

Proiect TEHNOMED

Tema:

Hidrogazodinamica și transferul de masă la coloane de bule fine cu aplicare în tehnologii avansate de mediu

Contract: CEEX X2 C5 / 18.07.2006

Autoritatea Contractantă: Program AMTRANS - Societatea pentru cercetare, proiectare și producție de echipamente și instalații de automatizare S.C. IPA S.A.

Contractor: INCDIE ICPE-CA, București

Director de proiect: Prof. dr. ing. Gheorghe BĂLAN

Perioada de derulare a proiectului: 18.07.2006- 20.10.2008

Programul: CEEX - Cercetare de excelență

Categoria de proiect: Modul I - PROIECTE DE CERCETARE-DEZVOLTARE COMPLEXE

Tipul proiectului: P-CD

Acronimul proiectului: TEHNOMED

Parteneri implicați în proiect:

Coordonator proiect: INCDIE ICPE-CA, București

Director proiect: prof. dr. ing. Gheorghe BĂLAN

Partener 2: Universitatea POLITEHNICA, București

Partener 3: Universitatea Tehnică de Construcții, București

Partener 4: Universitatea POLITEHNICA, Timișoara

Partener 5: Institutul Național de Sticlă, București

Partener 6: Regia Autonomă de Gospodărire Comunală, Târgoviște

Arii tematice:

- Tehnologii de mediu pentru observarea, prevenirea, atenuarea, adaptarea și restaurarea factorilor de mediu naturali și artificiali
- Evaluarea, verificarea și testarea tehnologiilor
- Eficiența energetică și economia de energie

Platforma tehnologică:

- Apă curată

Obiectivul general:

Proiectul își propune elaborarea unei tehnologii moderne în epurarea apelor uzate prin studii avansate în domeniul hidro-gazo-dinamicii și al transferului de masă prin coloane de bule fine, emise prin plăci cu porozitate controlabilă.

Schema de realizare a proiectului / Calendarul de timp:

2006 - Etapa I / Elaborarea propunerilor de optimizare a transferului de masă în curgerea cu suprafață liberă, *Perioada:* 18.07.2006 – 30.11.2006

2007 - Etapa II / Cercetări teoretice și experimentale asupra transferului de masă pentru diverse sisteme de aerare în lichide în repaus și în lichide în curgere, *Perioada:* 01.12.2006 – 20.10.2007

2008 - Etapa III / Experimentarea și demonstrarea fezabilității soluției științifice și tehnice propuse, *Perioada:* 21.10.2007 – 20.10.2008

Potențiali utilizatori:

- autorități locale, unități economice care au ca obiect de activitate tratarea apelor uzate

Impactul tehnic, economic și social:

În stațiile de epurare din UE numărul de generatoare de bule fine (GBF) este de $1 \div 5$ pe metrul pătrat de bazin. Rezultă că în România, la un bazin de $60 \times 6 \text{ m}^2$ sunt necesare minim 300 de bucăți; la RAGC sunt 6 asemenea bazine. În România nu există producători de GBF, ci doar distribuitori, la prețuri prohibitive (circa 30 euro/buc., Φ 350 mm). Odată realizate, intervine problema montării generatoarelor în bazine (în linie, în șah, ș.a.) astfel încât eficiența lor să fie maximă la un debit de aer dat și service-ul să fie asigurat. Rezultă astfel necesitatea reală de a înființa și dezvolta agenți economici specializați. Implementarea noului sistem de aerare va reduce costurile energetice în stațiile de epurare cu cca. 20 % și va asigura epurarea apelor uzate conform normelor europene, ca tehnologie și performanță, în consecință protecția și calitatea mediului, contribuind astfel direct la sănătatea umană. Prin tema propusă se sprijină dezvoltarea unei rețele de cercetare cu competente științifice unice în țara noastră în domeniul transferului de masă cu aplicare la îmbunătățirea factorilor de mediu, reprezentând un obiectiv prioritar pentru integrarea României în UE.

Instalațiile/standurile realizate în laborator asigură logistica unor teze de doctorat și rezultatele vor fi verificate in situ la RAGC Târgoviște. Crearea unei pagini web, publicarea rezultatelor cercetării, participarea membrilor consorțiului la manifestări științifice, fapt demonstrat de lista comunicărilor științifice în domeniu, va conduce la o optimizare a difuzării de cunoștințe în cadrul comunității S/T.

Obiective Etapa I

Obiectiv1: Informare asupra sistemelor de aerare moderne existente și a eficienței transferului de masă gaz-lichid

În urma consultării unui număr de 70 referințe bibliografice a rezultat o sinteză privind sistemele de aerare moderne existente. Dispozitivele de difuzie a aerului sunt clasificate în funcție de mărimea, forma și materialul din care sunt confecționate. Sunt evidențiate avantajele și dezavantajele utilizării acestor dispozitive, cauzele eventualelor deteriorări, motivele utilizării și dezvoltării acestei noi tehnologii.

Optimizarea sistemelor de aerare în vederea stabilirii condițiilor de operare favorabile reducerii consumului energetic necesită înțelegerea mecanismelor proceselor hidrodinamice și de transfer de masă ale oxigenului din aer în faza lichidă care au loc în bazinele de aerare și concretizarea acestor procese în modele matematice a căror soluții să descrie cât mai fidel procesele reale. Problema este în continuare în studiu, iar eficiența aerării în funcție de amplasarea difuzoarelor este în stadiul unor formule empirice pentru lichide în repaus confirmate în unele cazuri experimental (fig. 1). Sunt prezentate exemple de circulație a fazei lichide care defavorizează transferul de masă (fig. 2, fig. 3).

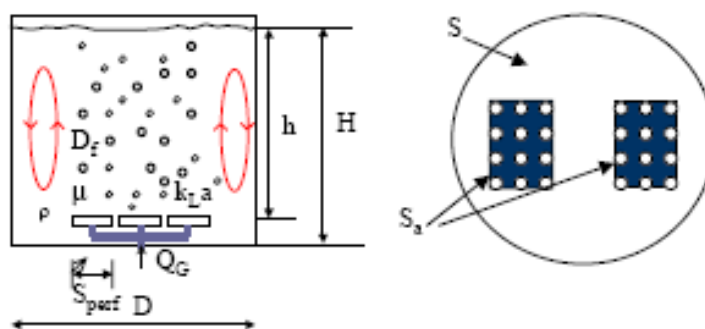


Fig. 1, Parametrii importanți la dimensionarea bazinelor cilindrice de aerare

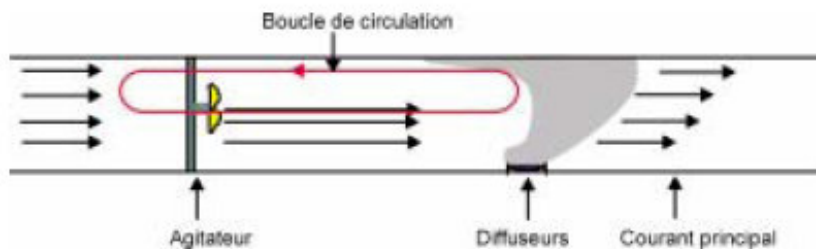


Fig. 2, Situație în care circulația fazei lichide este defavorabilă transferului de masă (Dezonzier și colab.1996)

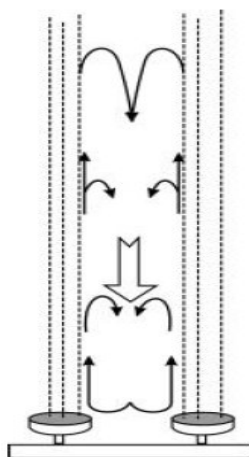


Fig. 3, Curgere în spirală între difuzoare

Obiectiv 2: Studiul, alegerea și dezvoltarea, modelelor pentru simularea numerică a hidro-gazo-dinamicii bulelor și coloanelor de bule în lichide

S-au studiat 5 modele matematice privind hidro-gazo-dinamica bulelor de aer, în lichide în repaus, respectiv în lichide în mișcare, consultând un număr de 16 referințe bibliografice în vederea alegerii modelului adecvat și anume: model bi-fluid, modelarea curgerii bifazice, model fluid monofazic, modelul Zuber și Findlay și modelul Wallis.

Se prezintă studiile asupra modelelor de simulare numerica pentru curgeri bifazice specifice sistemelor de aerare. Au fost identificate rezultate recente din literatura de specialitate (din 17 referințe bibliografice), în vederea stabilirii modelelor ce vor fi utilizate în continuare pentru investigații numerice în cadrul prezentului proiect.

Pornind de la nivelul de descriere al modelelor multifazice, acestea se pot grupa în trei clase :

- modele ce urmăresc interfața dintre faze;
- modele Euler/Lagrange;
- modele Euler/Euler;

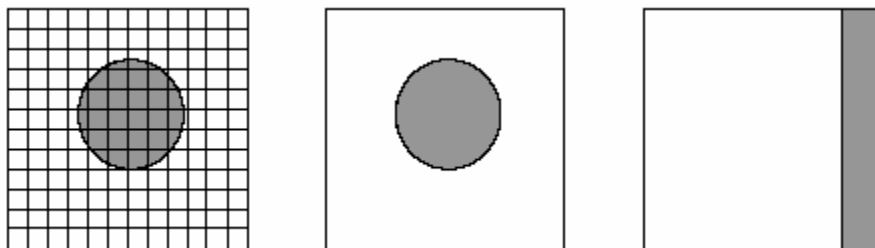


Fig. 4, Reprezentarea schematică a modelelor multifază (de la stânga spre dreapta): VOF, Euler/Lagrange, Euler/Euler.

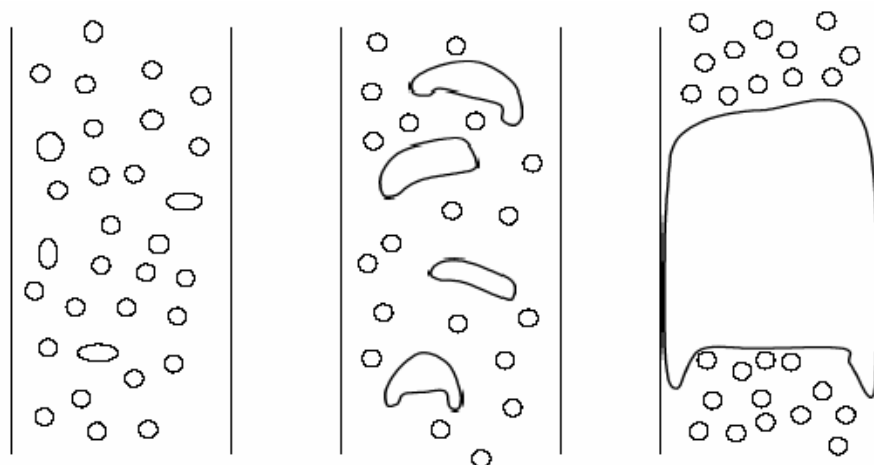


Fig. 5, Regimuri de curgere observate în coloanele gaz-lichid (de la stânga spre dreapta): regim de curgere omogen (curgere cu bule), regim de curgere neomogen, regim de curgere combinat.

Scopul urmărit a fost obținerea de rezultate folosind două modele matematice diferite pentru curgeri bifazice, care nu diferă semnificativ, pentru aceleași condiții pe frontieră (fig. 6 ÷ 11). Soluția prezintă importanță pentru dispunerea /amplasarea generatoarelor de bule fine în bazinele de aerare.

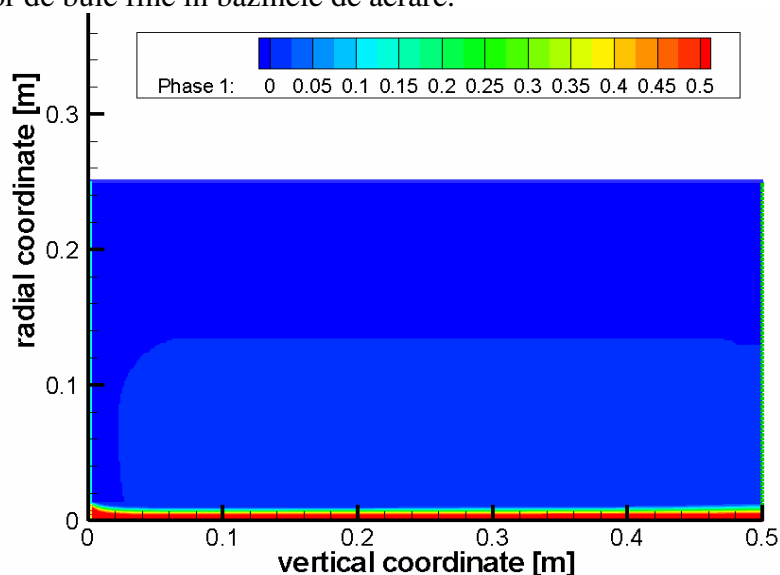


Fig. 6, Distribuția fazei gazoase pentru amestecul bifazic lichid-gaz, în cazul curgerii inverse de lichid la suprafață liberă

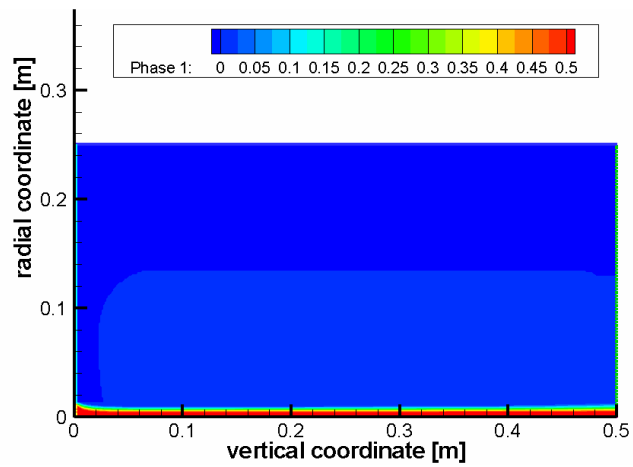


Fig. 7, Distribuția fazei gazoase pentru simularea cu modelul amestec lichid-gaz.

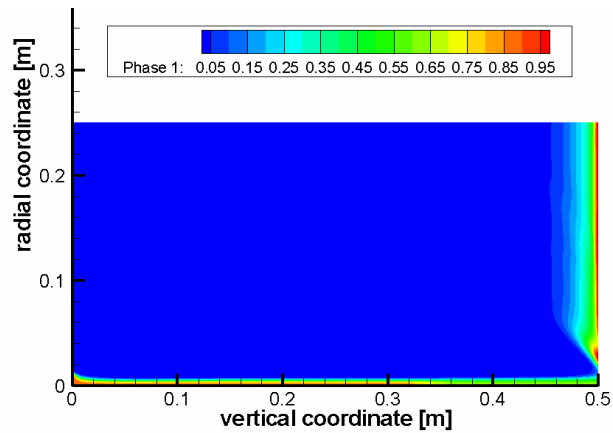


Fig.8, Distribuția fazei gazoase pentru amestecul bifazic lichid-gaz, în cazul curgerii inverse de gaz la suprafata liberă.

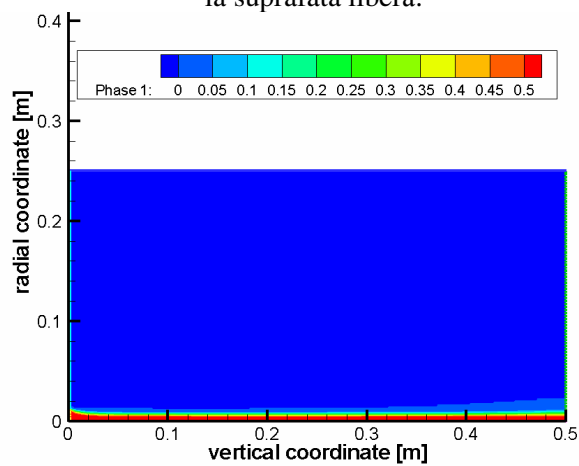


Fig. 9, Distribuția fazei gazoase pentru simularea cu modelul VOF.

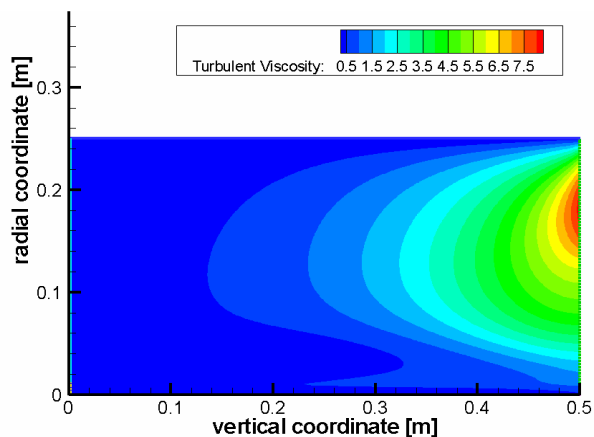


Fig. 10, Distribuția de vâscozitate turbulentă pentru simularea cu modelul amestec lichid-gaz.

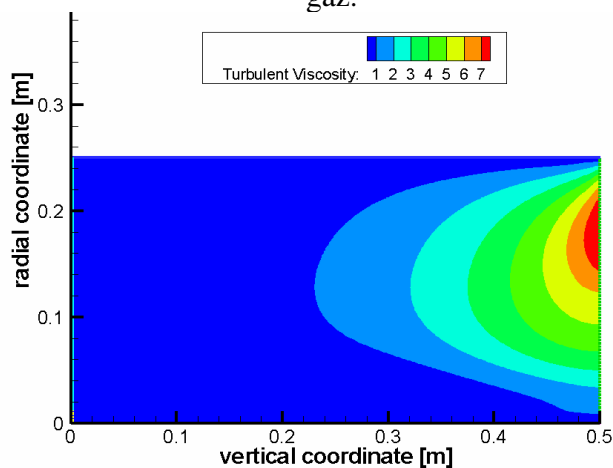


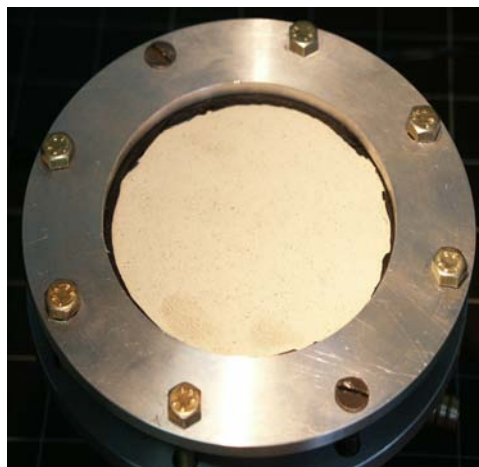
Fig. 11, Distribuția de vâscozitate turbulentă pentru simularea cu modelul VOF.

Obiectiv 3: Caracterizarea materialelor folosite în difuzia aerului

S-a realizat un studiu documentar privind tipurile de generatoare de bule fine (GBF din sticlă sinterizată, material ceramic, membrană elastomer) pentru aerarea / oxigenarea apelor uzate, precum și stadiul existent pe plan mondial, cu indicarea firmelor producătoare de sisteme de epurare a apelor uzate, precum și informații privind forma, dimensiunile, debitele de aer minime și maxime și căderile de presiune.



GBF din sticlă sinterizată



GBF din ceramică



GBF din membrană elastomer

Fig. 12, GBF din diverse tipuri de material

De asemenea, sunt prezentate bazele teoretice ale obținerii filtrelor din sticlă sinterizată și metoda de determinare experimentală a diametrului porilor și a permeabilității filtrelor de sticlă sinterizată.

Pentru realizarea acestui obiectiv este necesar să se cunoască parametrii de funcționare ai generatoarelor și să se aleagă acele generatoare care, cu o cădere mică de presiune, un debit de alimentare cu aer scăzut și o capacitate de oxigenare mare, să asigure o bună aerare a apelor uzate.

Rezumat Etapa I

În ultimii ani s-a acordat o atenție deosebită sustenabilității (dezvoltării durabile) proceselor și tehnologiilor aplicate în diferite domenii ingineresti. O stație de epurare a apelor uzate poate fi o sursă importantă de risc în ceea ce privește mediul, sănătatea umană și societatea prin emisii în apă, aer și sol. Aceste riscuri pot fi reduse dacă stația de epurare

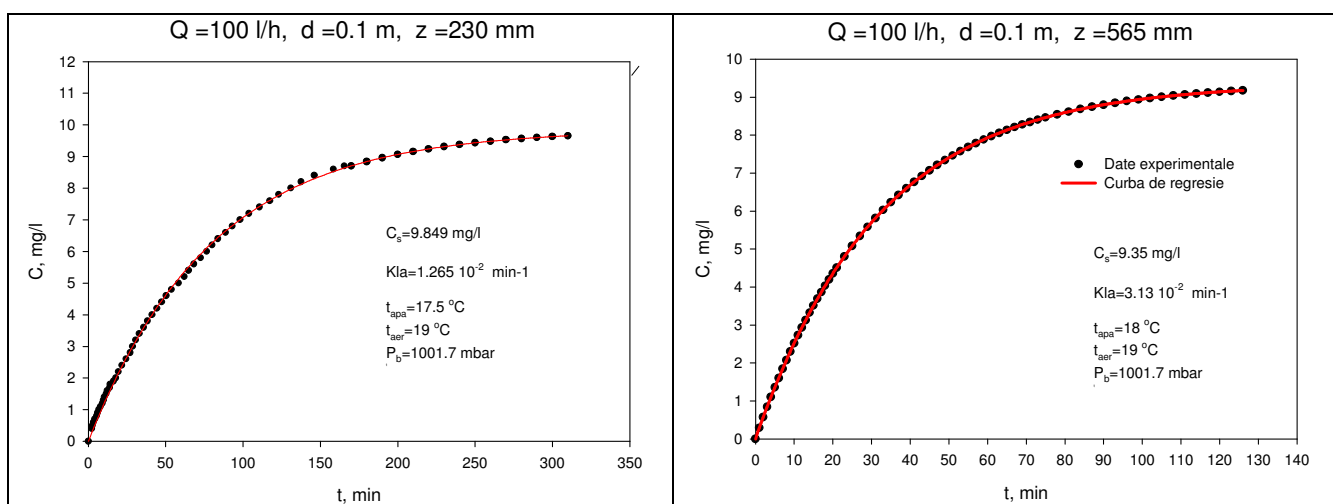
este proiectată și funcționează în concordanță cu criteriile de dezvoltare durabilă și de optimizare.

Încă nu există o metodologie general acceptată pentru evaluarea sustenabilității stațiilor de epurare și nici un set de criterii ce ar putea deveni baza unei astfel de evaluări nici în România nici în UE. De aceea, este foarte important să se găsească noi instrumente care pot fi folosite atât în evaluarea dezvoltării durabile a stațiilor existente și a managementului sistemului, cât și în dezvoltarea unor noi. Aceste studii pot conduce la îmbunătățirea și promovarea acelor tehnologii și procese care implică cel mai mic risc, au o eficiență mare în raport cu resursele utilizate și cu costurile necesare implementării lor. Modalitățile prin care se pot realiza aceste obiective sunt: modelarea matematică, analizarea procesului și a optimizării, teste de laborator pe instalații pilot a tehnologiilor inovative /noi, experimente *in situ*.

În capitolul I se analizează problema transferului de oxigen în bazine de aerare. În prezent, aerarea se realizează prin două metode: cu aeratoare mecanice sau pneumatice, cu tendința de utilizare preponderentă a celor pneumatice. După introducerea proceselor de oxigenare cu nămol activ, au fost concepute, încercate și dezvoltate mai multe tipuri de dispozitive de difuzie a aerului, pentru a mări concentrația de oxigen dizolvat în apele uzate.

În prealabil sunt precizate normele europene și SUA privind măsurarea oxigenului dizolvat. Sunt prezentate exemple de circulație a fazei lichide care defavorizează transferul de masă.

În figura 13 sunt prezentate curbele concentrației de oxigen dizolvat în funcție de timp pentru un generator ceramic de bule fine cu diametrul 50 mm, introdus într-un bazin paralelipipedic transparent de dimensiuni 1200 x 300 x 300. Măsurătorile sunt efectuate la debit constant de aer Q , distanța celulei de măsură față de peretele bazinului d și cote diferite de prelevare a probelor, z .



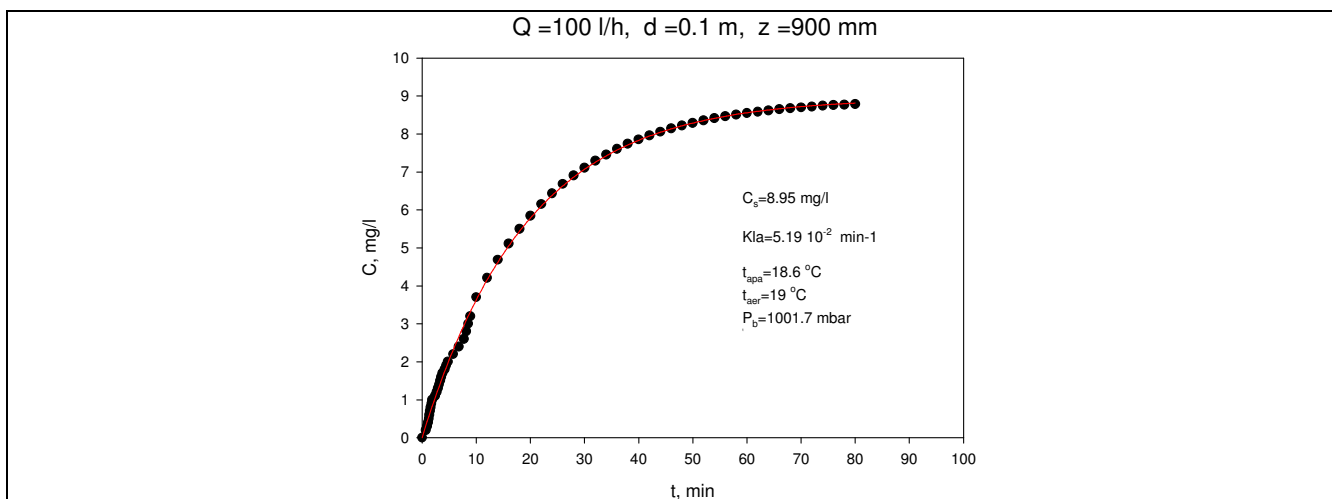


Fig. 13, Estimarea parametrilor modelului prin regresie neliniară, $Q=100 \text{ l/h}$; măsurători în plan median, $d=0,1 \text{ m}$, z variabil, , rezervor cilindric

În capitolul al II – lea se studiază modelarea curgerilor bifazice în conducte, cu alunecare între fazele lichidă și gazoasă pe baza parametrului de distribuție a fazelor și a vitezei de alunecare; acestea depind de tipul curgerii, dimensiunea secțiunii de curgere (Tabel 2.1). Sunt analizate 3 metode de curgere: fluid monofazic echivalent, Zuber & Findlay și Wallis, pentru selectarea celui adecvat proiectului. Capitolul se încheie cu simularea numerică a curgerii induse în lichidul dintr-un rezervor de către o coloană de bule, injectate axial.

Experimentele numerice efectuate în faza 2006 de către echipa P3 relevă:

- condițiile pe secțiunile de intrare a aerului, respectiv suprafața liberă a lichidului sunt esențiale pentru acuratețea rezultatelor numerice
- pentru injectia aerului prin dop poros, trebuie precizată fracția volumică a aerului în apă, împreună cu viteza de injecție
- la suprafața liberă trebuie precizată fracția volumică de aer egală cu unitatea, pentru a obține forma corectă a suprafeței libere, respectiv câmpul de viteză corespunzător recirculării gazului în recipient.

În capitolul al III-lea s-a realizat un studiu documentar privind tipurile de generatoare de bule fine (din sticlă sinterizată, material ceramic, membrană elastomer) pentru aerarea / oxigenarea apelor uzate, precum și stadiul existent pe plan mondial, cu indicarea firmelor producătoare de sisteme de epurare a apelor uzate, precum și informații privind forma, dimensiunile, debitele de aer minime și maxime și căderile de presiune.

Distribuția porilor în structură, caracterizează porozitatea aparentă a unui material ceramic poros printr-o serie de coeficienți ce pun în evidență influența neregularității formei și mărimii porilor asupra eficienței procesului de aerare.

De asemenea, sunt prezentate bazele teoretice ale obținerii filtrelor din sticlă sinterizată și metoda de determinare experimentală a diametrului porilor și a permeabilității filtrelor de sticlă sinterizată. S-a apelat la modele matematice pentru a se realiza o

simplificare a procesului de sinterizare și pentru a se realiza corecțiile necesare în comparație cu rezultatele experimentale.

Ca o concluzie a rezultatelor experimentale se poate afirma că nu este indicată utilizarea sticlelor cu compoziție de tip Pyrex, deoarece în timpul procesului de sinterizare, se formează cristobalit, ceea ce determină o creștere a valorii coeficientului de dilatare termică. Formarea cristobalitului se datorează și prezenței fluorului rezidual provenit din descompunerea agenților de afinare. În consecință, efectul nefavorabil al fluorului este eliminat prin prezenta K_2O .

RAPORT DE CERCETARE

CEEX NR. X2C05

Hidrogazodinamica și transferul de masă la coloane de bule fine cu aplicare în tehnologii avansate de mediu

ETAPELE a II-a și a III-a

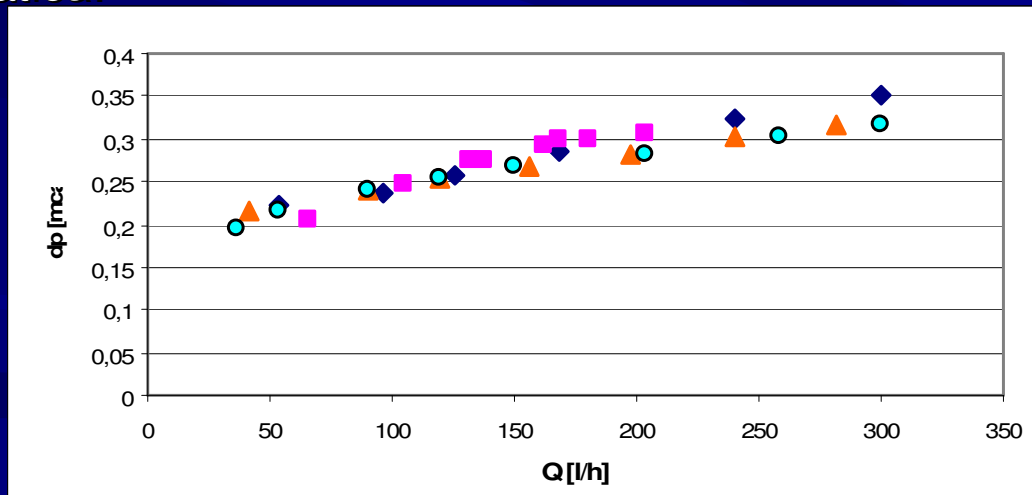
Cercetări teoretice și experimentale asupra transferului de masă pentru diverse sisteme de aerare în lichide în repaus

Etapa a II-a a proiectului tratează din punct de vedere teoretic și experimental hidrodinamica și transferul de masă pentru diverse sisteme de aerare.

Capitolul I studiază parametrii hidro-gazo-dinamici pentru mai multe tipuri de generatoare de bule fine (GBF):

-Pierdere de presiune

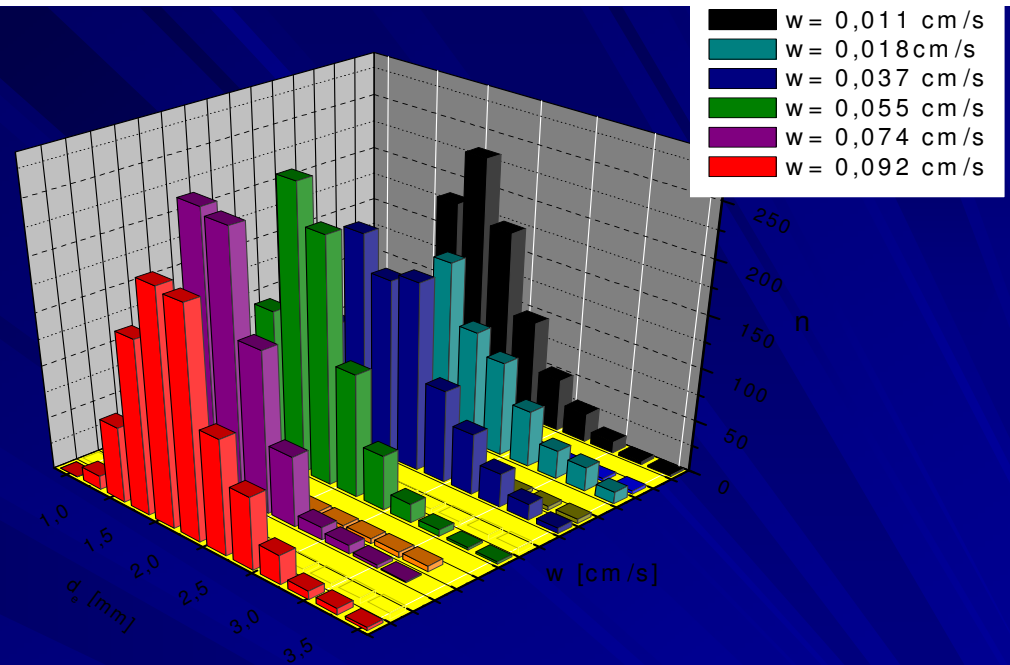
S-au realizat experimente pentru determinarea căderilor de presiune pe mai multe tipuri de GBF: ceramice, din sticlă sinterizată, tuburi din membrană elastică. Căderea de presiune pe GBF din sticlă a fost cea mai mică dintre toate generatoarele testate la același debit de aer și sarcină hidrostatică.



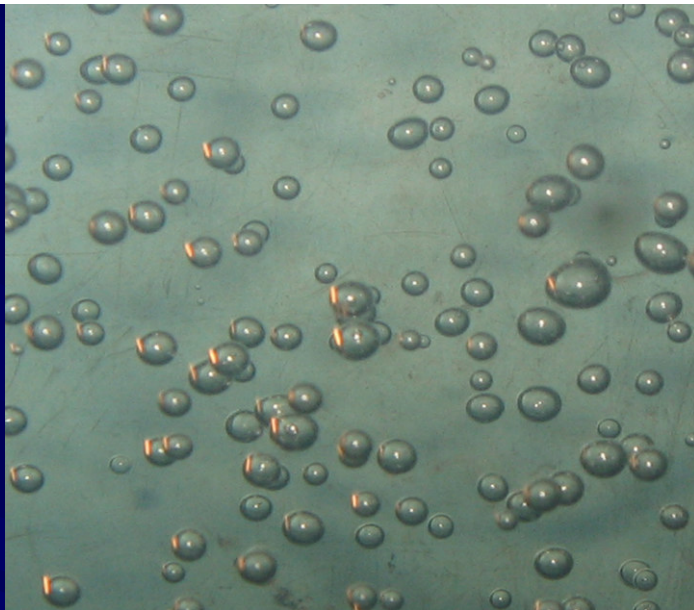
Variația căderii de presiune pentru 4 tipuri de GBF din sticlă



Distribuția mărimii bulelor de gaz (DMBG)



- Histogramele reprezintă distribuția DMBG sunt approximate printr-o curbă de distribuție normală, cu o ușoară asimetrie, care se accentuează cu creșterea vitezei superficiale a aerului.
- Există 3 regimuri de emisie a bulelor:
 - La debite mici (regim omogen), bulele sunt aproape sferice și au densitate foarte mică;
 - La debite de aproximativ 600 l/h bulele se deformează și apar asociații de bule caracteristice regimului tranzitoriu.
 - Asociațiile de bule conduc la fenomenul de coalescență, caracteristic regimului eterogen de curgere
- Tranziția are loc pentru viteza superficială $w = 0,2 \text{ cm/s}$ ($Q=650 \text{ l/h}$); rezultatul e în acord cu tranziția omogen-eterogen obținută prin variația fracției de goluri globale (ϵ) în funcție de viteza superficială, $\epsilon = f(w)$.

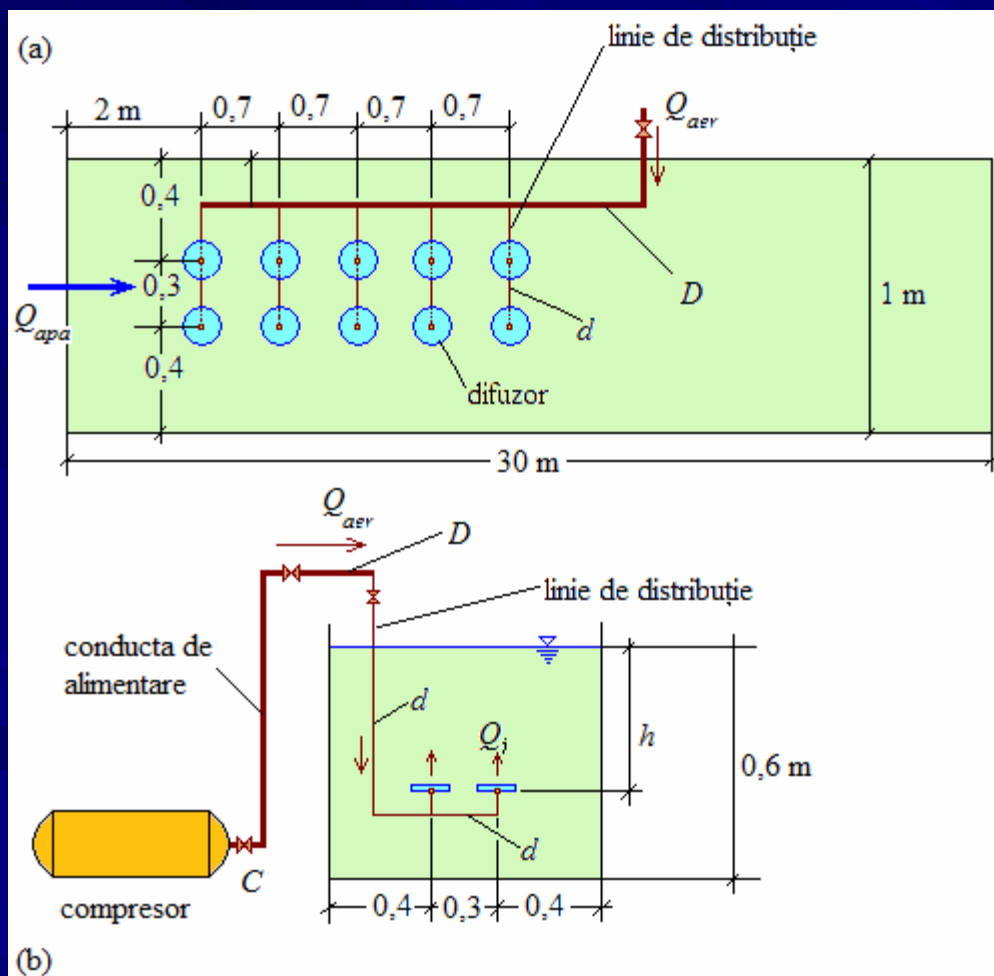


Fracția de goluri ε

- ε oferă informații asupra regimului de curgere și a ariei specifice interfaciale, din coloana de aerare; variază pe direcție radială și axială, în funcție de: natura celor două faze, regimul de curgere, caracteristicile geometrice ale coloanei de bule, tipul constructiv și dimensiunile geometrice ale GBF.
- ε global depinde de mărimea și densitatea bulelor de aer, care la rândul lor depind de hidrodinamica sistemului și de compoziția apei.
- ε variază liniar cu w , până se atinge o anumită valoare, $w_{trans} \approx 0,2$ cm/s (regim omogen). Valoarea w_{trans} marchează trecerea la regimul tranzitoriu, când începe coalescența bulelor. La creșterea vitezei superficiale sistemul intră în *regimul eterogen*.

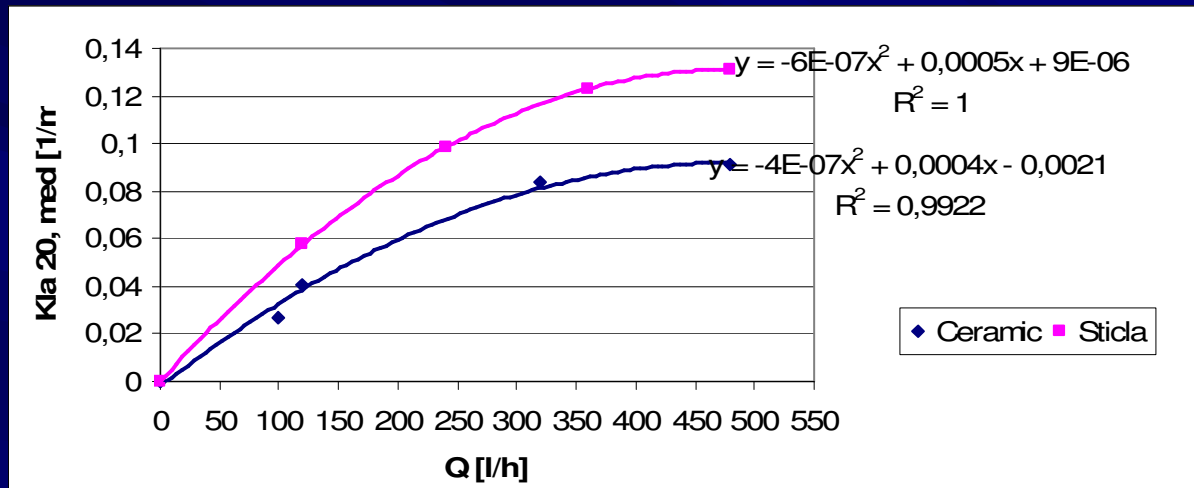
În cadrul capitolului al II-lea, s-a determinat numeric variația presiunii și distribuției debitelor în sistemul de aerare, alcătuit din 5 linii de distribuție și 10 GBF.

Calculul hidraulic al sistemului de aerare a fost efectuat cu ajutorul unui program elaborat în MATLAB. S-a impus presiunea $p=0,12$ bar peste sarcina hidrostatica pentru $Q = 100$ si 150 l/h.

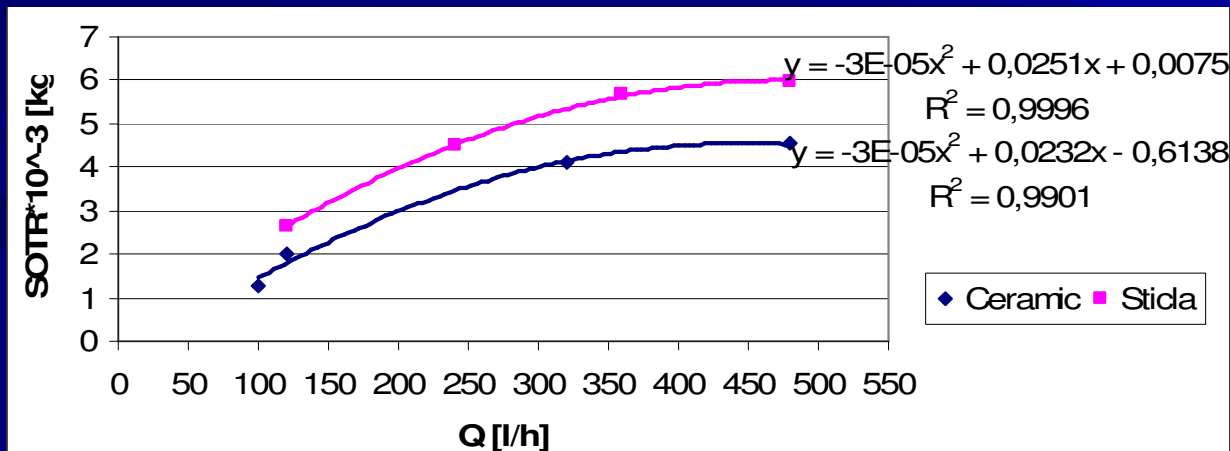


În capitolul al III-lea s-au determinat performanțele privind transferul de masă conform standardului ASCE/1991: “Măsurarea transferului de oxigen în apă curată”, pentru două tipuri de generatoare (sticlă și ceramică)

Creșterea debitului de aer conduce la mărirea coeficientul volumetric de transfer de masă Kla și în consecință a vitezei de transfer a oxigenului SOTR; la debite mari, valorile Kla și SOTR au tendința de a intra pe un palier, tendință confirmată și în literatura de specialitate.

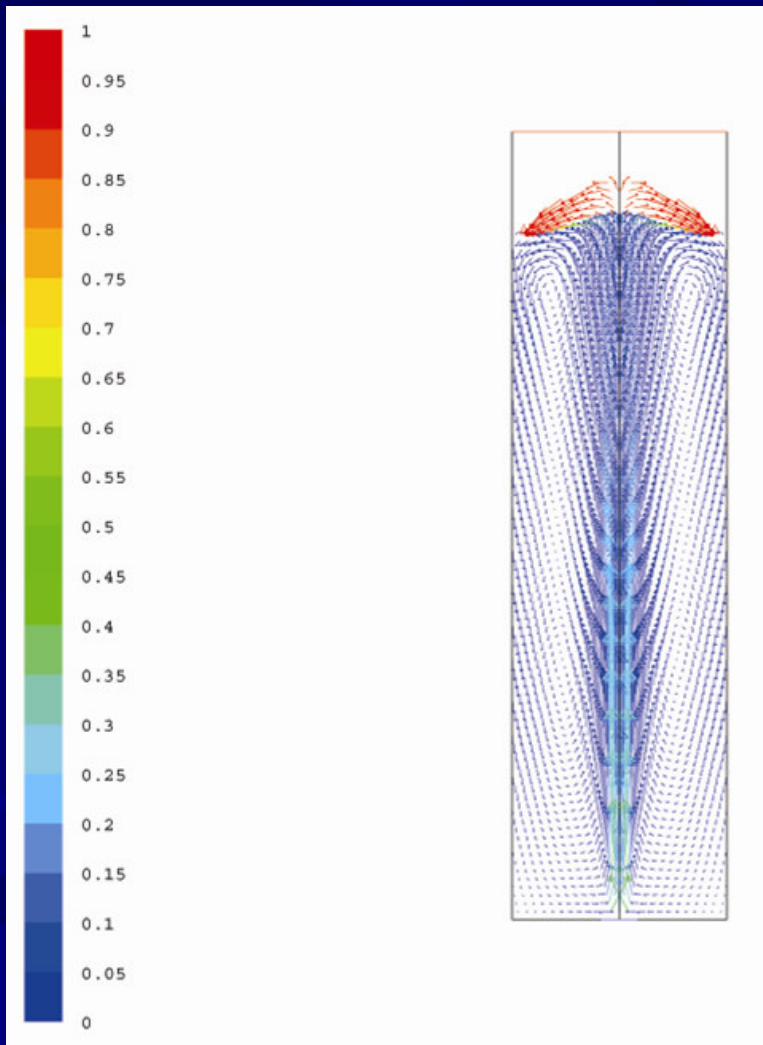


Variația Kla_{20} în funcție de debitul de aer în condiții standard;

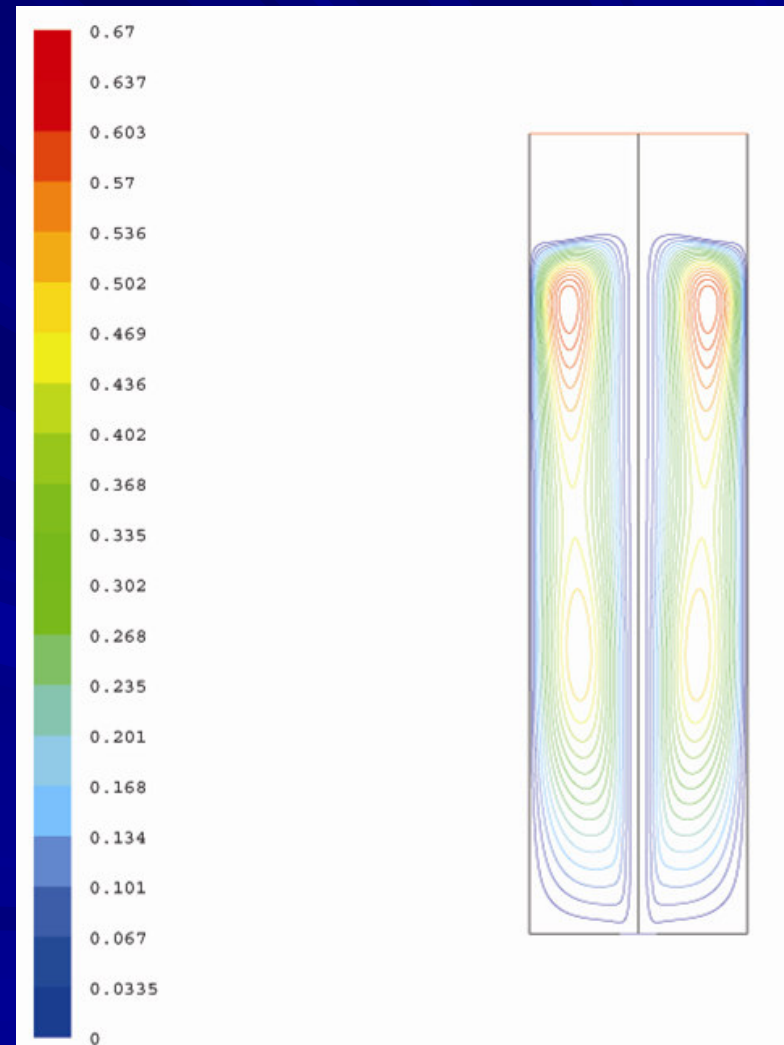


Variația SOTR în funcție de Q în condiții standard

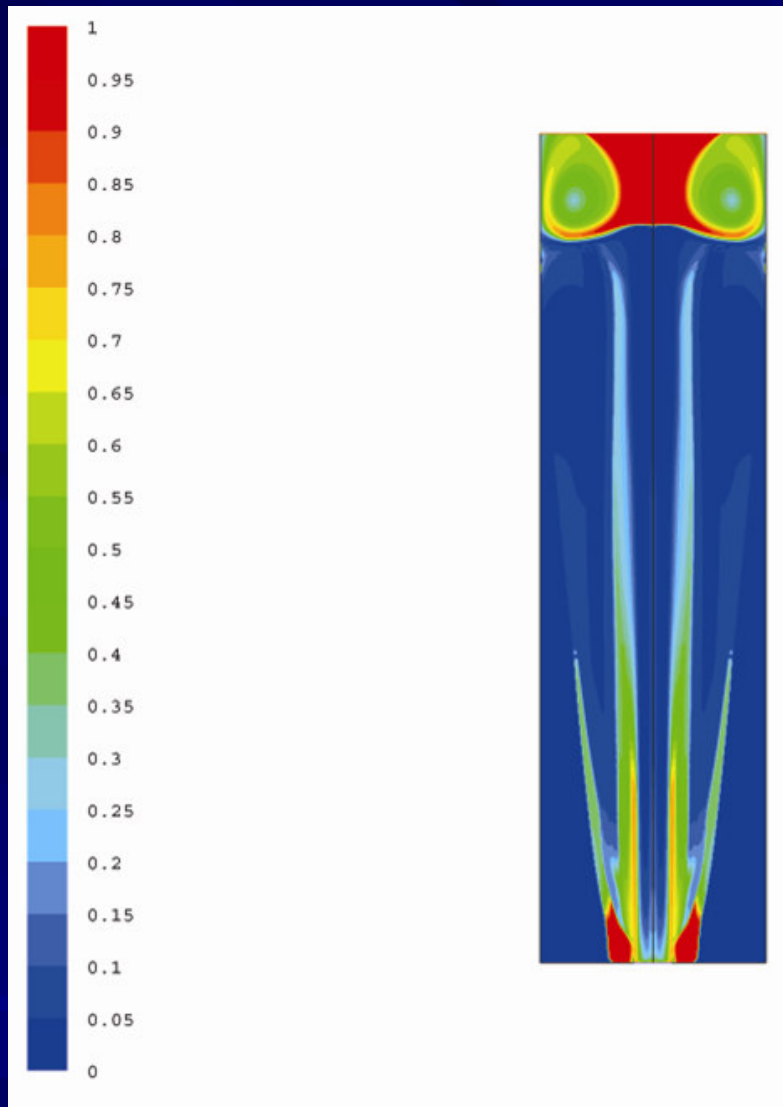
În capitolul al **IV**-lea modelarea dinamicii coloanelor de bule este realizată cu un model avansat de curgere bifazică lichid-gaz, în FLUENT 6.2, luând în considerare histogramele DMBG . Modelarea este corelată cu datele experimentale.



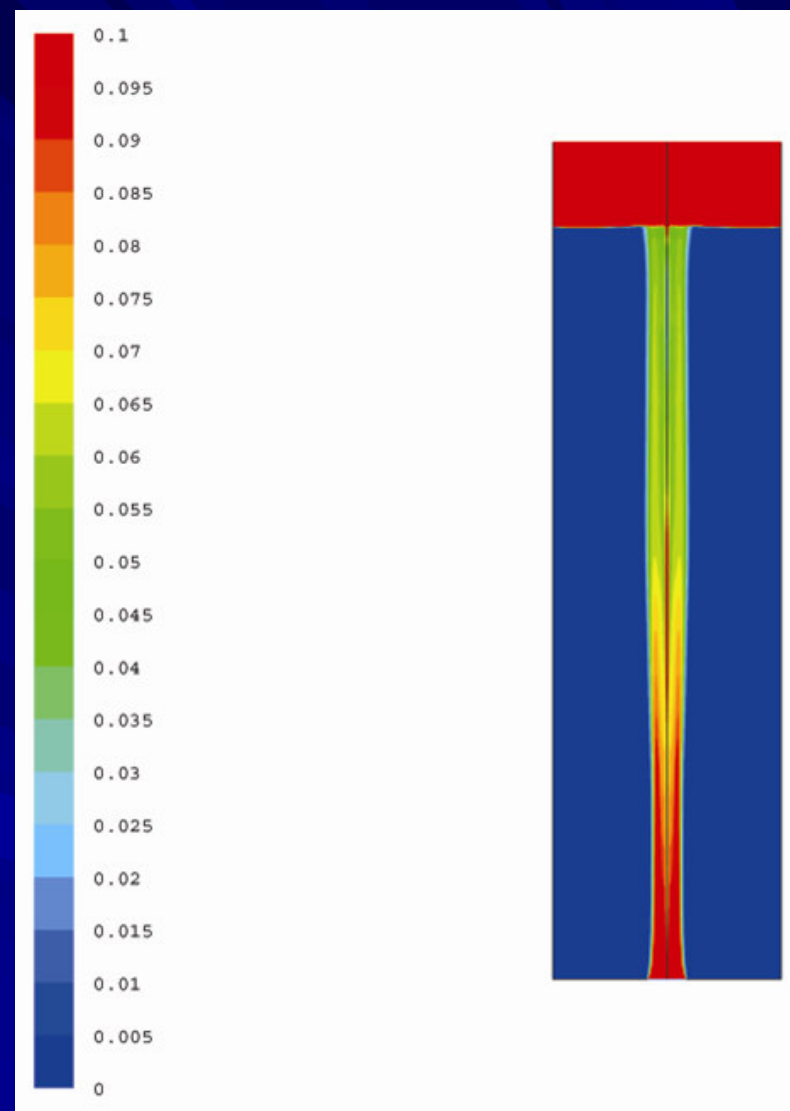
Distribuția vectorilor de viteză la $v = 0.14$ m/s



Distribuția liniilor de curent pentru apă la $v = 0.2$ m/s

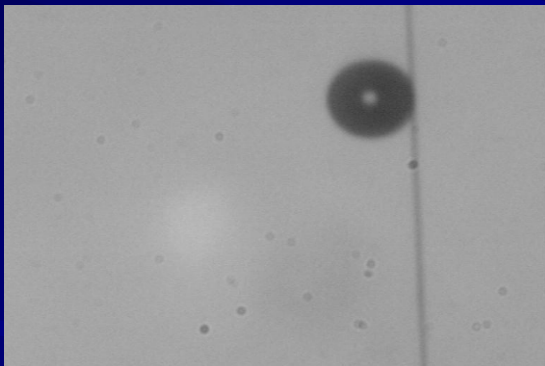


Distribuția familiei de bule cu diametrul 0.0024m
pentru $v = 0.2$ m/s

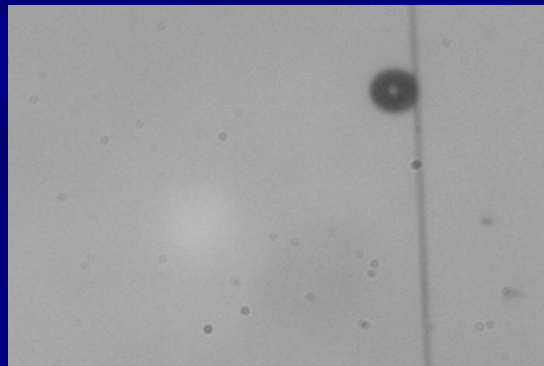


Distribuția aerului în vas pentru $v = 0.041$ m/s

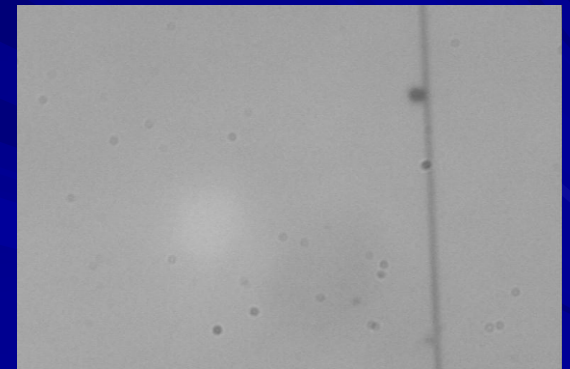
În partea all-a a acestui capitol este analizată experimental dizolvarea forțată a unei bule de gaz în repaus, ca urmare a impunerii bruște a unui dezechilibru de concentrație în soluție (nesaturare), rezultată ca urmare a unei creșteri bruște de presiune a sistemului aflat inițial în echilibru. A fost pusă la punct o metodologie experimentală precisă de determinare a vitezei de dizolvare a bulei de gaz în repaus într-o masă lichidă pornind de la condiții inițiale cunoscute și au fost obținute date experimentale care să poată permite ulterior identificarea unor parametrii ce guvernează fenomenele de difuzie a unui gaz într-un lichid.



$t=0s$



$t=1326s$



$t=1570s$

- În capitolul al **V-lea** sunt prezentate rezultatele preliminare obținute pe o instalație de laborator pentru lichide în curgere. S-a dovedit experimental că generatoarele induc o mișcare de circulație pe verticală; acest fapt dovedește că sistemul de aerare cu GBF are eficiență pe toată adâncimea apei.
- Observarea mișcării de recirculare a apei pe verticală s-a realizat prin introducerea unui trasor la diferite cote de imersie. Trasorul efectuează, pe de o parte o mișcare ce indică recircularea și, pe de altă parte, se deplasează în sensul de curgere al apei.
- Viteza mică de curgere a apei din canal nu influențează forma tronconică a coloanelor de bule.
- Rolul curgerii apei este de a transporta oxigenul dizolvat de-a lungul canalului și de a interacționa (in situ) cu nămolul activ. Soluția tehnică a emisiei sub formă de coloană de bule induce în lichid o mișcare radial descendentă pe cca. $\frac{2}{3}$ din adâncime, mișcare cu efecte favorabile, atât prin reantrenarea unor bule mici, cât și prin recircularea apei din vecinătatea pereților.
- Indiferent de debitul de alimentare cu aer, viteza de curgere a apei din canal nu afectează coloanele de bule; acestea nu interferă.



- Sinteza rezultatelor experimentale obținute sunt prezentate în tabelul 1.1; x_{01} și x_{02} sunt distanțele, viteza pe suprafața liberă, de la coloana de aerare până când viteza este zero (pe linia 1 respectiv linia 2). Rezultate detaliate ale măsurătorilor efectuate pe canalul vitrat sunt oferite în Anexa 1.
- Tabelul 1.1, Rezultate obținute la experimentările pe canalul vitrat, în regim dinamic
- $Q_{aer} [l/h]$ $Q_{apă} \cdot 10^3 [m^3/s]$ $\Delta h_{diaf} [mmHg]$ $H [m]$ $v [m/s]$ Re $x_0 [mm]$
 400 $11,17$ 220 $0,600$ $18,62$ $18,6 \cdot 10^3$ $x_{02} = 0$
 $x_{01} = 0380$ $11,79$ 245 $0,605$ $19,48$ $19,5 \cdot 10^3$ $x_{01} = 240$
 300 $11,79$ 245 $0,605$ $19,48$ $19,5 \cdot 10^3$ $x_{02} = 155$
- Din experimentele efectuate cu rețeaua cu GBF, în regim dinamic se constată următoarele:
- Echilibrarea gazodinamică (Q_{aer} și Δp) a celor două linii cu difuzoare este dificilă;
- Distanțele la care se manifestă curgerea indusă de bule este pentru prima linie, respectiv pentru cea de a doua;
- Cum distanța dintre linii este de 690 mm, respectiv $D/H = 1,15$ și $x_{01} + x_{02} = 0,7$ coloanele de bule nu interacționează, fapt favorabil transferului de masă.
- Valorile x_{01} și x_{02} determinate în laborator sunt obținute la viteze ale curentului de apă și adâncimi similare cu cele experimentate de Lo (Lo J.M., 1991).

Q_{aer} [l/h]	$Q_{apă} \cdot 10^3$ [m ³ /s]	Δh_{diaf} [mmHg]	H [m]	v [mm/s]	Re	x_0 [mm]
400	11,17	220	0,600	18,62	$18,6 \cdot 10^3$	$x_{02} = 0$
380	11,79	245	0,605	19,48	$19,5 \cdot 10^3$	$x_{01} = 240$
300	11,79	245	0,605	19,48	$19,5 \cdot 10^3$	$x_{02} = 155$

Cercetări privind tehnologii de aerare cu bule fine cu aplicare la stații de epurare

Rezumat: Se prezintă cercetările teoretice și experimentale privind dinamica coloanelor de bule fine și interacțiunea acestora cu lichide în repaus sau în curgere. Cercetările experimentale efectuate în instalații de laborator sau pilot confirmă modelele fizico-matematice. Rezultatele obținute s-au finalizat în realizarea unei tehnologii moderne de aerare la RAGC Târgoviște.

Introducere

În prezenta etapă s-au abordat probleme de cercetare teoretică privind funcționarea rețelei de coloane de bule și experimentală în vederea validării modelelor teoretice. Proiectul s-a finalizat prin modernizarea unei tehnologii de aerare utilizând generatoare de bule fine (GBF).

1. Cercetări teoretice

Problema interacțiunii între coloanele de bule fine generate de GBF și lichide în curgere reprezintă o noutate din punct de vedere științific, deoarece până în prezent au fost abordate numai cazuri particulare, ca de exemplu interacțiunea între o coloană de bule și lichide în repaus [1], [3]. Modelarea numerică a unei rețele de coloane de bule s-a efectuat utilizând codul FLUENT. Se constată mișcarea bulelor pe suprafața liberă, interacțiunea între coloane și mișcarea indusă de coloanele de bule în apă. Totodată prin studiul amplasării coloanelor a rezultat că distanța minimă de montaj între GBF este de $l = 265$ mm, respectiv $l/d = 265/120 \cong 2,5$ unde d reprezintă diametrul GBF. Pentru studiul detaliat al transferului de masă este necesară analiza populației de bule în sensul claselor de diametre precum și evoluția acestor clase (fig.1.1 și fig.1.2).

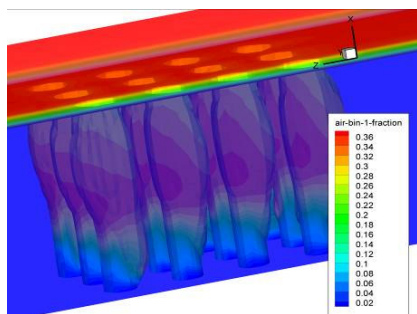


Fig.1.1, Densitatea familiei de bule cu diametrul $d = 0.0019$ m în interiorul coloanelor de bule

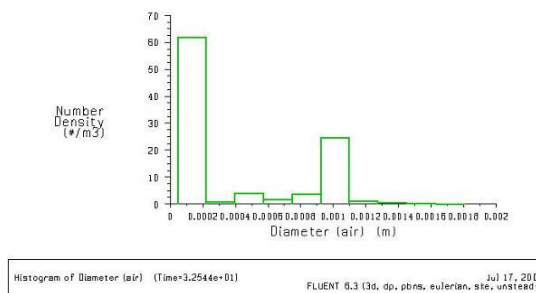


Fig. 1.2, Distribuția diametrului Sauter pentru familiile de bule de aer din bazin

Baza teoretică este asigurată de teoria modelului populației de bule elaborată în etapa II a proiectului.

2. Instalația experimentală pentru studiul funcționării GBF în rețea

Pentru validarea /corectarea modelelor teoretice și generalizarea acestora s-au realizat succesiv următoarele instalații:

- instalație pentru determinarea performanțelor hidrogazodinamice ale GBF (realizată în faza a II-a a proiectului) care a permis determinarea căderii de presiune (fig. 2.1) în funcție de debitul de aer și a transferului de masă. Pe această instalație s-au testat GBF de sticlă și ceramică $\Phi 50$.



Fig. 2.1, Instalație pentru testarea unui GBF $\Phi 50$



Fig. 2.2, Instalație pentru testarea unei rețele de GBF $\Phi 50$

- instalație de laborator pentru determinarea performanțelor hidrogazodinamice ale GBF $\Phi 50$ funcționând în rețea (fig. 2.2),
- instalație experimentală la scară a bazinului de aerare din situ (fig. 2.3),
- instalație pentru determinarea transferului de masă in situ (fig. 2.4).

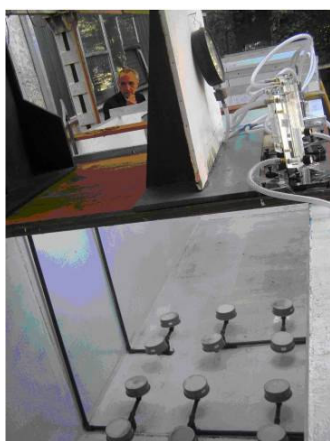


Fig. 2.3, Imagine de ansamblu a instalației experimentale



Fig. 2.4, Instalația de aerare din situ

Instalația din figura 2.2, cu cotele 1,5m x 1,5m x 2,0 ms-a realizat pentru studiul în laborator al rețelilor de GBF. Cotele de montaj asigură, prin izolarea unuia sau mai multor generatoare, distanțe variabile între coloanele de bule, cote și distanțe ce sunt necesare pentru elaborarea proiectului de montaj in situ.

3. Proiectul și realizarea instalației experimentale din situ

Instalațiile experimentale prezentate în figurile 2.1 și 2.2 rezolvă problemele asociate funcționării generatoarelor de bule fine în regim static [5]. Pentru studiul interacțiunii coloanelor de bule cu lichide în curgere s-a realizat o nouă instalație experimentală, la scară, utilizând rețele de GBF $\Phi 120$, montate pe un canal existent la UPB-CCEPM. Instalația constă în 4 linii cu GBF,

transversale pe direcția de curgere, pe fiecare linie fiind montați câte 3 GBF Ø120 (fig. 3.1 și 3.2). Viteza medie de curgere a apei în canal este de 10 mm/s, valoare utilizată și în modelarea numerică. Instalația este dotată cu aparatură de măsură și control (fig. 3.3). Debitul și presiunea de lucru sunt reglate automat de la un panou de comandă.

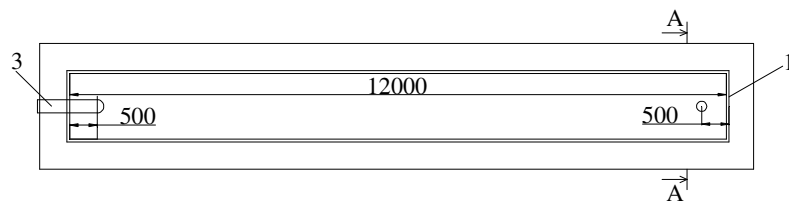


Fig. 3.1, Bazin cu suprafață liberă (1- bazin, 3 - furtun Φ2'')

Pentru realizarea similitudinii acestei instalații cu bazinul de aerare de la RAGC Târgoviște s-a utilizat criteriul Froude:

$$Fr = \frac{V^2}{gH} = idem, \quad (1)$$

unde V este viteza de curgere a apei, H – adâncimea bazinului și g – accelerația gravitațională.

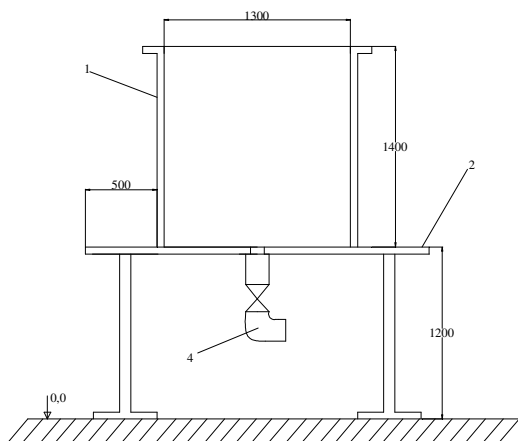


Fig. 3.2, Bazin cu suprafață liberă – vedere din față
(1- bazin, 2 – platforma, 3 - furtun Φ2'', 4 țeavă cu robinet Φ2'')

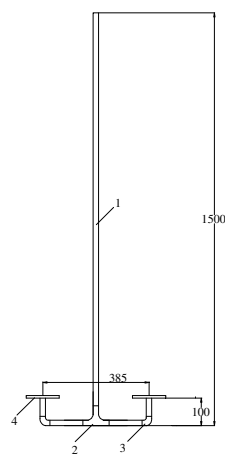


Fig. 3.3, Baterie GBF, Φ120
(1- eavă de instalații Φ 1/2'' X 1500, 2- teu, 3 – cot 90° 1/2'', 4 – GBF Φ120)

4. Rezultate experimentale

Principala problemă studiată cu ajutorul instalației experimentale din figura 5 constă în determinarea curgerii induse de coloanele de bule în lichidul în curgere, problemă esențială pentru transferul de oxigen. Pentru măsurarea vitezelor induse s-a utilizat un Micro ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), dispus la diferite cote în rețeaua cu GBF; datele au fost înregistrate on line iar rezultatele s-au comparat cu cele obținute din simularea numerică.

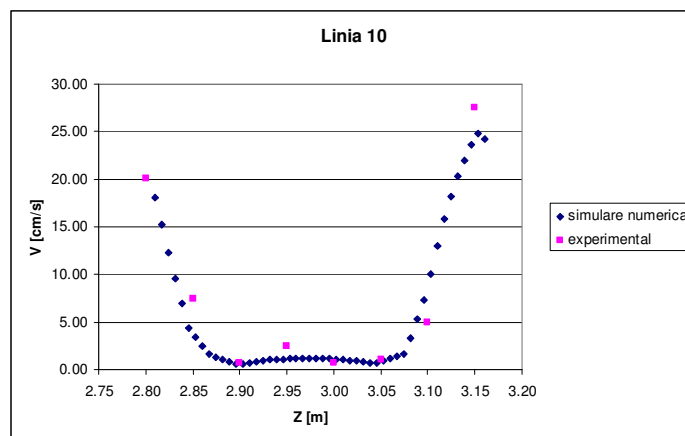


Fig. 4.1, Variația vitezei V în funcție de coordonata Z , la o distanță $X=20$ cm de GBF

Se observă că există o bună corelație între valorile vitezelor induse în apă determinate experimental și cele determinate prin simulare numerică. La distanțe (pe verticală) mici față de GBF se observă că viteza indusă a apei are alura unei parabole având un minim (viteză aproape nulă) între două GBF.

5. Validarea modelelor matematice

Modelul matematic utilizat pentru simularea numerică în Fluent a funcționării coloanelor de bule dispuse în rețea este un model Eulerian de amestec, și anume bilanțul populației de bule. Acest model utilizează o ecuație de bilanț, asemănătoare ecuației de bilanț a masei, energiei și momentului, pentru a urmări modificările ce apar în distribuția de mărimi. Se activează nucleele de agregare și rupere a bulelor în scopul obținerii claselor de bule. Distribuția de mărimi se determină utilizând una dintre metodele: metoda discretizării, metoda standard a momentelor și metoda cuadraturii momentelor [2], [4]. Ecuațiile de transport din modelul populației de particule și ecuațiile de moment sunt cuplate datorită rezistenței la înaintare definit de utilizator pe baza diametrului mediu Sauter calculat din distribuția de mărimi obținută.

Simulările numerice au fost efectuate pe un domeniu paralelipipedic cu dimensiunile de $9000 \times 1300 \times 1400$ mm, umplut cu apă până la nivelul de 1,2 m. S-a simulat funcționarea în regim dinamic a GBF dispuse în rețea în aceleași condiții de operare ca în cazul experimentărilor: debit de aer/GBF de 250 l/h, viteza de curgere a apei în canal 10 mm/s.

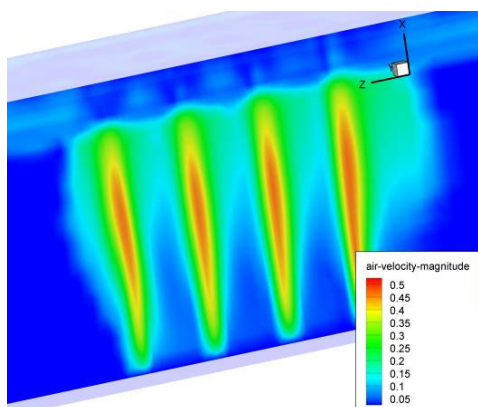


Fig. 5.1, Câmpul de viteze al aerului pentru GBF situate la $y = 0,295$ m

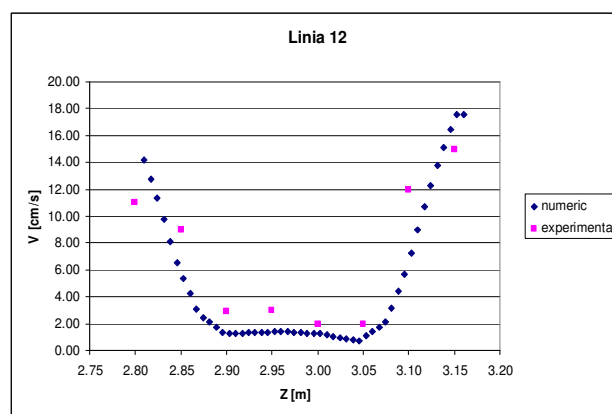


Fig. 5.2, Variația vitezei induse, la cota de 40 cm pe verticală față de GBF, la mijlocul distanței dintre două linii cu generatoare

Prin compararea rezultatelor obținute prin simulare numerică cu cele experimentale s-a observat o bună concordanță. Experimental s-a observat că dispunerea GBF Ø120 la o distanță de 265 mm unul față de altul nu conduce la interferarea coloanelor. După cum se observă din figura 5.1, acest fapt a fost confirmat și de simularea numerică.

6. Determinări in situ la RAGC Târgoviște

În bazinul de aerare al beneficiarului, RAGC Târgoviște, s-a prevăzut montarea unei baterii de 36 GBF Ø330 din membrană elastică, produși de Automatizări Industriale IMAT SRL și montați excentric față de axa canalului. Prin cofinanțare beneficiarul a extins la 4 numărul de baterii pentru a acoperi toată suprafața bazinului. Montajul excentric a fost acceptat în ideea că mișcarea indusă de coloane se compune cu mișcarea de translație a lichidului rezultând o mișcare elicoidală, respectiv o durată de contact mai mare.

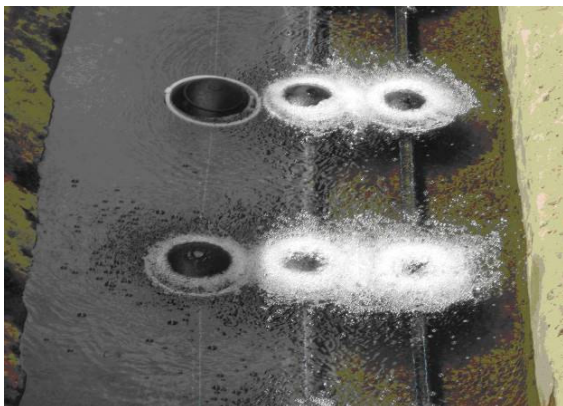


Fig. 6.1, GBF în funcționare la un nivel minim al apei în bazin



Fig. 6.2, Funcționarea instalației de aerare din bazinul beneficiarului

Principalele probleme urmărite în experimentările realizate la RAGC Târgoviște au fost: siguranța în exploatare a GBF și reacția acestora la eventuale întreruperi de funcționare accidentale, generate de exploatarea stației de epurare. Pe parcursul a 45 de zile de exploatare, începând din 7 iulie 2008, au avut loc 4 opriri accidentale ale stației de compresoare, cu durate de 10÷70 minute; s-a constatat că GBF funcționează corespunzător; în particular, nu s-au constatat înfundări ale porilor acestora (ca în cazul GBF din ceramică încercați în etapele anterioare), neetanșități ale capsulei ș.a. Rezultă că aceste baterii cu GBF sunt sigure în exploatare.

Partea de transfer de masă este mai puțin relevantă; pe baza măsurătorilor efectuate în laboratoarele RAGC oxigenul dizolvat variază între 0÷4 mg/l, valori explicabile prin:

- regimul canicular din perioada experimentărilor;
- unele deficiențe minore în exploatarea stației de epurare (cantități de nămol activ variabile).

Concluzii

În cadrul proiectului s-a realizat un ansamblu de 4 instalații experimentale, dintre care 3 pe parcursul ultimei etape a proiectului. Instalațiile permit determinarea performanțelor hidrogazodinamice ale GBF la nivel de laborator (GBF Ø 50) sau la nivel pilot (GBF Ø 120) în regim static și dinamic, la viteze maxime de curgere de 20 mm/s.

Studiul teoretic privind dinamica coloanelor de bule dispuse în rețea s-a efectuat cu ajutorul codului Fluent și sa constatat că:

- bulele injectate pe fundul bazinului, cu diametru mediu de 300 μ m, sunt supuse fenomenului de coalescență pe măsură ce se ridică spre suprafața liberă, ajungând la diametre de ordinul a 5 mm;
- timpul mediu de rezidență al bulelor în lichid este de aproximativ 3 secunde;
- se evidențiază influența reciprocă a coloanelor de bule dispuse în baterie, prin devierea spre zona centrală de aerare a coloanelor dispuse la periferie;

- distanța între coloanele de bule este corect aleasă, cu evitarea interacțiunii coloanelor învecinate.

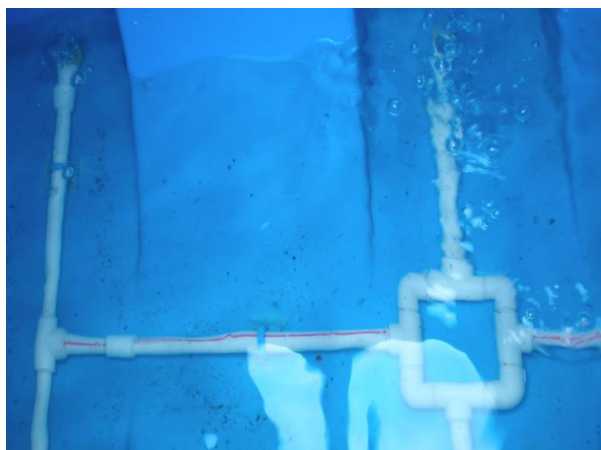
Măsurătorile efectuate în regim dinamic au validat soluțiile numerice și demonstrează fezabilitatea soluției propuse.

Montajul unor baterii de GBF la RAGC Târgoviște a demonstrat că acestea funcționează corespunzător, chiar în condițiile unor avarii accidentale.

Au fost testate posibilități de aplicare ale sistemelor de aerare cu bule fine și în alte domenii. În acest sens echipa INCDIE ICPE-CA a fost solicitată să investigheze posibilitățile de aerare în containerele de transport a peștilor vii (fig. 6.3) în vederea înlocuirii vechiului sistem de aerare format din tevi perforate alimentate de o butelie de oxigen comprimat, sistem ce s-a dovedit a fi costisitor și ineficient.



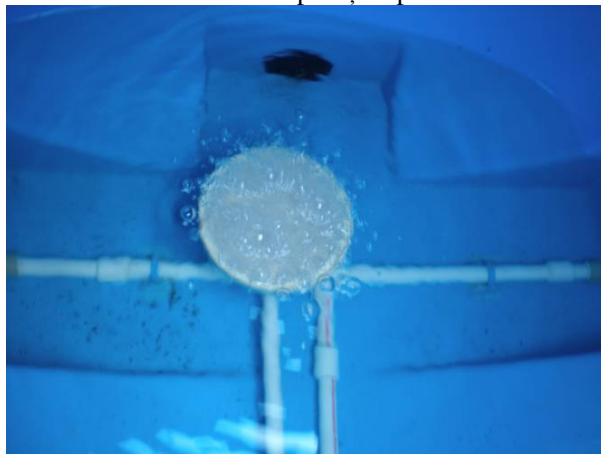
Containere de transport pești vii



Sistem de aerare prin țevi perforate



Montarea GBF



Funcționarea GBF din sticlă în container

Fig. 6.3

Montarea într-un astfel de container a unui GBF din sticlă a condus la o aerare eficientă, putându-se astfel înlocui butelia de oxigen cu un compresor alimentat de la bateria autoturismului.

Bibliografie

1. Bove S., (2005) *Computational Fluid Dynamics of Gas-Liquid Flows including Bubble Population Balances*, PhD Thesis, Aalborg University, Denmark. ISBN 87-7606-005-5.
2. Delnoij E., (1999) *Fluid dynamics of gas-liquid bubble columns. A theoretical and experimental study*, PhD Thesis, Twente University, Netherland.
3. Murai Y., Matsumoto Y., (2000) *Numerical study of three-dimensional structure of a bubble plume*, Journal of Fluids Engineering, vol. 122, p. 754 – 760.

-
4. Van Sint Annaland M., Deen N.G., Kuipers J.A.M., (2005) *Numerical simulation of gas bubbles behaviour using a three-dimensional volume of fluid method*, Chemical Engineering Science **60**(2005). p. 2999-3011.
 5. Băran Gh., Pincovski I., Oprina G., Bunea F., *Performanțe ale generatoarelor de bule fine*, Revista Hidrotehnica, vol. 53, nr. 3-4, 2008, p. 27-32, ISSN 0439-0962