creșterea excesivă a nutrienților, în special a azotului și fosforului, conducând la degradarea mediului acvatic. Acest lucru va avea un impact pozitiv asupra sectorului agricol, pescuitului și turismului. În concluzie, implementarea acestor măsuri va aduce beneficii sociale și economice semnificative prin îmbunătățirea calității vieții și a sănătății populației, precum și prin creșterea eficienței și competitivității întreprinderilor, contribuind la dezvoltarea durabilă a regiunii.

După încheierea proiectului, colaborarea va continua cu diverse organizații în cadrul Departamentului de evaluare și expertizare a funcționării sistemelor de epurare a apelor uzate, generând o serie de rezultate notabile. Parteneriatul cu autoritățile publice locale, precum primăria Căușeni și primăria Cricova, va fi menținut, iar Departamentul va rămâne un colaborator de încredere în gestionarea și îmbunătățirea infrastructurii de epurare a apelor uzate. Furnizarea continuă de expertiză și consultanță va asigura o gestionare eficientă și durabilă a stațiilor de epurare, contribuind astfel la ameliorarea calității mediului și a vieții comunitare. De asemenea, cooperarea cu întreprinderile comunale și asociațiile Apă-Canal, inclusiv din orașele Căușeni și Cricova, va oferi suport și asistență tehnică pentru îmbunătățirea performanței și eficienței stațiilor de epurare. Aplicarea celor mai bune practici și tehnologii disponibile va stimula dezvoltarea și modernizarea infrastructurii de epurare la nivel local și regional.

Transferul de cunoștințe și expertiză va continua prin organizarea de seminare, workshop-uri și alte activități de formare profesională, garantând o creștere continuă a competențelor și abilităților personalului implicat în gestionarea și operarea stațiilor de epurare. Departamentul va dezvolta și consolida parteneriate durabile cu alte organizații relevante din domeniul apelor și mediului înconjurător, atât la nivel național, cât și internațional. Prin colaborare și schimb de resurse și expertiză, se va crește capacitatea de inovare și adaptare a sectorului de epurare a apelor uzate, contribuind la atin-

gerea obiectivelor de dezvoltare durabilă și protecție a mediului. Elaborările efectuate vor contribui la extinderea impactului pozitiv al proiectului în comunitate și vor asigura o gestionare eficientă și durabilă a infrastructurii de epurare a apelor uzate pe termen scurt și lung.

Echipa academică a proiectului, formată din cercetătorul științific coordonator Dr. Petru Spătaru cercetătorul științific Alexandru Vișnevschi, cercetătorul științific Oxana Spînu și cercetătorul științific principal dr. hab. Igor Povar, membri ai Laboratorului „Metode Fizico-chimice de Cercetare și Analiză” al Institutului de Chimie al Universității de Stat din Moldova, va juca un rol esențial în acest proces.

CONCLUZII

Pe durata proiectului analizat în lucrare, va fi instituit în premieră un departament dedicat cercetării și expertizei funcționării stațiilor de epurare din Republica Moldova. Acest departament va emite recomandări pentru îmbunătățirea eficienței proceselor de epurare, concentrându-se pe eliminarea substanțelor poluante organice și biogene în momentul evacuării în emisarele acvatice, în vederea reducerii impactului asupra mediului. Astfel, departamentul creat va fi o resursă valoroasă pentru gestionarea sistemelor de epurare, oferindu-le posibilitatea de a accesa recomandări pentru soluționarea problemelor existente în operarea stațiilor de epurare pe care le administrează.

Soluția inovatoare dezvoltată de autori și aplicată în cadrul proiectului constă în extinderea instalațiilor de epurare biologică a apelor uzate menajere prin integrarea simultană a proceselor de nitrificare și denitrificare, utilizând aglomerări de microorganisme. Tehnologia elaborată contribuie la reducerea impactului biogen, atenuează eutrofizarea ecosistemelor acvatice și poate fi utilizată atât pentru construirea de noi stații, cât și pentru reabilitarea celor existente cu performanțe scăzute în eliminarea poluanților. Dimensiunile cocoanelor dezvoltate și captate variază în intervalele de lungime 2-16 mm și de diametru 1,5-2,5 mm, cu o densitate de conglomeratii de microorganisme până la 58 g/L, care este de circa 20 de ori mai mare în raport cu concentrația nămolului activ, proporțional majorând potențialul de eliminare a substanțelor organice și biogene din apele epurate și care susțin procesele de nitrificare și denitrificare simultan la temperaturile evaluate de-a lungul fluxului tehnologic aerat fără adaos de surse externe de carbon. Tehnologia a fost implementată la scară industrială în stația de epurare din orașul Căușeni, creând un mediu anaerob optim, păstrând integritatea structurală a coconilor și îmbunătățind calitatea efluentului tratat.

Utilizarea ecuației pe baza modelărilor cinetice pentru procesele de nitrificare reprezintă o strategie avansată și necesară pentru operatorii stațiilor de epurare, oferindu-le un instrument prețios pentru îmbunătățirea calității apei epurate și pentru conformarea cu cerințele legale în vigoare. Această abordare nu doar că îmbunătățește performanța operațională a stațiilor de epurare, dar contribuie și la protecția resurselor de apă și la reducerea poluării mediului.

De asemenea, proiectul introduce în tehnologiile de epurare o componentă de ultimă generație, furnizând departamentului echipamente științifice avansate pentru cercetare și expertiză de înaltă precizie și eficiență. Această abordare inovativă va conferi beneficiarilor de echipamente, S.R.L. METIOLIS și S.R.L. IZODROMGAZ, un avantaj competitiv semnificativ, fiindu-le oferite soluții și recomandări conforme standardelor internaționale. Prin urmare, proiectul nu numai că va facilita îmbunătățirea funcționării stațiilor de epurare, ci va contribui și la consolidarea poziției întreprinderii pe piața locală și internațională prin oferirea de servicii și produse inovatoare și de înaltă calitate.

BIBLIOGRAFIE

1. Visnevschi, A. Evaluation of Technological Solutions to Enhance the Operational Efficiency of the WWTP "Apa-Canal" Magdacesti Municipal Enterprise. In: Journal of Water Chemistry and Technology, 2024, vol. 46, 42-50.

2. Waqas, S., Bilad, M. R., Man, Z., Wibisono, Y., Jaafar, J., Mahlia, T. M. I., Aslam, M. Recent progress in integrated fixed-film activated sludge process for wastewater treatment: A review. In: Journal of environmental management, 268, 2020, 110718, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110718>

3. Waqas, S., HaruN, N. Y., Sambudi, N. S., Abioye, K. J., Zeeshan, M. H., Ali, A., Alsaadi, A. S. Effect of operating parameters on the performance of integrated fixed-film activated sludge for wastewater treatment. In: Membranes, 13(8), 2023, 704, <https://doi.org/10.3390/membranes13080704>

4. NCM G.03.02:2015. Normativ în construcții, [online] <https://ednc.gov.md/wpcontent/uploads/2023/06/NCM-G.03.02-2015.pdf> (consultat: 1.09.2024).

5. Henze, M., Gujer, W., Mino, T., & Van Loosdrecht, M. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. 2006, IWA publishing, <https://doi.org/10.2166/9781780402369>

6. Hotărârea Guvernului Nr. 950 din 25.11.2013 pentru aprobarea Regulamentului privind cerințele de colectare, tratare și evacuare a apelor uzate în sistemul de canalizare și/sau în corpurile de apă pentru localitățile urbane și rurale. În: Monitorul Oficial nr. 284-289, art. 1061, din 06.12.2013.

7. Directiva UE 91/271 privind tratarea apelor urbane reziduale. OJ L 135 30.5.1991, p. 40.

8. Dima, M., Meglei, V., Dima, B., & Badea, C. Bazele epurării biologice a apelor uzate. Iași: Tehnopress, 2002.

NOTĂ. Studiul a fost realizat în cadrul proiectului *Departamentul de Expertiză și Audit Tehnologic în Epurarea Apelor Uzate – o premieră în Republica Moldova*, cu cifrul 24.80015.7007.03VI, concursul/Programul „Vouchere Inovationale 2024–2025”, ANCD.



Vasile Grama. *Clepsidra*, 2019, ulei, pânză, 80 × 80 cm.