A XIV-a Conferinţă internaţională – multidisciplinară,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2014

TEHNOLOGIE DE EPURARE BIOLOGICĂ CU TUBURI POROASE ŞI TUBURI CU MEMBRANĂ ELASTICĂ PERFORATĂ ȘI DIMENSIONAREA INSTALAȚIILOR DE AERARE

Marius Florinel RADU, Valeriu Nicolae PANAITESCU

TECHNOLOGY FOR WASTE WATER TREATMENT WITH POROUS TUBE AERATORS AND ELASTIC PERFORATED MEMBRANE TUBES OF THE BIOLOGICAL WASTE WATER TREATMENT

The paper is to review and assess existing design procedures and provide in-depth design information on critical features of the aeration process using Tube aerators porous and elastic membrane tubes and key parameters affecting its operation and performance that is typically available to the engineering community. Since past decade, the old works started to be replaced with new technologies such as those using tube aerators porous and elastic membrane tubes, especially for industrial and municipal waste water treatment plants. This paper discusses the theory, performance, design procedures, calculation and dimensioning of the aeration using Tube aerators porous and elastic membrane tubes.

Keywords: aeration, porous tubes, tubes with elastic membrane, aeration plants, wastewater, and wastewater treatment schemes
Cuvinte cheie: aerare, tuburi poroase, tuburi cu membrana elastică, instalații de aerare, ape uzate, scheme de epurare

1. Introducere

Transferul de oxigen în procesul de aerare al apelor uzate constituie unul dintre elementele fundamentale ale proceselor biologice şi de aceea

modalitatea de introducere a oxigenului în apa uzată conferă eficiență întregului proces al epurării biologice. Oxigenul transferat în apa uzată trebuie să satisfacă consumul biochimic de oxigen al substanţelor organice, să asigure respirația endogenă a organismelor din nămol, să asigure un amestec adecvat și să mențină o concentrație minimă a oxigenului dizolvat, de 1…2 mg/l în bazinul de aerare.

Aeratoarele cu tuburi poroase şi tuburile cu membrană elastică perforată sunt dispozitive formate din mai multe tuburi asamblate într-un „bloc de aerare” sau „modul de aerare” (vezi figura 1). Tuburile pot fi din material poros sau din material plastic îmbrăcat într-o membrană elastică perforată. Porii membranei au dimensiuni de ordinul a 0,1...0,2 mm.

Lungimea tuburilor situate de o parte şi de alta a unui distribuitor (tronson de conductă servind pentru distribuţia aerului în tuburile de aerare) variază de la 0,50 m la 1,25 m. Numărul de tuburi de pe o singură parte a distribuitorului aferent unui modul de aerare, variază între 4 şi 10.

Suprafaţa ocupată în plan de un modul de aerare este exprimată în m^2 unde l_x şi l_y sunt lăţimea, respectiv lungimea modulului (figura 1, c). În unele soluţii de echipare cu „module de aerare cu tuburi”, acestea se amplasează lângă un perete al bazinului (sau culoarului) de aerare, la distanţa de circa 25-30 cm de radier.

2. Descrierea facilităţilor tehnologice de testare

Instalaţia de alimentare cu aer a unui modul poate fi concepută astfel încât prin intermediul unei articulaţii speciale, blocul să poată fi ridicat, prin rotire, la suprafaţă, pentru revizie sau reparaţii (figura 1).

Parametrii de proiectare a tuburilor sunt:

– debitul specific de aer (aferent unui metru liniar de tub),

$$q_1 = 2 \ldots 8 \text{ N m}^3 \text{ aer/h, m tub};$$

– capacitatea specifică nominală de oxigenare în apă curată c_0' (g O_2/m^3 aer, m ad. de insuflare);

– densitatea tuburilor:

$$D_t = \frac{n_t}{A_0} \text{ (tuburi/m}^2\text{)} \qquad (1)$$

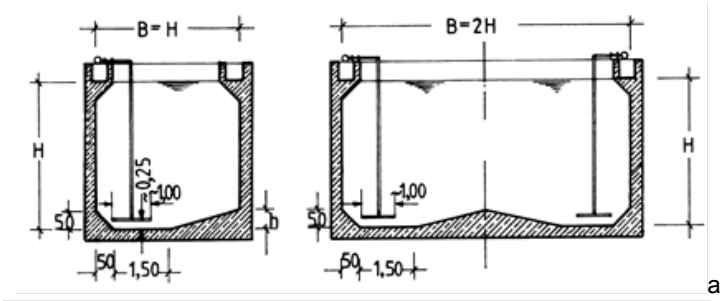
– indicele energetic i_E (kg O_2/kWh);

– pierderea de sarcină locală prin tub, h_1 (cm);

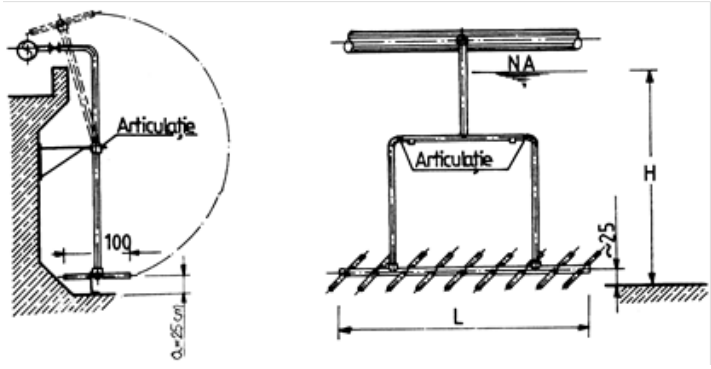
– randamentul specific de transfer al oxigenului, η_m (%/m);

– distanţa dintre tuburi, d_0 = 300...500 mm;

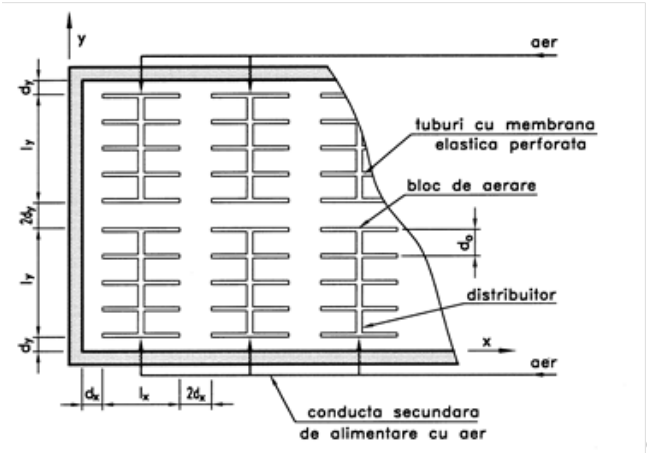
– capacitatea specifică de oxigenare aferentă unui tub de lungime l, situat la adâncimea de insuflare H_i, rezultă din relaţia:



a)



b)



c)

Fig. 1 Bazine cu nămol activat – Sistem de aerare cu tuburi cu membrană elastică perforată
a) Insuflarea simetrică şi asimetrică a aerului prin tuburi cu membrană elastică perforată; b) Modul (sau bloc) de aerare din tuburi prevăzut cu articulaţie; c) Dispunerea modulelor (blocurilor) de aerare cu tuburi

$$c_t = q_1 \cdot c'_0 \cdot H_i \cdot l \text{ (g } O_2\text{/h)} \quad (2)$$

– dacă lungimea tubului este 1,0 m, atunci c_t devine:

$$c'_t = q_1 \cdot c'_0 \cdot H_i \text{ (g } O_2\text{/h, m de tub)} \quad (3)$$

Numărul n_t de tuburi de lungime l, respectiv n'_t cu l = 1 m, se pot obţine cu relaţiile:

$$n_t = \frac{\overline{CO}_{hnec} \cdot 10^3}{c_t \cdot \alpha} \text{ şi } n_t = \frac{\overline{CO}_{hnec} \cdot 10^3}{c_t' \cdot \alpha} \quad (4)$$

Lungimea totală necesară a tuburilor, rezultă:

$$L = \frac{\overline{CO}_{hnec} \cdot 10^3}{c'_t \cdot \alpha} \text{ (m)} \quad (5)$$

în care c_t şi c'_t au fost definite mai sus, iar $\overline{CO}_{hnec}$ definită anterior, se introduce în relaţia (5) în kg O_2/h.

Coeficientul α = 0,70...90 permite trecerea de la condiţiile de oxigenare în apă curată, la condiţiile de oxigenare în apă uzată.

Numărul de module (blocuri) de aerare rezultă din expresia:

$$n_M = \frac{n_t}{n_{tm}} \in \{Z\} \quad (6)$$

unde:

- n_t – numărul total de tuburi cu lungimea l, determinat conform relaţiei (4);
- n_{tm} – numărul de tuburi cu lungimea l aferentă unui modul de aerare.

Numărul de tuburi amplasate de o singură parte a distribuitorului blocului este n_{tb} / 2.

3. Evoluţia tehnologiilor de testare

3.1 Metoda şi tehnologiile aplicate

a) *Metoda de testare* presupune calculul principalilor parametri de proiectare ai furtunurilor din membrană elastică perforată și ai panourilor de aerare cu membrană elastică perforată.

Dispozitivul de aerare constă dintr-o conductă de alimentare cu aer (2) a două tuburi distribuitoare (3) amplasate perpendicular pe conducta de alimentare, la capetele acesteia (figura 2).

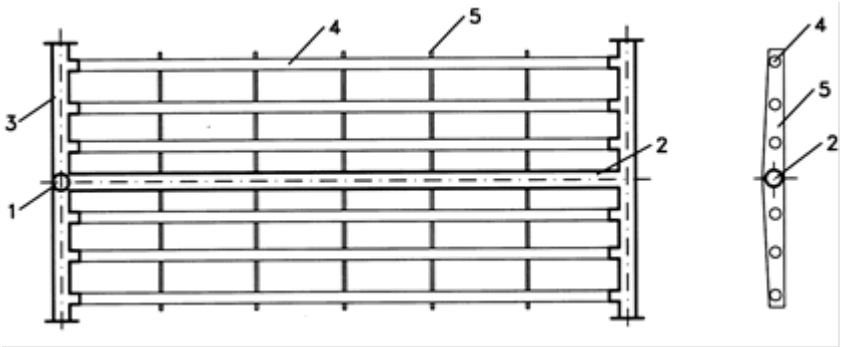


Fig. 2 Panou cu furtunuri elastice perforate
1 - punct de alimentare cu aer a panoului; 2 - conductă de alimentare cu aer;
3 - distribuitor; 4 - furtun elastic; 5 - distanţier

Panourile de aerare cu membrană elastică perforată sunt dispozitive de insuflare a aerului formate dintr-un panou suport din tablă de inox peste care se amplasează o membrană elastică perforată din polietilenă sau polipropilenă.

Aerul este insuflat între panoul suport şi membrană şi prin deformarea (umflarea) acesteia deschide porii membranei şi permite ieşirea aerului sub formă de bule fine în masa de apă.

Se realizează sub forma unor panouri dreptunghiulare, cu lăţimi

b = 150, 300, 500, 1000 mm, lungimi variabile (după necesitate)

l = 1000, 1500, 2000, ..., 4500 mm şi cu grosimea de circa 20 mm.

Panourile se montează direct pe radierul bazinului de aerare, fixându-se prin intermediul unor şuruburi (figura 3).

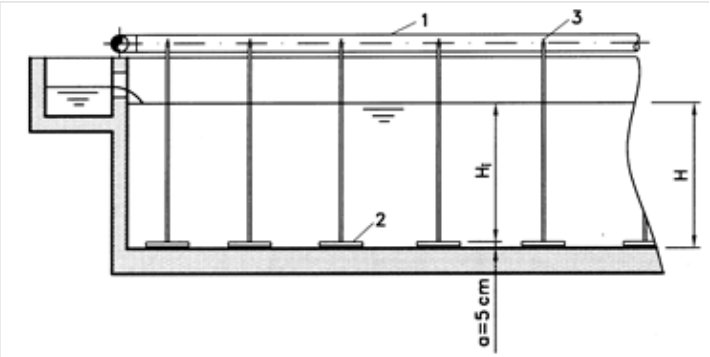
b) *Tehnologia aplicată* presupune utilizarea distribuitoarelor care sunt legate între ele prin furtunuri din material plastic (polietilenă, polipropilenă ş.a.) perforate, amplasate câte 1-3 bucăţi de fiecare parte a conductei de alimentare şi paralele cu aceasta.

Pentru a evita o deformare exagerată a furtunurilor în momentul insuflării de aer, furtunurile sunt trecute prin orificiile unor distanţiere solidare cu conducta de alimentare.

Alimentarea cu aer a panourilor se face individual printr-un furtun de polietilenă, debitul de aer putând fi controlat şi reglat cu ajutorul unui robinet sferic.

Furtunurile sunt alimentate cu aer dintr-o conductă secundară, amplasată deasupra apei şi pozată de obicei pe pasarele, în lungul bazinului de aerare. Când este cazul (la lăţimi mari de bazin, de exemplu) se prevăd dispozitive de distribuţie a aerului la mai multe panouri, amplasate pe radierul bazinului, între panouri.

Dispozitivul de distribuţie este alimentat la rândul lui cu un furtun din polietilenă de la conducta secundară pozată în lungul bazinului.



Detaliu amplasare dispozitive de insuflare a aerului

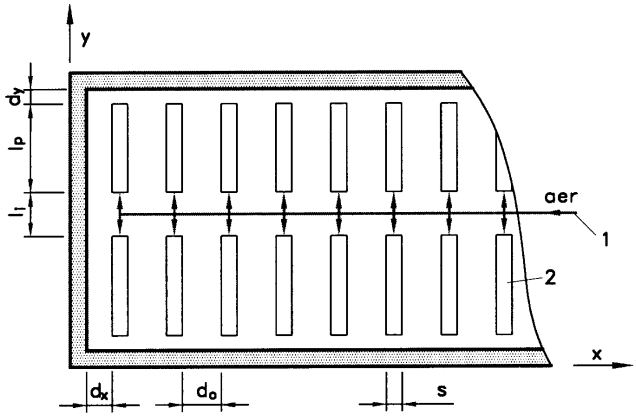


Fig. 3 Bazine cu nămol activat. Sistem de insuflare a aerului cu panouri cu membrană elastică perforată

1 - conductă secundară de alimentare cu aer; 2 - panou de aerare cu membrană elastică perforată; 3 - robinet de izolare

3.2 Dimensionarea furtunurilor din membrană elastică perforată și a panourilor

Parametrii de proiectare a furtunurilor din membrană elastică perforată sunt:

– debit specific de aer: q_d = 2...6 N m^3 aer/h, m furtun;
– capacitatea specifică nominală de oxigenare, c_0' (g O_2/m^3 aer, m ad. de insuflare);
– distanţa dintre furtunuri, d_0 = 150, 300, 600 şi 900 mm;
– numărul de furtunuri pentru un panou, n_{tp} = 2...6 furtunuri;

– indicele energetic i_E (kg O_2/kWh);
– pierderea de sarcină locală prin furtunurile perforate, h_1 = 30 ... 80 (cm);
– randamentul specific de transfer al oxigenului, η_m (% / m).

Parametri de proiectare a panourilor cu membrană elastică perforată, sunt:

– debitul specific de aer: q_p =5...50 N m^3 aer/h. m^2 de panou;
– capacitatea specifică nominală de oxigenare în apă curată: c_0' (g O_2/m^3 aer, m ad. de insuflare);
– factorul de acoperire cu panouri a radierului:

$$f_a = \frac{A_{panouri}}{A_{radier}} \cdot 100 \ (\%) \tag{7}$$

Acest factor poate varia, funcţie de capacitatea de oxigenare orară necesară între 10 şi 100 %.

– indicele energetic i_E (kg O_2/kWh);
– pierderea de sarcină locală prin panourile cu membrană elastică perforată, h_1 = 30...60 (cm);
– randamentul specific de transfer al oxigenului, η_m (% / m);
– tipul de panou utilizat pentru aerarea apelor uzate orăşeneşti: s = 15 cm, l_p = 1,0...4,50 m şi chiar mai lungi (conform necesităţilor);
– aria unui panou:

$$A_{1p} = s \cdot l_p \ (m^2/\text{panou}) \tag{8}$$

– debitul de aer aferent unui panou, în condiţii normale, admiţând un debit specific de aer q_p (N m^3 aer/h, m^2 de panou) este:

$$q_{1p} = A_{1p} \cdot q_p \ (\text{N } m^3 \text{ aer/h, } m^2 \text{ de panou}) \tag{9}$$

– capacitatea de oxigenare corespunzătoare unui panou, se calculează cu relaţia:

$$c_p = c_0' \cdot H_i \cdot q_{1p} \ (\text{g } O_2\text{/h, panou}) \tag{10}$$

– aria totală necesară a panourilor:

$$A_{pnec} = \frac{Q_N}{q_{1p}} \ (m^2) \tag{11}$$

– numărul total necesar al panourilor se poate determina cu una din relaţiile următoare:

$$n_p = \frac{\overline{CO}_{h\,nec}}{c_p} \ (\text{panouri}) \tag{12}$$

$$n_p = \frac{A_{p\,nec}}{A_{1\,p}} \text{ (panouri)} \quad (13)$$

$$n_p = \frac{Q_N}{q_{1\,p}} \text{ (panouri)} \quad (14)$$

În relaţiile de mai sus, Q_N reprezintă debitul de aer necesar în condiţii normale (standard), determinat cu relaţia

$$Q_N = \frac{\overline{CO}_{h\,nec} \times 10^3}{c_0' \times H_i} \text{ (N m}^3\text{ aer/h)} \quad (15)$$

unde: • $\overline{CO}_{h\,nec}$ (kg O_2/h) – capacitatea de oxigenare orară necesară sistemului;

• c_0' c (g O_2/N m^3 aer, m ad. de insuflare) – capacitatea specifică nominală de oxigenare caracteristică dispozitivului de insuflare adoptat;

• H_i (m) – adâncimea de insuflare.

Expresia (15) permite calculul debitului de aer necesar în condiţii *normale* (standard), adică pentru:

– temperatura aerului $\theta_N = 10\,°C$;

– presiunea atmosferică p_N = 760 mm Hg.

iar $\overline{CO}_{h.\,nec}$, capacitatea orară necesară, determinată cu relațiile:

$$\overline{CO}_{nec} = O_n \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{c_S}{c_{SA} - c_B} \cdot \sqrt{\frac{K_{10}}{K_T}} \cdot \frac{760}{p} \text{ (kg O}_2\text{/zi)} \quad (16)$$

Cantitatea de oxigen necesară, se poate determina şi cu relaţia:

$$O_n = O_{ns} \cdot V \text{ (kg O}_2\text{/zi)} \quad (17)$$

în care:

– O_{ns} este oxigenul necesar specific şi reprezintă cantitatea zilnică de oxigen necesară microorganismelor dintr-un m^3 de volum util al bazinului de aerare pentru sinteză şi pentru mineralizarea substanţelor organice biodegradabile. Se măsoară în $\frac{\text{kg O}_2}{\text{kg CBO}_5\text{ red}}$ şi are valorile în funcţie de tipul epurării (convenţionale, cu nitrificare etc.).

$$O_{ns} = \frac{O_n}{V} \quad (18)$$

– V este volumul util total al bazinului de aerare.

în care: • O_n – conform relației (17), în $\mathrm{kg\ O_2/zi}$;

• c_s – concentraţia de *saturaţie* a oxigenului dizolvat în apă curată, în condiţii normale (standard) şi anume: tempera-tura T (°C) şi presiunea atmosferică 760 mm col. Hg. Valorile c_s sunt indicate în tabelul 1 în funcţie de temperatură;

• c_{SA} – concentraţia de *saturaţie* a oxigenului dizolvat în amestecul apă-nămol din bazinul de aerare la temperatura de lucru T (în calcule se poate considera T = 12...20 °C).

Valorile c_{SA} sunt indicate, de asemenea, în tabelul 1.

Tabelul 1

T (°C)	0	5	10	15	20	25	30
0	1	2	3	4	5	6	7
c_s (mg O_2/dm^3)	11,6	12,8	11,3	10,2	9,2	8,4	7,6
c_{SA} (mg O_2/dm^3)	11,3	10,0	9,0	8,1	7,4	6,7	6,1

• c_B – concentraţia *efectivă* a oxigenului dizolvat din amestecul de apă-nămol din bazinul de aerare la temperatura de lucru T.

Valoarea concentraţiei c_B poate fi considerată în calcule 1... 3 mg O_2/dm^3.

În procedeul de aerare cu panouri cu membrană elastică perforată, sistemul de conducte pentru transportul şi distribuţia aerului este mult simplificat.

El constă din conducte secundare de transport a aerului, montate în lungul bazinelor pe pasarele de acces, la care se branşează furtunuri din polietilenă pentru alimentarea cu aer a panourilor.

Astfel, se elimină reţeaua de conducte de pe radierul bazinelor care era necesară în cazul procedeului de aerare cu difuzoare.

4. Rezultate experimentale şi concluzii

■ Experimentele au furnizat rezultate bune, în condiţii stabile, pe mai mult de un an de operare a instalaţiei, rezultând următoarele avantaje:

▪ elasticitatea în funcţionare a sistemului de aerare, putându-se urmări cât mai fidel încărcarea cu substanţe organice a bazinului;

▪ posibilitatea realizării unui amestec cât mai omogen al apei, aerului şi nămolului din bazinul de aerare şi evitarea depunerilor printr-o circulaţie adecvată a lichidului din bazin şi prin realizarea unor viteze minime necesare menţinerii în suspensie a nămolului activat;

▪ posibilitatea de a proiecta lucrările de retehnologizare şi de extindere, dar trebuind să se ţină seama de tipul şi capacitatea instalaţiilor de epurare existente, utilizându-le pe cât posibil la maximum, cu modificări constructive minime;
▪ nu necesită o filtrare avansată a aerului, montarea lor nu necesită amenajări complicate și rețelele de distribuție sunt reduse;
▪ costuri de investiţie minime, instalare simplă şi rapidă, consumul de energie electrică este redus, rezultând un cost scăzut de epurare a apelor uzate;
▪ posibilitate de extindere a capacităţii, eficienţă şi calitate.

■ Rezultatele sunt şi de data aceasta pozitive, cu un plus pentru aerarea cu tuburi poroase şi tuburi cu membrană elastică perforată, recomandând folosirea lor pentru staţii de epurare care necesită retehnologizarea și îmbunătățirea calității apei epurate.

BIBLIOGRAFIE

[1] Arden, E., Lockett, W.T., *Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters*, J. Chem. Soc. Ind., 1914, 33 (10).
[2] Asgher, M., Bhatti, H.N., Ashraf, M., Legge, R.L., *Recent developments in biodegradation of industrial pollutants by white rot fungi and their enzyme system*, Biodegradation, 19**,** 2008, 771-783.
[3] Baeza, J.A., Ferreira, E.C., Laufuente, J., *Knowledgebased supervision and control of waste-water treatment plant: A real-time application*, Water Science and Technology, 41, 2000, 129 – 137.
[4] Bucur, T., *Tehnologii ecologice de protecţia mediului*, Editura Mira Design, Sibiu, 2003.
[5] Wang, L.K. et al., *Handbook of Environmental Engineering*, Volume 8: Biological Treatment Process, The Humana Press, Totowa, 2010, NJ.
[6] * * * *Design Manual, Fine Pore Aeration Systems*, US Eenvironmental Protection Agency, Office for research and Development, 1989 Cincinnati, Ohio.

Drd. Ing. Marius Florinel RADU
consilier, Ministerul Dezvoltării Regionale şi Administrației Publice
e-mail: radu.marius@gmail.com
Prof.univ.em.Dr.Ing. Valeriu Nicolae PANAITESCU
Departamentul de Mecanica fluidelor, Maşini hidraulice şi Ingineria mediului,
Universitatea Politehnică Bucureşti, membru AGIR
e-mail: valeriu.panaitescu@yahoo.com