

# MONITORIZAREA APELOR UZATE GENERATE DE FERMELE PISCICOLE, PENTRU PROTEJAREA MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR

Conf. dr. Radu POPA<sup>1</sup>, Prof. dr. Vily M. CIMPOIASU<sup>2</sup>, Dr. Ioana Corina MOGA<sup>3</sup>,  
Conf. dr. Vasile Daniel GHERMAN<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> River Road Research Tonawanda, NY, SUA, <sup>2</sup> Universitatea din Craiova, Facultatea de Horticultură, Biologie și Ingineria Mediului, Craiova, România, <sup>3</sup> DFR Systems S.R.L., București, România. <sup>4</sup> Universitatea Politehnică Timișoara, România

**REZUMAT.** Complexitatea fermele piscicole de tip RAS (cu apă recirculată) face ca un management bazat pe experiența în ferme piscicole extensive să fie insuficientă. În acest studiu semnalăm nevoia unei pregătiri vocaționale de specialitate în sustenabilitatea microfermelor RAS. Educația în RAS (prin școli piscicole și atestare profesională) trebuie să pună mai mult accent pe: chimia și microbiologia apei în RAS; tehnici avansate de filtrare și biotratamente; sisteme automate cu simulări predictive; efecte ecologice și minimizarea de costuri în tratarea efluenților lichizi.

**Cuvinte cheie:** monitorizare, apă uzată, acvacultură, pești, mediu.

**ABSTRACT.** The complexity of recirculated aquaculture systems (RAS) makes management based on experience from extensive fish farms insufficient. We point out the need for a specialized professional training to secure the sustainability of RAS microfarms. Vocational education in RAS (through fishery schools and attestation courses) must evolve towards: water chemistry and microbiology in RAS; advanced filtration and biotreatments; automation and predictive simulations; ecological impacts of RAS farms and minimization of effluent treatment costs.

**Keywords:** monitoring, wastewater, aquaculture, fish, environment.

## 1. INTRODUCERE

Obiectivul principal al acestui manuscris este de a semnală nevoia de creștere a nivelului educației vocaționale în acvacultura intensivă, în contextul creșterii rapide în ultimii ani a complexității acvaculturii cu apă recirculată (RAS) și a impactului ei tot mai mare asupra mediului. Următoarele trenduri au fost semnalate în ultimii 20 de ani în dezvoltarea fermelor piscicole de tip RAS:

- Probleme specifice și sustenabilitatea fermelor piscicole de tip RAS și în special agravarea limitărilor financiare și tehnologice asociate cu microfermele RAS [1];

- Răspândirea și importanța tot mai crescută a sistemelor automate de analiză și control a calității apei în fermele de tip RAS [2];

- Importanța tratării apei reziduale pentru a limita impactul ecologic al acvaculturii intensive asupra mediului înconjurător [3]; și

- Importanța educației vocaționale a fermierilor piscicoli pentru o adaptare mai eficace la aceste progrese tehnologice și probleme de mediu [4].

Din punctul de vedere al magnitudinii problemei, cantitatea de pește capturat din natura este în prezent de peste 91 milioane de tone anual. Pentru comparație, cantitatea de pește produsă prin acvacultura este de peste 80 milioane de tone anual și se prezice că în viitor va depăși semnificativ peștele capturat. Din cauza limitării progresive a disponibilității apei dulci nepoluante, cea mai mare parte din peștele de apă dulce cultivat provine din ferme de tip RAS [5] (Fig. 1).



**Fig. 1.** Exemplu de fermă tipică de creștere de pește în regim recirculant (RAS).

Problemele specifice fermelor piscicole RAS privesc:

- nevoia de creștere a productivității;
- lipsa accentuată de apă dulce de o calitate adecvată acvaculturii;
- hrana peștilor, și în special nevoia crescută de proteină furajeră;
- managementul bolilor peștilor crescuți la densități tot mai mari;
- poluanții nemuritori (= forever chemicals) cum ar fi geosmin, nanoplastice și PFAS care sunt tot mai frecvent întâlniți în fermele piscicole și produsele lor;
- creșterea costului de management al deșeurilor solide și al apelor uzate puternic încărcate cu nutrienți; și
- nevoia managementului cât mai eficient al calității apei, în concordanță cu menținerea sustenabilității economice a fermelor RAS [6].

**Impactul RAS asupra mediului.** Acvacultura convențională de apă dulce a fost pentru sute de ani extensivă; efectuată în bazine piscicole (lacuri, bălți, canale, iazuri, bazine amenajate) în echilibru ecologic cu biocenozele locale. În asemenea situații, pentru a evita fluctuații, dezechilibre și afectarea sănătății peștilor densitatea stocului este de cele mai multe ori la valori scăzute (ex. tone pe hectar). Odată însă cu scăderea disponibilității de teren și de apă dulce, acvacultura a evoluat către o fază intensivă (țarcuri și RAS), cazuri în care peștii sunt crescuți la densități foarte mari în spații închise [3].

În cazul RAS, apa este recirculată și continuu tratată pentru menținerea calității ei. În majoritatea fermelor RAS, o parte din apă este continuu reîmprospătată, proporție care de cele mai multe ori variază între 5 și 10 % pe zi. Costurile ridicate de tratare a apei au dus la o lipsă de motivație de a trata apele reziduale suficient de bine înainte de a fi eliberate din RAS. Aceste emisii conțin niveluri ridicate de poluanți, în special azot, fosfor și materie organică, care duc la eutrofizare în ecosistemele situate în aval de fermele RAS. Impactul fermelor piscicole intensive asupra biodiversității este deja de notorietate și o amenințare pentru echilibrul ecologic. În plus, o gamă diversă de substanțe chimice asociate cu acvacultura intensivă (cum ar fi antibiotice, hormoni, dezinfectanți și pesticide) sunt de asemenea prea puțin tratate înainte de a fi eliberate în natură [7].

**Importanța sistemelor de analiză și control a calității apei în sistemele de tip RAS.** Managementul calității apei în acvacultura intensivă presupune felurite activități, printre care foarte importante sunt monitorizarea parametrilor fizico-chimici și acțiunile de remediere. În opoziție cu acvacultura extensivă, monitorizarea parametrilor apei și tratarea apei în RAS sunt esențiale, deoarece apa netratată afectează în mod direct sănătatea stocului, rata de creștere și în cele din urmă supraviețuirea

fermelor. Combinația dintre eficiența economică a fermelor de pește și controlul poluării produse sunt în prezent comasate sub termenul general de sustenabilitate. În teorie, numeroase metode de control a calității apei sunt disponibile fermierului. În practică, costurile și eficiența acestor metode variază foarte mult și varietatea soluțiilor tehnice este frecvent copleșitoare pentru fermierul piscicol tradițional. Această problemă este agravată în microferme deoarece unele metode de monitorizare și tratare a apei necesită investiții scumpe care nu sunt justificabile la scară mică [2].

În sens pozitiv, un control eficient al calității apei este totuși posibil și scade nevoia și dependența de schimb de apă cu exteriorul. Aceasta reduce costurile de cumpărare de apă și face tehnologia RAS mai sustenabilă prin conservarea resurselor de apă. Menținerea calității optime a apei îmbunătățește de asemenea sănătatea peștilor și eficiența folosirii hranei, reducând cantitatea de furaj folosit, contribuind și mai mult la reducerea costurilor și emisiilor. În aceste feluri, monitorizarea și tratarea apei, dacă sunt făcute cu o alegere inteligentă a metodologiilor, sunt direct corelate cu sustenabilitatea microfermelor RAS [8].

## 2. MATERIALE ȘI METODE

Pentru acest proiect (numit RASCONTROL), a fost construită o facilitate de cercetare pentru evaluarea de metodologii de menținere a calității apei în microferme RAS. Acest sistem experimental are două stații pilot RAS și un sistem automat de monitorizare a calității apei. Stațiile pilot sunt fiecare formate din: un bazin de creștere a peștelui de 350 L; decantor de 300 L; filtru mecanic grosier cu 5 saltele de burete filtrant; filtru fin cu nisip; filtru cu cărbune activ; biofiltru de nitrificare de 100L și un filtru de amoniu cu zeolit. Pompele de recirculare în cele două sisteme RAS sunt fiecare de 1800 L/h, iar scurgerile de supraplin din fiecare treaptă în următoarea sunt de 50 mm diametru (Fig. 2.).

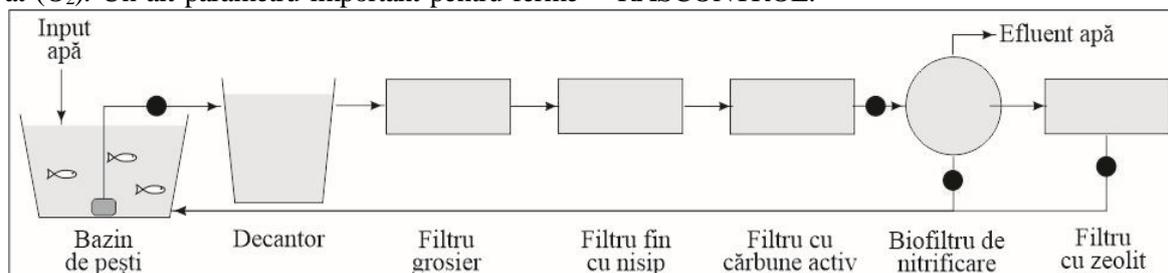
Biofiltrele de nitrificare ale celor două stații pilot sunt constituite din câte un vas cilindric cu o capacitate de 100 L, aerat cu o pompă de aer cu o capacitate de 60 L/min. Bazinele de nitrificare au fost umplute cu 30 kg de SAM – material suport pentru instalarea biofilmului de nitrificare. Sistemul de comandă și control a calității apei "RASCONTROL" este format din sistemul de comandă propriu-zis (Fig. 3) și o cuvă cu electrozi (Fig. 4).

Principiul în acest proiect pentru scăderea costurilor de monitorizare a parametrilor apei în microferme RAS este următorul: - a fost întâi stabilită o listă de parametri fizico-chimici cheie pentru analiza apei în ferme RAS, măsurabili cu senzori electrochimici. Acești parametri

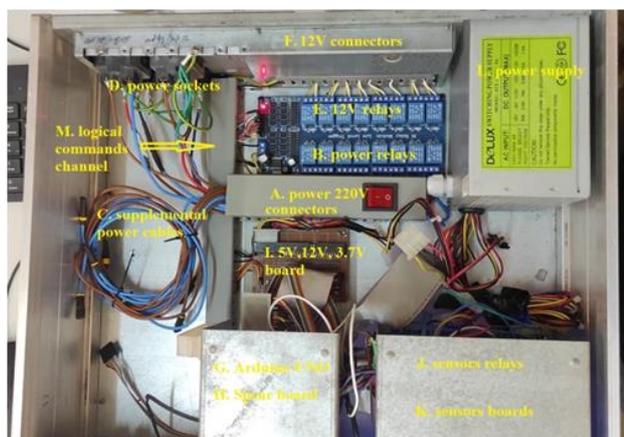
## MONITORIZAREA APELOR UZATE GENERATE DE FERMELE PISCICOLE...

sunt: temperatura, pH, conductivitate/salinitate, amoniul ionizat ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritul ( $\text{NO}_2^-$ ), nitratul ( $\text{NO}_3^-$ ) și oxigenul dizolvat ( $\text{O}_2$ ). Un alt parametru important pentru ferme

RAS, este carbonul organic total (TOC), care poate fi estimat prin fotometrie și de asemenea compatibilă cu RASCONTROL.



**Fig. 2.** Circuitul apei în stația pilot RAS pentru evaluarea de metodologii de menținere a calității apei în microferme RAS de la Universitatea Politehnică Timișoara. Cercurile negre reprezintă punctele de preluare a apei de către sistemul RASCONTROL.



**Fig. 3.** Sistemul de comanda și control a calității apei instalat în stația experimentală RAS de la Universitatea Politehnică Timișoara.



**Fig. 4.** Cuvă cu electrozi asociată cu sistemul de comandă și control a calității apei instalat în stația experimentală RAS (vezi Figurile 2 și 3).

Sistemul RASCONTROL folosește o cuvă în care sunt instalați câte unul din electrozii listați mai sus. Sistemul preia succesiv probe de apă din mai multe locații dintr-o unitate RAS și le direcționează către cuva de măsură. La baza acestui mod de operare este o

unitate multiplexoare cu “*complementary metal-oxide semiconductors*” (CMOS), care permite operarea independentă de felurite electrovalve și pompe distribuite în microferma RAS. În acest fel, costurile de monitorizare electrochimică sunt diminuate substanțial, din cauză că pentru fiecare parametru ce se dorește a fi măsurat, RASCONTROL folosește un singur electrod și un singur aparat de măsură indiferent de câte puncte de măsură există.

Sistemul RASCONTROL este automat și programabil într-un limbaj ușor de învățat de către un fermier. Sistemul experimental RAS din Fig. 2 are patru punctele minime de recoltare a probelor de apă: ieșirea din bazinul de creștere a peștilor, ieșirea din filtrul de cărbune activ, ieșirea din biofiltrul de nitrificare și ieșirea din filtrul cu zeolit. În funcție de necesități, mai multe puncte de recoltare pot fi instalate pentru fiecare unitate RAS. Numărul de unități RAS care pot fi deservite de către un sistem RASCONTROL este limitat doar de durata și frecvența măsurărilor, pentru că orice număr de unități multiplexoare CMOS poate fi instalat.

### 3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Fermele RAS de dimensiuni mari (unele producând peste 100 de tone de pește pe an) își pot permite sisteme hardware și software complexe pentru a gestiona schimbările în chimia apei [5]. Asemenea sisteme costă sute de mii de euro și de cele mai multe ori sunt deservite de personal specializat. Astfel de sisteme nu sunt însă accesibile microfermelor. În astfel de ferme, automatizarea nu este adesea justificabilă din punct de vedere al costurilor și trebuie înlocuită cu testarea frecventă a apei prin teste kit manuale urmate de intervenții directe în loc de automatizare. Pentru asemenea cazuri sunt necesare soluții hardware/software care să fie robuste, ieftine, ușor de învățat și ușor de adaptat la diferite configurații ale sistemului [9], [10].

*Ferma de pesti cu apa recirculata*

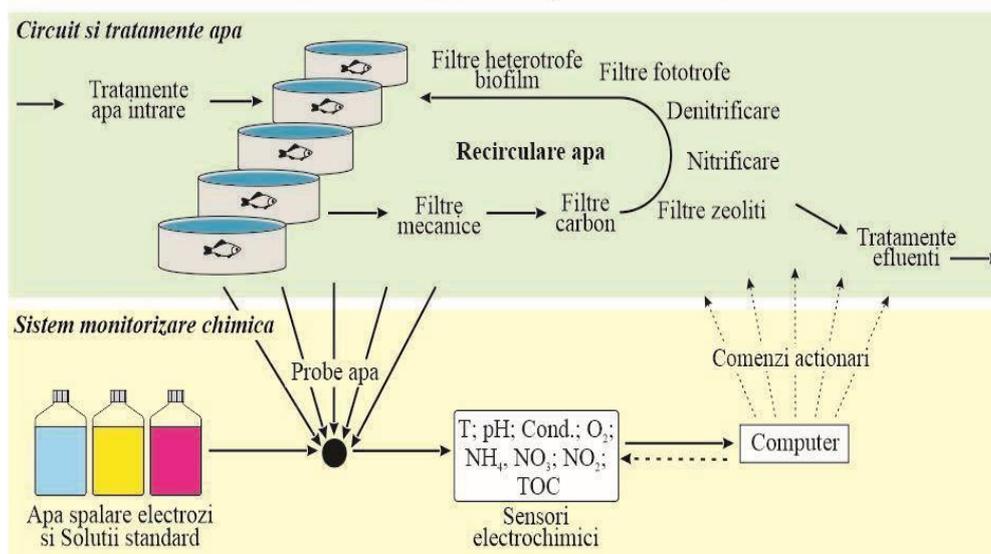


Fig. 5. Schema sistemului RASCONTROL pentru managementul chimiei apei în ferme RAS mici și mijlocii.

Obiectivul principal al proiectului RASCONTROL a fost realizarea și optimizarea unui sistem de monitorizare chimică care să fie sustenabil în ferme RAS mici și mijlocii. Diagrama acestui sistem este prezentată în Fig. 5.

După montarea tuturor componentelor sistemului RASCONTROL de analiză și control a calității apei în cele două stații pilot s-a trecut la testarea răspunsului în sistem RAS a echipamentului de control al amoniacului și nitriților. Experimentul s-a desfășurat pe parcursul a 30 de zile. Apa uzată sintetică folosită în sistem pentru experimente imită apa uzată produsă de pești în timpul creșterii (în mg/L):  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 0,8;  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , 2,4;  $\text{NaCl}$ , 1,5;  $\text{NaHCO}_3$ , 24,0;  $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 0,3;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0,6; și  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 47,6. Pentru a simula sursa de carbon prezentă în sistem s-a adăugat 92,3 mg/L de  $\text{CH}_3\text{COONa}$ . Apa uzată sintetică a fost recirculată prin sistem realizându-se analize cu sistemul de control (Fig. 6).



Fig. 6. Testarea sistemului de control al calității apei în stațiile pilot RAS

Pentru testarea eficienței filtrului de nitrificare, amorsat în prealabil pentru a conține biofilme nitrificatoare, s-au prelevat zilnic probe la intrarea și la ieșirea din filtru pentru a observa evoluția în timp a concentrației de amoniu, nitriți și nitrați (Tab. 1.).

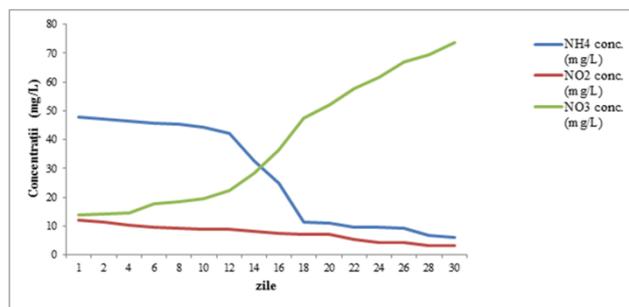
Tabelul 1. Datele obținute după 30 de zile de măsurători.

Interval analiză	$\text{NH}_4$ conc.	$\text{NO}_2$ conc.	$\text{NO}_3$ conc.
Zile	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1	48	12	14
2	47,23	11,46	14,28
4	46,35	10,47	14,68
6	45,68	9,79	17,89
8	45,42	9,25	18,34
10	44,23	8,95	19,58
12	42,17	8,78	22,34
14	32,79	8,37	28,56
16	24,68	7,53	36,41
18	11,31	7,23	47,65
20	10,89	7,13	52,26
22	9,75	5,27	57,67
24	9,48	4,28	61,75
26	9,37	4,39	66,82
28	6,92	3,24	69,45
30	6,23	3,12	73,78

Din Tabelul 1 se observă că nitrificarea crește progresiv, rata accelerându-se între zilele 12 și 18. Acest rezultat a fost atribuit faptului că pe măsură ce biofilmul s-a stabilizat pe suportul SAM, o cantitate tot

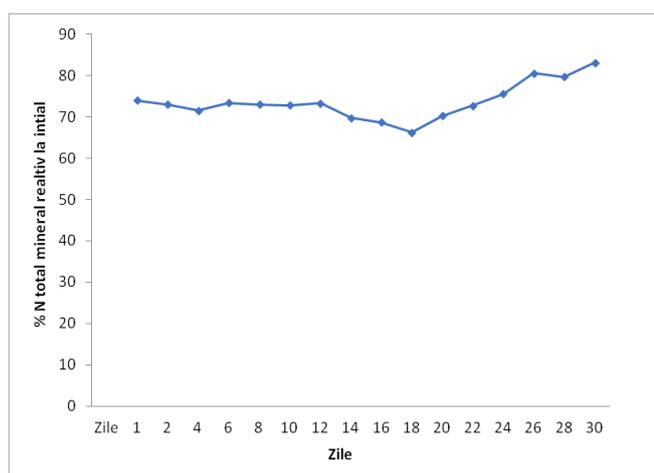
## MONITORIZAREA APELOR UZATE GENERATE DE FERMELE PISCICOLE...

mai mare de amoniu a fost transformată în nitrit și nitrat pe unitatea de timp (Fig. 7).



**Fig. 7.** Evoluția concentrațiilor de amoniu, nitriți și nitrați în filtrul de nitrificare.

În Fig. 7 se observă de asemenea o scădere a amoniului și nitriților, invers proporțională cu creșterea concentrației de nitrat. Acest rezultat stoichiometric este conform cu așteptările, pentru că pe durata acestui mod de operare nu au fost adăugate cantități noi de amoniu în sistem. Pe baza datelor de mai sus se poate calcula evoluția azotului din sistem (Fig. 8). Acest parametru dinamic este foarte important în managementul și gestionarea fermelor RAS pentru că definește capacitatea de a controla toxicitatea apei (în special amoniul și nitritul) în funcție de echilibrul dintre mărimea stocului de pește, cantitatea de hrană adăugată și ratele de recirculație și reînnoire ale apei. Toleranța sistemului de management al azotului la o stare dată este un element cheie în evaluarea sustenabilității operaționale.

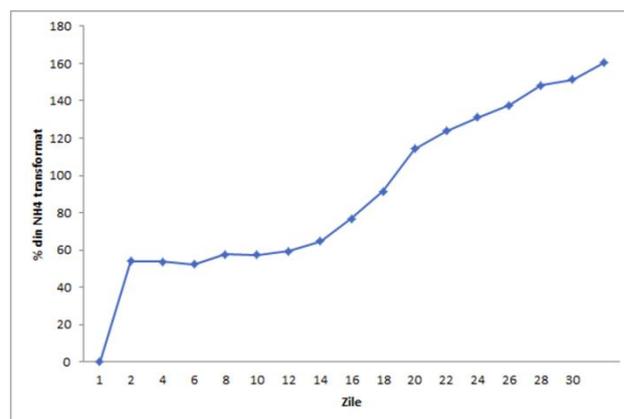


**Fig. 8.** Evoluția bugetului azotului mineral (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> și N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) în sistemul RAS experimental. Axa OY reprezintă evoluția sumei azotului mineral dizolvat relativ la cantitatea de azot mineral adăugată inițial în apă.

În figura 8 se observă o scădere generală a cantității totale de azot mineral relativ la inocul. În sistemul experimental în discuție, această variație poate fi o

combinație dintre eliminarea de azot din sistem (sub formă de amoniac volatilizat), fixare de azot în biofilme în creștere și (mai puțin probabil) fixare de azot molecular în biofilme.

Eficiența de transformare a amoniului solubil în nitrit și apoi în nitrat poate fi calculată procentual pornind de la concentrația de referință de amoniu de 48 mg/L din apa uzată sintetică de acvacultură folosită în experiment (Fig. 9). Se observă o creștere exponențială a eficienței între ziua 10 și ziua 20 de nitrificare.



**Fig. 9.** Rata de transformare a amoniului în nitrat în instalația de nitrificare a sistemului RAS experimental.

Din experimentele realizate pe cele două stații pilot RAS se pot semnala următoarele:

- importanța tratării apei RAS pentru a proteja stocul de pește și mediul impactat de efluenți;
- complexitatea problemelor din fermele RAS este prea ridicată pentru a fi supusă unor interpretări directe asupra cauzelor; și
- răspunsul la schimbări chimice în apa RAS variază în funcție de cauze și context.

Acestea fac ca managementul toxicității apei să fie dependent de caz, ceea ce pune în stare de risc sustenabilitatea microfermelor RAS.

Din analizele pe care le-am efectuat pe două sisteme RAS monitorizate cu un echipament RASCONTROL, a rezultat o succesiune de recomandări manageriale care sunt în prezent implementate în software. Acestea iau forma unor decizii binare de tipul DACĂ/ATUNCI (IF/THEN) cum ar fi:

**DACĂ** concentrația de amoniu crește în paralel cu o creștere a pH-ului există riscul de a afecta stocul de pește cu amoniac înainte ca nitrificarea să aibă loc ... **ATUNCI** măsurile de intensificare a nitrificării prin creșterea aerării sau a ratei de recirculație nu sunt suficiente și/sau rata de reînnoire a apei trebuie crescută.

**DACĂ** rata de producție de amoniac depășește rata de nitrificare a sistemului existent ... **ATUNCI** o

corecție de scurta durată se poate obține printr-o ajustare a pH-ului în direcție acidă pentru a ajunge la valori sub-neutre (~6-7).

**DACĂ** rata de acumulare de amoniu crește iar nitrificarea II este mai puțin eficientă decât nitrificarea I ... **ATUNCI** o acidifiere a apei poate pune stocul de pește în pericol din cauza sinergismului dintre nitrit și salinitate.

**DACĂ** azotul total mineral continuă să crească în sistem dar rata de reînnoire este deja maximizată ... **ATUNCI** sistemul de tratare a apei este insuficient pentru activitatea fiziologică a stocului piscicol prezent.

**DACĂ** creșterea azotului mineral total este în principal cauzată de amoniu ... **ATUNCI** folosirea de apă tratată insuficient pentru îndepărtarea clorului gazos este prohibită din cauza riscului de formare de cloramină care este foarte toxică pentru pești.

Zeci de asemenea recomandări există în managementul calității apei în fermele RAS. În multe situații recomandările de urmat sunt produse din simulări dinamice care anticipează crize. Neutilizarea acestor resurse, neglijarea lor și prea puțină înțelegere a cauzelor și efectelor unor acțiuni eronate poate avea consecințe grave pe sustenabilitatea microfermelor RAS.

Din aceste probleme multiple reiese clar importanța educației vocaționale a operatorilor în domeniul pisciculturii pentru sustenabilitatea sistemelor și pentru reducerea impactului asupra mediului.

#### 4. CONCLUZII

Folosind sisteme RAS experimentale am studiat efectul feluritelor strategii de management al chimiei apei, cu focus pe toxicitatea chimicalelor anorganice cu azot. Complexitatea cauzelor și diversitatea răspunsurilor posibile în RAS face ca un management bazat pe experiența în ferme piscicole extensive să fie insuficientă. Funcționarea optimă a fermelor RAS necesită o pregătire profesională (ex. educație vocațională) de specialitate. Aceste probleme sunt exponențial amplificate de creșterea densității stocului piscicol, a temperaturii apei, și a ratei metabolice. În acest studiu semnalăm nevoia de pregătire profesională de specialitate pentru a asigura răspândirea sustenabilă de microferme RAS.

Educația vocațională RAS (școli piscicole și cursuri de atestare în piscicultură RAS) trebuie să evolueze către:

- Educație în chimia și microbiologia apei în RAS.
- Tehnici avansate de filtrare și biotratamente.
- Sisteme automate de monitorizare și control chimic.
- Sisteme de simulare și predicție a chimiei apei și a costurilor asociate cu diferite strategii manageriale.

– Impact ecologic și minimizare a costurilor pentru tratarea efluenților.

Din punct de vedere al guvernării acestei industrii vedem următoarele priorități:

- Legislație upgradată pentru atestări de tip RAS;
- Stimulente pentru tratarea cât mai eficientă a efluenților din fermele RAS;
- Finanțarea cercetării pentru îmbunătățirea sistemelor RAS, inclusiv a sistemelor de monitorizare și control al chimiei apei;
- Facilitare mediu de business;
- Monitorizare profesională pentru protecția mediului.

#### Mulțumiri

*Cercetarea a fost realizată în cadrul proiectului: PN-III-P2-2.1-PTE-2021-0189; CF 103 PTE /23.06.2022 "Implementarea multiplexoarelor CMOS într-o stație de control a calității apei pentru reducerea costurilor în acvacultură recirculantă (Acronim: RASCONTROL).", finanțat de Ministerul Educației și Cercetării din România, CCDI – UEFISCDI.*

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] Laktuka, K., Kalnbalkite, A., Sniega, L., Logins, K., Lauka, D., *Towards the Sustainable Intensification of Aquaculture: Exploring Possible Ways Forward*. Sustainability, **15**(24), 2023, 16952; doi: 10.3390/su152416952
- [2] Wang, C., Li, Z., Wang, T., Xu, X., Zhang, X., Li, D., *Intelligent fish farm-the future of aquaculture*. Aquac Int., **29**(6):2681-2711, 2021, doi: 10.1007/s10499-021-00773-8.
- [3] Ahmad, A., L., Chin, J., Y., Harun, M., H., Z., M., Low, S., C., *Environmental impacts and imperative technologies towards sustainable treatment of aquaculture wastewater: A review*. Journal of Water Process Engineering, **46**, 2022, 102553.
- [4] Rowan, N., J., *The role of digital technologies in supporting and improving fishery and aquaculture across the supply chain – Quo Vadis?* Aquaculture and Fisheries, **8**, 2023, Pages 365-374, doi: 10.1016/j.aaf.2022.06.003.
- [5] FAO. 2022. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Rome, FAO. doi: 10.4060/cc0461en, ISSN 2410-5902 (online).
- [6] Li, H., Cui, Z., Cui, H., Bai, Y., Yin, Z., Qu, K., *Hazardous substances and their removal in recirculating aquaculture systems: A review*. Aquaculture, **569**, 2023, 739399, doi: 10.1016/j.aquaculture.2023.739399.
- [7] Ahmed, N., Turchini, G., M., *Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation*. Journal of Cleaner Production, **297**, 2021, 126604, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126604.
- [8] Lindholm-Lehto, P., *Water quality monitoring in recirculating aquaculture systems*. Aquaculture, Fish and Fisheries, 2023, doi: 10.1002/aff2.102.
- [9] Li, H., Cui, Z., Cui, H., Bai, Y., Yin, Z., Qu, K., *A review of influencing factors on a recirculating aquaculture system:*

## MONITORIZAREA APELOR UZATE GENERATE DE FERMELE PISCICOLE...

*Environmental conditions, feeding strategies, and disinfection methods.* J World Aquac Soc. **54**:566–602, 2023, doi: 10.1111/jwas.12976.

[10] Naylor, R., Fang, S., Fanzo, J., *A global view of aquaculture policy.* Food Policy, **116**, 2023, 102422, doi: 10.1016/j.foodpol.2023.102422.

---

### Despre autor

#### **Dr. Radu POPA**

River Road Research, 2440 Sheridan Dr., Tonawanda, NY, 14150, SUA

Doctor în ecologie la Universitatea din București (București, România). Doctor în microbiologie la Universitatea din Cincinnati (Cincinnati, SUA). Post-doctorat la CalTech (Pasadena, SUA). Cercetare și predare de peste 30 de ani. Domenii: ecologie acvatică, geo-microbiologie, biotehnologii, inventator de biofiltre cu ticoplancton și macrofite. A predat microbiologie, geobiologie, astrobiologie și biotehnologii la Universitatea de Stat din Portland (Portland, SUA) și la Universitatea Californiei de Sud (Los Angeles, SUA). A fost membru în echipa de cercetare Mars Curiosity Rover a NASA. PI în grant NASA pentru astrobiologie și altele. Conduce o echipă de cercetare la River Road Research (Buffalo, SUA) pentru a dezvolta biotehnologii de reciclare. A publicat: 3 cărți, 8 capitole de carte, >70 articole, total IF 154.178; Indice Hirsh 22.