

UNIVERSITATEA **POLITEHNICA** DIN BUCUREȘTI FACULTATEA DE INGINERIE MECANICĂ ȘI MECATRONICĂ

Departamentul Termotehnică, Motoare, Echipamente Termice și Frigorifice

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Cercetări teoretice și experimentale privind reducerea timpului de aerare a apelor

Autor: Drd. Prof. Mihaela Petroșel (Bănică)

Conducător de doctorat: Prof. emerit. dr. ing. Nicolae Băran

CUPRINS

INTRODUCERE	3
Capitolul 1. Stadiul actual al cercetărilor privind aerarea și oxigenarea apelor	4
Capitolul 2. Transferul de masa interfazic aer – apă	5
Capitolul 3. Prezentarea generatoarelor de bule	9
Capitolul 4. Influența parametrilor geometrici ai generatoarelor de bule fine asupra concen	trației
de oxigen dizolvat în apă	13
Capitolul 5. Influența parametrilor funcționali ai generatoarelor de bule fine asupra concen	trației
de oxigen dizolvat în apă	20
Capitolul 6. Analiza funcționării unui generator de bule, fix sau în mișcare de rotație, aflat î	ntru-un
volum de apă stagnantă	27
Capitolul 7. Concepția, proiectarea și construcția instalației experimentale	31
Capitolul 8. Cercetări experimentale privind influența parametrilor geometrici și funcțional	li asupra
timpului de aerare a apelor	32
CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	38
C1 Concluzii generale	
C2 Contribuții originale	
C3 Perspective de continuare a cercetărilor	40
Bibliografie selectivă	41

INTRODUCERE

În prezenta lucrare se expun rezultatele teoretice și experimentale privind influența parametrilor geometrici și funcționali ai generatoarelor de bule fine asupra concentrației de oxigen dizolvat în apă. Se prezintă o soluție de reducere a timpului de aerare a apelor stagnante.

La construcția generatoarelor de bule fine s-au utilizat tehnologii neconvenționale și anume prelucrarea prin electroeroziune. Astfel s-au realizat orificii în placa perforată a generatorului de bule fine cu diametrul de 0,1 [mm]; în cazul cercetărilor din prezenta lucrare se vor utiliza generatoarele de bule fine la care placa are orificii cu diametrul de 0,3 [mm].

În cadrul lucrării avem un proces de aerare a apelor, mai clar:

– În apă se introduce aer atmosferic 21% O_2 și 79 % N_2 ;

Când ne referim la "oxigenarea apelor" înseamnă că la aerul atmosferic se adaugă un gaz (O₂) provenit din:

a) butelii de oxigen;

b) concentratoare de oxigen;

c) aer atmosferic + ozon livrat de generatoare de ozon.

În cazul a) la aerul preluat din atmosferă se adaugă oxigen dintr-o butelie căruia i se măsoară debitul volumic, în raport cu aerul, procentul fiind 25%, 50%, 75%, 100%.

În cazul b) în apă se insuflă aer cu conținut redus de azot, participațiile volumice ale amestecului gazos fiind 95% $O_2 + 5$ % N_2 .

Acest amestec este livrat de aparate numite concentratoare de oxigen care conțin substanțe numite "zeoliți" care absorb azotul din aerul introdus în aparat.

În cazul c) pe baza efectului CORONA, se obține din aerul atmosferic ozon (O₃) care în amestec cu aerul din atmosferă se insuflă în bazinul cu apă.

Capitolul 1. Stadiul actual al cercetărilor privind aerarea și oxigenarea apelor

În acest capitol se prezintă principalele soluții constructive ale instalațiilor de aerare a apelor și anume: mecanice, pneumatice și mixte; separat se prezintă instalațiile de oxigenare a apelor la care aerul insuflat în apă este îmbogățit cu oxigen livrat de către o butelie de oxigen, de concentratoare de oxigen sau generatoare de ozon.

Având în vedere multitudinea tipurilor și formelor generatoarelor de bule de gaz care sunt introduse în apă rezultă necesitatea unor cercetări teoretice și experimentale care să trateze unitar întregul sistem de aerare al apelor. În literatura de specialitate [1][2][3] se utilizează termenul de aerare sau oxigenare; se propune a se efectua următoarea distincție:

- Prin aerarea apelor se înțelege introducerea în apă a aerului atmosferic (21%O₂ + 79%N₂);
- Prin oxigenarea apelor se înțelege introducerea unui amestec gazos format astfel:
- aer atmosferic + oxigen dintr-o butelie preluat în anumite participații volumice (25%, 50%, 75%, 100%);
- aer cu conținut redus de azot (Oxigen 95%, Azot 5%) livrat de concentratoare de oxigen;
- aer atmosferic + ozon livrat de generatoare de ozon.

Aerarea cu bule fine este mai eficientă decât cea realizată cu bule grosiere deoarece aria specifică dintre cele două sisteme fluide (aer – apă) este mai mare. Pentru intensificarea fenomenului de transfer de masă a oxigenului din aer către apă se impune realizarea unei suprafețe maxime de contact interfazic, prin urmare un diametru cât mai mic al bulei de gaz.

În prezenta lucrare se urmăresc următoarele obiective :

 a) Realizarea unei analize extinse a stadiului actual al cercetărilor teoretice, numerice şi experimentale privind influența parametrilor geometrici şi funcționali asupra concentrației de oxigen dizolvat în apă, pe baza unei documentări extinse, a unei selecții riguroase a bibliografiei de specialitate.

b) Identificarea și prezentarea într-o manieră științifică coerentă a problemelor legate de analiza parametrilor hidro-dinamici și geometrici care intervin în procesul de aerare a apelor și de integrare numerică a ecuației diferențiale a vitezei de transfer a oxigenului către apă; prezentarea unei soluții originale privind creșterea concentrației de O₂ dizolvat în apă.

- c) Realizarea unui program de calcul a funcției $C_{0_2} = f(\tau)$.
- d) Cercetări privind variația debitului de aer în funcție de diametrul orificiilor

I. Se menține constant turația (n_r) și se schimbă G.B.F. cu Ø 0,1[mm]; Ø 0,3[mm]; Ø 0,5[mm].

Ca urmare se construiește curba $C_{o_1} = f(\Phi)$.

II. Se modifică turația și se observă $C_{O_1} = f(n_r)$

e) Prezentarea unei soluții originale în care G.B.F. este mobil, adică el se află în mișcare de rotație în bazinul cu apă.

Se compară rezultatele privind:

- Funcționarea G.B.F. în poziție fixă (n = 17 orificii Ø 0,3 [mm]);
- Funcționarea G.B.F. în poziție mișcare de rotație (n = 17 orificii $\emptyset 0,3$ [mm]);

f) Prezentarea sugestivă a rezultatelor experimentale obținute, tabelar şi grafic, pentru toate cazurile cercetate şi compararea rezultatelor determinate experimental cu rezultatele obținute teoretic în vederea stabilirii variantei celei mai favorabile privind viteza de creştere a concentrației de oxigen dizolvat în apă.

Capitolul 2. Transferul de masa interfazic aer – apă

În acest capitol se prezintă noțiuni fundamentale privind transferul de masă gaz – lichid; mai concret aer – apă; se integrează numeric ecuația vitezei de transfer a oxigenului către apă și se elaborează un program de calcul pentru determinarea concentrației de oxigen dizolvat în apă. În finalul capitolului se analizează performanțele instalațiilor de aerare și anume: randamentul și eficiența aerării.

Transferul de masă gaz – lichid în ape stagnante

Transferul de masă numit și difuzie [4] este determinat de migrația particulelor din zona de parametru intensiv ridicat (presiune, temperatură, concentrație) către zona în care același parametru este mai coborât.

Desfășurarea proceselor de transfer de masă este influențată de diferențele de parametrii intensivi precum temperatura, presiunea și concentrația unui component.

În sisteme bifazice transportul unui component se poate face între zone aflate în faze diferite; de exemplu dintr-un gaz în lichid (aer în apă). În acest caz transferul de masă este interfazic.

Fenomenele de transport sunt descrise cu ajutorul unor mărimi fizice care caracterizează cantitatea de substanță, energie, etc., ce traversează o anumită suprafață imaginară, iar ecuația de transport are forma:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \nabla f(t, x, \nabla \Phi) = g(t, x, \Phi), \qquad (2.1)$$

Unde: Φ – reprezintă mărimea fizică ce descrie fenomenul de transport;

f – reprezintă fluxul;

g – este sursa care generează procesul de transport.

Dacă Φ este concentrația, iar t = τ , obținem:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla f(t, x, C, \nabla C) = g(t, x, C), \qquad (2.2)$$

Fenomenul de transport manifestat printr-un transfer de atomi sau molecule sub influența unor neuniformități de concentrație sau densitate reprezintă difuzia moleculară.

Difuzia constă în migrarea moleculelor dintr-o regiune cu concentrație mai mare spre cea cu concentrație mai mică. Procesul de difuzie se realizează prin mecanismul de agitare termică. Intensitatea cu care se produce fenomenul de difuzie depinde de starea de agregare a sistemului, aceasta fiind cu atât mai mare cu cât gradientul de concentrație este mai mare (*figura 2.1.*).





Clasificarea proceselor de difuzie pentru transferul de masă gaz - lichid

Mediul în care se desfășoară procesul	Natura mișcării	Regimul de curgere	Natura fenomenului de difuzie	
A – Fluid stagnant	-	-	Difuzie moleculară	
B – Fluid în mișcare	B1 – Mișcare liberă	-	Difuzie convectivă naturală (convecție de masă naturală)	
	B2 – Mișcare forțată	Regim laminar	Difuzie convectivă forțată (convecție de masă forțată)	
		Regim turbulent	Difuzie convectivă forțată (convecție de masă forțată)	

Tabelul 2.1. Clasificarea proceselor de difuzie pentru sisteme gaz – lichid

Ecuația vitezei de transfer a oxigenului către apă

Expresia vitezei de transfer a oxigenului către apă este dată de relația [1]:

$$\frac{dC}{d\tau} = ak_L(C_s - C) \tag{2.3}$$

unde:

- ak_L reprezintă coeficientul volumetric de transfer de masă [s⁻¹];
- C_s concentrația la saturație $[m^2/m^3]$;
- *C* concentrația la momentul τ [kg/m³];

$$C = f(x,\tau)$$

Relația (2.3) reprezintă o ecuație diferențială ordinară care se rezolvă utilizând una din metodele de integrare numerică [5] [6].

Integrarea numerică a ecuației vitezei de transfer a oxigenului către apă

Se reia relația (2.3) care reprezintă ecuația vitezei de transfer a oxigenului în apă:

$$\frac{\mathrm{d}C}{\mathrm{d}\tau} = a \cdot k_L (C_s - C) \quad ,$$

Relație în care:

- *C* este concentrația oxigenului dizolvat la momentul τ , la momentul $\tau = 0$, C devine C₀;
- $a \cdot k_L$ coeficientul volumetric de transfer de masă;
- C_s concentrația oxigenului în apă, la saturație.

Valorile $a \cdot k_L$ și C_s sunt constante cu timpul.

Dacă se impun condițiile la limită $C = C_0$ pentru $\tau = 0$, ecuația (2.3) poate fi integrată:

$$\frac{\mathrm{d}C}{C_s - C} = a \cdot k_L \,\mathrm{d}\tau \tag{2.4}$$

În ipoteza $C < C_s$, rezultă, după integrare,

$$-\ln(C_s - C) = a \cdot k_L \cdot \tau + ct \tag{2.5}$$

Constanta se obține din condiția la limită:

$$C = C_0 \quad \text{pentru } \tau = 0 \tag{2.6}$$

și are valoarea

$$ct = -\ln(C_s - C_0) \tag{2.7}$$

Se introduce (2.7) în (2.5) și rezultă:

$$C = C_s - (C_s - C_0) \cdot e^{-a \cdot k_L \cdot \tau}$$

$$\tau = 0.$$
(2.8)

În cazul studiat, în rezervor se introduce încontinuu aer timp de 120 minute, deci, regimul este nestaționar, C_{o_2} crește în timp.

În regim nestaționar mărimea măsurată este concentrația oxigenului din apă în funcție de timp. Se măsoară: temperatura apei și aerului, debitul de gaz, la intrarea în rezervor și presiunea gazului în corpul G.B.F.

Program de calcul pentru determinarea concentrației de oxigen dizolvat în apă

Pentru elaborarea unui program de calcul pentru integrarea numerică a ecuației vitezei de transfer a oxigenului către apă, se utilizează metoda Euler.

Pentru a stabili pe cale teoretică creșterea concentrației de oxigen dizolvat în apă în funcție de timpul de oxigenare a apei trebuie cunoscute următoarele mărimi:

– concentrația inițială a oxigenului pentru o temperatură a apei dată (t = 25 [°C]), $C_0=5,12 \text{ [mg/dm}^3$];

– concentrația la saturație $C_s = 9,2 \text{ [mg/dm^3]}$ pentru aceeași temperatură a apei;

– pasul de integrare: se estimează o durată de cercetare de circa două ore; se alege pasul: h=1 [min] (n=121); $\Delta \tau = 120$ [min].

Din literatura de specialitate [7] pentru un debit de aer insuflat de 540 [dm³/h], menținut constant se adoptă o valoare pentru ak_L de 0,09 [s⁻¹].

Schemă logică de calcul pentru integrarea numerică a ecuației diferențiale a vitezei de transfer a oxigenului către apă este prezentată în *figura 2.2*.



Fig. 2.2. Schema logică de calcul pentru integrarea numerică a ecuației diferențiale a vitezei de transfer a oxigenului către apă

Performanțele instalațiilor de aerare

Aceste performanțe sunt: randamentul oxigenării și eficiența oxigenării.

 a) Randamentul oxigenării indică procentul de oxigen transferat către apă din cantitatea totală de oxigen (aproximativ 21 % procente volumice din cantitatea de aer atmosferic) introdusă în apă.

b) Eficiența aerării indică cantitatea de oxigen transferată apei, pentru un consum de energie electrică de 1[kWh].

Capitolul 3. Prezentarea generatoarelor de bule

Acest capitolul abordează tipuri de generatoare de bule atât fixe cât și mobile; se detaliază soluția constructivă pentru generatorul de bule, mobil, aflat în mișcare de rotație în apă stagnantă, generator care va fi utilizat în cercetările experimentale care vor fi efectuate în prezenta lucrare.

Generatoare de bule fine, fixe

Pentru a urmări subiectul tezei de doctorat se prezintă un generator de bule fine în două situații:

- a) Generatorul de bule fine, în stare fixă, în rezervorul cu apă;
- b) Generatorul de bule fine, în stare mobilă (el se rotește în rezervorul cu apă).
 În ambele situații a) și b) generatorul are 17 orificii cu diametrul de 0,3 [mm].

În acest paragraf se va prezenta mai întâi G.B.F. fix montat în interiorul unui bazin cu

apă.

Astfel, s-au realizat următoarele tipuri de G.B.F:

- a) G.B.F cu orificii de 0,1 [mm], placa cu orificii fiind din plexiglas transparent.
- b) G.B.F cu orificii de 0,3 [mm], placa cu orificii fiind din plexiglas transparent;
- c) G.B.F cu orificii de 0,5 [mm], placa cu orificii fiind din aluminiu;

Prezentarea generatoarelor de bule fine de formă dreptunghiulară

În *figura 3.1*. este prezentată placa cu orificii pentru G.B.F. cu 152 orificii, Ø 0,1 [mm].



Fig.3.1. Placa cu orificii a generatorului de bule fine a) vedere în plan; b) secțiune transversală

Pentru realizarea orificiilor în placă, s-a creat o alveolă (un canal) adâncă de 3 [mm] și lungă de 304 [mm]; orificiul prin care iese aerul are o grosime de 2 [mm]. Ulterior, cu ajutorul unei C.N.C (control numeric computerizat) care are o instalație specială pentru microprelucrări tip KERN Micro cu ajutorul căreia s-au realizat, în canal, 152 de orificii cu Ø 0,1 [mm].

Această instalație de găurire are o precizie de ± 0.5 [µm], ceea ce a asigurat crearea unui G.B.F. care constituie o soluție constructivă originală.

În *figura 3.2* se prezintă soluția constructivă a G.B.F.



Fig. 3.2. Generator de bule fine de aer

1 – rezervor de aer comprimat; 2 – placa cu orificii;

3 - racord pentru măsurarea presiunii aerului comprimat

Prin racordul 3 se măsoară presiunea statică a gazului cu ajutorul unui manometru cu indicație digitală.

Ca formă constructivă s-a ales o placă de formă dreptunghiulară. În *figura 3.3*. se prezintă schița acestei plăci.



Fig. 3.3. Placă cu 17 orificii de Ø0,3mm

Generatoare de bule fine, mobile

Aceste generatoare sunt prevăzute cu un mecanism electromecanic de deplasare pentru:

I) o mișcare de rotație în bazinul de apă;

II) o mișcare de translație în bazinul de apă.

La ambele generatoare viteza de miscare este constantă.

În lucrare se studiază doar varianta I.

Schema acestui nou tip de G.B.F. este prezentată în *figura 3.4*. În acest caz conducta de aer comprimat pătrunde prin partea superioară a bazinului (1).



Fig. 3.4. Schita G.B.F. imersat în apă

1-rezervor cu apă; 2-platformă pentru mecanismul de acționare a tijei G.B.F. 3-etanșare mobilă;
4-conductă de aer comprimat; 5-tija G.B.F; 6-element constructiv al G.B.F.; 7-lagăr axial;
8-orificii cu diametrul de 0,3mm

Acest tip de G.B.F. este prevăzut cu o etanșare mobilă (3) care permite antrenarea în mișcare de rotație a plăcii cu orificii.

Soluții pentru creșterea concentrației de oxigen dizolvat în apă

În *figura 3.4*. se prezintă o schemă în care se observă:

I) Soluții actuale utilizate pentru creșterea concentrației de oxigen dizolvate în apă;

II) O soluție originală aferentă unui G.B.F., și anume rotația G.B.F. în bazine cu apă; prin acest procedeu în aceleași condiții inițiale (V, p, t_{H2O} , H), timpul în care C₀ tinde către C_s se reduce la jumătate.



Fig. 3.5. Soluții actuale și de perspectivă pentru atingerea valorii: $C_0 \rightarrow C_s$

Capitolul 4. Influența parametrilor geometrici ai generatoarelor de bule fine asupra concentrației de oxigen dizolvat în apă

În acest capitol se analizează ecuația de transfer a oxigenului către apă. Se prezintă variante constructive ale generatoarelor de bule fine și amplasarea lor în bazine cu apă.

Analiza ecuației de transfer a oxigenului către apă

Ecuația vitezei de transfer a oxigenului dizolvat în apă este dată de relația:

$$\frac{dC}{d\tau} = ak_L(C_s - C) \quad \left[\frac{kg}{m^3 \cdot s}\right] \tag{4.1}$$

unde: $\frac{dC}{d\tau}$ – viteza de variație a concentrației oxigenului dizolvat în apă (viteza de transfer a

oxigenului către apă) $\left[\frac{kg}{m^3} \cdot \frac{1}{s}\right];$

 ak_L – coeficientul volumetric de transfer de masă $[s^{-1}]$;

 C_s – concentrația masică a oxigenului la saturație în faza lichidă [kg/m^3];

 C_0 – concentrația masică inițială a oxigenului în faza lichidă [kg/m^3].

În domeniul oxigenării apelor se cunoaște că, cu cât diametrul bulei de gaz (aer) este mai mic, cu atât viteza de transfer a oxigenului către apă este mai mare. În acest sens, se vor prezenta rezultatele cercetărilor teoretice privind performanțele generatoarelor de bule fine construite prin tehnologii speciale [8] [9] [10]. Prin microgăurire s-au realizat trei variante de plăci perforate cu orificii de: $\emptyset_1 = 0,1$ [mm], $\emptyset_2 = 0,3$ [mm], $\emptyset_3 = 0,5$ [mm].

Cu notațiile din *figura 4.1*, la proiectarea și construcția G.B.F. trebuie să fie respectate următoarele două condiții:



Fig. 4.1. Placă cu orificii pentru dispersia aerului în apă d₀ – diametrul orificiului, d₀ =2r₀; s – grosimea plăcii perforate D₀ – diametrul bulei de gaz la ieșire din orificiu (în momentul detașării ei)

$$I \to \frac{s}{d_0} > 3 \tag{4.2}$$

$$II \to \frac{d}{d_0} > 8 \tag{4.3}$$

În cadrul cercetărilor experimentale pentru cele trei variante se obțin:

I.
$$d_0 = 0, 1 mm; \ \frac{s}{d_0} = \frac{2}{0,1} = 20; \ \frac{d}{d_0} = \frac{2}{0,1} = 20$$
 (4.4)

II.
$$d_0 = 0,3 mm; \ \frac{s}{d_0} = \frac{2}{0,3} = 6,66; \ \frac{d}{d_0} = \frac{6}{0,3} = 20$$
 (4.5)

III.
$$d_0 = 0.5 mm; \ \frac{s}{d_0} = \frac{2}{0.5} = 4; \ \frac{d}{d_0} = \frac{10}{0.5} = 20$$
 (4.6)

Se observă că pentru cele trei variante raportul $\frac{s}{d_0} > 3$, iar raportul $\frac{d}{d_0} = 20$, deci $\frac{d}{d_0} > 8$.

Din cercetările anterioare [11] [12] și ținând cont de arhitectura instalației pentru cercetări experimental rezultă numărul de orificii pentru cele trei variante.

Autoarea propune o nouă generație de G.B.F. la care orificiile de dispersie a aerului în apă sunt prelucrate prin microgăurire ($\emptyset_1 = 0,1$ [mm], $\emptyset_2 = 0,3$ [mm], $\emptyset_3 = 0,5$ [mm]).

Variante constructive de generatoare de bule fine și rezultate teoretice de calcul reducerii timpului de aerare.

În continuare se prezintă cele trei variante constructive ale G.B.F.

Pe baza programului de calcul construit pentru rezolvarea ecuației vitezei de transfer a oxigenului din aer în apă s-a determinat curba de variație a concentrației de O₂ dizolvat în apă în funcție de timp pentru cele trei variante constructive ale G.B.F.

A) Cercetări teoretice pentru generatorul de bule fine, cu placă perforată cu 152 de orificii Ø 0,1 [mm].

În figura 4.2. se observă placa cu orificii.



Fig. 4.2. Placa cu orificii a G.B.F.a) Vedere în plan; b) secțiune transversală

Pentru realizarea orificiilor în placă (*figura 4.3.*), s-a creat o alveolă (un canal) adâncă de 3 [mm] și lungă de 304 [mm]; orificiu prin care iese aerul are o grosime de 2 [mm]. Ulterior, cu ajutorul unei C.N.C care are o mașină specială pentru microprelucrări tip KERN Micro s-au realizat în canal *152 de orificii* cu \emptyset 0,1 [mm]. Această mașină are o precizie de ±0.5 µm, ceea ce a asigurat crearea unui G.B.F care constituie o soluție constructivă originală.

În figura 4.3. se observă soluția constructivă a G.B.F pentru varianta I.



Fig. 4.3. Generator de bule fine de aer

rezervor de aer comprimat; 2- garnitură de etanșare; 3- placa cu orificii; 4- conductă de alimentare cu aer comprimat a G.B.F Ø 18mm; 5-racord pentru măsurarea presiunii aerului comprimat; 6- șuruburi de fixare a plăcii cu orificii de cadrul rezervorului

În urma rulării programului de calcul [13] [14], pentru G.B.F în varianta I s-a construit curba C =f(τ), având ca date inițiale: $\stackrel{\bullet}{V} = 600 \left[dm^3 / h \right]$; C₀ = 5,48 [mg/dm³], τ = 120 [min]; $t_{H,O} = 24 \,^{\circ}C$; C_s = 8,4 [mg/dm³].



Fig. 4.4. Variația concentrației de O₂ dizolvat în apă în funcție de timp pentru G.B.F cu 152 orificii Ø 0,1 [mm]

B) Cercetări teoretice pentru generatorul de bule fine, cu placă perforată cu 17 orificii Ø 0,3 [mm]

Ca formă constructivă s-a ales o placă de formă dreptunghiulară. O schiță a acestei plăci este prezentată în *figura 4.5*:



Fig. 4.5. Placă perforată cu 17 orificii de Ø 0,3 [mm]

Distanța dintre orificii este de 6 mm, iar grosimea plăcii de aluminiu este de 2 [mm]. *Figura 4.6.* prezintă variația concentrației de O₂ dizolvat în timp pentru G.B.F de mai sus.



Fig. 4.6. Variația concentrației de O₂ dizolvat în apă în funcție de timp pentru G.B.F cu 17 orificii Ø 0,3 [mm]

C) Cercetări teoretice pentru generatorul de bule fine, cu placă perforată cu orificii Ø 0,5 [mm]

Ca formă constructivă pentru placa cu orificii se alege o placă de formă dreptunghiulară. O schiță a acestei plăci este prezentată în *figura 4.7*:



Fig. 4.7. Placă perforată cu 6 orificii de Ø 0,5 [mm]

Pentru această variantă distanța dintre orificii este de 10 [mm], iar grosimea plăcii de aluminiu este de 2 [mm].

Variația concentrației de O₂ dizolvat în timp pentru G.B.F este prezentată în figura 4.8.



Fig. 4.8. Variația concentrației de O₂ dizolvat în apă în funcție de timp pentru G.B.F cu 6 orificii Ø 0,5 [mm]

Pentru a evidenția influența diametrului orificiului de insuflare a aerului în apă asupra concentrației de oxigen dizolvat în apă, se poate face o comparație a cercetărilor teoretice realizate pentru cele trei tipuri de generatoare de bule fine [15][16].



Fig. 4.9. Variația concentrației de O₂ dizolvat în apă în funcție de timp
1- G.B.F cu 152 orificii Ø 0,1 [mm], 2- G.B.F cu 17 orificii Ø 0,3 [mm],
3- G.B.F cu 6 orificii Ø 0,5[mm]

Analizând figura 4.9 se pot trage următoarele concluzii:

- creșterea concentrația de O_2 dizolvat în apă este mai rapidă în cazul generatorului de bule fine cu orificii Ø 0,1 [mm] față de generatoarele de bule fine cu orificii Ø 0,3 [mm] și Ø 0,5 [mm];

- se confirmă faptul că, un diametru mai mic al orificiilor de insuflare a aerului în apă conduce la o oxigenare mai eficientă a volumului de apă.

Amplasarea generatoarelor pe radierul bazinului

Evident o dată cu creșterea numărului de G.B.F. introduse în apă, se va scurta timpul în care $C_0 \rightarrow C_s$ [17].



În *figura 4.10*. se observă 4 G.B.F. montate în paralel.

Fig. 4.10. Ansamblul a patru G.B.F. înainte de a fi introduse în rezervorul cu apă [18]

În acest caz, timpul de aerare se reduce de patru ori, adică devine 30 min (figura 4.11.).

Pentru a evidenția cât mai clar beneficiile utilizării unui număr mai mare de generatoare de bule fine, se compară curbele de variație a concentrației de oxigen dizolvat în apă pentru $n_{\text{G.B.F}} = 1, 2, 3, 4.$



Fig. 4.11. Variația concentrației oxigenului dizolvat în apă în funcție de timp 1- $n_{G,B,F} = 1 \text{ G.B.F.}$; 2- $n_{G,B,F} = 2 \text{ G.B.F.}$; 3- $n_{G,B,F} = 3 \text{ G.B.F.}$; 4- $n_{G,B,F} = 4 \text{ G.B.F.}$.

Din *figura 4.12*. se poate observa variația concentrației de oxigen dizolvat în apă în timp în funcție de numărul de generatoare de bule fine, precum și scurtarea duratei timpului de oxigenare.

Capitolul 5. Influența parametrilor funcționali ai generatoarelor de bule fine asupra concentrației de oxigen dizolvat în apă

În acest capitol se analizează succesiv influența concentrației inițiale (C_0) asupra procesului de aerare, influența presiunii aerului introdus în apă asupra procesului de aerare, influența temperaturii și a presiunii atmosferice asupra concentrației de oxigen la saturație. Se relevă influența sarcinii hidrostatice și a gradului de turbulență a apei asupra procesului de aerare.

Influența lui Cs asupra procesului de aerare

Concentrația oxigenului la saturație (C_s) sau oxigenul maxim dizolvat reprezintă cantitatea maximă de substanță (oxigen) care este dizolvată în masa de apă (apă curată, uzată etc.). Aceasta se poate măsura cu aparate electronice ce folosesc senzori electrochimici sau optici. În mediile acvatice saturația oxigenului reprezintă o măsură relativă a oxigenului maxim dizolvat în apă. Super-saturația reprezintă de cele mai multe ori probleme în mediile acvatice

deoarece prezența oxigenului în cantități foarte mari conduce la decompresii și îmbolnăvirea unor organisme din mediul acvatic.

Influența lui C₀ asupra procesului de aerare

Concentrația inițială de oxigen dizolvat (C_0) este considerată ca fiind concentrația minimă de oxigen dizolvat necesară viețuitoarelor acvatice, pentru a supraviețui sau pentru a consuma anumiți compuși, în cazul apelor uzate [19][20].

Pentru diferite valori ale concentrației inițiale s-au obținut curbele teoretice din *figura 5.1.* (obținute folosind metoda Runge-Kutta în Mathlab), în care se observă influența concentrației inițiale asupra vitezei de transfer a oxigenului din aer în apă.



Fig. 5.1. Concentrația oxigenului dizolvat $C=f(\tau)$ la diferite valori ale concentrației inițiale 1- $C=f(\tau)$ la $C_0=0$ [mg/dm³]; 2- $C=f(\tau)$ la $C_0=3$ [mg/dm³]; 3- $C=f(\tau)$ la $C_0=6$ [mg/dm³].

Din *figura 5.1*. se observă că pentru valori mai mari ale lui C₀, valoarea lui C crește mai repede.

Influența presiunii aerului introdus în apă asupra procesului de aerare

Presiunea aerului la intrarea în generatorul de bule fine este un parametru foarte important în selectarea, evaluarea și monitorizarea generatoarelor de bule fine, indiferent de forma sau materialul din care acestea sunt construite.

Consumul de energie necesar aerării din consumul total al unei stații de epurare este de circa 67%, fapt ce justifică cercetările științifice cu privire la obținerea unor G.B.F. cu cădere mai mică de presiune sau cu o capacitate de oxigenare mai mare, la un consum de aer comprimat redus [21][22].

Energia consumată este calculată folosind relația [23]:

$$E_c = \Delta p \cdot \dot{V} \cdot \tau \quad [J] \tag{5.1}$$

unde:

 $\Delta p [N/m^2]$ – căderea de presiune;

$$\Delta p = \Delta p_{\text{retea alimentare}} + \Delta p_{\text{sistem aerare}} [\text{N/m}^2]$$
(5.2)

 $\dot{V}[m^3/s]$ – debitul sistemului de aerare;

 τ [s] – timpul de funcționare.

Pentru ca un G.B.F. sa fie performant, acesta trebuie să aibă o cădere de presiune cât mai mică și să emită bule fine în mod uniform pe toată suprafața de lucru a acestuia. O cădere de presiune pe echipamente mai mică conduce direct la un consum energetic mic, folosit la comprimarea aerului și implicit la o eficiență mai bună a instalației de aerare [21].

Influența debitului de aer introdus în apă asupra procesului de aerare

Debitul de aer cu care este alimentat generatorul de bule fine are un rol semnificativ în transferul oxigenului dizolvat în apa staționară. Acesta influențează coeficientul de transfer de masă ak_L și deci viteza de transfer de masă [24][25].

În funcție de debitul de aer ales pentru fiecare echipament se determină si viteza de transfer a oxigenului în apă fiecare regim având caracteristicile sale.

Pentru cercetările experimentale s-a ales un regim dinamic. Debitul de aer influențează semnificativ $ak_{L(20)}$, $\partial C/\partial \tau$, η_{OX} , E în toate experimentele efectuate. Odată cu creșterea debitului de aer cresc și $ak_{L(20)}$ și $\partial C/\partial \tau$, dar η_{OX} și E scad. La un debit de aer mai mare, crește turbulența la interfața lichidului și viteza de reînnoire a filmului de lichid.

Influența temperaturii apei asupra concentrației de oxigen la saturație

Temperatura influențează majoritatea proceselor fizice, chimice și biologice care participă în cadrul procesului de aerare. Deci, în procesul de aerare, temperatura influențează regimul oxigenului din apă, intensitatea proceselor de descompunere bacteriană, gradul de toxicitate a unor substanțe.

Influența temperaturii asupra concentrației la saturație la 695 [*mmHg*], 760 [*mmHg*] și 795 [*mmHg*] sunt prezentate în *figura 5.2*. Valorile pe baza cărora a fost întocmit graficul au fost preluate din publicațiile de specialitate.



Fig. 5.2. Variația concentrației la saturație cu temperatura la diferite valori ale presiuni atmosferice.

1- C_s funcție de temperatura la 795 [mmHg]; 2- C_s funcție de temperatura la 760 [mmHg];

3- Cs funcție de temperatura la 695 [mmHg];



Fig. 5.3. Concentrația oxigenului dizolvat $C=f(\tau)$ la diferite temperaturi [26]. 1- $C=f(\tau)$ la 0 [°C]; 2- $C=f(\tau)$ la 20 [°C]; 3- $C=f(\tau)$ la 40 [°C].

După cum se poate observa, concentrația oxigenului dizolvat în timp în apă este invers proporțională cu temperatura în sensul că, dacă temperatura apei aerate crește, scade concentrația la saturație a oxigenului și implicit avem o viteză de transfer mai mică.

Presiunea atmosferică este un alt factor ce influențează direct concentrația la saturație a oxigenului dizolvat în apă. O corelație a acestui o factor putem observa în *tabelul 5.1*, la o temperatură a apei de 20 [°C] [1].

p _{at}	795	790	785	780	775	770	765	760	755	750
C_s	12,40	12,30	12,20	12,10	12,10	12,00	11,90	11,80	11,70	11,70
p _{at}	745	740	735	730	725	720	715	710	705	700
C_s	11,60	11,50	11,40	11,30	11,30	11,20	11,10	11,00	11,00	10,90
p _{at}	695	690	685	680	675	670	665	660	655	650
C_s	10,80	10,70	10,60	10,60	10,50	10,40	10,30	10,20	10,20	10,10
p _{at}	645	640	635	630	625	620	615	610	605	600
C_s	10,00	9,90	9,90	9,80	9,70	9,60	9,50	9,50	9,40	9,30

Tabelul 5.1. Variația concentrației la saturație în funcție de presiunea atmosferică la 20 [°C]

Conform legii lui Henry, concentrația la saturație este proporțională cu presiunea parțială a oxigenului. În calcule se corectează valoarea presiunii atmosferice medii la altitudinea H cu factorul subunitar:

$$f = \frac{p_{atH}}{p_{at0}} \tag{5.13}$$

unde p_{at0} - reprezintă valoarea presiunii atmosferice la nivelul mării.

Altitudine <i>H[m]</i>	0	500	1000	1500	2000	2500
f	1	0,924	0,887	0,834	0,784	0,737

Tabelul 5.2. Valorile coeficientului de corecție asupra concentrației de O₂ în funcție de altitudine



Fig. 5.4. Concentrația oxigenului dizolvat $C=f(\tau)$ la diferite valori ale presiunii atmosferice 1- $C=f(\tau)$ la 695 [mmHg]; 2- $C=f(\tau)$ la 795 [mmHg]; 3- $C=f(\tau)$ la 860 [mmHg]

După cum se observă din *figura 5.4*, concentrația de oxigen dizolvat este direct proporțională cu presiunea atmosferică, în sensul că dacă presiunea atmosferică crește și concentrația la saturație va crește.

Influența salinității apei asupra concentrației de oxigen la saturație

Salinitatea este un alt factor care influențează concentrația la saturație a oxigenului dizolvat. Valorile concentrației la saturație în funcție de salinitate se corectează prin coeficientul subunitar β , folosind relația [26]:

$$\beta = \left(C_{s_{uz}} - C_s\right) \tag{5.18}$$

unde: $C_{s_{uz}}$ – concentrația la saturație în apă uzată

Valorile concentrației de oxigen dizolvat în apă în funcție de salinitate pot fi exprimate în funcție de concentrația clorurilor din apă sau în funcție de conductivitatea în [$\mu s/cm$] la 25 [°C] a apei, folosind factorul de corecție. De exemplu, pentru a corecta o concentrație la saturație de 9.1[mg/dm³] (la o temperatura de 20 [°C] și o presiune atmosferică normală de 760 [*mmHg*]), se folosește următoarea formulă:

$$9,1 mg/dm^3 \times 0,956 = 8,70 [mg/dm^3]$$
(5.19)

unde 9.1 [mg/dm³] reprezintă concentrația la saturație în apă curată; 0.956 [mg/dm³] reprezintă coeficientul de corecție *tabelul 5.4*; 8.70 [mg/dm³] reprezintă concentrația la saturație corectată.

Conductivitatea electrică specifică indică nivelul salinității apei și este o comodă măsură de ansamblu a sărurilor.

În *figura 5.5.* se poate observa variația coeficientului de corecție cu salinitatea la 0 [°C], 20 [°C] și 35 [°C].



Fig. 5.5. Variația coeficientului de corecție cu salinitatea în funcție de conductivitate $[\mu s/cm]$ [27]

1- C_s funcție de conductivitate la 0 [°C]; 2- C_s funcție de conductivitate la 20 [°C];

3- C_s funcție de conductivitate la 35 [°C].

Deci, pentru a putea exprima viteza de transfer a oxigenului în timp se introduce acest factor de corecție în ecuația vitezei de transfer a oxigenului – relația (2.3), obținându-se o relație sub forma:

$$\frac{dC}{d\tau} = ak_L(C_s \cdot s - C) \left[\frac{kg}{m^3 \cdot s}\right]$$
(5.20)

unde:

s – reprezintă factorul de corecție cu salinitatea pe baza conductivității.

Astfel, se obține concentrația oxigenului dizolvat, în apă, în timp la diferite valori ale conductivității pentru o temperatură a apei de 20 [°C]. Ca date necesare calculului curbelor sunt folosite aceleași date ca și în cazul calculului temperaturii și presiunii.



Fig. 5.6. Concentrația oxigenului dizolvat $C=f(\tau)$ la diferite valori ale coeficientului de corecție cu salinitatea 1- $C=f(\tau)$ la conductivitate 0 [µs/cm]; 2- $C=f(\tau)$ la conductivitate33000 [µs/cm]; 3- $C=f(\tau)$ la conductivitate 66000 [µs/cm] [28];

Influența sarcinii hidrostatice asupra procesului de aerare

Sarcina hidrostatică într-un proces de aerare reprezintă sarcina exercitată de masa de apă existentă deasupra G.B.F., adică de înălțimea stratului de apă existent deasupra generatorului de bule fine.

Dacă luăm în considerare relația vitezei de transfer în cazul corecției cu presiunea atmosferică, putem interveni asupra statului de apă, deci putem obține valori ale vitezei de transfer a oxigenului în funcție de acesta.

Capitolul 6. Analiza funcționării unui generator de bule, fix sau în mișcare de rotație, aflat întru-un volum de apă stagnantă

Capitolul conține prezentarea soluției constructive a generatorului de bule care va fi studiat în două situații: a) generatorul de bule fix; b) generatorul de bule, mobil, care se află în mișcare de rotație.

Se încadrează cele două generatoare de bule, fix și mobil, într-o schemă de funcționare a unei instalații experimentale.

Încadrarea generatorului de bule fine, fix, într-o schemă de funcționare

Generatorul de bule fine prezentat în capitolul 3 se încadrează în schema din figura 6.1.

Fig. 6.1. Schema instalației experimentale privind aerarea apelor

1 - electrocompresor; 2 - rezervor cu aer comprimat, $V = 24 \text{ [m^3]}; 3 - \text{reductor}$ de presiune; 4 - manometru; 5 - rotametru; 6 - tablou electric; 7 - panou cu aparate de măsură; 8 - conductă pentru transportul aerului comprimat către G.B.F.; 9 - rezervor cu apă; 10 - mecanism de acționare a sondei;

11– sonda oxigenometrului; 12 – G.B.F. de formă dreptunghiulară; 13 – suport pentru instalatie;

14 - electronica de comandă: a - sursa de alimentare, b - întrerupător, c - element de comandă;

15,16 - conducte de alimentare a G.B.F. cu aer comprimat

Stabilirea ecuației traiectoriei unei bule de gaz care părăsește GBF aflat în mișcare de rotație; determinarea concentrației de oxigen dizolvat în apă

Utilizând programul de calcul s-a determinat variația concentrației de oxigen dizolvat în apă pentru un generator fix cu 17 orificii 0,3 [mm].

În urma rulării programului de calcul s-a obținut datele pentru trasarea graficului variației concentrației de O₂ dizolvat în apă în funcție de timp: $C = f(\tau)$

S-a observat că după două ore de funcționare, valoarea C₀ tinde către C_s.

În *figura 6.2* este prezentată G.B.F. în mișcare de rotație, imersat în bazinul cu apă. Prin interiorul tijei 6 se introduce aer comprimat. Tija este acționată în mișcare de rotație de către un mecanism. În detaliu, mecanismul de acționare a tijei este reprezentat în *figura 6.3*.



Fig. 6.2. Dispozitiv de antrenare în mişcare circulară, a tijei G.B.F.
1 - rezervor de apă; 2- placă de bază; 3- placă superioară; 4- casetă pentru rulment conic;
5- bucşă centrală; 6- tija; 7 - rulmenți conici; 8 - roată dințată; 9- curea dințată;
10 - motor pas cu pas; 11 - roată dințată cuplată pe axul motorului.

Încadrarea generatorului de bule fine într-o schemă de funcționare

Generatorul de bule fine a fost încadrat în instalația din *figura 6.3*.



Fig. 6.3. Schema generală a instalației experimentale

1-contor de energie electrică; 2-compresor; 3-manometru; 4-reductor de presiune; 5-rotametru;
6-termometru digital; 7-conductă cu aer comprimat; 8-etanșare mobilă; 9-tijă de acționare a G.B.F.;
10-platformă cu mecanismul de acționare a tijei G.B.F.; 1-rezervor cu apă; 12-manometru cu indicație digitală; 13-cutie cu orificii; 14-robinete de reglare a debitului de aer către G.B.F.; 15-robinete pentru golirea aerului suplimentar; 16-rezervor cu aer comprimat.

Etanșarea mobilă (8) asigură alimentarea cu aer comprimat a G.B.F. aflat în mișcare de rotație.

Determinarea pe cale teoretică a concentrației de oxigen dizolvat în apă pentru G.B.F. aflat în mișcare de rotație

Se stabilește mai întâi ecuația traiectoriei unei bule de aer care iese din G.B.F. aflat în mișcare de rotație și pătrunde în apa aflată în rezervor.

Se consideră un generator de bule fine care se rotește cu viteza unghiulară $\omega = ct$. într-un bazin cu apă. G.B.F. emite bule de aer prin orificii \emptyset 0,3 [*mm*] amplasate în planul *xOy*.

Neglijând forța centrifugă aferentă unei bule de aer, bula se va deplasa pe o traiectorie curbilinie (*figura 6.4.*).

Forța de rezistență la înaintare (F_r) și forța de inerție (F_i) au componente pe axele Oy și Oz.

Forțele care acționează asupra bulei într-un punct aflat pe traiectoria bulei se află într-un plan paralel cu planul *yoz*; condițiile de echilibru sunt precizate de relațiile (6.4) și (6.5) [29]:



Fig. 6.4. Forțe ce acționează asupra bulei de gaz

Pe axa Oy:
$$\vec{F}_{i,oy} + \vec{F}_{r,oy} = 0$$
 (6.4)

$$\vec{F}_{a} - \vec{G} - \vec{F}_{r,oz} - \vec{F}_{i,oz} = 0$$
 (6.5)

unde:

 F_a – forța Arhimedică care acționează asupra bulei de gaz;

G – greutatea bulei de gaz.

Pe axa Oz:

Rezultate de calcul obținute

Pentru rezolvarea ecuațiilor ce definesc traiectoria bulei de aer în mișcare ascensională, când generatorul de bule fine este în mișcare de rotație, s-a utilizat programul de simulare **MatLab**.

În urma rulării programului, a rezultat curba din figura 6.5.



Fig. 6.5. Traiectoria bulei de aer pentru generatorul de bule fine aflat în mișcare de rotație

Traiectoria bulei de aer, pentru generatorul de bule fine aflat în mișcare de rotație, a fost determinată pentru o viteză a G.B.F. de 0,3 [m/s]. La viteze mai mari de rotație a G.B.F. se produce coalescența bulelor [30][31].

Variația concentrației de oxigen dizolvat în apă, determinată pe cale teoretică este prezentată în *figura 6.6*.



Fig. 6.6. Funcția $C_0 = f(\tau)$ pentru G.B.F. în mișcare de rotație: n = 17 orificii; Ø 0,3 [mm]

Din *figura 6.6.* se observă că $C_0 \rightarrow C_s$ după 60 [min], deci timpul de aerare se reduce la jumătate. Acest procedeu constituie o soluție originală care poate fi utilă în diferitele procese chimice, energetice protecția mediului etc., adică acolo unde se cere o aerare într-un timp foarte scurt.

Capitolul 7. Concepția, proiectarea și construcția instalației experimentale

În acest capitol se prezintă schema instalației experimentale, scopul cercetărilor, metodica cercetărilor și aparate de măsură folosite.



S-a introdus aer comprimat în G.B.F la presiunea (p1) [32][33].

Fig. 7.1. Schema generală a instalației experimentale

l-contor de energie electrică; 2-electrocompresor; 3-manometru; 4-reductor de presiune; 5-rotametru; 6-termometru digital; 7-conductă cu aer comprimat; 8-etanșare mobilă; 9-tijă de acționare a G.B.F.; 10-platformă cu mecanismul de acționare a tijei G.B.F.; 11-rezervor cu apă; 12-manometru cu indicație digitală; 13-cutie cu orificii; 14-robinete de reglare a debitului de aer către G.B.F.; 15-robinete pentru golirea aerului suplimentar; 16-rezervor cu aer comprimat.

Aerul livrat de electrocompresor (2) trece prin rotametru (5) și prin etanșarea mobilă (8) intră în G.B.F. (13)

Scopul cercetărilor experimentale este de a demonstra că instalațiile de oxigenare cu generatoare de bule fine în mișcare de rotație sunt mai performante decât cele clasice cu generatoare de bule fine, fixe.

Unul din scopurile lucrării este de a prezenta un nou tip de generator de bule fine care reduce timpul de oxigenare a apelor de două ori.

Inițial într-un rezervor cu apă se introduce un generator de bule fine, imobil, având 17 orificii cu \emptyset 0,3 [mm]: Se mențin constante debitul de aer introdus în apă si sarcina hidrostatică; concentrația la saturație a O₂ dizolvat în apă se atinge în două ore. Ulterior, în aceleași condiții, se încearcă generatorul de bule fine care are placa cu orificii antrenată în mișcare de rotație și se constată reducerea cu o oră a timpului de aerare a apei.

Capitolul 8. Cercetări experimentale privind influența parametrilor geometrici și funcționali asupra timpului de aerare a apelor

În acest capitol se prezintă rezultatele cercetărilor experimentale privind analiza timpului de aerare în cazul generatorului de bule fine fix și generatorului de bule fine aflat în mișcare de rotație.

În figura 8.1. se observă un G.B.F. fix, montat în bazinul cu apă.



Fig. 8.1. Generator de bule fine cu 17 orificii (Ø 0,3mm) în funcțiune în bazinul cu apă

Pentru parametrii geometrici s-au analizat două aspecte:

- Influența diametrului orificiului de insuflare a aerului asupra $C_{0_2}(figura \ 8.2.);$
- Influența amplasării G.B.F. în rezervorul cu apă (*figura 8.3.*).

În *figura* 8.2. se prezintă comparativ rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale.



Fig. 8.2. Evoluția în timp a concentrației de O_2 dizolvat în apă: C=f(τ)

Din *figura* 8.2. se observă că valoarea concentrației de oxigen dizolvat în apă ajunge de la C_0 la C_s cel mai rapid când G.B.F. are cel mai mic orificiu (Ø 0,1 mm), rezultat care este confirmat și de alte lucrări de specialitate [34][35][36].

În *figura 8.3.* se observă modificarea concentrației de oxigen dizolvat în apă în funcție de timp, pentru un anumit număr de G.B.F.



Fig. 8.3. Evoluția în timp a concentrației de O_2 dizolvat în apă: C=f(τ)

În *figura 8.3.* se poate observa că utilizarea unui număr mare de generatoare de bule fine $(n_{G.B.F.}=4)$, scurtează mult timpul necesar procesului de oxigenare a apei din bazin.

Din *figura* 8.3. rezultă că C_0 tinde la C_s cel mai repede când numărul de G.B.F. este cel mai mare (n = 4) [37][38].

Influența parametrilor funcționali

a)Influența concentrației inițiale și a concentrației la saturație a oxigenului dizolvat în apă.

Pentru $t_{H2O} = 24 \ ^{0}C$, din [1] se obține: C₀ = 5,46 [mg/dm³]; C_s = 8,4 [mg/dm³].

Pentru $t_{H2O} = 21 \ ^{0}C$, din [1] se obține: C₀ = 7,72 [mg/dm³]; C_s = 8,9 [mg/dm³].

În figura 8.4. se observă variația în timp a concentrației de oxigen dizolvat în apă.



Fig. 8.4. Evoluția în timp a concentrației de O_2 dizolvat în apă 1- $C_0=7,72[mg/dm^3]$ C_s=8,9[mg/dm^3]; 2- $C_0=5,46[mg/dm^3]$ C_s=8,4[mg/dm^3];

Generatorul de bule fine (G.B.F.) utilizat la cercetările experimentale a avut placa cu 17 orificii \emptyset 0,3 [mm].

b)Influența debitului și presiunii aerului introdus în G.B.F. asupra concentrației de oxigen dizolvat în apă.

În *figura* 8.5. se observă că la creșterea debitului de aer de la 400 la 600 [dm³/h], creșterea concentrației de oxigen dizolvat în apă este mai rapidă.



Fig. 8.5. Variația în timp a concentrației de oxigen dizolvat în apă în funcție de debitul de aer introdus în apă. 1- debit 400[dm³/h]; 2- debit 600[dm³/h];



Fig. 8.6. Corelația dintre debit și presiune pentru G.B.F. cu 6 orificii și diametrul 0,5[mm]

Evident, la mărirea debitului, presiunea aerului va crește de la 82 [mbar] la 123 [mbar] (figura 8.6.)

c)Influența sarcinii hidrostatice asupra concentrației de oxigen dizolvat în apă.

Deoarece în laboratorul departamentului de Termotehnică, Motoare, Echipamente Termice și Frigorifice am dispus de un rezervor cu apă de înălțime 1m, valorile sarcinii hidrostatice au fost modeste: h = 0.5 [m], respectiv 0.75 [m].



Fig. 8.7. Concentrația de oxigen dizolvat în apă în funcție de timp 1- h=0,5[m]; 2- h=0,75[m];

Din *figura* 8.7. se observă o diferență în graficele $C=f(\tau)$, în funcție de sarcina hidrostatică.

Cercetările experimentale efectuate sunt similare cu cele prezentate în lucrări de specialitate [39].

Rezultatele cercetărilor experimentale privind analiza timpului de aerare în cazul G.B.F. fix și G.B.F. aflat în mișcare de rotație

Cercetările experimentale s-au desfășurat în două variante:

– In varianta I, G.B.F. este fix;

- În varianta II, placa cu orificii a G.B.F. este antrenată de un motor electric în mișcare de rotație.

În varianta I, temperatura apei a fost de t=24 [°C], concentrația inițială a oxigenului dizolvat în apă: $C_0 = 3,12$ [mg/dm³]; pentru aceeași temperatură, concentrația la saturație este de $C_s = 8,3$ [mg/dm³]. Debitul de aer introdus a fost de 600 [dm³/h]; după două ore concentrația oxigenului dizolvat în apă a crescut, s-a modificat conform curbei din *figura* 8.8., atingându-se valoarea C_s .



Fig. 8.8. Evoluția în timp a concentrației de O2, pentru varianta I

Acest grafic a fost trasat pe baza datelor experimentale.

Din *figura* 8.8. se observă că valoarea lui C_s, tinde să fie atinsă după două ore.

 ℋ Ulterior în același rezervor cu apă s-a introdus un G.B.F. a cărui placă cu orificii a fost rotită cu o viteză 0,392 [m/s]. Debitul de aer și presiunea aerului au fost menținute constante și egale cu cele din experiența anterioară. Bulele de aer au sensul de ieșire contrar direcției de deplasare a G.B.F în mișcarea sa de rotație.

Creșterea concentrației de oxigen dizolvat în apă se observă în figura 8.9.



Fig. 8.9. Evoluția în timp a concentrației de O₂, pentru varianta II

Dacă se suprapun graficele din figura 8.8. și 8.9. pe același desen se obține figura 8.10.



Fig. 8.10. Evoluția în timp a concentrației de O₂, pentru cele două variante studiate

Din figura 8.10. pentru varianta II se constată că se atinge concentrația la saturație $C_s=8,3 \text{ [mg/dm^3]}$ după circa 60 de minute, deci **timpul de oxigenare se reduce de două ori**. Acest lucru se datorează faptului că cilindrul plin cu apă de diametrul D și înălțime H este permanent baleiat de o perdea de bule aflate în mișcare (*figura 3.6.*).

CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

Ultimul capitol "Concluzii" cuprinde concluzii generale, contribuții originale și perspective de continuare a cercetărilor. Urmează o bogată listă de referințe bibliografice. Rezultatele cercetărilor s-au finalizat prin publicarea unui număr de 9 articole în reviste de specialitate și la conferințe naționale și internaționale.

C1 Concluzii generale

• Utilizarea G.B.F. prevăzute cu plăci cu orificii prelucrate prin electroeroziune asigură o repartiție uniformă a bulelor de aer care pătrund în masa de apă.

• Orificiile având același diametru, bulele de aer au același diametru la intrare în masa de apă.

• Nu există pericol de înfundare a orificiilor.

• Pentru G.B.F. cu placa perforată aflată în mișcare de rotație timpul de oxigenare a apei se reduce de două ori comparativ cu G.B.F. care au placa perforată fixă.

• În urma experimentelor s-a constatat că pierderile de presiune la G.B.F. realizate cu plăci prelucrate prin electroeroziune sunt mai mici decât la cei cu difuzori poroși.

În procesele de tratare și epurare a apelor, oxigenarea denumită în unele lucrări de specialitate și aerare, constituie operația de bază în asigurarea unei calități corespunzătoare a apei.

Aerarea se utilizează [40][41]:

• În procesele de tratarea apelor, la îndepărtarea substanțelor anorganice dizolvate sau a elementelor chimice ca: fier, mangan etc., prin oxidare și formare de compuși sedimentabili sau care pot fi reținuți prin fierbere.

• La epurarea biologică a apelor uzate, fie prin procedeul cu nămol activ, fie cu biofiltre;

• În procesele de dezinfectare, prin ozonizare a apei brute captate de la o sursă în scopul potabilizării ei.

• În separarea și colectarea grăsimilor emulsionate din apele uzate.

• Oxigenarea apelor este un proces de transfer de masă cu aplicații largi în tehnica tratării și epurării apelor. Echipamentele de oxigenare se bazează pe dispersia unei faze în cealaltă, de exemplu gaz în lichid, proces consumator de energie.

C2 Contribuții originale

Se vor prezenta pe scurt următoarele contribuții:

• Soluția de a realiza G.B.F. prin electroeroziune este originală. G.B.F. realizate prin electroeroziune asigură o dispersie controlată și uniformă a aerului în apă.

• Utilizarea G.B.F. cu placă perforată aflată în mișcare de rotație este o soluție originală pentru mărirea transferului de oxigen către apă, fapt ce conduce la creșterea concentrației de oxigen dizolvat în apă.

A. Contribuții teoretice

- 1. Elaborarea unui studiu bibliografic privind aerarea și oxigenarea apelor.
- 2. Stabilirea transferului de masă, a oxigenului către apă prin analiza ecuației vitezei de transfer a oxigenului către apă. Elaborarea unei metode de integrare numerică a acestei ecuații şi ulterior realizarea unui program de calcul pentru determinarea modificării concentrației de oxigen dizolvat în apă.

- 3. Concepția, proiectarea și construirea unor G.B.F. de concepție originală, utile la aerarea apelor.
- 4. Precizarea soluțiilor de creștere a concentrației de O₂ dizolvat în apă.
- 5. Analiza parametrilor care modifică concentrația de O₂ dizolvat în apă cu evidențierea funcționării unui G.B.F. aflat în mișcare de rotație.
- 6. Stabilirea ecuației traiectoriei unor bule de aer emise de G.B.F. aflat în mișcare de rotație.
- Prin efectuarea acestei mişcări se reduce timpul de aerare a apei la jumătate, de la 120 min la 60 min.

B. Contribuții numerice

- Determinarea modificării concentrației de oxigen dizolvat în apă cu ajutorul unui program de calcul (Matlab).
- Elaborarea unor programe de calcul pentru date de intrare diferite ca: C₀, C_s, pentru G.B.F. fix sau G.B.F. aflat în mişcare de rotație într-un bazin cu apă.

C. Contribuții experimentale

- Concepția, proiectarea și construcția instalațiilor experimentale pentru G.B.F. fix și G.B.F. mobil, aflat în mișcare de rotație cu o viteză de 0,39 [m/s].
- Construcția a trei tipuri de G.B.F. cu placă perforată având orificii cu Ø 0,1 [mm], Ø 0,3 [mm] şi Ø 0,5 [mm].
- 3. S-a elaborat o metodică a cercetărilor experimentale pe baza căreia s-au obținut rezultate cu caracter de originalitate.
- Rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale au constituit baza elaborării unui număr de 9 lucrări prezentate în Anexa 1.

C3 Perspective de continuare a cercetărilor

Cercetările privind aerarea apelor vor continua în următoarele direcții:

• Concepția și construcția unor G.B.F. la care placa perforată să aibă orificii cu diametrul de 0,005 [mm] sau de ordinul [µm].

• Utilizarea nanotehnologiilor la aerarea a apelor; utilizarea jeturilor de aer la aerarea apelor [42].

• Aerarea apelor să se realizeze direct prin insuflarea de aer comprimat în conducta de transport a apelor uzate [43]; se evită astfel construirea de bazine pentru apa uzată pe radierul

cărora să se afle țevi găurite prin care se suflă aer comprimat. În acest mod se reduce investiția în stațiile de tratare a apelor reziduale.

Bibliografie selectivă

[1] Oprina, G., Pincovschi, I., Băran, Gh., Hidro-Gazo-Dinamica Sistemelor de aerare echipate cu generatoare de bule, Ed. PolitehnicaPres, ISBN 978-606-515-072-0, București 2009.

[2] Băran, Gh., Băran, N., Hidrodinamica bulelor generate de difuzori poroși, Revista de Chimie vol.54, nr.5/2003, pag. 436÷440.

[3] Stoianovici, S., Robescu, D., Procedee și echipamente mecanice pentru tratarea și epurarea apei, Editura Tehnică, București, 1983.

[4] Marinescu, M., ş.a, Transfer de căldură și masă, Procese fundamentale, Ed. POLITEHNICA PRESS, București, 2009.

[5] Antia, H.M., Numerical Methods for Scientists and Engineers, Birkhauser Publishing Limited Basel, Switzerland, ISBN 3-7643-6715-6, 2002.

[6] Shampine, L. F, and Gordon, M. K., Computer Solution of Ordinary Differential Equations: The Initial Value Problem, W.H. Freeman Press, San Francisco, 1975.

[7] Căluşaru, I. M., Influența proprietăților fizice ale lichidului asupra eficienței proceselor de oxigenare, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica din București, 2014.

[8] Besnea, D., Băran, N., Călugaru, I., Pătulea, Al., Electro-mechanical system for the displacement of a oxygen meter probe, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, 2012, No. 4,1 ISSN 1584-5982.

[9] Besnea, D., Băran, N., Călugaru, I., Pătulea, Al., Proceedings of International Conference On Innovations, Recent Trends And Challenges In Mechatronics, Mechanical Engineering And New High-Tech Products Development -MECAHITECH' 1 2, vol. 4, year: 2012.

[10] Abulghanam, Z., Besnea, D., Băran, N., Patulea, Al. S., Researches Regarding The Construction Of A Mechanism Used For The Displacement Of A Oxygen Meter Probe, Scientific Bulletin Series D: Mechanical Engineering, University Politehnica of Bucharest, vol. 73, Issue 2, Editura Politehnica Pres, ISSN 1454-2358, pag. 161-170, Bucuresti, 2011.

[11] Căluşaru-Constantin, M., Ibrean, B., Băran, N. and Mlisan-Cusma, R., "Researches Regarding the Modification of Dissolved Oxygen Concentration in Water", IJISET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 1 Issue 6, 2014, pp. 228-231. (Factor de impact 2014: 1,5).

[12] Băran, N., Băran, Gh., Mateescu, G., Patulea, Al. S., Water Oxygenation, Buletinul Institutului Politehnic din Iași tom XI (LX) fasc.3b., ISSN. pag / 77-84, Ed. Politehnium 2010.

[13] Yang, W., Morris, J., Applied Numerical Methods Using Matlab, Wiley-Interscience, JohnWiley&Sons. INC, 2005.

[14] ***The MathWorks,(2011), Inc., Getting Started with MATLAB

[15] Căluşaru, I. M., Băran, N. and Pătulea, Al. S., The influence of the constructive solution of fine bubble generators on the concentration of oxygen dissolved in water, Advanced Materials Research Vols. 538-541 (2012) pp 2304-2310, Trans Tech Publications, Switzerland, ISBN-13:978-3-03785-447-1.

[16] Sima, N., Băran, N., Constantin, M., Researches on the Constructive Solutions of Fine, Fixed Bubble Generators, Hidraulica, No 2/2020, pp. 39-47.

[17] Casey, T. J., Diffused air aeration systems for the activated sludge process Aquavarra Research Publications Water Engineering Papers 4, R&D Publication, 2009.

[18] Mlisan, R., Influența arhitecturii generatoarelor de bule fine asupra concentrației de oxigen dizolvat în apă, Teză de doctorat, Universitatea POLITEHNICĂ din București, 2017.

[19] Nistreanu, V., Procese unitare pentru tratarea apelor, Editura AGIR, București, 2000.

[20] Sutherland, A., K. Filters and Filtration Handbook, 5th ed., Elsevier Butterworth Heinemann, Amsterdam 2008

[21] Oprina, G., Bunea, F., Băbuțanu, C.A., Băran, Gh., Staicu, D., Aspecte privind consumul de energie la aerarea cu bule fine, Masă rotundă cu tematica Utilizarea surselor regenerabile de energie în procesele industriale specifice IMM, 8 iunie, București, UPB., 2007.

[22] Ibrean, B. E., Băran, N., Mlisan, R., An Efficient Solution for Water Oxygenation, Asian Engineering Review Vol. 1, No. 3, 36-40, 2014.

[23] Băran, N. și col., Termodinamică tehnică, Editura POLITEHNICA PRESS, București, 2010.

[24] Călin, A., Contribuții Teoretice și Experimentale la Studiul Proceselor de Reaerare în Reactoarele Biologice, teză de doctorat, Universitatea Politehnica din București, 2010.

[25] Fayolle, Y., Modelisation De L'Hidrodinamique Et Du Transfert D'Oxygene Dans Les Chenaux D'Aeration, teză de doctorat, Ecole doctorale Transfert, Dynamique de Fluides, Energetique et Procedes, INSA de Toulouse, 2006.

[26] ***Solubility of Oxygen vs. Temperature and Salinity, Insite Instrumentation Group, Inc, 2001.

[27] Băran, N., Vlăsceanu, M., Ibrean, B., Increasing the performance of oxygenation installations, Revista Termodinamica, nr. 1, București, 2014.

[28] Păun, R., Băran, N., Roza, A., Ibrean, B., Cusma, R., The Use of Microtechnologies Processing on Water Aeration Plants Construction, Proceedings of the International Conference of Mechatronics and Cyber-MixMechatronics, 2017, ISBN: 978-3-319-63091-5.

[29] Escudier, M., Introduction to Engineering Fluid Mechanics, Oxford University Press, London, 2017

[30] Mlisan (Cusma), R., Constantin, M., Mechno, R., Băran, N., Ibrean, B., Besnea, D., Researches regarding the placement of fine bubble generators in water tanks, 8th International Conference on Innovations, Recent Challenges in Mechatronics, Mechanical Engineering and New High-Tech Products Development MECAHITECH'16 International Conference, Bucharest, Romania, September 8th-9th, 2016.

[31] Căluşaru, I., Băran, N., Pătulea, Al., Mateescu, G., Theoretical and experimental researches regarding the modification of dissolved oxygen concentration in stationary waters, Innovation and Collaboration in Engineering Research, România (INCER-2012) CD, București, 2012.

[32] Băran, N., Pătulea, Al. S., Călușaru, I. M., Design And Building Of A Setup For The Experimental Research Of Fine Bubble Generators, Termotehnica, nr.2/2011, ISSN-L 1222-4057, Online: ISSN 2247-1871, pag.84-90, Editura AGIR, București, 2012.

[33] Gillot, S., Capela-Marsal, S., Roustan, M., Héduit, A., Predicting oxygen transfer of fine bubble diffused aeration systems--model issued from dimensional analysis, Water Res. Vol.39, no.7, 2005.

[34] Pincovschi, I., Hydrodynamics of disperse gas-liquid systems, PhD Thesis, POLITEHNICA University of Bucharest, Bucharest, 1999.

[35] Băran, N., Constantin, I. M., Ibrean, B., Mlisan, R, Researches regarding water oxygenation with fine air bubbles, Buletinul Științific al Universității Politehnica din București, seria D, Inginerie Mecanică, Editura Politehnica Press, vol. 78, nr. 2, 2016, pp. 167-178.

[36] Constantin, M., Băran, N., Ibrean, B., A New Solution for Water Oxygenation, International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), Vol. 2, Issue 7, 2015, pp. 49-52.

[37] Tămăşanu, E., Constantin, M., Ibrean, B., A solution to reduce the aeration time of a water volume, International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering, ISSN: 2349-2163, Issue 02, Volume 5, 2018

[38] Moga, I., Donțu, O. G., Besnea, D., Innovative technological solutions for efficient biological wastewater treatment, International Journal of Engineering, Tome XVII, Fasc. 4, ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara, 2020.

[**39**] Ibrean, B., Băran, N., Constantin, M., Cusma, R., "Hydrostatic Load Influence on Water Oxygenation Process", Energy Procedia, pp. 44-50. (BDI). 2015

[40] Robescu, D. L., Robescu, D., Verestoy, A., Fiabilitatea proceselor, instalațiilor și echipamentelor de tratare și epurare a apelor, Editura Tehnică, București, 2002.

[41] Robescu, D. L., Lanyi, S., Verestoy, A., Robescu, D., Modelarea și simularea proceselor de epurare, Ed. Tehnică București, 2004.

[42] Albu, N. D., Băran, N., Petroșel, M., Besna, D., Constantin, M., "Researches Regarding the Execution of a Flat Generator Used for Water Aeration", Hidraulica No 2/2019, pp. 23-28, ISSN 1473-7303, Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics (BDI). Website: https://hidraulica.fluidas.ro/2019/nr2/23-28.pdf.

[43] Petroşel, M., Constantin, M., Moga, C., "Researches On Aeration Of Stagnant Water Or Flowing Through Pipes" International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics, ISSN online: 2559-6497; ISSN-L: 2559-4397, Issue 7/2020, pp. 180-184; Website: https://ijomam.com/wpcontent/uploads/2019/11/pag.-180-184_RESEARCHES-ON-AERATION-OF-STAGNANT-WATER-OR-FLOWING-THROUGH-PIPES.pdf