



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 creșterea conținutului de  
oxigen dizolvat în apă*

**Autor:** Prof. Nicoleta Dorina Albu

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

## CUPRINS

<b>INTRODUCERE</b> .....	3
<b>Capitolul I. Stadiul actual al cercetărilor privind procesele de aerare sau oxigenare a apelor</b> .....	4
<b>Capitolul II. Transferul de masă</b> .....	5
<b>Capitolul III. Elaborarea și rularea unui program de calcul pentru fiecare variantă</b> .....	11
<b>Capitolul IV. Surse de alimentare cu amestecuri de gaze a instalației experimentale (patru variante)</b> .....	18
<b>Capitolul V. Stabilirea pe cale teoretică a consumurilor energetice, pentru cele patru variante studiate</b> .....	21
<b>Capitolul VI. Concepția proiectarea și construcția instalațiilor pentru insuflarea amestecurilor de gaze în apă</b> .....	23
<b>Capitolul VII. Cercetări experimentale</b> .....	25
<b>Capitolul VIII. Rezultatele cercetărilor experimentale, prelucrarea lor</b> .....	26
<b>Capitolul IX. Analiza economică comparativă a celor patru variante studiate</b> .....	31
<b>CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE</b> .....	32
<b>Bibliografie selectivă</b> .....	34

## INTRODUCERE

Procesul de aerare a apelor are la bază un transfer de aer către apă; oxigenul din aer (participație volumică 21%) este transferat prin diferite procedee către apă. Bulele de aer generate de echipamentele de aerare sunt introduse într-un volum de apă, [1], [2].

Cele mai performante sisteme sunt cele care generează bule foarte fine ( $\Phi < 1 \text{ mm}$ ).

Performanțele unui sistem de aerare a apelor pot fi apreciate prin doi parametri:

- Randamentul de oxigenare a apei;
- Eficiența oxigenării apei.

Cei doi parametri pot fi modificați de eficiența dispozitivelor de dispersie a aerului în apă.

Prin aerare și oxigenare se mărește conținutul de oxigen dizolvat în apă.

Termenul de oxigenare se folosește când în apă se introduce :

- Un amestec de aer + oxigen dintr-o butelie;
- Oxigen pur dintr-o butelie;
- Aer cu conținut redus de azot (95%  $\text{O}_2$  și 5 %  $\text{N}_2$ ) livrat de concentratoarele de oxigen;
- Un amestec de aer atmosferic și ozon ( $\text{O}_3$ ).

În funcție de principiul de funcționare, instalațiile de aerare se clasifică în trei clase [3], [4]:

- A) Instalații mecanice de aerare;
- B) Instalații pneumatice de aerare;
- C) Instalații mixte de aerare.

Cele trei clase vor fi detaliate în capitolul I.

Toate cele trei clase au ca scop creșterea conținutului de oxigen dizolvat în apă.

## Capitolul I. Stadiul actual al cercetărilor privind procesele de aerare sau oxigenare a apelor

În acest capitol se prezintă o clasificare a proceselor de aerare a apelor și ulterior se descriu principalele soluții constructive ale echipamentelor de aerare a apelor. În finalul capitolului se prezintă obiectivele tezei de doctorat.

Aerarea apelor se poate realiza prin agitația la suprafață (sarcină realizată în general de aeratoare mecanice) prin introducerea aerului la baza bazinului, lacului, etc. (aerare realizată prin instalații pneumatice) sau prin pulverizarea aerului cu un dispozitiv pentru a permite schimbul de oxigen la suprafață și eliberarea gazelor cu efect nociv.

Instalațiile de aerare se pot clasifica după mai multe criterii [5].

### a. După modul obținere a unei suprafețe de contact interfazică:

\* *instalații care pulverizează apa în aer și instalații în cascadă*; (instalații mecanice pentru aerarea apelor);

\*\* *instalații care dispersează gazul în apă*, (instalații pneumatice, instalații mecanice, G.B.F.);

\*\*\**instalații mixte* - care pulverizează apa sub formă de picături și antrenează aerul atmosferic prin efectul de jet la reîntrarea în masa de apă din bazin, (aeratoare mecanice de suprafață).

### b. După criteriul mișcării organului activ al echipamentului de aerare:

– *aerarea apei cu echipamente statice* (instalații pneumatice, ejectoare etc.);

– *aerarea apei cu echipamente dinamice* (aeratoare mecanice de suprafață sau de adâncime).

### c. După modul de dispersie al gazului se pot clasifica în:

– *instalații care dispersează aerul în apă* (aeratoare mecanice de mare adâncime, aeratoare pneumatice, ejectoare etc.);

– *instalații care dispersează oxigenul pur în apa cuvei de aerare* (instalații pneumatice);

– *echipamente cu introducerea de ozon sau aer îmbogățit cu ozon în apă* (pompe cu jet de fluid).

**d. După soluția constructivă:**

- *instalații pneumatice de oxigenare cu difuzori poroși (aeratoare statice etc.);*
- *instalații mecanice de suprafață, medie sau mare adâncime (cu rotor, perie etc.);*
- *instalații mixte de oxigenare.*

**e. După imersia dispozitivului de dispersie:**

- *instalații de suprafață (aeratoare mecanice de suprafață cu rotor sau cu perie);*
- *instalații de medie adâncime;*
- *instalații de mare adâncime.*

În prezenta lucrare se urmăresc următoarele obiective:

1. Elaborarea unui studiu privind nivelul științific actual al proceselor și echipamentelor care asigură o aerare eficientă a apelor;
2. Integrarea numerică a ecuației diferențiale a vitezei de transfer a oxigenului către apă;
3. Elaborarea unui program de calcul privind modificarea concentrației de oxigen dizolvat în apă în funcție de alți parametri;
4. Prezentarea soluțiilor în vederea procedurii de aerare și oxigenare a apelor;
5. Analiza economică a soluțiilor de la punctul 4 în vederea aflării unei soluții optime din punct de vedere energetic.
6. Conceperea, proiectarea și construcția unei instalații experimentale pentru cercetări privind aerarea apelor.
7. Cercetările experimentale vor valida sau nu rezultatele teoretice obținute la punctul 5.

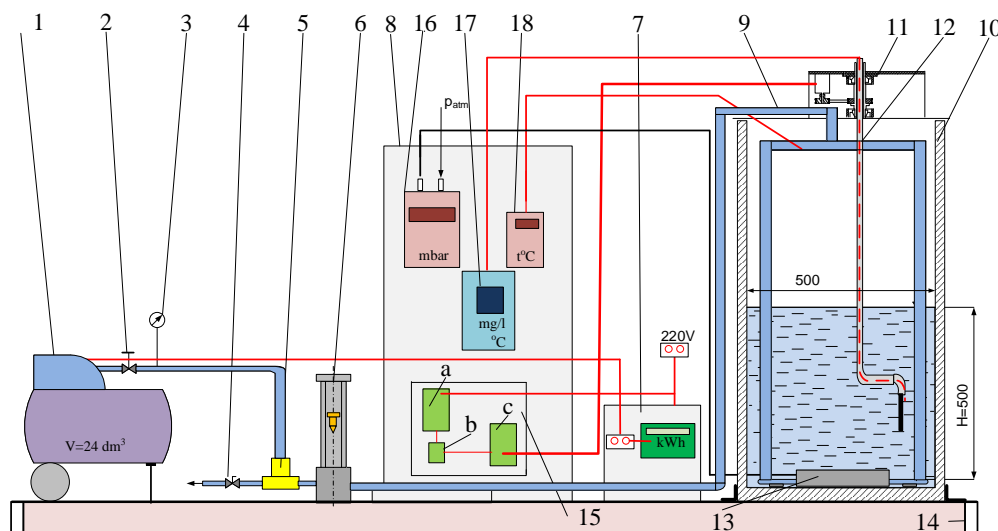
## Capitolul II. Transferul de masă

În acest capitol se analizează transferul de masă interfazic aer – apă. Se prezintă ecuația vitezei de transfer a oxigenului către apă și parametri care influențează această viteză; se expun cele patru variante de amestecuri gazoase ce vor fi insuflate în apă [6], [7]:

- Varianta I: aer atmosferic (21% O<sub>2</sub> și 79 % N<sub>2</sub>);
- Varianta II: aer atmosferic + oxigen dintr-o butelie;
- Varianta III: aer cu conținut redus de azot (95% O<sub>2</sub> și 5 % N<sub>2</sub>);

- Varianta IV: aer atmosferic + ozon.

Schema instalației pentru a introduce aerul atmosferic în apă utilizate la realizarea cercetărilor experimentale este prezentată în figura 2.1.



**Fig. 2.1.** Schema instalației experimentale pentru cercetări privind aerarea apelor

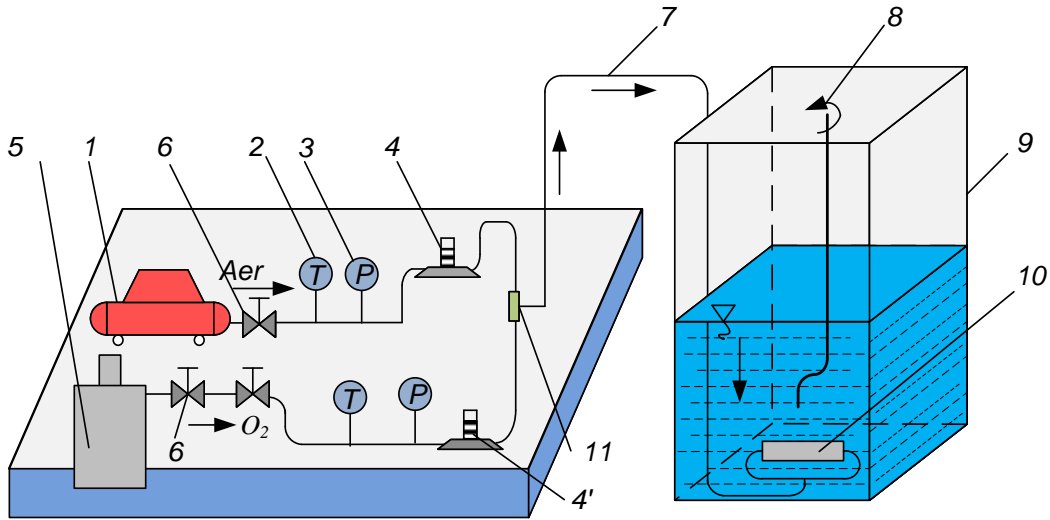
- 1 – electrocompresor cu rezervor de aer; 2 – reductor de presiune; 3 – manometru; 4 – racord pentru evacuarea aerului în atmosferă; 5 – teu; 6 – rotametrul; 7 – tablou electric; 8 – panou cu aparate de măsură; 9 – conductă pentru transportul aerului comprimat către generatorul de microbule; 10 – rezervor cu apă; 11 – mecanism de acționare a sondei; 12 – sonda oxigenometrului; 13 – generator de microbule; 14 – suport pentru instalație; 15 – electronica de comandă: a – sursa de alimentare, b – întrerupător, c – element de comandă; 16 – manometru digital; 17 – oxigenometru; 18 – termometru digital

Din figura 2.1 se observă că, după comprimarea aerului, se măsoară temperatura, presiunea și debitul aerului; ulterior el este introdus în G.M.B. cu parametrii  $V = 600 \left[ \text{dm}^3/\text{h} \right]$ ;  $p = 573 \left[ \text{mm H}_2\text{O} \right]$ .

Durata experimentărilor este de 2 ore, timp în care concentrația de oxigen dizolvat în apă crește de la  $C_0$  la  $C_s$ .

Pentru introducerea unui amestec de aer și oxigen pur în apă se folosește schema instalației (figura 2.2).

Din punct de vedere energetic se economisește o mare cantitate de energie, prin folosirea oxigenului pur, corespunzătoare comprimării și introducerii inutile în masa de apă a azotului, component principal al aerului [8].



**Fig. 2.2.** Schema instalației de introducere a unui amestec de aer atmosferic și oxigen în generatorul de microbule

- 1 – electrocompresor de aer; 2 – aparat de măsură a temperaturii gazului cu indicație digitală;  
 3 – aparat de măsură a presiunii gazului cu indicație digitală; 4, 4' – rotametri;  
 5 – butelie de oxigen;  $p = 120$  bar;  
 6 – reductoare de presiune; 7 – conductă de alimentare cu aer + oxigen a generatorului de microbule; 8 – sonda oxigenometrului; 9 – rezervor cu apă; 10 – generatorul de microbule;  
 11 – cameră de amestec a celor doi curenți de gaz.

Parametrii de lucru ai instalației sunt aceiași ca în *paragraful 2.3.1*:  $\dot{V} = 600 \left[ \text{dm}^3/\text{h} \right]$ ;  
 $p = 573 \left[ \text{mmH}_2\text{O} \right]$   $\tau = [2\text{h}]$ .

Aerul atmosferic și oxigenul livrat din butelie sunt măsurate separat cu rotametre (4 și 4').

Se introduce succesiv, în rezervorul cu apă, un debit de gaz  $\dot{V} = 600 \left[ \text{dm}^3/\text{h} \right]$  compus din:

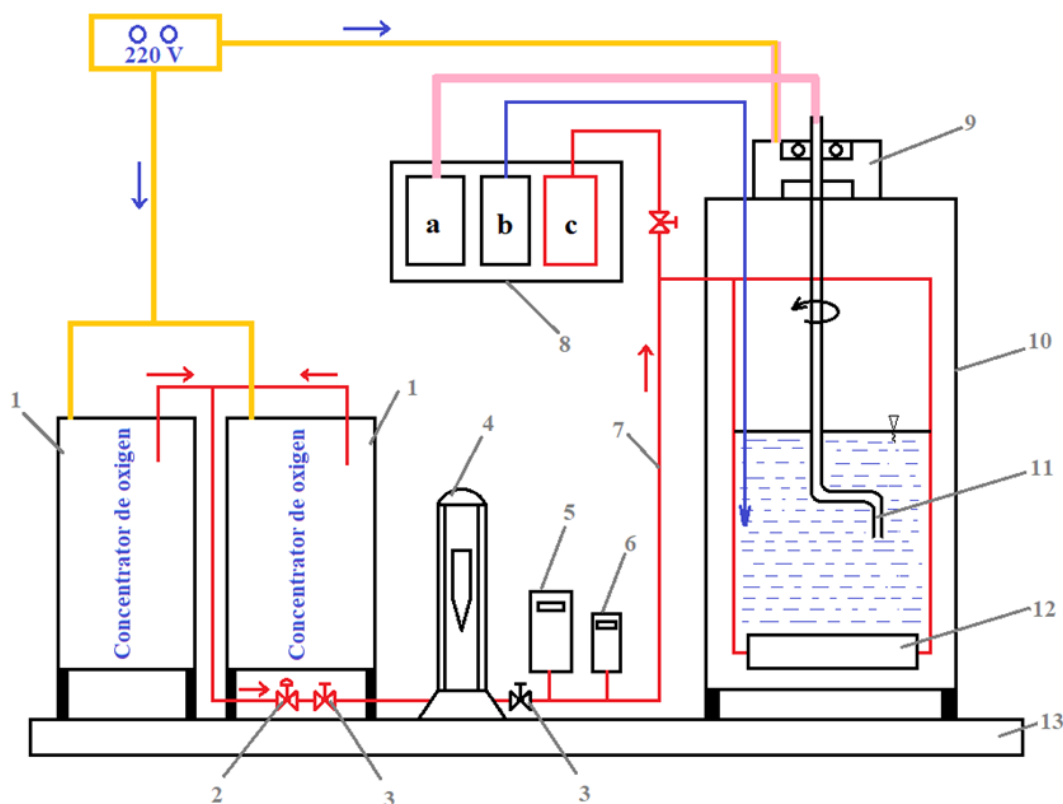
Varianta II, cazul 1:  $\dot{V}_{O_2} = 150 \left[ \text{dm}^3/\text{h} \right]$  și  $\dot{V}_{aer} = 450 \left[ \text{dm}^3/\text{h} \right]$ ;

Varianta II, cazul 2:  $\dot{V}_{O_2} = 300 \left[ \text{dm}^3/\text{h} \right]$  și  $\dot{V}_{aer} = 300 \left[ \text{dm}^3/\text{h} \right]$ ;

Varianta II, cazul 3:  $\dot{V}_{O_2} = 450 \left[ \text{dm}^3/\text{h} \right]$  și  $\dot{V}_{aer} = 150 \left[ \text{dm}^3/\text{h} \right]$ ;

Varianta II, cazul 4:  $\dot{V}_{O_2} = 600 \left[ \text{dm}^3/\text{h} \right]$  și  $\dot{V}_{aer} = 0 \left[ \text{dm}^3/\text{h} \right]$ .

Schema generală a instalației pentru introducerea aerului cu conținut redus de azot în apă se observă în figura 2.3.



**Fig 2.3.** Schema instalației experimentale pentru cercetări privind aerarea apelor

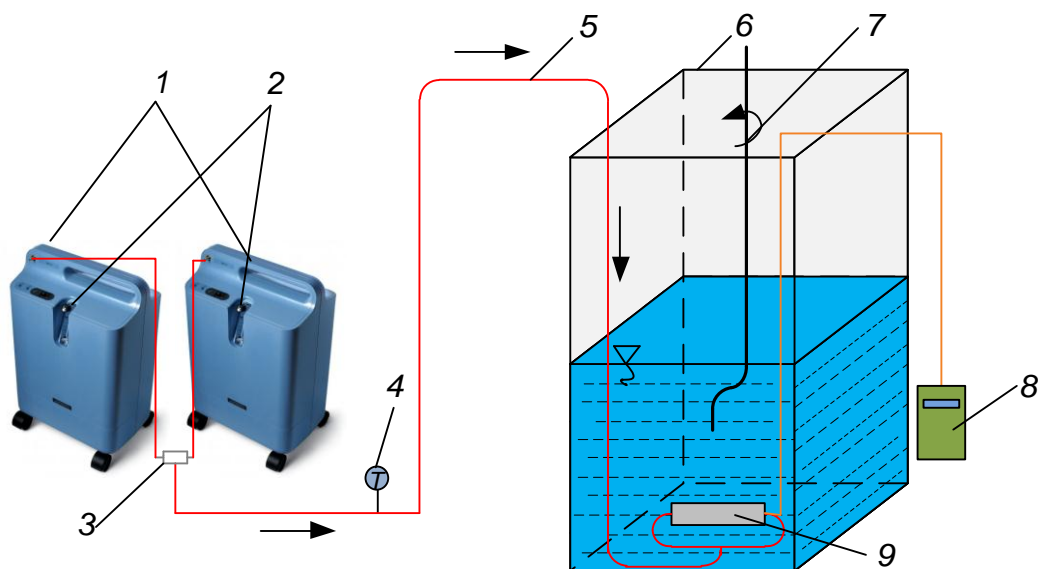
1–concentratoarele de oxigen; 2– regulator de presiune; 3– robinete cu ventil; 4– rotametr; 5–manometru cu indicație digitală; 6– termometru cu indicație digitală; 7– conductă cu aer comprimat; 8– panou cu aparate; a– oxigenometru; b– termometru; c– manometru; 9– mecanism electromecanic pentru acționarea sondei oxigenometrului; 10– rezervor cu apă; 11– sonda oxigenometrului; 12– generator de bule fine; 13– placă de susținere a instalației experimentale.

Concentratoarele de oxigen (1) livrează  $5 \text{ dm}^3/\text{min}$  adică  $300 [\text{dm}^3/\text{h}]$  fiecare, deci în total instalația livrează un debit de  $600 [\text{dm}^3/\text{h}]$  la  $p > p_{\text{atm.}}$  [9], [10].

De asemenea pentru mișcarea sondei din bazinul cu apă este nevoie de a acționa un mecanism de rotire a sondei în bazinul cu apă.

În figura 2.4. se prezintă schema instalației de introducere a aerului cu conținut redus de azot în G.B.M.; aerul livrat de concentratoarele de oxigen trece prin fiecare rotametr și apoi intră în generatorul de microbule (G.M.B.).





**Fig. 2.4.** Schema instalației de introducere a aerului cu conținut redus de azot în G.B.M.

1 – concentratoare de oxigen; 2 – rotametre; 3 – cameră de amestec a celor doi curenți de gaz; 4 – aparat de măsură a temperaturii gazului cu indicație digitală; 5 – conductă de alimentare cu aer cu conținut redus de azot a generatorului de microbule; 6 – rezervor paralelipipedic cu apă; 7 – sonda oxigenometrului; 8 – aparat de măsură a presiunii gazului cu indicație digitală; 9 – generatorul de microbule cu 152 de orificii  $\varnothing 0,1$  [mm].

Fiecare concentrator livrează  $5$  [ $\text{dm}^3/\text{min}$ ], adică  $300$  [ $\text{dm}^3/\text{h}$ ]; cele două concentratoare asigură un debit de  $600$  [ $\text{dm}^3/\text{h}$ ].

Alte tipuri de G.M.B. cu plăci perforate prin electroeroziune sunt prezentate în lucrările [11], [12], [13].

Pentru introducerea în apă a unui amestec de aer și ozon se prezintă Schema instalației din figura 2.6.

Ozonul ( $\text{O}_3$ ) este furnizat de către aparate denumite ozonizatoare sau generatoare de ozon.

În figura 2.5. se observă un generator de ozon care este alimentat cu curent electric la  $220$  [V] și prin descărcări electrice produce ozon. [14], [15].

Generatoarele cu ozon (figura 2.7, generator TCB3000 $\text{O}_3$  și figura 2.8, generator OzonFix) pot fi utilizate pentru o gamă largă de aplicații (de la cele casnice la cele municipale), atât pentru aer, apă potabilă cât și pentru apă uzată [16].

Generatoarele de ozon sunt destinate producerii unui amestec de aer sau oxigen cu ozon potrivit mai multor tipuri de procese, cum ar fi de exemplu [17]:

- Tratării apei potabile și a celei din piscină;

- Epurării apei;
- Răcirii apei;
- Dezinfecției;
- Procesului de oxidare in industrie.



Fig. 2.6. Generatoare de ozon TCB300O<sub>3</sub> [15], [18]

În figura 2.6. se prezintă schema instalației pentru aerarea apelor:

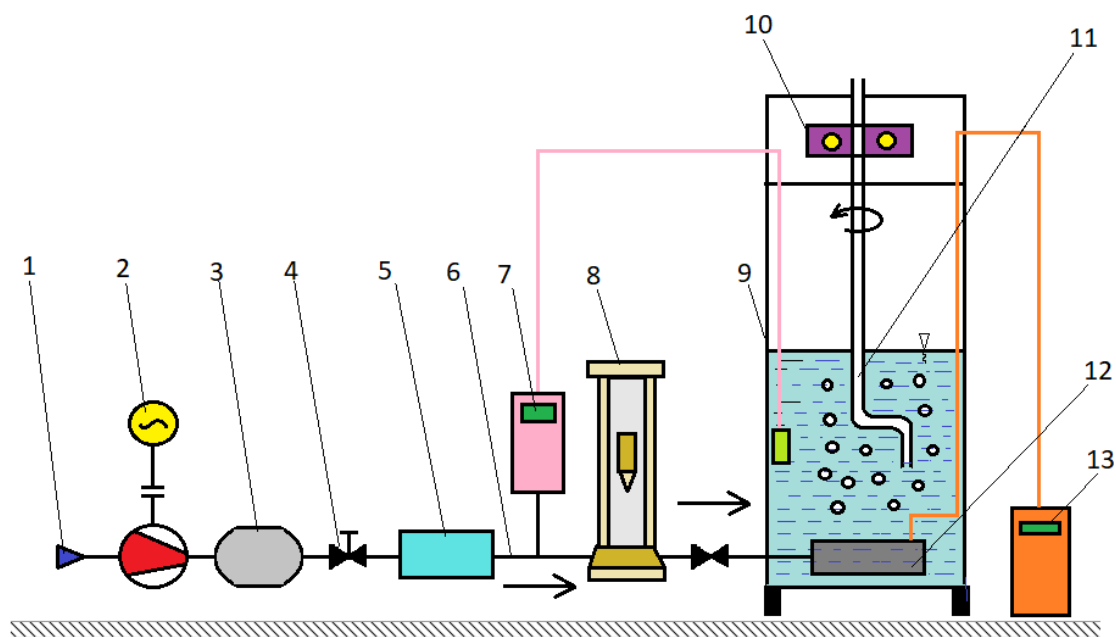
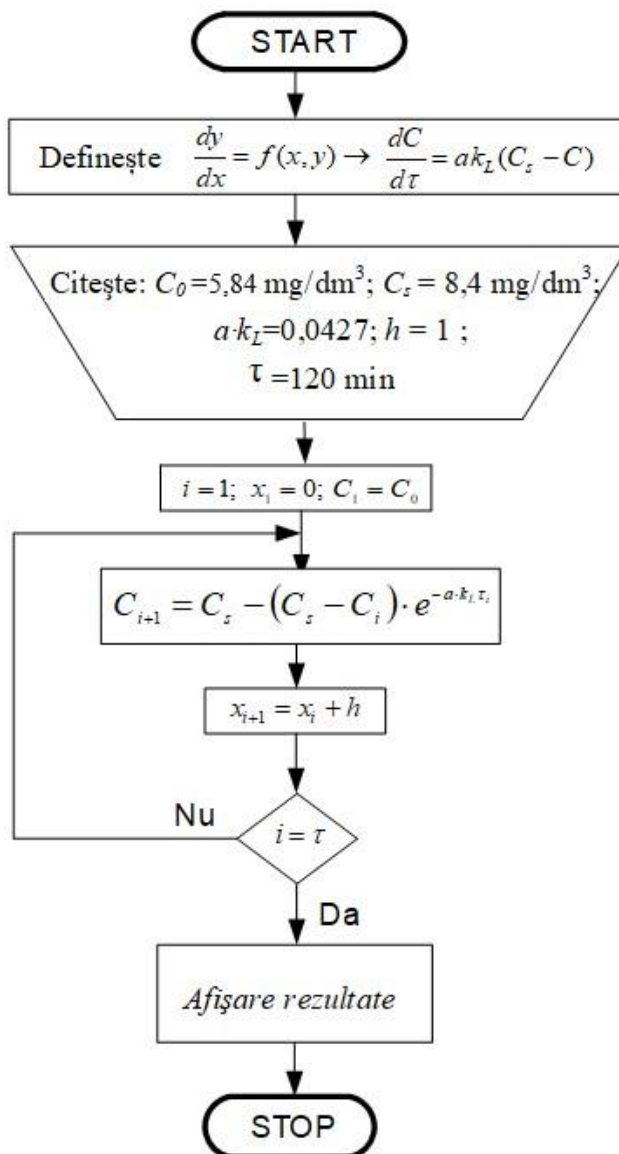


Fig. 2.6. Schema instalației experimentale pentru aerarea apelor

- 1– filtrul de aer; 2– electrocompresor; 3 – rezervor de aer comprimat; 4– reductor de presiune;  
5 – generator de ozon; 6– conductă; 7– termometru cu indicație digitală; 8– rotamtru; 9– bazin cu apă;  
10– mecanism de rotirea sondei oxigenometrului în apă; 11– sonda oxigenometrului;  
12– generator de bule fine; 13– manometru cu indicație digitală.

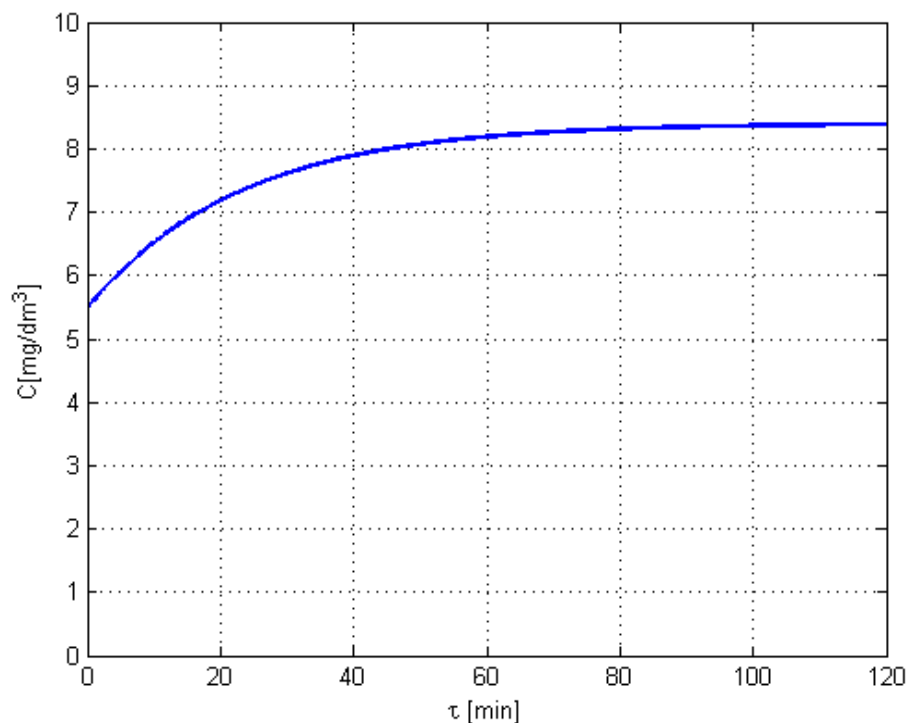
### Capitolul III. Elaborarea și rularea unui program de calcul pentru fiecare variantă

În acest capitol se stabilește câte un program de calcul pentru fiecare din cele patru variante. Rezultatele de calcul ne indică variația concentrației de oxigen dizolvat în apă, în funcție de timpul scurs pe durata experienței.



**Fig. 3.1.** Schema logică de calcul pentru variația concentrației funcție de timp în cazul introducerii aerului atmosferic în apă (varianta I)

În urma rulării programului de calcul prezentat în *figura 3.2.* au rezultat valorile prezentate în *figura 3.2.*

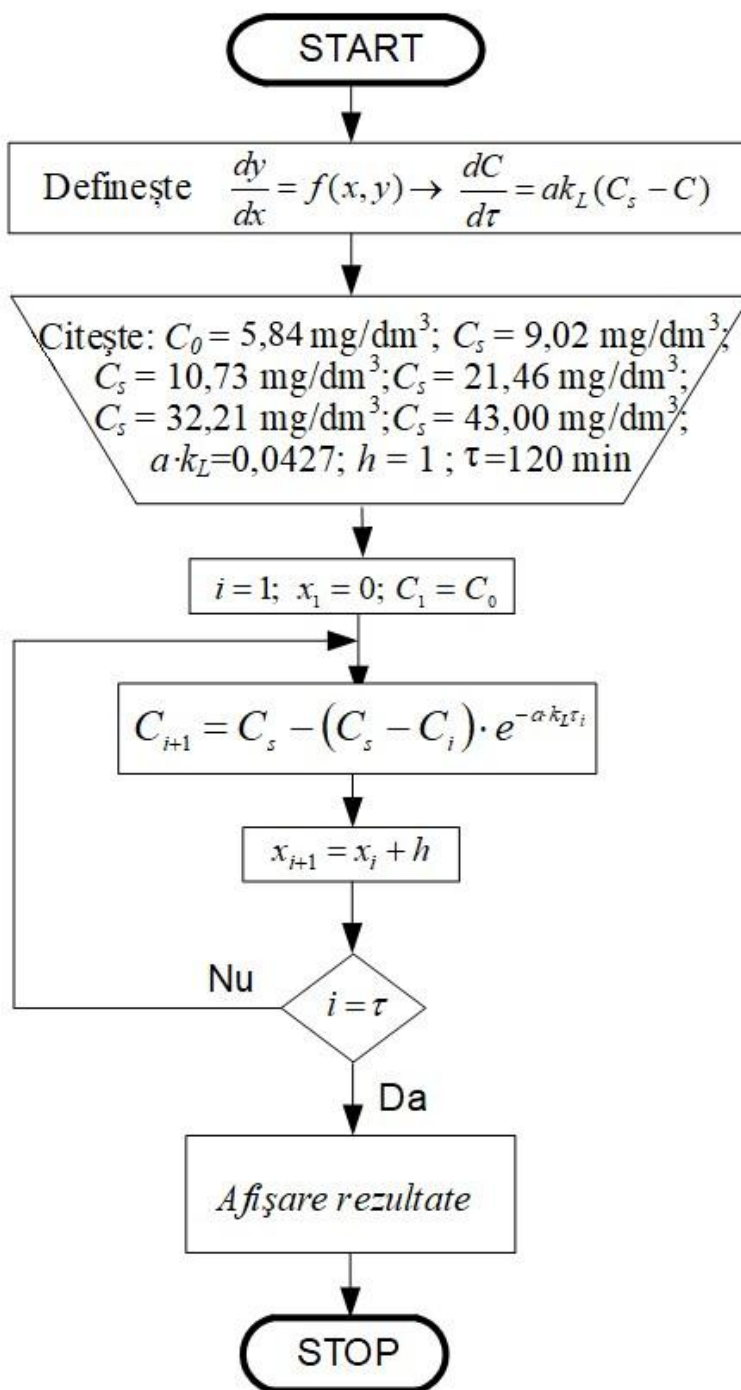


**Fig. 3.2.** Reprezentarea grafică a variației concentrației de oxigen dizolvat în apă în varianta I

În varianta II, în apă se insuflă un amestec gazos format din aer și oxigen dintr-o butelie; oxigenul are participația volumică:  $r_{o_2} = 25[\%]$ ,  $r_{o_2} = 50[\%]$ ,  $r_{o_2} = 75[\%]$ ,  $r_{o_2} = 100[\%]$  volumul total al amestecului trebuie să fie același în toate variantele adică

$$\square V = 600 \left[ dm^3 / h \right] = 0,6 \left[ m^3 / h \right].$$

În *figura 3.3.* se prezintă schema logică de calcul pentru varianta II.



**Fig. 3.3.** Schema logică de calcul pentru varianta II (aer + O<sub>2</sub> din butelie)  $C = f(\tau)$

Compararea funcției  $C = f(\tau)$  pentru varianta I (curba 1) și cele patru cazuri ale variantei II (curbele 2, 3, 4, 5) prezentate anterior se poate observa în figura 3.4.

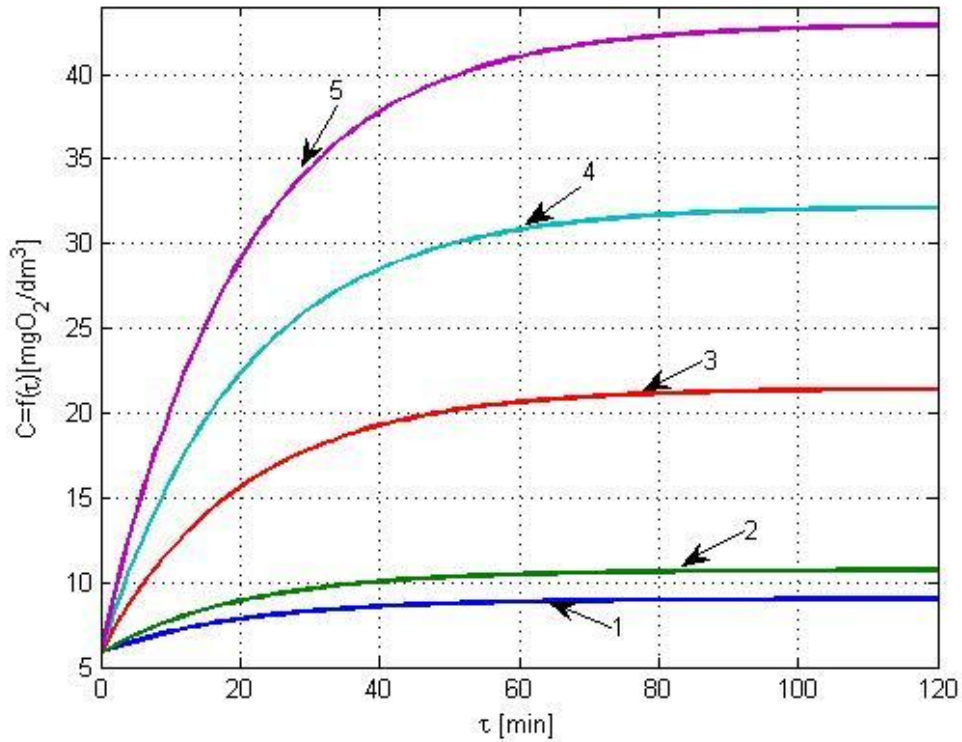


Fig. 3.4. Reprezentarea grafică a variației concentrației de oxigen dizolvat în apă pentru varianta I și cele patru cazuri ale variantei II

Din figura 3.4. se constată că odată cu creșterea aportului de oxigen din butelie crește și valoarea concentrației de oxigen dizolvat în apă.

În cazul variantei III, în apă se insuflă aer atmosferic cu conținut redus de azot; cu participațiile volumice:  $r_{O_2} = 95[\%]$ ,  $r_{N_2} = 5[\%]$ .

Volumul de azot insuflat în apă va fi:

$$\square V_{N_2} = \frac{5}{100} \cdot 600 = 30 \left[ dm^3 / h \right] \quad (3.1)$$

Restul de  $600 - 30 = 570 \left[ dm^3 / h \right]$  va fi oxigen.

Schema logică de calcul pentru integrarea numerică a ecuației diferențiale a vitezei de transfer a oxigenului se prezintă astfel:

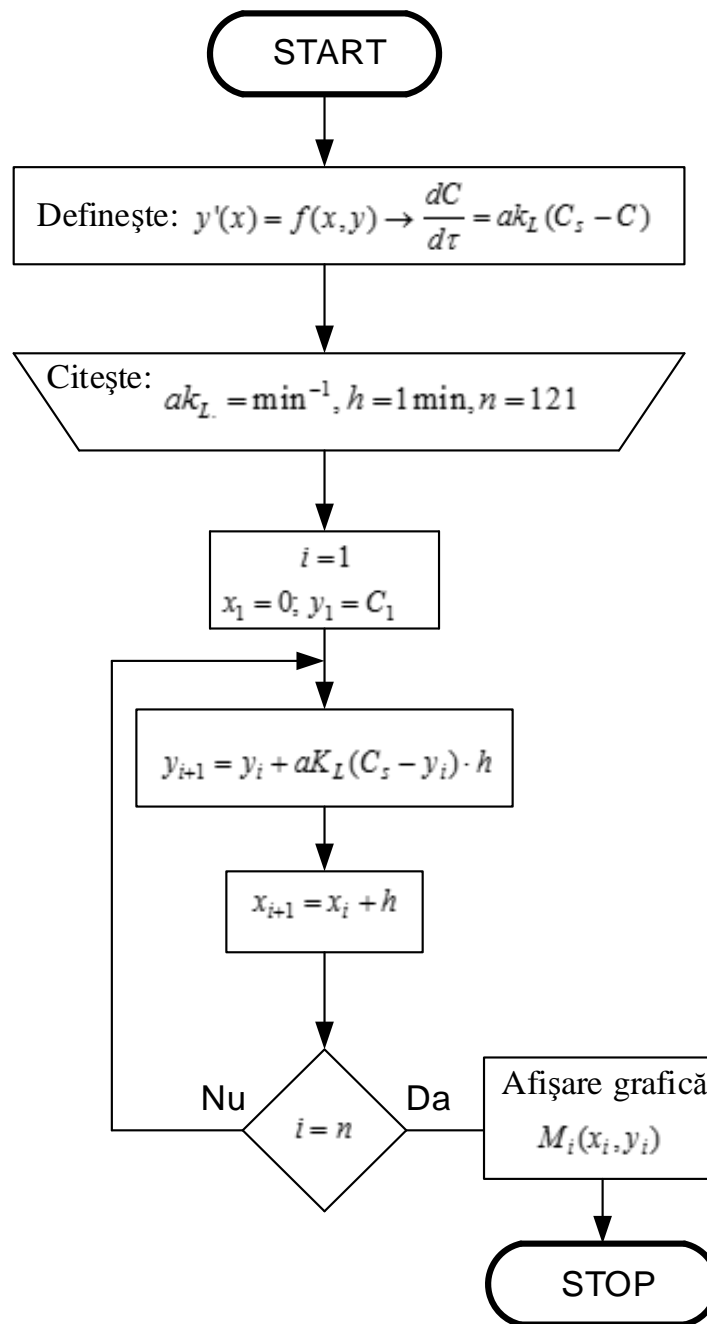


Fig. 3.6. Schema logică de calcul pentru varianta III

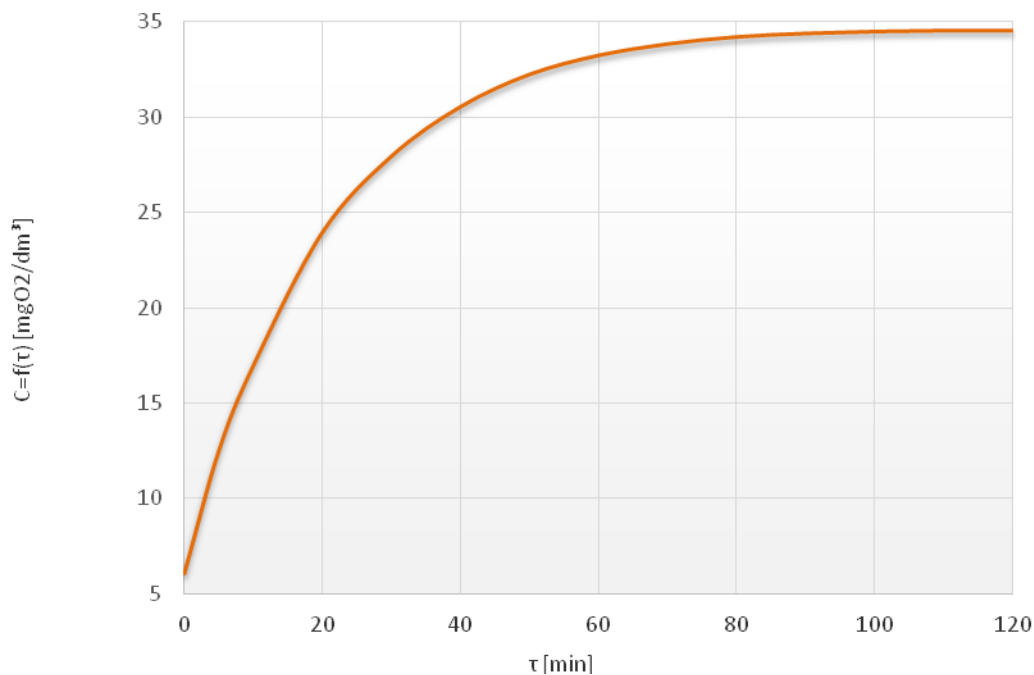
În procesele de oxigenare a apelor se cercetează utilizarea aerului pentru  $t = 29$  [ °C] și  $p = 760$  [torr], pentru aer concentrația de saturație este  $C_{s, aer} = 7,7$  [mg/dm<sup>3</sup>].

$$\square V_{N_2} = \frac{5}{100} \cdot 600 = 30 \left[ dm^3 / h \right] \quad (3.2)$$

## Cercetări teoretice și experimentale privind creșterea conținutului de oxigen dizolvat în apă

Din totalul de 600 [dm<sup>3</sup>/h], 95 % este O<sub>2</sub> (adică 570 [dm<sup>3</sup>/h]), iar 5% (adică 30 [dm<sup>3</sup>/h]) este azot.

În urma rulării programului de calcul, s-a trasat graficul din figura 3.7.

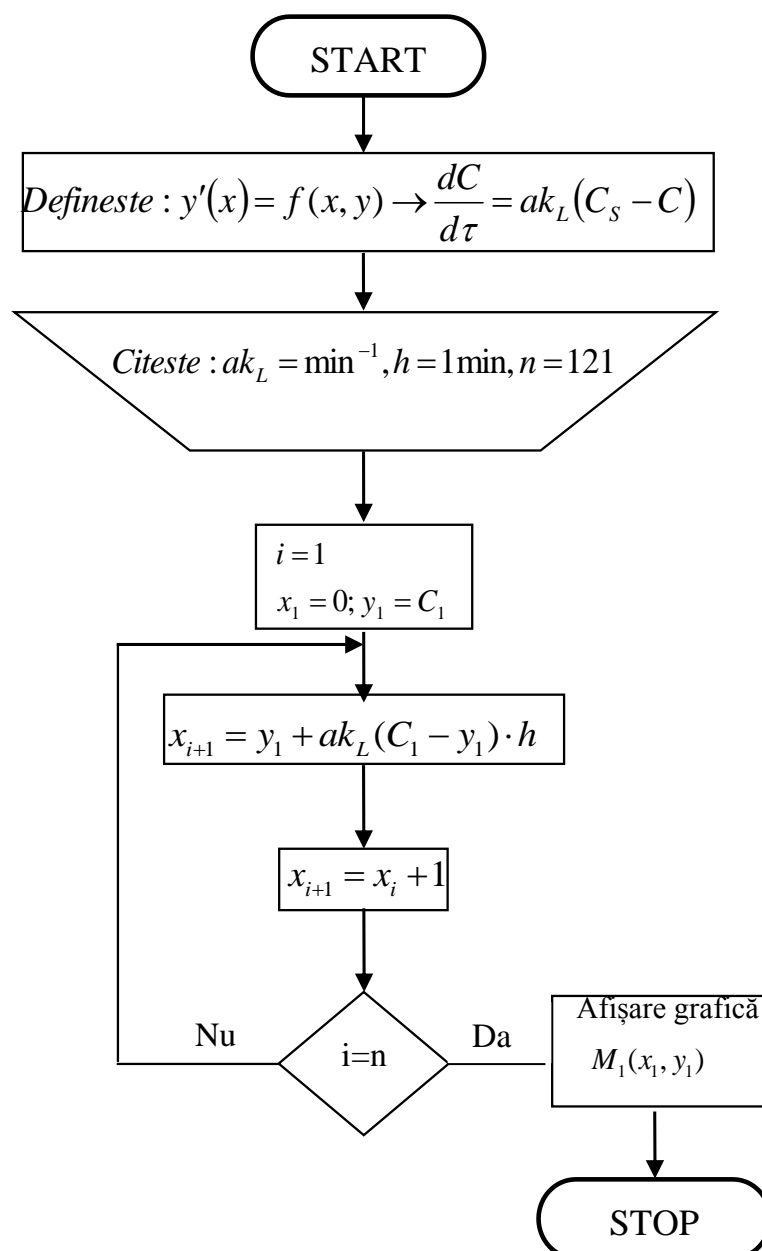


**Fig. 3.5.** Reprezentarea grafică a variației concentrației de oxigen dizolvat în apă pentru varianta III

În cazul variantei IV, date inițiale sunt:  $C_0$  [mg / dm<sup>3</sup>],  $C_s$  [mg / dm<sup>3</sup>],  $\tau$  [min],  
 $V_{aer}$  [dm<sup>3</sup> / h],  $t_{H_2O}$  [°C],  $t_{aer}$  [°C],  $V_{apă}$  [dm<sup>3</sup> / h].

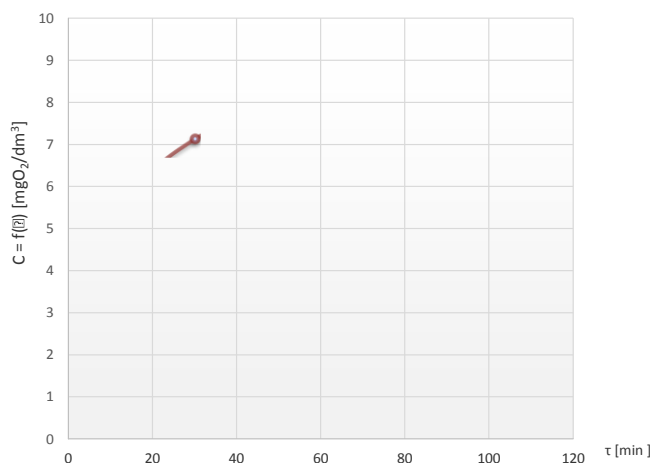
În figura 3.7. se prezintă schema logică a programului de calcul pentru determinarea concentrației de oxigen dizolvat în apă, în varianta IV.





**Fig. 3.7.** Schema logică de calcul pentru integrarea numerică a ecuației diferențiale a vitezei de transfer a oxigenului, pentru varianta IV

În urma rulării programului de calcul s-a putut trasa graficul funcției  $C_s = f(\tau)$  pentru varianta IV, reprezentat în figura 3.8.



**Fig. 3.8.** Reprezentarea grafică a funcției  $C_{O_2} = f(\tau)$  pentru varianta IV

Valoarea lui  $C_s$  de la varianta I,  $C_s = 8,4$  [mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>] se atinge după 75 [min].

#### **Capitolul IV. Surse de alimentare cu amestecuri de gaze a instalației experimentale (patru variante)**

În acest capitol se prezintă sursa de gaz pentru fiecare variantă.

În cercetările din laborator se va folosi un compresor volumic, cu o singură treaptă (un singur cilindru) de joasă presiune:  $\varepsilon < 10$  .

Compresorul ca sursă de aer comprimat este tip CHICAGO PNEUMATIC – CPRA 24 L20, prezentat în *figura 4.1*.



**Fig. 4.1.** Compresor CHICAGO PNEUMATIC – CPRA 24 L20 [12]

În laborator am utilizat oxigen dintr-o butelie, adică un gaz lichefiat.

Pentru răcire se aplică separat sau în combinație, următoarele procedee:

- ❖ Comprimare urmată de răcire indirectă, ca și exemplu lichefierea (condensarea) agentului frigorific (amoniac, bioxid de sulf etc.) în condensatorul instalațiilor frigorifice; se aplică la gazele cu punct critic ridicat sau folosind răcirea în cascadă și la celelalte gaze;
- ❖ Destinderea liberă, fără producere de lucru mecanic, prin utilizarea efectului Joule – Thomson;
- ❖ Destinderea cu producere de lucru într-un detentor.

### **Surse de aer cu conținut redus de azot**

Aparatele care livrează acest gaz (95 % O<sub>2</sub> și 5 % N<sub>2</sub>) se numesc concentratoare de oxigen. În laborator s-au utilizat două concentratoare de oxigen tip DeVilbiss prezentate în *figura 4.2*.



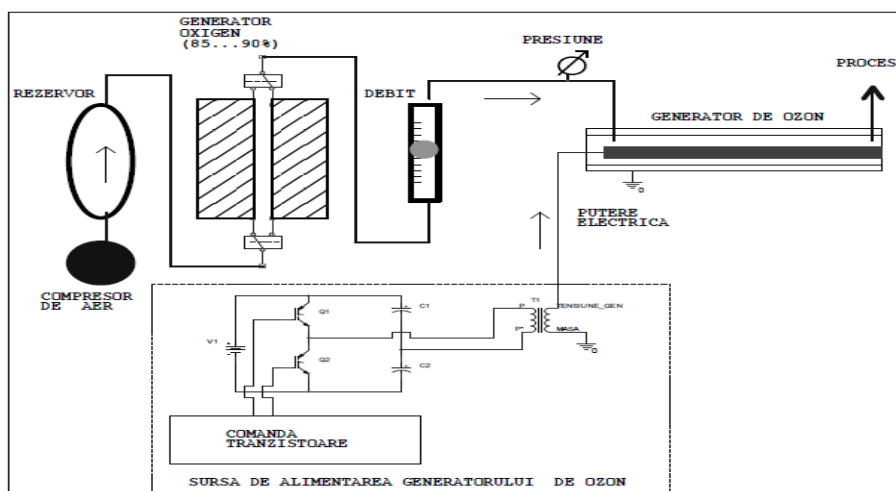
**Fig. 4.2.** Vedere din față a concentratorului de oxigen de tip DeVilbis [43]

Fiecare concentrator livrează  $300 \text{ [dm}^3\text{/h]}$  la o presiune de  $5 \pm 0,5 \text{ [psi]}$ ;  $1 \text{ psi} = 0,07 \text{ [bar]} = 0,07 \cdot 10^5 \text{ [N/m}^2\text{]} = 0,07 \text{ [Pa]}$ , deci ambele concentratoare asigură debitul de gaz utilizat, adică  $600 \text{ [dm}^3\text{/h]}$  [19], [20].

### Surse de ozon

Ozonul este produs de un generator aerul fiind transportat prin ozonizator cu ajutorul unui compresor.

În figura 4.3. se prezintă o schemă generală de producere a ozonului.



**Fig. 4.3.** Schema simplificată a echipamentului de producere a ozonului [14]

## Capitolul V. Stabilirea pe cale teoretică a consumurilor energetice, pentru cele patru variante studiate

În acest capitol se calculează consumurile energetice separat, pentru fiecare variantă.

➤ Pentru varianta I se introduc în apă  $0,6 \text{ m}^3 / \text{h}$  de aer atmosferic. Energia  $E$  este produsul dintre puterea consumată  $P_I$  [kW] și timpul de funcționare al instalației  $\tau$  [h].

Pentru varianta I se obține:

$$E_I = P_I \cdot \tau_I \text{ [kWh]} \quad (5.1)$$

Admițând un randament al agregatului  $\eta_{agr}$ , compresor + motor electric de antrenare, de 0,5, rezultă puterea reală de antrenare.

$$P_I = \frac{P_t}{\eta_{agr}} = \frac{7 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 14 \cdot 10^{-3} \text{ [kW]} \quad (5.2)$$

Timpul de funcționare al instalației este de două ore, deci energia mecanică consumată pentru a se ajunge de la  $C_0$  la  $C_s$  va fi:

$$E_I = P_I \cdot \tau_I = 14 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 28 \cdot 10^{-3} \text{ [kWh]} \quad (5.3)$$

Se cunoaște că randamentul mediu al unei centrale termoelectrice pe cărbune este de circa 30 %, ca urmare energia electrică absorbită din rețeaua electrică în cazul primei variante va fi:

$$E_{I,el} = \frac{E_I}{\eta_{CTE}} = \frac{0,028}{0,3} = 0,0933 \text{ [kWh]} \quad (5.4)$$

➤ Pentru cele patru cazuri din varianta II volumul de gaz aspirat de compresor va fi:  
 $V_a = \frac{0,6}{3600} \left[ \text{m}^3 / \text{s} \right]$ , iar raportul de comprimare este  $\varepsilon = 1,5$ , același ca în varianta I.

Ca urmare, energia electrică absorbită din rețea va fi aceeași:

$$E_{I,el} = \frac{E_I}{\eta_{CTE}} = \frac{0,028}{0,3} = 0,0933 \text{ [kWh]}. \quad (5.5)$$

➤ În varianta III concentratorul de oxigen tip PLATINUM (2 bucăți) utilizat în instalație furnizează  $300 \text{ [dm}^3/\text{h}]$  de  $\text{O}_2$ , deci ambele lucrează cu  $600 \text{ [dm}^3/\text{h}] = 0,6 \text{ [m}^3/\text{h}]$ .

Din datele tehnice ale concentratorului de oxigen rezultă că presiunea maximă la ieșirea din aparat a gazului comprimat este de 0,35 bar.

## Cercetări teoretice și experimentale privind creșterea conținutului de oxigen dizolvat în apă

Ca urmare energia electrică consumată din rețea va fi mai redusă:

$$E_{III} = 0,0935 \cdot 0,09756 = 0,0900 [kWh] \quad (5.6)$$

$$E_{III} < E_I$$

➤ În varianta IV se introduce în instalație aer + ozon; debitul de aer și presiunea aerului este aceeași ca în varianta I; aici apare un consum de energie electrică a generatorului de ozon.

Valorile calculate teoretic sunt prezentate în *tabelul 5.1*.

**Tabelul 5.1.** Valori calculate teoretic

Nr. variantă	Gazul insuflat	Timp de funcționare $C_0 \rightarrow C_s$ [τ]	Valoare $C_s$ [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	Timpul în care se atinge $C_s$	Energia electrică consumată [kWh]
I	Aer atmosferic	2 h	8,40	2h	0,0933
II	Cazul I Aer + 25 % O <sub>2</sub>	2 h	10,73	15'	0,0933
	Cazul II Aer + 50 % O <sub>2</sub>	2 h	21,46	5'	0,0933
	Cazul III Aer + 75 % O <sub>2</sub>	2 h	32,21	3'	0,0933
	Cazul IV Aer + 100 % O <sub>2</sub>	2 h	43,00	2'	0,0933
III	Aer atmosferic cu conținut redus de azot (95 %)	2 h	34,80	2,5'	<b>0,0900</b>
IV	Aer + ozon	2 h	8,98	87'	0,133

Din tabelul 5.1. se observă că în urma calculelor teoretice cea mai avantajoasă metodă este varianta III.

Pentru cele patru variante s-a evaluat consumul de energie electrică plecând de la consumul de putere și timpul de funcționare al instalației studiate. Debitul de gaz a fost

$$\dot{V} = 0,6 \left[ m^3 / s \right] \text{ iar } \varepsilon = 1,5 .$$

S-a ținut cont și de consumurile suplimentare de energie ca:

- Pentru funcționarea concentratoarelor de oxigen;
- Pentru funcționarea generatorului de ozon.

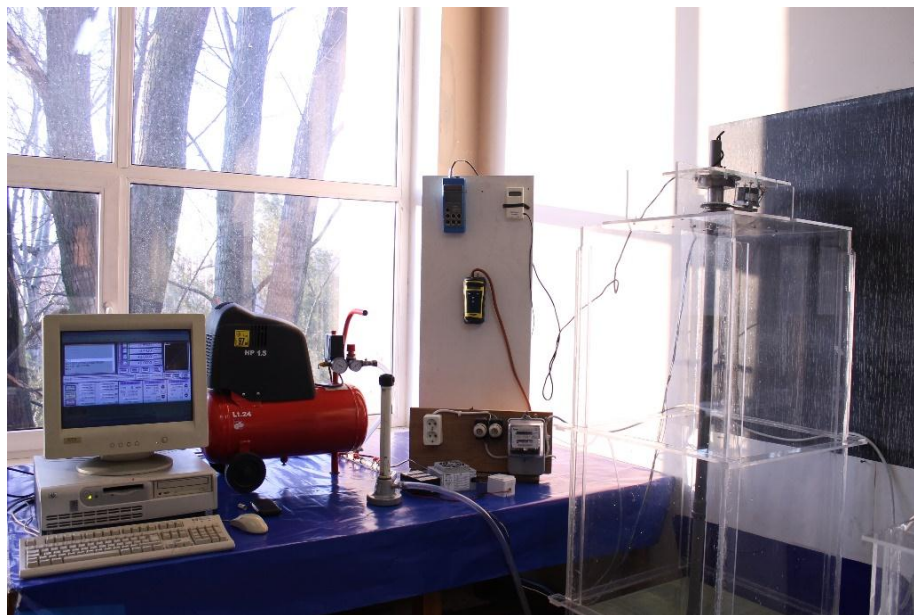
În urma evaluării consumurilor energetice a celor patru variante, cea mai favorabilă variantă este varianta III.

## Capitolul VI. Concepția proiectarea și construcția instalațiilor pentru insuflarea amestecurilor de gaze în apă

În acest capitol se prezintă schemele instalației, elementele componente și funcționarea instalației pentru fiecare variantă.

### Varianta I: Instalația pentru insuflarea de aer atmosferic în apă

Instalația pentru insuflarea de aer atmosferic în apă este prezentată în *figura 6.1* [21], [22].



**Fig. 6.1.** Vedere de ansamblu a instalației experimentale la insuflarea de aer atmosferic

În partea stângă a *figurii 6.1*. se află un calculator, un electrocompresor, un rotametr.

### Varianta II: Instalația pentru insuflarea unui amestec de aer atmosferic și oxigen dintr-o butelie, în apă

În *figura 6.2*. se disting:

- ⌘ În stânga se află un calculator și electrocompresorul cu rezervorul de aer;
- ⌘ În centru se observă butelia de oxigen prevăzută cu reductor de presiune și manometru;
- ⌘ În dreapta se află amplasat rezervorul paralelipipedic din plexiglas transparent.



**Fig. 6.2.** Vedere de ansamblu a instalației experimentale la insuflarea unui amestec de gaze (aer atmosferic și oxigen)

În rezervor sunt introduse două furtune prin care este alimentat G.M.B. cu amestec de aer și oxigen. Debitul de aer și debitul de oxigen se măsoară separat cu un rotamtru; aerul și oxigenul se amestecă într-o cameră de amestec și ulterior amestecul ajunge la G.M.B. prin două furtune legate la cele două capete ale G.M.B. [23].

### **Varianta III: Instalația pentru insuflarea aerului cu conținut redus de azot**

În figura 6.3. se observă în partea stângă două concentratoare de oxigen. Gazul trece printr-un rotamtru înglobat în fiecare concentrator de oxigen și ulterior se măsoară presiunea și temperatura gazului la intrare în G.M.B. [24], [25], [26].



**Fig. 6.3.** Vedere de ansamblu a instalației experimentale la insuflarea de aer cu conținut redus de azot



## Cercetări teoretice și experimentale privind creșterea conținutului de oxigen dizolvat în apă

Aerul atmosferic aspirat din atmosferă trece printr-un filtru, este comprimat și trimis către filtrele cu zeoliți; aici se reține azotul astfel încât la ieșire din aparat se obține un gaz ce conține 95 % oxigen. Fiecare concentrator de oxigen livrează 300 [dm<sup>3</sup>/h] .

### Varianta IV: Instalația pentru insuflarea unui amestec gazos format din aer atmosferic și ozon

Generatorul de ozon TCB – 300 O<sub>3</sub> este un dispozitiv automat complex și controlabil pentru decontaminarea aerului din interior. Generatorul de ozon TCB – 300 O<sub>3</sub> are un corp din plastic dur cu grad de protecție IP-56, care permite folosirea acestui dispozitiv în diferite condiții și spații - spații rezidențiale, industriale etc. [27], [28].

În figura 6.4. este prezentat generatorul de ozon racordat la conductele instalației de oxigenare a apei.



Fig. 6.4. Vedere în plan a generatorului de ozon racordat la conducte [15]

## Capitolul VII. Cercetări experimentale

Acest capitol relevă metodică cercetărilor pentru fiecare din cele patru variante.

În capitolul 6 au fost prezentate instalațiile experimentale pentru cele patru variante de studiu. În prezentul capitol se relevă metodică cercetărilor cu etapele care trebuie parcurse în cadrul măsurătorilor.

Cercetările experimentale efectuate în cadrul laboratorului din Departamentul Termotehnică, Motoare, Echipamente Termice și Frigorifice au urmărit determinarea pe cale experimentală a variației concentrației de oxigen dizolvat în apă în funcție de timp pentru cele patru amestecuri de gaze [29],[30] prezentate în patru variante :

I. Aer atmosferic (21 %O<sub>2</sub> + 79 % N<sub>2</sub>);

II. Amestec de aer atmosferic și oxigen din butelie;

III. Aer cu conținut redus de azot (95 % O<sub>2</sub> + 5 % N<sub>2</sub>);

IV. Aer + ozon.

Pentru fiecare etapă de măsurători se succed următoarele faze [31], [32]:

1. Se efectuează proba de presiune a generatorului de bule fine;
2. Se umple cu apă rezervorul până la H = 0,5 m ( sarcină hidrostatică);
3. Se măsoară concentrația inițială a oxigenului dizolvat în apă C<sub>0</sub> ( mg/dm<sup>3</sup> );
4. Se măsoară temperatura apei din rezervor și temperatura aerului;
5. Se introduce generatorul de bule fine în apă și se notează timpul începerii experienței;
6. Se măsoară și se mențin constante debitul și presiunea aerului comprimat cu ajutorul ventilelor de reglaj;
7. După 15 minute se oprește oxigenarea apei și se introduce sonda oxigenometrului în apă;
8. Se pornește electro-mecanismul de acționare a sondei care îi asigură o viteză de 0,3 m/s; când valoarea concentrației de oxigen de pe ecranul oxigenometrului, se stabilizează, înseamnă că măsurarea s-a finalizat;
9. Se ridică sonda oxigenometrului din bazin;
10. Se repornește instalația de oxigenare și se notează timpul  $\tau = 15'$ ;  $30'$ ;  $45'$ ;  $60'$ ;  $75'$ ;  $90'$ ;  $115'$ ;  $120' \rightarrow 120' = 2$  [h]; se măsoară C<sub>O<sub>2</sub></sub> la fiecare 15'.

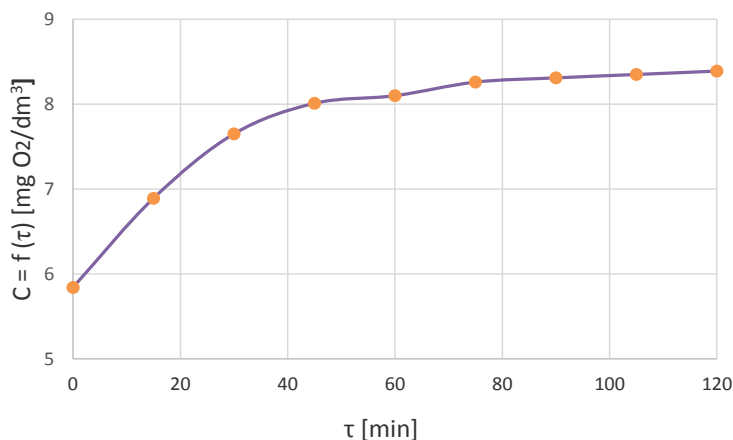
Din cercetările anterioare s-a constatat că insuflând un debit de aer  $\dot{V} = 600 \left[ \frac{dm^3}{h} \right]$  în rezervorul cu apă cu sarcina hidrostatică de H = 0,5 [m] cu un volum de apă (0,125 m<sup>3</sup>), concentrația de oxigen dizolvat în apă se apropie de valoarea concentrației la saturație după un timp  $\tau = 2$  [h].

## Capitolul VIII. Rezultatele cercetărilor experimentale, prelucrarea lor

În acest capitol se arată grafic variația concentrației de oxigen dizolvat în apă în funcție de timp.

### Rezultate obținute pentru varianta I (aer atmosferic introdus în apă)

Pe baza datelor experimentale s-a trasat graficul din *figura 8.1*.

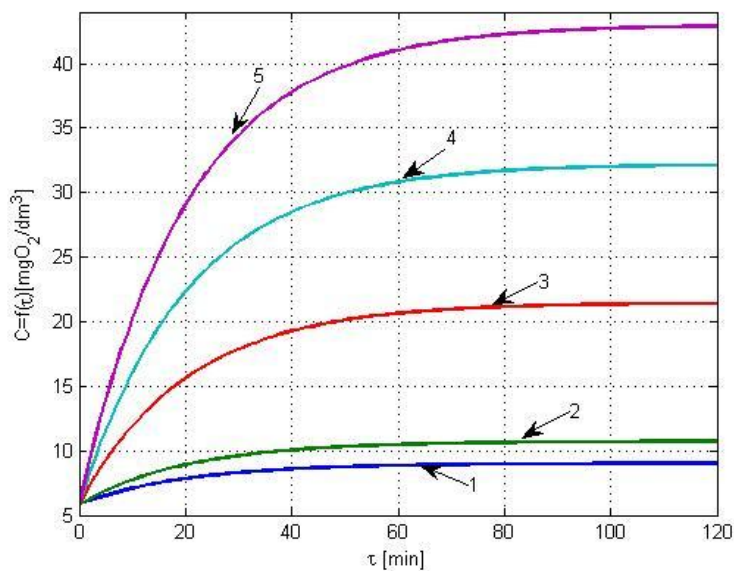


**Fig. 8.1.** Variația concentrației de oxigen dizolvat în apă în cazul variantei I

Aceste rezultate sunt în bună concordanță cu cele obținute teoretic, în cadrul tezei precum și cu cele conținute în lucrări similare [33], [34].

### Rezultate obținute pentru varianta II (introducerea în apă a unui amestec de aer atmosferic și oxigen dintr-o butelie)

În *figura 8.2* se prezintă instalația în care se introduce un amestec de gaze format din aer atmosferic și oxigen; rezultatele experimentale obținute sunt prezentate în *figura 8.2*.



**Fig. 8.2.** Reprezentarea grafică a variației concentrației de oxigen dizolvat în apă pentru varianta I (curba 1) cele patru cazuri ale variantei II (curbele 2,3,4,5)

Compararea funcției  $C = f(\tau)$  pentru varianta I și cele patru cazuri ale variantei II prezentate anterior se poate observa în *figura 8.2*.

### Rezultate obținute pentru varianta III (introducerea aerului cu conținut redus de azot)

În acest caz conținutul de oxigen este de 95% și azotul în proporție de numai 5%. Valoarea concentrației de saturație  $C_s = 34,8$  [mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>].

În urma cercetărilor experimentale s-a obținut curba din *figura 8.3*.

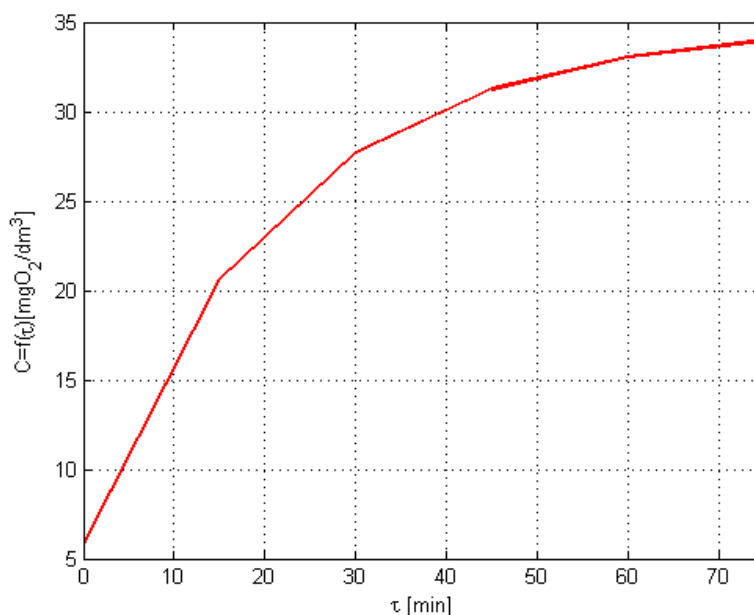


Fig. 8.3. Reprezentarea grafică a variației concentrației de oxigen dizolvat în apă pentru varianta III

### Rezultate obținute pentru varianta IV (introducerea în apă a unui amestec gazos format din aer atmosferic și ozon)

Pentru varianta IV în generatorul de bule fine se introduce un amestec gazos (aer + ozon) și în urma cercetărilor experimentale au rezultat datele din *figura 8.4*.

Pentru temperatura apei de 21 °C valoarea lui  $C_s = 8,90$  [mg/dm<sup>3</sup>].

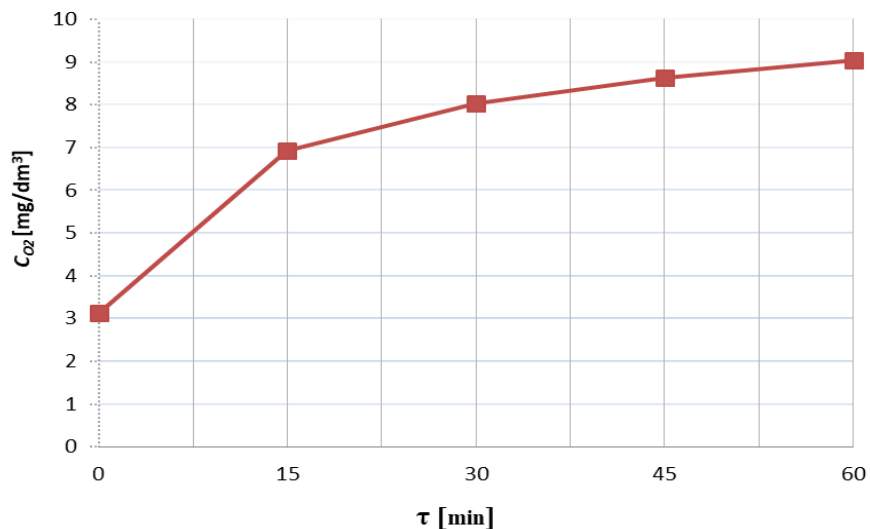


Fig. 8.4. Dependența  $C_{O_2} = f(\tau)$ , la introducerea unui amestec gazos format din aer și ozon

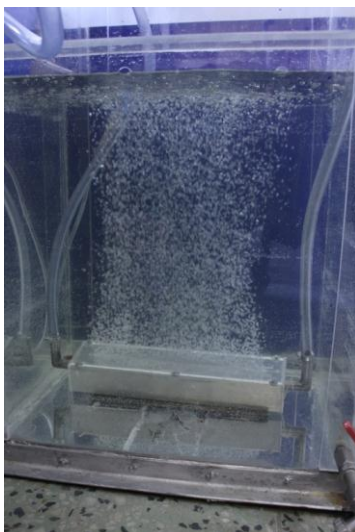
Din figura 8.5. se observă că atunci când în apă se introduce prin intermediul generatorului de bule fine un amestec gazos (aer atmosferic + ozon) perioada în care se ajunge de la  $C_0$  la  $C_s$  se reduce la jumătate, fapt care face ca acest procedeu să fie mult mai eficient; altfel spus pentru a ajunge de la  $C_0$  la  $C_s$  în același regim hidrodinamic, timpul de funcționare pentru varianta IV este de două ori mai scurt.

Pentru cercetările anterior menționate, s-a utilizat un generator de microbule (G.M.B.) care este prevăzut cu o placă perforată cu 152 de orificii de  $\varnothing 0,1$  mm realizate prin microgăurire (figura 8.5.) [35], [36], [37].

Pe parcursul cercetărilor experimentale se mențin constante următoarele valori: presiunea gazului la intrarea în G.M.B., debitul de gaz, sarcina hidrostatică.

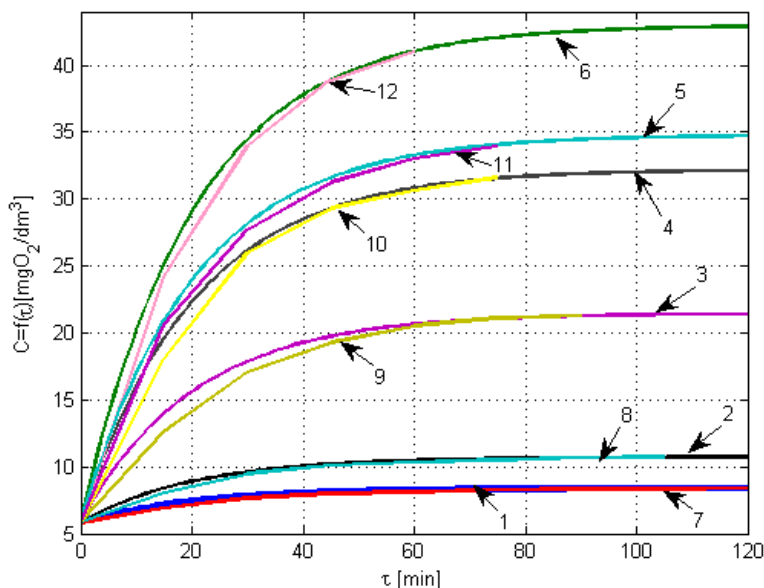
La un interval de 15 minute se întrerupe alimentarea cu aer a G.M.B. și se introduce sonda oxigenometrului; semnalul preluat de la sondă este prelucrat în microcomputer și afișat digital pe ecranul microcomputerului [38], [39].

În figura 8.7. se observă funcționarea G.M.B. de formă dreptunghiulară.



**Fig. 8.5.** Generatorul de microbule cu 152 de orificii  $\varnothing 0,1$  mm în funcțiune

În figura 8.6. sunt prezentate toate rezultatele măsurătorilor efectuate: 1 – 7 rezultate teoretice; 8 – 12 rezultate experimentale.



**Fig. 8.6.** Variația concentrației de oxigen dizolvat în apă în timp pentru cele patru variante  
**Curbe trasate pe baza datelor teoretice:** 1 – pentru aer atmosferic; 2 – aer + oxigen din butelie (150  $\text{dm}^3/\text{h}$ ); 3 – aer + oxigen din butelie (300  $\text{dm}^3/\text{h}$ ); 4 – aer + oxigen din butelie (450  $\text{dm}^3/\text{h}$ ); 5 – pentru aer cu conținut redus de azot; 6 – aer + oxigen din butelie (600  $\text{dm}^3/\text{h}$ ); **Curbe trasate pe baza datelor experimentale:** 7 – pentru aer atmosferic; 8 – aer + oxigen din butelie (150  $\text{dm}^3/\text{h}$ ); 9 – aer + oxigen din butelie (300  $\text{dm}^3/\text{h}$ ); 10 – aer + oxigen din butelie (450  $\text{dm}^3/\text{h}$ ); 11 – pentru aer cu conținut redus de azot; 12 – aer + oxigen din butelie (600  $\text{dm}^3/\text{h}$ )

Din *figura 8.6.* se observă o concordanță bună între datele teoretice și datele obținute pe cale experimentală. Evident, valoarea  $C_s$  se atinge cel mai repede când în apă se insuflă oxigen pur.

Rezultatele experimentale obținute sunt similare cu cele din lucrări științifice realizate recent [41], [42].

## Capitolul IX. Analiza economică comparativă a celor patru variante studiate

În acest capitol se alege soluția cea mai favorabilă din cele patru variante.

Se prezintă din nou *tabelul* cu consumul de energie electrică și se calculează costul energiei electrice:

**Tabelul 9.1.** Valori calculate teoretic

Nr. variantă	Gazul insuflat	Timp de funcționare $C_0 \rightarrow C_s$ [ $\tau$ ]	Valoare $C_s$ [ $\text{mg O}_2/\text{dm}^3$ ]	Timpul în care se atinge $C_s$	Energia electrică consumată [kWh]
I	Aer atmosferic	2 h	8,40	2h	0,0933
II	Cazul I Aer + 25 % $\text{O}_2$	2 h	10,73	15'	0,0933
	Cazul II Aer + 50 % $\text{O}_2$	2 h	21,46	5'	0,0933
	Cazul III Aer + 75 % $\text{O}_2$	2 h	32,21	3'	0,0933
	Cazul IV Aer + 100 % $\text{O}_2$	2 h	43,00	2'	0,0933
III	Aer atmosferic cu conținut redus de azot (95 %)	2 h	34,80	2,5'	0,0900
IV	Aer + ozon	2 h	8,98	87'	0,133

Din analiza celor patru variante (*tabel 9.1.*) se observă că că varianta III are cel mai mic consum de energie electrică, cel mai scăzut cost, deci este cea mai avantajoasă.

Evident în cazul variantei III trebuie procurate concentratoarele de oxigen, fapt ce mărește costul investiției inițiale. Consumul de energie electrică, de apă etc. este suportat de Universitatea Politehnica din București.

Nu sunt consumuri exagerate și nici aparate care să necesite mari investiții.

Pentru alegerea celei mai eficiente soluții se calculează costul total al energiei electrice consumate când  $C_0 \rightarrow C_s$  :

Se prezintă din nou *tabelul 9.1.* cu consumul de energie electrică.

**Tabelul 9.1.** Valori calculate teoretic

Nr. variantă	Gazul insuflat	Timp de funcționare $C_0 \rightarrow C_s$ [ $\tau$ ]	Valoare $C_s$ [ $\text{mg O}_2/\text{dm}^3$ ]	Timpul în care se atinge $C_s$	Energia electrică consumată [kWh]	Cost energie [Lei/kWh]	Cost total [Lei]
I	Aer atmosferic	2 h	8,40	2h	0,0933	0,0633	0,059
II	Cazul I Aer + 25 % $\text{O}_2$	2 h	10,73	15'	0,0933	0,0633	0,059
	Cazul II Aer + 50 % $\text{O}_2$	2 h	21,46	5'	0,0933	0,0633	0,059
	Cazul III Aer + 75 % $\text{O}_2$	2 h	32,21	3'	0,0933	0,0633	0,059
	Cazul IV Aer + 100 % $\text{O}_2$	2 h	43,00	2'	0,0933	0,0633	0,059
III	Aer atmosferic cu conținut redus de azot (95 %)	2 h	34,80	2,5'	0,0900	0,0633	0,056
IV	Aer + ozon	2 h	8,98	87'	0,133	0,0633	0,084

**Se observă că la evaluarea totală a costurilor este favorabilă varianta III.**

## CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

### C1 CONCLUZII GENERALE

Lucrarea scoate în relief diferite soluții de creștere a conținutului de oxigen dizolvat în apă.

În funcție de potențialul economic al unui viitor beneficiar trebuie aleasă una din cele patru variante prezentate.

Desigur, varianta cea mai economică este varianta III: Insuflarea în apă a aerului cu conținut redus de azot (95%  $\text{O}_2$  + 5%  $\text{N}_2$ ), dar acest lucru implică procurarea concentratoarelor de oxigen. În lucrarea [42] se demonstrează că pe termen lung investiția se amortizează.

### C2 CONTRIBUȚII ORIGINALE

Se vor prezenta pe scurt următoarele contribuții:



### A. Contribuții teoretice

- 1) Prezentarea stadiului actual al cercetărilor în domeniul aerării și oxigenării apelor stagnante;
- 2) Analiza ecuației vitezei de transfer a oxigenului către apă și integrarea ei numerică;
- 3) Analiza consumului de energie electrică pentru cele patru variante de calcul:
  - Varianta I: Insuflarea de aer atmosferic în apă (21% O<sub>2</sub> și 79 % N<sub>2</sub>);
  - Varianta II: Insuflarea unui amestec gazos format din aer atmosferic și oxigen dintr-o butelie;
  - Varianta III: Insuflarea unui curent de aer cu conținut redus de azot (95% O<sub>2</sub> și 5 % N<sub>2</sub>);
  - Varianta IV: Insuflarea unui amestec de aer atmosferic și ozon.
- 4) Calculul energiei electrice absorbite din rețeaua electrică pentru un randament al unei centrale termoelectrice:  $\eta_{CTE} = 0,3$ .
- 5) Analiza economică a celor patru variante în sensul stabilirii cheltuielilor cu energia electrică consumată;
- 6) Stabilirea unei variante optime din punct de vedere economic; se alege varianta III care consumă cea mai mică cantitate de energie electrică, deci are costurile de exploatare cele mai mici.

### B. Contribuții numerice

- 1) Elaborarea programului de calcul a concentrației de oxigen dizolvat în apă pentru cele patru variante; datele de intrare pentru fiecare program sunt de două categorii:
  - Date comune:  $C_0$  [mg/dm<sup>3</sup>],  $\tau$  [min],  $V_{aer} \left[ \frac{dm^3}{h} \right]$ ,  $t_{H_2O}$  [°C],  $H$  [mmH<sub>2</sub>O];
  - Date diferite: cele care precizează compoziția gazului insuflat în apă.
- 2) Elaborarea unui program de calcul pentru integrarea numerică a ecuației diferențiale a vitezei de transfer a oxigenului către apă cu ajutorul metodei numerice Euler.

### C. Contribuții experimentale

- Concepția, proiectarea și construirea instalațiilor experimentale pentru cercetări privind:
  - I: Aerarea apelor (introducerea de aer atmosferic în apă);
  - II: Oxigenarea apelor (introducerea unui amestec gazos format din aer atmosferic și oxigen dintr-o butelie);

### Cercetări teoretice și experimentale privind creșterea conținutului de oxigen dizolvat în apă

- III: Oxigenarea apelor prin introducerea unui curent de aer cu conținut redus de azot (95% O<sub>2</sub> și 5 % N<sub>2</sub>);
  - IV: Oxigenarea apelor prin introducerea unui amestec de aer atmosferic și ozon.
- Elaborarea unei metodici de cercetare pentru fiecare variantă studiată.
- Rezultatele experimentale obținute și prelucrarea lor sub formă grafică.

### C3 PERSPECTIVE DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR

Cercetările privind creșterea concentrației de oxigen dizolvat în apă se pot extinde pe următoarele categorii:

- Alegerea unor dispozitive care să asigure insuflarea aerului nu în bazine , ci direct în conductele de transport ale apelor uzate; astfel se elimină acele mari bazine care necesită investiții foarte ridicate;
- Aflarea unor generatoare de bule fine la care diametru orificiilor de insuflare a aerului să fie de ordinul nanometrilor;( cercetările actuale au atins diametrul unui orificiu de 0,1mm).

Asemenea încercări se studiază actual în laboratoarele din Universitatea Politehnica din București.

### Bibliografie selectivă

- [1] *E.B.Tănase,N.Băran,R.Mlisan*, An Efficient Solution for Water Oxygenation,Asian Engineering Review Vol.1,No3,36-40,2014.
- [2] *N.Băran, M.Vlăsceanu, M.Băran,E.B.Tănase*, Increasing the performance of oxygenation installations, Termotehnica, nr.1/2014,pp 16-21.
- [3] *E.C.Gh.Isbășoiu*, Tratat de mecanica fluidelor, Ed.Agir,București ,2011.
- [4] *F. M. White*, Fluid Mechanics, 4th Edition, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering, 1998.
- [5] *I. Călușaru*, Influența proprietăților fizice ale lichidului asupra eficienței proceselor de oxigenare, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica din București, Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică, 2014.
- [6] *D. Besnea, Ghe. I. Gheorghe, M. Constantin, N. Băran, B.Tănase*, Researches regarding the placement of fine bubble generators in water tanks, Review Precision Mechanics, Optics and Mechatronics, nr. 50, 2016, pp. 48-52.

- [7] Al. S. Pătulea, Influența parametrilor funcționali și a arhitecturii generatoarelor de bule fine asupra eficienței instalațiilor de aerare, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica din București, 2012.
- [8] M. Marinescu, Al. Chisacof, P. Raducanu, A. Motorga, „Bazele Termodinamicii Tehnice, Transfer de căldură și masă – Procese fundamentale”, vol II, Editura Politehnica PRESS, București, 2009.
- [9] \*\*\*\* <http://www.cemacon.ro/files/catalog-zeoliti/catalogzeoliti.pdf>
- [10] \*\*\*\* Prospect firma AirSep (USA) pentru concentrator de oxigen tip EverFlo.
- [11] N. Băran, I. Călușaru, G. Mateescu, Influența arhitecturii generatoarelor de bule fine asupra variației concentrației de oxigen dizolvat în apă, Lucrările celei de a șaptea conferințe a hidroenergeticienilor din România Dorin Pavel, București, 2012.
- [12] Beatrice Tănase, Influența compoziției gazului insuflat în apă asupra conținutului de oxigen dizolvat, Teză de doctorat, U.P.B. București 2017.
- [13] B. Tănase, D. Besnea, R. Mlisan, M. Constantin and N. Băran, Constructive solutions for the achievement of fine bubble generators based on micro-drilling technologies, IJISSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 2 Issue 2, 2015, pp. 46-50.
- [14] \*\*\*\* Prospect firma LINDE GAS SRL.
- [15] \*\*\*\* <http://www.ozonfix.ro/intrebari-frecvente-ozon>
- [16] G. Oprina, I. Pincovschi, Ghe. Băran, Hidro-Gazo-Dinamica Sistemelor de aerare cu echipamente de bule, ED. POLITEHNICA PRESS, București, 2009.
- [17] R. Dima, O. Floarea, Procese de transfer de masă și utilaje specifice, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1984.
- [18] \*\*\*\* <http://www.ozonfix.ro>
- [19] A. Pătulea, I. Călușaru, N. Băran, Researches regarding the measurements of the dissolved concentration in water, Advanced Materials Research, Trans Tech Publications, Switzerland, 2012, Vols. 550-553, pp 3388-3394.
- [20] I. Călușaru, N. Băran, A. Pătulea, G. Mateescu, 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.
- [21] I. M. Călușaru, N. Băran, Al. Pătulea, Determination of dissolved oxygen concentration in stationary water, Revista de chimie, vol. 63, nr. 12 /2012, pp. 1312 – 1315.
- [22] N. Băran, A. Patulea, I. Călușaru, The Determination Of The Oxygen Transfer Speed In Water In Nonstationary Conditions, International proceedings of Computer

Science and Information Technology, Mechanical Engineering, Robotics and Aerospace, 2011, pp 267-272.

- [23] *Nicoleta Dorina Albu, Elena Beatrice Tănase, Nicolae Vlad Sima, Corina Moga*, „The Correlation between the Composition of the Gas Mixture Injectend into Water and the Concentraction of Dissolvend Oxygen in Water ( Hidraulica nr.1/2019).
- [24] *Păun Rareș Dumitru, Octavian Donțu, Nicoleta Dorina Albu, Sima Nicolae Vlad, Corina Ioana Moga, Elena Beatrice Tănase*, „Researches on the use of oxygen concentrators in wastewater oxigenation„, Internațional Journal of Mechatronics and Applied Mechanics ,2019, Issue 5.
- [25] *Nicoleta Dorina Albu, Nicolae Băran, Octavian Donțu, Ammar Almaslamani , Mihaela Constantin*, „Water Aeration Researches”, Internațional Journal of Mechatronics and Applied Mechanics ,2019, Issue 5.
- [26] *N. Băran, A. Pătulea, M. Călușaru*, Computation of performance and efficiency of the water oxygention pocess in non-stationary conditions, Sixieme edition du Colloque Francophone sur L’Energie –Environnement- Economie et Thermodynamique COFRET 2012, AVANGARD Business Printing Services, pag.503-507, ISBN 978-619-460-008-3, 11-13 Iunie 2012, Sozopol, Bulgaria.
- [27] *Albertino Giovanni Roza, Dorina Nicoleta Albu, Donțu Octavian, Moga Corina, Băran Nicolae and Constantin Mihaela* „Researches on the use of ozon generator for wastewater treatment „, „INCD Mechatronics and Measurement Tehnique, pp 11-21.
- [28] *N. Băran, I. M. Constantin, E. B. Tănase, R. Mlisan*, Researches regarding water oxygention with fine air bubbles, U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 78, Iss. 2, 2016, pag 167-177.
- [29] *Al. Pătulea, I. M. Călușaru, N. Băran*, Reasearches regarding the measurements of the dissolved concentration in water, Advanced Materials Research, Trans Tech Publications, Switzerland, **vol. 550-553**, 2012, pp. 3388-3394.
- [30] *I. M. Călușaru, A. Costache, N. Băran, G. L. Ionescu, O. Donțu*, The determination of dissolved oxygen concentration in stationary water, Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publications, Switzerland, **vols. 436**, 2012, pp. 233-237.
- [31] *N. Băran, Gh. Băran, G. Mateescu*, Research Regarding a New Type of Fine Bubble Generator, Revista de Chimie, **vol.61**, nr.2, 2010, pp.196-199.
- [32] *N. Băran, Z. Abulghanam, Al.S. Pătulea*, Researches Regarding The Increase Of The Dissolved Oxygen Concentration In Function Of The Duration Of The Water Oxigenation Proces, Termotehnica , anul XIV, nr 2/2010, ISSN 1222-4057, pp. 15-18, Editura AGIR, Bucuresti, 2011.
- [33] *N. Băran, I. M. Călușaru, G. Mateescu*, Influența arhitecturii generatoarelor de bule fine asupra variației concentrației de oxigen dizolvat în apă, Lucrările celei de a șaptea conferințe a hidroenergeticienilor din Romania Dorin Pavel, Bucuresti, 2012.

- [34] N. Băran, B.Tănase, R. Mlisan, I. Călușaru, Researches regarding the reduction of the water oxygenation time, Termotehnica nr.2/2013, București, pp. 100-103.
- [35] O. Donțu, Tehnologii și sisteme de fabricație utilizate în mecatronică, Editura Printech București, 2014.
- [36] D.Bernea, O.Donțu, D.Cioboată, „Tehnologii mecatronice și aplicațiile lor, Editura PRINTECH, București 2017.
- [37] O.Donțu, „Mașini și sisteme integrate de fabricație,, Editura PRINTECH, București 2015.
- [38] Al. Pătulea, N. Băran, I. M. Călușaru, Measurements of Dissolved Oxygen Concentration in Stationary Water, World Environment, **vol. 2(4)**, 2012, pp. 106-109.
- [39] I. M. Călușaru, N. Băran, Al. Pătulea, Researches regarding the transfer of oxygen in water, The 3rd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE 2012) July 27th -29th, published by IEEE Computer Society CPS, and then submitted to be indexed by Ei Compendex, Baotou, China, 2012, pp. 2617-2620.
- [40] Prof.Dr.Ing.Nicolae Băran, Drd.ing.Marilena Monica Boltinescu (Roza) , Drd.ing. Nicolae Vlad Sima, Drd.ing. Remus Voicu „Utilizarea microtehnologiilor pentru construcția unor dispozitive necesare aerării apelor,, Revista Hidraulica nr.1/ 2021 București.
- [41] Al.Grigore, Nicolae Băran, Remus Voicu, Nicolae Vlad Sima, Marilena Monica Boltinescu, Mihaela Petroșel, **Nicoleta Dorina Albu**, „ *Researchs regarding the water oxygenation flowing trough pipers*, TE-RE-RD, București 2021.
- [42] R.D.Păun, Cercetări privind utilizarea concentratoarelor de oxigen la oxigenarea apelor, Teză de doctorat, Universitatea POLITEHNICA din Bucuresti 2019.
- [43] [www.DEVILBISS](http://www.DEVILBISS) 5- LITER COMPACT CONCENTRATOR,Pennsylvania U.S.A.