

CERCETĂRI PRIVIND REALIZAREA SISTEMELOR DE AERARE CU RANDAMENTE DE OXIGENARE SUPERIOARE

Ioana Corina MOGA¹, Gabriel PETRESCU¹, Florina PRICOP²,
Răzvan SCARLAT², Vlad DUMITRU³, Elena Laura MOGA⁴

¹SC DFR Systems SRL, ²INCDTP – București, ³OSIM, ⁴Apa Nova – București

REZUMAT. Procedeu de epurare de tip MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) are ca elemente centrale mici piese din plastic care se află în continuă mișcare în interiorul bazinelor aerobe. Proiectarea echipamentelor/reperelor suplimentare, precum sistemele de aerare, difuzorii de aer sau alte componente ale bazinelor aerobe constituie elemente esențiale pentru buna funcționare a sistemului de epurare în ansamblu. În lucrarea de față se prezintă rezultatele obținute în urma cercetărilor experimentale elaborate în vederea determinării randamentului de oxigenare pentru câteva sisteme de aerare.

Cuvinte cheie: epurare biologică, ape uzate, oxigenare, transfer masă.

ABSTRACT. The MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) biofilm technology is based on specially designed plastic biofilm carriers or biocarriers that are suspended and in continuous movement within a tank or reactor of specified volume. The design of associated aerators, grids, sieves, spray nozzles and other integral parts to the reactor is also of great importance in making up the system as a whole. That is way this paper presents experimental researches in order to determine the efficiency of several aeration system.

Keywords: biological treatment, wastewater, oxygenation, mass transfer.

1. CONSIDERAȚII TEORETICE PRIVIND PROCESUL DE OXIGENARE A APELOR

În stațiile de epurare a apelor uzate, principalul proces de îndepărtare a compușilor organici este cel biologic. În cadrul acestui proces asigurarea oxigenului necesar în masa de apă poate reprezenta între 50 - 80% din consumul energetic total al stației. Se impune astfel o optimizare a procesului de oxigenare cu scopul de a reduce costurile de operare, pentru a garanta o tratare eficientă și fiabilă în astfel de instalații. În acest context, este necesară cunoașterea necesarului de oxigen precum și eficiența sistemelor de aerare, în vederea adoptării celor mai bune decizii investiționale.

Calculul pantei drepte de variație a deficitului de oxigen în timp, în proces nestaționar, conduce la determinarea coeficientului de transfer K_{La} și la precizarea valorilor capacității de oxigenare.

Coeficientul de transfer al oxigenului K_{La} rezultă prin integrarea ecuației $dC/dt = K_{La}(C_S - C_0)$ sub forma:

$$K_{La} = \frac{60}{t_2 - t_1} \ln D_{t_1} / D_{t_2} \quad [\text{ore}^{-1}] \quad (1)$$

În care D_{t_1} , D_{t_2} [mg O₂/l] reprezintă deficitul de oxigen față de saturație la momentul t_1 și respectiv t_2 de

timp. Capacitatea de oxigenare se determină cu formula:

$$C.O. = K_{La} \cdot C_{ss} \cdot V \cdot 10^{-3} \quad [\text{kgO}_2/\text{oră}] \quad (2)$$

unde: $C_{ss} = 11,25$ mgO₂/l este concentrația la saturație la temperatura standard de 10°C (pentru Europa); V - volumul de apă în care funcționează echipamentul de oxigenare în perioada testării.

Pentru asigurarea reproductibilității rezultatelor experimentale se impune adoptarea unei anumite succesiuni a fazelor procedurii de testare și de prelucrare a datelor.

Pentru a nu influența cantitatea de oxigen dizolvat din masa de apă primul pas care trebuie realizat este curățarea bazinului. Realizarea testelor se efectuează în prezența apei curate. Se recomandă alegerea a minim 3 puncte de măsurare a concentrației oxigenului dizolvat în masa: unul în imediata vecinătate a suprafeței libere, al doilea la adâncimea medie și ultimul în apropierea radierului. Echipamentul de oxigenare trebuie să fie capabil să omogenizeze întreaga cantitate de apă din bazin în ceea ce privește cantitatea de oxigen dizolvat și implicit să asigure o bună amestecare. Din literatura de specialitate este cunoscut faptul că oxigenul dizolvat trebuie să crească de la 10% la 80% față de saturație într-o perioadă de 10...30 minute. Echipamentului de oxigenare trebuie lăsat să funcționeze aproximativ două ore pentru ca apa din bazin să fie saturată cu oxigen și bine

omogenizată. Se determină cu ajutorul senzorilor de oxigen concentrația oxigenului dizolvat în masa de apă-proba martor. Față de această valoare se calculează, prin relații stoichiometrice, cantitatea necesară de sulfat de sodiu pentru dezoxigenarea completă a apei. Aceasta se majorează cu circa (10-30)% și se prepară soluția concentrată care se va introduce în bazin. Totodată se introduce și catalizatorul reacției de dezoxigenare, clorura de cobalt, preparată sub forma unei soluții concentrate. Concentrația clorurii de cobalt nu trebuie să depășească 0,05 mg/l, exprimată în cobalt, pentru ca eroarea produsă prin interferența catalizatorului cu testul standardizat pentru determinarea concentrației oxigenului dizolvat, să fie sub valoarea de 5%.

În timpul funcționării echipamentului de oxigenare se determină direct concentrația oxigenului dizolvat cu analizoare automate la un interval de 30...60 secunde.

Se determină valorile deficitului de oxigen $D_t = C_s - C_t$, unde C_t reprezintă concentrația măsurată la diferite momente de timp t . Se reprezintă valorile deficitului de oxigen în raport cu timpul în coordonate semilogaritmice, iar panta acestei drepte este proporțională cu valoarea coeficientului de transfer de masă K_{La} .

Pentru a reduce posibilitatea apariției erorilor, în special prin considerarea valorilor de capăt ale dreptei $\ln D_t = f(t)$, se ia în calcul numai variația deficitului în gama (20...80)% din valoarea concentrației la saturație.

Determinarea performanțelor de oxigenare se face pentru intervalul $(0,2-0,8)C_s$ pentru eliminarea zonelor de capăt unde variația este prea rapidă și respectiv lentă. Se aplică metoda regresiei liniare sau neliniare pentru determinarea coeficientului de transfer K_L [s^{-1}]. Datorată dispersiei punctelor unei diagrame $\ln D_t = f(t)$, cu toate că alura de variație sugerează o liniaritate în domeniul $(0,2...0,8)C_s$, trasarea dreptei implică un grad de subiectivitate a celui care o efectuează. Se va putea elimina cu succes această subiectivitate prin prelucrarea statistică a datelor primare după metoda regresiei liniare.

Se consideră expresia coeficientului de transfer $K_L = (\ln D_{t1} - \ln D_{t2}) / (t_2 - t_1)$ sub forma $-\ln D = K_{La} \cdot t + \ln D_0$. Se vor determina coeficienții ecuației propuse $\ln D = A + Bt$ prin metoda celor mai mici pătrate. Se va trasa curba de variație a coeficientului de transfer funcție de debitul de aer insuflat de generatorul pneumatic. Pe baza coeficientului de transfer K_L se determină capacitatea de oxigenare a dispozitivului de aerare C.O [kg O₂/h] cu formula (2). Apoi se pot calcula variațiile randamentului de oxigenare η_{ox} [%] cu formula:

$$\eta_{ox} = \frac{0,21 \cdot C.O.}{\rho_{ox} \cdot Q_{aer}} \cdot 100 \quad (3)$$

Acest parametru exprimă cât la sută din debitul de oxigen introdus ($0,21Q_{aer}$) de generatorul pneumatic rămâne dispersat în mediul lichid.

2. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ÎN VEDEREA DETERMINĂRII RANDAMENTELOR DE OXIGENARE PENTRU DIFERITE SISTEME DE AERARE

Măsurătorile experimentale s-au realizat în cadrul unui bazin cu înălțimea utilă de 2 m unde s-au montat, pe rând, 5 sisteme de aerare. S-au realizat teste de oxigenare atât pentru apă curată cât și pentru apă curată cu suport artificial mobil (SAM).

Tehnologia de epurare care folosește suportul artificial mobil are ca principiu de bază dezvoltarea și fixarea unei populații uriașe de bacterii pe un suport de plastic intensiv aerat, eliminând necesitatea recirculării nămolului activ. Datorită suprafeței mari de expunere și fixare oferită de aceste elemente purtătoare toate procesele biologice sunt de circa 5 ori mai rapide și mai eficiente decât la sistemele clasice. Suprafața ocupată de bazinele stației de epurare sunt semnificativ reduse. Suportul artificial mobil utilizat în cazul de față în cadrul măsurătorilor este prezentat în figura 1.



Fig. 1. Suport artificial mobil.

Densitatea specifică permite acestor elemente să plutească liber „între ape”, iar datorită mișcării permanente de revoluție și a formei rotunde, să nu permită aderența nămolului pe partea exterioară, fiind astfel un mediu necolmatibil și autocurățător. Avantajul incontestabil al elementelor mobile este reprezentat de marea suprafață specifică per unitate de volum oferită pentru dezvoltarea peliculei biologice. Din acest motiv, instalațiile de epurare care utilizează piesa de fixare a biofilmului au o eficiență ridicată de purificare a apei cu un consum redus de energie pe m³ de apă epurată. Biofilmul se dezvoltă în special pe suprafața internă a elementelor, unde este protejat. Elementele purtătoare se găsesc în toată masa de lichid și sunt antrenate în mișcare de către bulele de aer ce realizează oxigenarea apei uzate. Un sistem de oxigenare, situat la baza bazinului asigură menținerea în suspensie a elementelor purtătoare.

Pentru determinarea concentrației de oxigen dizolvat în masa de apă s-au utilizat senzori de ultimă generație, de tip optic, conectați la un controler ce

permite stocarea valorilor înregistrate (oxigen dizolvat, temperatură, dată, oră) și transmiterea acestora către un calculator.

Testarea echipamentelor de oxigenare s-a realizat prin metoda regimului tranzitoriu la variația concentrației oxigenului dizolvat în masa de apă. Principiul metodei constă în măsurarea vitezei de oxigenare a apei curate începând de la un conținutul de oxigen până la concentrația la saturație. Concentrația la zero a oxigenului s-a reglat prin adăugarea în exces a sulfidului de sodiu în prezența ionilor de cobalt, pentru consumarea oxigenului dizolvat din apa inițială. Excesul de sulfid de sodiu, maxim (10 - 20)%, se consumă prin introducerea unei cantități de oxigen, considerând drept moment inițial al determinărilor momentul premergător apariției primei cantități de oxigen dizolvat nereținut de sulfidul de sodiu.

S-au realizat teste și pe diferite tipuri de echipamente de oxigenare. Astfel s-au testat 5 tipuri de sisteme de aerare/difuzori:

- sistem de țevi perforate cu orificii de 1 mm;
- sistem de țevi perforate cu orificii de 2 mm;
- sistem de aerare cu difuzor poros elastomer;
- sistem de aerare mixt (aerator de suprafață și difuzor poros);

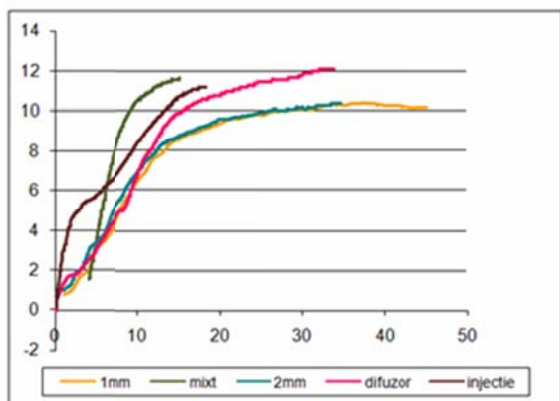


Fig. 2. Curbe de oxigenare pentru cele 5 sisteme de aerare testate în bazinul fără SAM

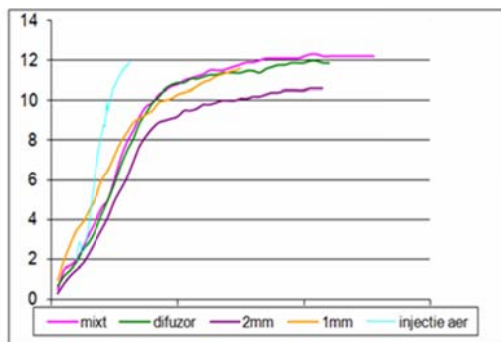


Fig. 4. Curbe de oxigenare pentru cele 5 sisteme de aerare testate în bazinul cu SAM

– insuflare directă de aer prin intermediul unei conducte aplatizate.

Rezultatele obținute în cazul bazinului aerat în condițiile lipsei suportului artificial mobil sunt prezentate în figurile 2 - 3, iar în figurile 4 - 5 se prezintă rezultatele pentru cazul introducerii SAM în bazin.

Din analiza figurilor 3 și 5 se poate observa faptul că în condițiile introducerii SAM în bazin, se îmbunătățește coeficientul de transfer de masă și implicit capacitatea de oxigenare și randamentul instalației de oxigenare (pantele curbilor din figura 5 sunt mai abrupte decât în cazul figurii 3).

Randamentele echipamentelor de oxigenare determinate pe instalația experimentală sunt prezentate în tabelul 1.

3. CONCLUZII

În urma determinărilor experimentale ale oxigenului dizolvat în masa de apă se constată că, în general, datele experimentale nu respectă riguros o lege matematică. Față de curba teoretică de tip repartiție exponențială distribuția datelor primare prezintă o dispersie, datorită atât condițiilor obiective ale determinărilor cât și a celor subiective.

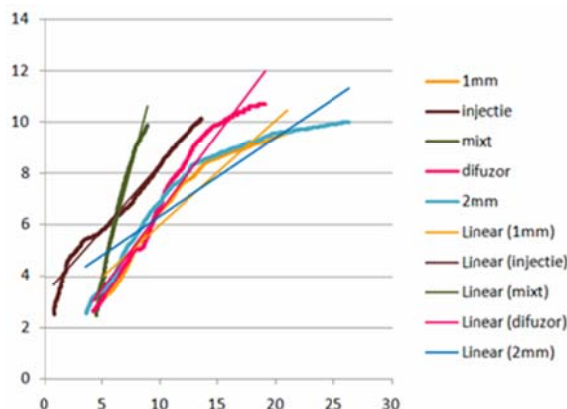


Fig. 3. Curbe de oxigenare pentru cele 5 sisteme de aerare testate în bazinul fără SAM – reprezentarea valorilor din domeniul 0,2-0,8C_s în vederea determinării K_La.

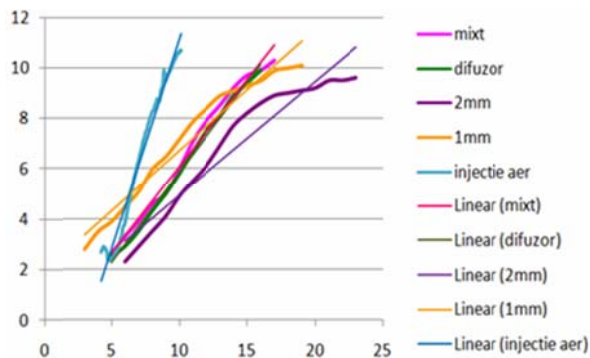


Fig. 5. Curbe de oxigenare pentru cele 5 sisteme de aerare testate în bazinul cu SAM – reprezentarea valorilor din domeniul 0,2-0,8C_s în vederea determinării K_La.

REALIZAREA SISTEMELOR DE AERARE CU RANDAMENTE DE OXIGENARE SUPERIOARE

Tabelul 1. Randamentele sistemelor de aerare testate pe instalația experimentală

	Sistem aerare testat	Randament echipament în bazin fără SAM [%]	Randament echipament în bazin cu SAM [%]
1	Sistem aerare cu țevi perforate 1 mm	7,06	7,48
2	Sistem aerare cu țevi perforate 2 mm	5,21	5,73
3	Sistem de aerare cu difuzor poros	2,36	2,42
4	Sistem de aerare mixt	1,18	1,24
5	Sistem aerare cu insuflare directă de aer	0,78	0,91

Printre condițiile obiective care conduc la dispersia rezultatelor față de repartiția de tip exponențial se amintește în primul rând creșterea neuniformă a concentrației oxigenului dizolvat într-un punct oarecare din bazinul de aerare, neuniformitate datorată curgerii turbulente, formării vârtejurilor întâmplătoare etc. S-a constatat, ca urmare a efectuării testelor experimentale faptul că pentru tehnologia MBBR cel mai eficient sistem de aerare este cel cu țevi perforate de 1 mm.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Metcalf and Eddy, Inc. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, fourth edition. New York: McGraw-Hill, 2003.
[2] Calin A., Theoretical and experimental contributions on the study of the reaeration process in biological reactors, teza de doctorat, 2010.

- [3] Odegaard, H., Rusten, B., Westrum, T., *A new moving bed biofilm reactor-applications and results*, Water Sci. Technol. 29 (10–11) pg. 157–165, 1994.
[4] Robescu D. N., Lanyi S., Robescu D., Constantinescu I., *Tehnologii, instalații și echipamente epurare*, Editura Tehnică, București, 2000.

Mulțumiri

Prezentul articol a fost elaborat ca urmare a finanțării prin proiectul de cercetare nr. 380/20.02.2012, ID/SMIS 1162/36123, acronim CESELEV, finanțat prin Programul Operațional „Creșterea Competitivității Economice” (POS CCE), Axa prioritară 2: Competitivitate prin Cercetare, Dezvoltare Tehnologică și Inovare, Operațiunea: 2.1.1. Proiecte de CD în parteneriat între universități/institute de cercetare și întreprinderi.

Despre autori

CS III dr.ing. **Ioana Corina MOGA**
Universitatea „Politehnica” din București

Este absolventă a Facultății de Energetică, ca șefă de promoție, urmând apoi cursuri de master și doctorat în domeniul protecției mediului. A finalizat în anul 2013 studii de post-doctorat pe specializarea Epurare ape uzate. A publicat, în calitate de autor sau coautor, 3 cărți și peste 50 de articole în reviste de specialitate și în volumele unor conferințe internaționale/naționale. A contribuit la implementarea a peste 10 contracte de cercetare. A deținut 4 cereri de brevet de invenție pentru care a obținut premii și distincții la saloane internaționale de invenție.

CS III ing. **Gabriel PETRESCU**
SC DFR Systems SRL, București

Este director general la DFR Systems SRL, deținând această funcție începând cu anul 2002. Domeniul de activitate este producerea și furnizarea de echipamente destinate stocării și tratării apei potabile și epurării apelor uzate, oferind soluții și pentru canalizare cu vacuum. A fost director de proiecte în cadrul unor programe naționale și internaționale cu fonduri nerambursabile.

CS III ing. **Florina PRICOP**
INCDTP – București

Absolventă a Universității Tehnice „Gh. Asachi” din Iași, Facultatea de Tehnologie și Chimia Textilelor. Activitate: elaborare și coordonare proiecte de cercetare în domeniul textil și al protecției mediului, elaborare de tehnologii ecologice și de protecția mediului, coordonare proiecte de cercetare noi în programe naționale și internaționale. Este coautoare la 3 brevete de invenție. A publicat, în calitate de autor sau coautor, 2 cărți și 35 de articole în reviste de specialitate și în volumele unor conferințe internaționale/naționale.

EDUCAȚIE, CERCETARE, PROGRES TEHNOLOGIC

CS III ing. **Razvan SCARLAT**
INCDTP – București

Absolvent al Universității Tehnice „Gh. Asachi” din Iași, Facultatea de Textile-Pielărie. Activitate: de elaborare proiecte de cercetare în domeniul textil, realizarea de materiale textile cu proprietăți igienico-funcționale superioare, realizarea de structuri textile tricotate cu caracteristici conductive. A publicat, în calitate de autor sau coautor, 3 cărți și peste 30 de articole în reviste de specialitate și în volumele unor conferințe internaționale/naționale. Este coautor în cadrul a 2 brevete de invenție.

Ing. **Vlad Gabriel DUMITRU**
Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci

Este absolvent al Facultății de Energetică din cadrul Universității „Politehnica” din București. Activitate: inginer punere în funcțiune cazane și service cu o experiență de un an în domeniul cazanelor de abur și de apă cu fierbinte de mică și de mare putere, examinator de stat de specialitate în domeniul invențiilor, cu o experiență în domeniu de 10 ani. A participat la conferințe și simpozioane naționale și internaționale în domeniul brevetelor de invenție și invențiilor.

Ing. **Elena Laura MOGA**

Este absolventă a Facultății de Instalații (secția Instalații pentru construcții) din cadrul Universității Tehnice de Construcții București. Activitate: proiectare de rețele publice de alimentare cu apă și canalizare.