

Universitatea „Dunărea de Jos” Galați

Facultatea de Inginerie Brăila

TEZĂ DE DOCTORAT

**CERCETĂRI PRIVIND UTILIZAREA
GENERATOARELOR SONICE ÎN
TEHNOLOGIA DE TRATARE A APEI
BRUTE**

REZUMAT

Conducători științifici:

George BĂLAN

Prof. univ. dr. ing. habilitat

Petru DUMITRAȘ

Conf. Cerc. dr. ing. (R. Moldova)

Doctorand: Ing. Carmen - Liliana CÎRNU

2011

**RESEARCH ON THE USE OF SONIC GENERATORS IN RAW WATER
TREATMENT TECHNOLOGY**

- PhD Thesis-

Eng. Carmen-Liliana CIRNU

Galati , 2011

„Dunarea de Jos” University of Galati
47, Domneasca str., Galati , 800008, Romania
e-mail: ccarnu@apabraila.ro; gbalan@ugal.ro

ABSTRACT

The thesis is composed of 4 chapters, one paragraph with conclusions, bibliography and contains 145 pages, 23 tables, 62 figures and 99 bibliographic references, covering theoretical and experimental studies that highlight the characteristics and technologies on the use of sonic generators in raw water treatment technology.

This thesis addresses the problem of development of more effective methods and techniques of water surface treatment, namely by application of sonic technology.

The purpose of this thesis was to achieve the practical installation for the sonic treatment of raw water in the continuous operating mode in industrial level and determine the operating modes for which the effect of application of sonic technology is maximum.

It has been made a detailed study on the treatment of raw water in double frequency sound field and on the constructional and functional principles of gas kinetics sonic generators with two resonators used in sonic treatment.

It has been conceived a method to calculate the double frequency gasdynamics generator with two resonators designed to treat raw water for drinking water production. The experiment showed two frequency: sonic frequency produced by the generator was 10.76 kHz, and the ultrasonic frequency was - 21.520 kHz.

It has been developed a method for calculating the vertical, experimental water settler combined with the accelerating – ascending settler with the possibility of equipping this with gasdynamics sonic generator.

The paper presents the results of experimental research at the Water Plant in Braila. We evaluated the physical-chemical and microbiological indicators in different operating regimes of the generator. Results were analyzed and there have been found optimal regimes where sonic effect is maximum.

Creating a new technology of sonic treatment for raw water allows removal of disinfection phase, and is preferred for environmental reasons.

Annual efficiency of raw water sonic treatment is 36.415% and the profit using sonic system is 355.25 EURO / year.

Keywords: generator, sonic, gas kinetics, settler, water, physical and chemical indicators, microbiological indicators

**„FORSCHUNGEN BETREFFS DER BENUTZUNG
DER SCHALLGENERATOREN FÜR DIE
REINIGUNGSTECHNOLOGIE DES ROHWASSERS”**

Doktorarbeit

Ing. Cîrnu Carmen Liliana

Galati, "Dunărea de jos (Untere Donau)" Universität, www.ugal.ro ,
47, Domneasca str., Galati , 800008, Romania
e-mail: ccarnu@apabraila.ro; gbalan@ugal.ro

ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeit behandelt die Problematik der Entwicklung der neuen und wirksameren Methoden und Technologien das Oberflächenwasser zu reinigen und zwar die Schalltechnologie.

Der Zweck der Arbeit war, einerseits, die praktische Leistung der Anlage für die industrielle Anwendung der Schallreinigung des Rohwassers in Vollbetrieb, und, andererseits, die Bestimmung der Betriebsart wofür die Wirkung der Schalltechnologie maximal ist.

Es ist ein detailliertes Studium, über die Reinigung des Rohwassers in Schallfeld und über die Anbau- und Funktionsprinzipien der gasodynamischen Schallgeneratoren mit zwei Resonatoren geleistet.

Es entwarf eine neue Rechentechnik der gasodynamischen Schallgeneratoren mit zwei Resonatoren, die die Trinkbarkeit des Rohwassers zu verwirklichen. Es gab auch eine Rechentechnik für die Kombination vertikaler Ablager / Beschleuniger-Ablager – dann gibt es die Möglichkeit den gasodynamischen Generator anzuhängen.

Es gab zwei Betriebsfrequenzen: die Schallfrequenz des Generators ist 10,76 kHz und die Ultraschallfrequenz – 21,520 kHz

Die Arbeit stellt die Ergebnisse der experimentalen Forschungen in Wasserwerke Braila vor. Es beobachtete die physisch-chemischen und microbiologischen Anzeiger in verschiedenen Betriebsarten des Generators. Es bestimmte die optimalen Betriebsarten, wann die Wirkung maximal ist.

Die Leistung der neuen Technologie für Schallreinigung erlaubt die Ausschaltung der Etape für Desinfizierung und es ist besser vom ökologischen Standpunkt aus. Die Jahresausbeute ist 36,415% und der Gewinn der Benutzung des Schallsystems ist 355,25 Euro/Jahr.

Schlagwörter: Generator, gasodynamisch, Ablager, Wasser, physisch-chemischer Anzeiger, microbiologischer Anzeiger

ROMANIA
MINISTERUL EDUCATIEI, CERCETĂRII, TINERETULUI ȘI SPORTULUI
UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS DIN GALAȚI

Strada Domnească nr. 47, cod poștal 800008
Galați, România
E-mail: rectorat@ugal.ro



Tel.: (+4) 0336-130.109; 0336-130.108; 336-130.104
Fax: (+4) 0236 - 461.353
www.ugal.ro

26338/06.10.2011

Către

Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați vă face cunoscut că în data de _____, ora _____, în _____, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată: "CERCETĂRI PRIVIND UTILIZAREA GENERATOARELOR SONICE ÎN TEHNOLOGIA DE TRATARE A APEI BRUTE", elaborată de domnul/doamna ing. CÎRNU CARMEN-LILIANA, în vederea conferirii titlului științific de doctor în Domeniul de doctorat - Inginerie mecanică.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

Presedinte:

Conf.univ.dr.ing. Adrian GOANȚĂ
Decan – Facultatea de Inginerie din Brăila
Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați

**Conducător
de doctorat:**

Prof.univ.dr.ing. George BĂLAN
Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați

Conducător

de doctorat în cotutelă:

Conf.cerc.dr.ing. Petru DUMITRAS
Institutul de Fizică Aplicată al Academiei de Științe a Moldovei, Chișinău

Referent 1:

Prof.univ.dr.ing. Gheorghe AMZA
Universitatea POLITEHNICA București

Referent 2:

Prof.univ.dr.ing. Ioan MAGHETI
Universitatea POLITEHNICA București

Referent 3:

Prof.univ.dr.ing. Constantin STANCIU
Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați

Cu această ocazie vă transmitem rezumatul tezei de doctorat și vă invităm să participați la susținerea publică. În cazul în care doriți să faceți eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm să le transmiteți în scris pe adresa Universității, str. Domnească nr. 47, 800008 - Galați, Fax - 0236 / 461353.

RECTORAT
Prof.dr.ing. Viorel Năves
UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS
MINISTERUL EDUCATIEI, CERCETĂRII, TINERETULUI ȘI SPORTULUI
ROMANIA
GALAȚI

SECRETAR DOCTORAT,

Ing. Luiza AXINTE

Luiza Axinte

Mulțumiri

Realizarea acestei teze de doctorat se datorează atât străduinței autorului cât și sprijinului nemijlocit al câtorva distinși profesori și a unor colegi spre care, în aceste clipe, se îndreaptă gândurile mele de recunoștință.

Mulțumesc în primul rând conducătorilor mei științifici: Domnului prof. univ. dr. ing. habilitat *George BĂLAN* și Domnului conf. cercetător dr. ing. *Petru DUMITRAȘ*. Îmi exprim gratitudine față de domnul profesor *George BĂLAN* pentru necontenita și competența îndrumare pe toată durata stagiului de doctorat, precum și pentru sprijinul profesionist în momentele dificile întâlnite pe parcursul elaborării tezei. În același timp am toată recunoștința față de domnul profesor *Petru DUMITRAȘ* pentru că fără intervenția și ajutorul său efectiv nu aș fi putut finaliza cercetările experimentale.

Adresez mulțumiri Domnului prof. univ. dr. ing. *Aurel Ciurea*, șefului Catedrei de Mediu, Inginerie Aplicată și Agricultură din cadrul Facultății de Inginerie din Brăila și Domnului prof. univ. dr. ing. *Constantin Stanciu* din cadrul aceleiași facultăți pentru colaborare și schimb de idei în eficientizarea instalației experimentale.

Mulțumesc colegilor din cadrul Companiei de Utilități „Dunărea” Brăila, în special Domnului Director General *ing. Mihail Chiriă* pentru condițiile și sprijinul oferit în realizarea experimentelor în cadrul Uzinei de apă Brăila, domnilor *ingineri Marian Naghi* și *Marian Iuga* pentru ajutorul acordat în realizarea decantorului sonic, doamnei *bilog Lili Dârloșan* și doamnei *inginer chimist Silviara Spânoche* pentru suportul tehnic și material oferit la realizarea analizelor fizico-chimice și bacteriologice a probelor de apă recoltate pe parcursul efectuării experimentelor.

Mulțumesc specialiștilor Laboratorului de Zgomot și Vibrații din cadrul Catedrei de Mecanică a Facultății de Ingineria Sistemelor Biotehnice, Universitatea „Politehnică” București și în primul rând conducătorului acestui laborator Domnului *prof. univ. dr. ing. fiz. Ion Magheți* pentru ajutorul acordat la efectuarea măsurărilor acustice.

În acest moment însemnat din viața mea doresc să mulțumesc și familiei mele, prietenilor apropiați pentru suportul, susținerea și înțelegerea acordate pe parcursul acestor ani de studiu.

AUTOAREA

CUPRINS

	pag
INTRODUCERE	6
PARTEA I: STUDIU DOCUMENTAR	
Capitolul 1. STADIUL ACTUAL PRIVIND TRATAREA SONICĂ A APEI BRUTE PROVENITĂ DIN SURSELE DE SUPRAFAȚĂ	
1.1. Cadrul legislativ al calității apelor de suprafață	11
1.1.1. Directive europene în domeniul apei	11
1.1.2. Transpunerea directivelor europene în legislația românească	14
1.2. Analiza instalațiilor de tratare a apei brute provenită din apele de suprafață	17
1.2.1. Instalații de decantare a apei	18
1.2.2. Coagularea particulelor sub influența substanțelor chimice	21
1.2.3. Tehnologii noi in domeniul potabilizarii apei	25
1.2.3.1. Tehnologii de producere a apei potabile utilizand separarea cu membrane	26
1.2.3.2. Stații modulare de tratarea apei	29
1.3. Instalatii de tratare a apei cu ultrasunete	31
1.3.1. Efectele undelor sonice	31
1.3.2. Instalații de tratare a apei cu activare ultrasonica	35
1.3.3. Considerente asupra posibilității de tratare a apei brute captată din apele de suprafață cu ajutorul generatoarelor ultrasonice gazodinamice	36
1.3.4. Scheme principale ale generatoarelor gazodinamice de sunet si ultrasunet	38
1.4. Concluzii și obiective de cercetare	43
PARTEA a-II-a: STUDIU EXPERIMENTAL	
Capitolul 2. GENERATORUL GAZODINAMIC CU DOUĂ REZONATOARE, INSTALAȚIA EXPERIMENTALĂ CU DECANTORUL SONIC, MATERIALE UTILIZATE ȘI METODE DE CERCETARE ALE SISTEMULUI SONIC	
2.1. Metoda de calcul și construcția generatorului experimental cu două rezonatoare destinat proceselor de tratare a apei	45

2.2. Instalația experimentală cu decantorul sonic și metodologia de cercetare a sistemului sonic	53
2.2.1. Instalația experimentală pentru tratarea sonică a apei brute din cadrul Companiei de Utilități Publice Dunărea S.A. Brăila	53
2.2.2. Metoda de calculul a decantorului vertical.....	55
2. 2.3. Construcția decantorului sonic experimental	61
2.2.4. Metodologia de stabilire a vitezelor de curgere în decantorul experimental	67
2.3. Materiale utilizate și metode de determinare a parametrilor fizico-chimici și bacteriologici	68
2.3.1. Metode de determinare a indicatorilor fizico-chimici a apei	69
2.3.1.1. Turbiditatea	69
2.3.1.2. Determinarea oxidabilității (substanțele organice oxidabile)	71
2.3.1.3. Determinarea conținutului de sulfăți	71
2.3.1.4. Determinarea conținutului de aluminiu	73
2.3.2. Metode de determinarea indicatorilor bacteriologici ai apei	73
2.3. 2.1. Determinarea numărului total de bacterii ce se dezvoltă la 37°C (mezofile/ germeni)	74
2.3.2.2. Determinarea numărului probabil de bacterii coliforme (coliformi totali) – metoda tuburilor multiple	75
2.3.2.3. Determinarea numărului probabil de bacterii coliforme termotolerante (coliformi fecali)	75
2.3.2.4. Determinarea numărului probabil de streptococi fecali	75
2.4. Determinarea dozei de coagulant (prin metoda Jar – Test).....	76
2.5. Prelucrarea statistică a datelor experimentale	76
2.6. Concluzii	76

Capitolul 3. CERCETĂRI ACUSTICE ALE GENERATORULUI SONIC GAZODINAMIC EXPERIMENTAL CU DOUĂ REZONATOARE

3.1. Metodologia măsurărilor acustice și gazodinamice ale generatorului experimental cu două rezonatoare	77
3.2. Parametrii acustici ai generatorului experimental cu două rezonatoare	84
3.2.1. Analiza spectrului de emisie acustică a generatorului	84
3.2.2. Influența presiunii de lucru asupra intensității acustice	91
3.2.3. . Influența presiunii de alimentare asupra frecvențelor de lucru ale generatorului ..	95
3.3. Concluzii	97
Capitolul 4. EFECTUL TRATĂRII SONICE ASUPRA PARAMETRILOR DE CALITATE AI APEI BRUTE	
4.1. Influența regimului de lucru al generatorului sonic cu două rezonatoare asupra parametrilor de calitate fizico-chimici ai apei brute	99
4.1.1. Indicele de Turbiditate	99
4.1.2. Indicele de Oxidabilitate	104
4.1.3. Conținutul ionilor de aluminiu	108
4.1.4. Conținutul ionilor de sulfăți	110
4.2. Influența regimului de lucru al generatorului sonic cu două rezonatoare asupra parametrilor de calitate microbiologici ai apei brute	111
4.3. Efectul sinergetic al tratării sonice a apei brute asupra dozelor de coagulant	119
4.4. Concluzii	123
4.5. Eficiența tehnico – economică a utilizării sistemului sonic de tratare a apei brute.....	127
CONCLUZII FINALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE	131
BIBLIOGRAFIE	138
ANEXE	
1. Tabele cu indicatori fizico – chimici (a) și bacteriologici (b)	
2. Poze – în timpul construcției decantorului experimental (a) și al experimentului (b)	

INTRODUCERE

Teza abordează problematica dezvoltării unor metode și tehnici noi mai eficiente de tratare a apelor de suprafață și anume prin aplicarea tehnologiilor sonice

Obiectivele tezei de doctorat:

- realizarea instalatiei experimentale cu decantor sonic pentru cercetarea procesului de decantare al apei sub actiunea generatorului gazodinamic cu doua rezonatoare
- elaborarea metodei de calcul pentru generatorul gazodinamic cu doua rezonatoare
- executia generatorului gazodinamic experimental cu doua rezonatoare
- determinarea parametrilor acustico-gazodinamici și a regimului de funcționare a generatorului gazodinamic experimental cu doua rezonatoare
- stabilirea regimului optim de lucru a decantorului sonic
- alegerea metodelor de cercetare fizico-chimice și microbiologice la tratarea sonica a apei brute;
- stabilirea efectului tratării sonice asupra parametrilor de calitate fizico-chimici și microbiologici ai apei brute;
- stabilirea eficienței tehnico – economice a utilizării generatorului sonic experimental in sistemele de tratarea a apei brute
- elaborarea concluziilor finale și direcțiilor de dezvoltare a sistemelor de tratarea a epi brute echipate cu generatoare gazodinamice de sunet si ultrasunet.

Noutatea științifică este data de efectele obținute prin tratarea apei concomitent cu două frecvențe, una din domeniul sonic și cealaltă din ultrasonic, produse de un generator cu două rezonatoare, proiectat special în acest scop.

Ideea principală promovată în teza este îmbunătățirea calitatii apei prin echiparea decantoarelor cu generatoare gazodinamice de sunet și ultrasunet.

Valoarea științifică și practică a rezultatelor lucrării constă în realizarea și testarea unui decantor sonic destinat stațiilor de potabilizare a apei.

Aprecierea lucrării, publicații

Rezultatele principale ale tezei au fost discutate și apreciate favorabil la conferințe și simpozioane științifice internaționale din țara și străinătate: The 3rd International Conference on Thermal Engines and Environmental Engineering - METIME 2009, Galati 4-6 June, University "Dunarea de Jos" of Galati, Mechanical Engineering Faculty Thermodynamics and Heat Engines Department, Galati 2009; The 9th International Conference "Constructive and

Tehnological Design Optimization in the Machines Building Field” OPROTEH-2011, Bacău, 24-26 May, 2011; The annual symposium of the institute of solid mechanics SISOM 2011 and Session of the Commission of Acoustics, Bucharest, 25-26 May, 2011. Contribuțiile originale din teză au fost publicate Analele Academiei Române: Revue Roumaine de Science Tech. – Mécanique Appl., Tome 56, N°1, Bucharest, 2011, și în revista tehnico-științifică “*Meridian Ingineresc*”, nr. 4/2010, nr.1/2011, Chișinău, Republica Moldova.

Structura și volumul tezei

Teza este structurată în două părți: **Partea I** conține studiul documentar, iar **Partea a II- a** cuprinde cercetările experimentale privind decantorul sonic. În total lucrarea conține cinci capitole: introducerea, un capitol de documentare privind stadiul actual cu concluziile și obiectivele de cercetare și patru capitole de cercetări originale cu contribuții proprii.

Capitolul 1 prezintă stadiul actual privind tratarea sonică a apei brute provenită din sursele de suprafață. Capitolul începe cu o descriere generală a legislației naționale sub incidența căreia se află problematica tezei, dar și cu analiza principalelor lucrări privind cercetările noilor tehnologii în domeniul tratării apei, avantajelor ecologice a utilizării generatoarelor sonice. Tot aici se stabilesc obiectivele de cercetare științifică ale tezei, în urma studiului documentar asupra decantoarelor sonice și a principiilor constructive și funcționale ale generatoarelor sonice.

În **Capitolul 2** se prezintă metoda de calcul a generatorului experimental cu două rezonatoare elaborat și confecționat în cadrul Institutului de Fizică Aplicată al Academiei de Științe a Moldovei și Institutului Oțeluri și Aliaje din Moscova destinat proceselor de tratare a lichidelor; se alege soluția constructivă optimă pentru decantorul sonic, se prezintă metodologia de stabilire a vitezelor de curgere în decantorul experimental, se stabilește regimul intermitent de funcționare al generatorului gazodinamic cu două vârtejuri și metodologia determinării parametrilor de calitate ai apei, fizico – chimici și bacteriologici.

Construcția sistemului sonic de decantare al apei brute în vederea potabilizării și toate determinările experimentale s-au efectuat pe platforma Uzinei de apă Brăila. Instalația experimentală poate fi utilizată într-o stație de tratare a apei, de capacitate mică, pentru o localitate sub 10.000 locuitori.

Capitolul 3 este dedicat cercetărilor acustice și parametrice ale generatorului sonic experimental. Se prezintă aparatura utilizată și metodologia măsuririlor acustice. Cercetările experimentale privind emisia acustică a generatorului gazodinamic cu două rezonatoare au evidențiat funcționarea bifrecvențială a generatorului gazodinamic experimental - frecvență sonică de 10,76 kHz și frecvență ultrasonică de 21,520 kHz. Influența presiunii de lucru a

generatorului asupra frecvenței și intensității acustice produse de generator este prezentată în acest capitol. Măsurărilor acustice indică faptul că jetul generatorului pulsează în două în direcții de curgere - axială și transversală, formând două surse de emisie acustică cu două frecvențe observate

În **Capitolul 4** se alege modul de amplasare a generatorului în decantorul sonic și regimul optim de tratare a apei brute. Se prezintă parametrii de calitate ai apei, atât cei fizico-chimici (turbiditate, oxidabilitate, conținutul ionilor de aluminiu și de sulfat) cât și microbiologici (germeni, streptococi, coliformi fecali și totali). Se arată că regimul de tratare la care se obține efectul maxim este cel discontinuu (5 minute de lucru, 15 minute pauză). De asemenea, se prezintă efectul sinergetic al tratării sonice la diferite doze de coagulant (sulfat de aluminiu și polihidroxiclorigen de aluminiu).

Teza se încheie cu **Concluzii finale și direcții de cercetare** în perspectiva continuării investigațiilor. **Bibliografia** cuprinde 99 de referințe, din care 6 aparțin autorului tezei. În **Anexe** sunt atașate tabele cu indicatorii de calitate ai apei (indicatori fizico – chimici și bacteriologici), poze din timpul construcției decantorului sonic, din timpul experimentelor și fișe tehnice ale coagulanților utilizați (sulfat de aluminiu).

PARTEA a I-a STUDIU DOCUMENTAR

Capitolul 1. STADIUL ACTUAL PRIVIND TRATAREA SONICĂ A APEI BRUTE PROVENITĂ DIN SURSELE DE SUPRAFAȚĂ

1.1. Cadrul legislativ al calității apelor de suprafață

1.1.1. Directive europene în domeniul apei

Scopul directivelor CE: atingerea “stării bune” a tuturor corpurilor de apă în regim natural din Europa până în 2015; conservarea “stării bune” și “foarte bune” a corpurilor de apă, acolo unde deja există; atingerea “potențialului ecologic bun” pentru corpurile de apă puternic modificate și artificiale; conformarea cu obiectivele de mediu stabilite de celelalte directive în domeniul apei pentru ariile protejate.

Obiectivele CE: prevenirea deteriorării, protecția și îmbunătățirea stării ecosistemelor acvatice, avându-se în vedere cerințele de apă ale acestora, permanentele interacțiuni între ecosistemele acvatice și ecosistemele terestre adiacente și zonele umede; promovarea folosirii durabile a apei bazată pe protecția pe termen lung a resurselor de apă; intensificarea protecției și îmbunătățirii stării mediului acvatic prin măsuri specifice de reducere progresivă a emisiilor

și pierderilor de substanțe prioritare și de închidere totală sau etapizată a emisiilor și pierderilor de substanțe prioritare periculoase în apă; reducerea efectelor negative ale fenomenelor hidrometeorologice periculoase – inundații și secete.

Elemente revolutionare prevazute in directivele CE: gospodărirea apelor în Europa se va realiza la nivel bazinal ; gospodărirea integrată: apa de suprafață-ape subterane-zone umede și alte tipuri de ecosisteme dependente de ecosistemele acvatic; stabilirea obiectivului comun de “stare bună”, ce trebuie atins după implementarea măsurilor cuprinse în Planul de gospodărire a apelor; caracterizarea stării apelor în 5 categorii de calitate funcție de elementele biologice, având în vedere ca aceste elemente integreaza și reflectă sinergic toate tipurile de impact și condițiile de mediu pe o perioadă mai lungă de timp. Elementele fizico-chimice, hidrologice și morfologice sunt elemente ajutătoare pentru caracterizarea stării apelor; definirea stării de referință pentru apele de suprafață; definirea categoriei de “corpuri de apă puternic modificate “și “corpuri de apă artificiale”; recuperarea costurilor pentru serviciile de apă; participarea publicului la elaborarea Planului de Management al Apelor.

La nivel european în Directiva 98/83/ CE sunt prezentate recomandările cu privire la valorile admise pentru parametrii de calitate ai apei, ce se regăsesc prescurtati în tabelul 1.1.

Tabel 1.1. Parametrii de calitate ai apei potabile

<i>Parametrul / Unitatea de măsură</i>	<i>Valoarea admisă</i>
Aluminiu ($\mu\text{g/l}$)	200
Amoniu (mg/l)	0,5
Carbon organic total (COT)	Nici o modificare anormală
Cloruri (mg/l)	250
Clor rezidual liber (mg/l) - la intrarea în rețea - la capăt de rețea	Nici o prevedere
Conductivitate ($\mu\text{S/cm}$ la 20°C)	2500
Culoare	Acceptabilă consumatorilor și nici o modificare anormală
Duritate totală(grade germane), minim	Nici o prevedere
Fier ($\mu\text{g/l}$)	200
Gust	Acceptabilă consumatorilor și nici o modificare anormală
Mangan ($\mu\text{g/l}$)	50
Miros	Acceptabilă consumatorilor și nici o modificare anormală

Oxidabilitate (mg O ₂ /l)	20
pH (unități de pH)	6,5 – 9,5
Sodiu (mg/l)	200
Substanțe tensioactive - Total (μg/l)	Nici o prevedere
Sulfat (mg/l)	250
Sulfuri și hidrogen sulfurat (μg/l)	Nici o prevedere
Turbiditate (NTU)	Nici o schimbare anormală Recomandat: 1 – pentru ape de suprafață
Zinc (μg/l)	Nici o prevedere
Bacterii coliforme (număr/100 ml)	0
Enterococi (număr/100 ml)	0
Erscheria coli (E.Coli) / 100 ml	0
Număr de colonii la 22 °C	0
Număr de colonii la 37 °C	0

1.1.2. Transpunerea directivelor europene în legislația românească

Directivele europene se regăsesc transpuse în legislația românească prin mai multe legi, hotărâri de guvern etc.

Prin Legea 458/2002 actualizată sunt stipulați parametri de calitate ai apei potabile cu valorile lor admisibile (tabelul nr. 2), perioada, frecvența și numărul indicatorilor fizico – chimici și bacteriologici ce trebuie monitorizați prin control sau audit etc.

Tabelul 1.2. Parametrii de calitate ai apei potabile (monitorizați)

<i>Parametrul / Unitatea de măsură</i>	<i>Valoarea admisă</i>	<i>Metoda de analiză</i>
Aluminiu (μg/l)	200	STAS 6326 / 90
Amoniu (mg/l)	0,5	STAS 6328 / 85
Carbon organic total (COT)	Nici o modificare anormală	SR ISO 8245 / 95
Cloruri (mg/l)	250	STAS 3049/88 SR ISO 9297/98
Clor rezidual liber (mg/l) - la intrarea în rețea - la capăt de rețea	0,50 0,25	STAS 6364/78
Conductivitate (μS/cm la 20°C)	2500	STAS 7722/84 SR EN 27888/97
Culoare	Acceptabilă, nici o modificare anormală	SR ISO 7887/97

Duritate totală (grade germane), minim	5	STAS 3326/76
Fier ($\mu\text{g/l}$)	200	STAS 3086 / 68 SR 13315/96; SR ISO 6332/96
Gust	Acceptabilă, nici o modificare anormală	STAS 6324 / 61 SR EN 1622/97
Mangan ($\mu\text{g/l}$)	50	STAS 3264/81 SR 8662-1; 2/96; SR ISO 6333/96
Miros	Acceptabilă, nici o modificare anormală	STAS 6324/61 SR EN 1622/97
Oxidabilitate ($\text{mg O}_2/\text{l}$)	5,0	STAS 3002/85 SR ISO 6060/96
pH (unități de pH)	6,5 – 9,5	STAS 6325/75 SR ISO 10523/97
Sodiu (mg/l)	200	-
Substanțe tensioactive - Total ($\mu\text{g/l}$)	200	STAS 7576/66 SR ISO 7875 – 1; 2/96
Sulfat (mg/l)	250	STAS 3069/87
Sulfuri și hidrogen sulfurat ($\mu\text{g/l}$)	100	SR 7510/97 SR ISO 10530/97
Turbiditate (NTU)	≤ 5 1 – pentru ape de suprafață	STAS 6323/88
Zinc ($\mu\text{g/l}$)	5000	STAS 6327/81
Bacterii coliforme (număr/100 ml)	0	STAS 3001/91
Enterococi (număr/100 ml)	0	STAS 3001/91
Număr de colonii la 22 °C	0	STAS 3001/91
Număr de colonii la 37 °C	0	STAS 3001/91

1.2. Analiza instalațiilor de tratare a apei brute provenită din apele de suprafață

Apa potabilă se obține prin diverse *tehnici de purificare*, adoptate în funcție de numărul de consumatori, calitatea inițială a apei, tipul sursei (de adâncime sau de suprafață), modul de distribuire a apei către consumatori etc. Tehnologia clasică de obținere a apei potabile implică etape successive de decantare, tratare chimică, filtrare, cu consumuri materiale, energetice și de manoperă foarte mari, aspecte care au determinat din ce în ce mai mult înlocuirea acestora cu tehnici moderne, performante, cum sunt procesele membranare. Condițiile pe care trebuie să le satisfacă apa pentru a avea calitatea de "apă potabilă" sunt

reglementate în fiecare țară de standarde care, în general, sunt elaborate pe baza prescripțiilor organizațiilor naționale și internaționale din domeniul sănătății umane (Ministerul Sănătății și Organizația Mondială a Sănătății).

Tehnologiile clasice de obținere a apei potabile prezintă o serie de dezavantaje, dintre care cele mai semnificative sunt:

- instalațiile necesită suprafețe de teren foarte mari;
- apa potabilă obținută are calitate variabilă în timp, datorită modificărilor suferite de sursă primară în urma precipitațiilor, colmatării progresive a filtrelor cu nisip și dezvoltării unor microorganisme pe suprafață și în masa acestora; utilizează reactivi chimici pentru faza de coagulare, ducând la modificarea nedorită a conținutului de ioni;
- consumă cantități mari de substanțe chimice de dezinfecție (clor sau ozon);
- contaminări cu substanțe de dezinfecție (clor), cu efecte negative asupra consumatorilor.

Din aceste motive, s-au căutat soluții alternative la procedeele clasice, care să elimine aceste neajunsuri și, în special, să asigure o calitate superioară a apei potabile.

1.3. Instalații de tratare a apei cu ultrasunete

Rezultatele concludente obținute până în prezent și publicate în lucrări științifice au evidențiat efectul tratării sonice (ultrasunete concomitent cu barbotarea cu aer) asupra indicatorilor fizico-chimici și microbiologici ai apei brute în condiții de laborator cu ajutorul generatoarelor gazodinamice de ultrasunete.

În experimentele anterioare se menționează că cel mai bun efect al ultrasunetelor se obține la tratarea discontinuă a apei, atunci când ciclul de lucru al generatoarelor ultrasonice are două faze: faza de emisie și faza de pauză. Din păcate, în lucrările menționate mai sus unde tratarea a fost realizată în condiții de laborator, verificarea regimului discontinuu este imposibilă deoarece este necesară o instalație pentru tratarea apei în flux ca și la stațiile de tratare a apei.

Generatoarele sonice, după principiul de funcționare se pot clasifica în :

- generatoare *Hartmann*, care utilizează procesele nestaționare în jeturi de gaz supersonice ;
- generatoare *Helmholtz* (sau fluier acustice), care utilizează procesele nestaționare la interacțiunea jetului subsonic cu muchia ascuțită;
- generatoare cu *vârtej*, care utilizează fenomenul de instabilitate a fluxului de gaz turbionat.

Fața de celelalte tipuri de generatoare, generatorul de tip *Levasseur*, care funcționează după principiul lui Helmholtz în esență fiind un generator cu vârtej. El este mai economic, deoarece poate să funcționeze la presiuni mult mai joase și are randamente acustice superioare. Din păcate, metoda de calcul de proiectare a acestor generatoare nu

există - în literatura de specialitate este dată numai formula experimentală pentru determinarea frecvenței fundamentale a generatorului .

PARTEA a-II-a: STUDIU EXPERIMENTAL

Capitolul 2. GENERATORUL GAZODINAMIC CU DOUĂ REZONATOARE, INSTALAȚIA EXPERIMENTALĂ CU DECANTORUL SONIC, MATERIALE UTILIZATE ȘI METODE DE CERCETARE ALE SISTEMULUI SONIC

2.1. Metoda de calcul și construcția generatorului experimental cu două rezonatoare destinat proceselor de tratare a apei

S-a analizat dinamica curgerii unidimensionale a gazului într-un generator *Levasseur* cu jetul plat elaborat și confecționat în cadrul Institutului de Fizică Aplicată al Academiei de Științe și Institutului Oțeluri și Aliaje din Moscova destinat proceselor de tratare a lichidelor (fig. 2.1)

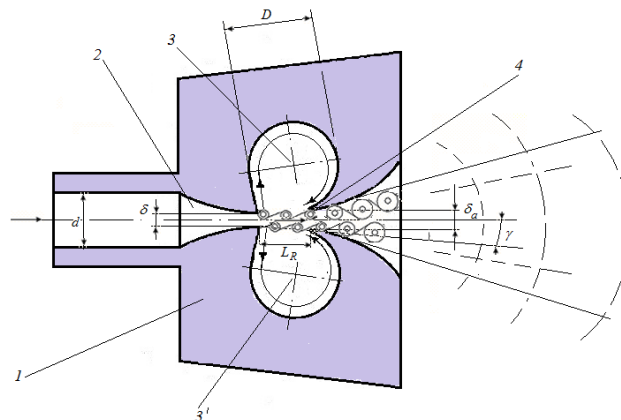


Fig.2.1. Schema curgerii în generatorul sonic gazodinamic cu două rezonatoare:

1- bază; 2- ajutorul convergent; 3, 3' - camere de rezonanță; 4- muchia rezonatorului; D - diametrul camerei de rezonanță; δ - fanta ajutorului convergent ; δ_a - fanta generatorului ; L_R - lungimea gâtului rezonatorului; d - diametrul canalului de intrare

Un criteriu de bază cu care se descrie funcționarea generatoarelor sonice gazodinamice reprezintă numărul *Strouhal*:

$$Sh = \frac{f \cdot \delta}{v} , \quad (2.1)$$

la care: f este frecvența de lucru , δ -fanta ajutorului, v -viteza jetului de gaz .

Intensificarea maximă a procesului oscilant la perturbarea acustică a jetului plat de gaz are loc în domeniul $Sh=0,2-0,3$. Se recomandă valoarea apropiată pentru numărul *Strouhal* optim $Sh = 0,34$. Viteza jetului de gaz în funcție de regimul de curgere a gazului în secțiunea de ieșire a ajutorajului convergent este acela subsonic sau critic .

În regimul subsonic viteza de scurgere a gazului din ajutoraj se determină aplicând formula *Saint-Venant* :

$$v = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot \frac{P_0}{\rho_0} \left[1 - \left(\frac{P_{at}}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \text{ m/s} \quad (2.2)$$

la care : $P_0 = p + P_{at}$, - presiunea absolută de alimentare , P_a ; p - presiunea manometrică de

alimentare; P_{at} - presiunea mediului; $\rho_0 = \frac{P_0}{R \cdot T_0} = 3,57 \text{ kg/m}^3$ - densitatea aerului din

rezervor; $R=287 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ - constantă de gaz pentru aer ; $T_0=273,12+t_0$, K- temperatura aerului din rezervor; $t_0^\circ\text{C}$ - temperatura aerului din rezervor; $k=1,4$ –exponentul adiabatic (aer).

Dacă presiunea totală P_0 a gazului este mai mare decât presiunea mediului P_{at} , în care

are loc curgerea de $\left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 1,72$ ori , în secțiunea de ieșire a ajutorajului convergent se instalează regimul critic.

Viteza critică se determină cu formula:

$$v = a_* = \sqrt{\frac{P_0}{\rho_0} \cdot \frac{2k}{k+1}}, \text{ m/s} \quad (2.3)$$

Fanta ajutorajului convergent se obține din frecvența necesară f , numărul S_h optim ales și viteza jetului de gaz v calculată:

$$\delta = \frac{Sh \cdot v}{f}, \quad (2.4)$$

Lățimea fantei ajutorajului h nu este parametru determinant. Totodată, pentru jeturi plate se recomanda raportul:

$$\delta/h > 6 \quad (2.5)$$

Atunci secțiunea transversală a ajutorajului convergent este:

$$S = \delta \cdot h, \quad (2.6)$$

unde: δ , m – este fanta ajutorajului; h , m - lățimea fantei ajutorajului.

Debitul masic de aer utilizând formula *Saint-Venan*, destinată curgerilor subsonice a gazului prin orificii și ajutoraje, va fi:

$$\dot{m} = \rho_0 \cdot v \cdot S, \text{ kg/s} \quad (2.7)$$

la care S , m^2 este aria secțiunii de ieșire a ajutorajului convergent (fig,1).

Debitul masic de aer la curgere cu parametrii termodinamici critici se determină după formula:

$$\dot{m} = \rho_* \cdot a_* \cdot S, \quad (2.8)$$

unde ρ_* și a_* sunt parametrii critici determinați de parametrii inițiali (P_0 , ρ_0) și de exponentul adiabatic (k) al gazului. Densitatea critică a aerului este:

$$\rho_* = \rho_0 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}}, \text{ kg/m}^3 \quad (2.9)$$

Vârtejurile din camerele de rezonanță 2 și 2' transferă perturbații de presiune pe distanța L_R în perioada de timp egală cu L_R/a , la care a este viteza sunetului.

Analizând dinamica curgerii din generator, distanța L_R poate fi determinată din ecuația :

$$L_R = n \cdot l_v - \frac{L_R}{a} f \cdot l_v, \quad (2.10)$$

unde: n este numărul întreg ($n=1$ corespunde sistemului simetric de turbioni, $n=2$ pentru cazul unui sistem asimetric de turbioni); l_v - distanța dintre turbionii (se consideră că $f \cdot l_v = v$). Frecvența f se determină după valoarea numărului Strouhal Sh din formula:

$$f = \frac{Sh \cdot v}{\delta} \quad (2.11)$$

Relația (10) poate fi prezentată și sub forma:

$$\frac{L_R}{\delta} = \frac{n}{(1+M) \cdot Sh}, \quad (2.12)$$

la care: $M = v/a$ este numărul Mach; $a = 331 + 0,59 \cdot (t - t_0)$ [m/s] – viteza sunetului în aer la temperatura t °C, $t_0 = 0$ °C.

Frecvența proprie a rezonatorului de tip Helmholtz, se determină după relația [8]:

$$f = \frac{a}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{S_R}{b \cdot V_R}}, \quad (2.13)$$

la care S_R este aria secțiunii transversale a deschiderii camerei de rezonanță, a - viteza sunetului; b – adâncimea deschiderii camerei de rezonanță, V_R - volumul camerei cilindrice de rezonanță.

Volumul camerei de rezonanță cilindrice de diametrul D și adâncimea h , care constructiv este egală cu lățimea ajutorului convergent, poate fi apreciată după formula:

$$V_R = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h, \quad (2.14)$$

Aria secțiunii transversale deschiderii dreptunghiulare a camerei de rezonanță va fi :

$$S_R = L_R \cdot h \quad (2.15)$$

unde L_R este lungimea, iar h - lățimea deschiderii.

Din geometria rezonatoarelor (fig.2.1) rezultă relația pentru determinarea adâncimii deschiderii camerei de rezonanță:

$$b = \frac{\delta_a - \delta}{2} = L_R \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (2.16)$$

la care $\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} (10-15)^\circ = 0,2-0,25$.

Din ecuația (2.13) și relații (2.14-16) se obține diametrul camerelor de rezonanță;

$$D = \frac{a}{f \cdot (\pi^2 \cdot \operatorname{tg} \gamma)^{1/2}}, \quad (2.17)$$

unde: $a = 331 + 0,59 \cdot (t - t_0)$, m/s este viteza sunetului în aer la temperatura t , °C; $t_0 = 0$, °C;

f , Hz – frecvența generatorului; γ , grad - semiunghiul conului de ieșire a canalului generatorului (fig.2.1).

Diametrul canalului de intrare d se determină din ecuația de continuitate după debitul masic de aer de lucru din condiția :

$$d \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{\delta \cdot h}{\pi}} \cdot 1,6 \quad (2.18)$$

Datele inițiale necesare pentru calculul de dimensionare a generatorului gazodinamic cu două rezonatoare sunt: f , kHz – frecvența de lucru a generatorului; p , MPa - presiunea manometrică a aerului de lucru; P_{at} , MPa - presiunea mediului în care funcționează generatorul; \dot{m} , kg/s – debitul masic sau debitul volumetric de aer Q , m³/h .

Parametrii geometrici și funcționali ai generatorului s-au determinat după metoda propusă, presiunea de lucru (manometrică) $p=0,05$ MPa, debitul de aer $Q=10$ m³/h. Pentru calculul generatorului l s-a considerat $f=10,5$ kHz.

Rezultatele calculelor sunt date în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1 Parametrii determinați prin calcul ai generatorului sonic experimental cu două rezonatoare

P, Pa	$Q, m^3/h$	P_{at}	f, kHz	Sh	δ, mm	D, mm	h, mm	n	L_R, mm	d, mm
$1,6 \cdot 10^5$	10,0	$1,1 \cdot 10^5$	10,5	0.3	1,2	8,0	8.06	1	4,08	7,06

Valoarea n poate lua valorile : 1,2,3,... În calculele noastre s-a luat $n=1$. Rezultatele din tabelul 1 corespund cazului în care în generator apare sistemul simetric ($n=1$) de turbioni. În cazul turbionilor asimetrice ($n=2$) frecvența rezultantă crește și la parametrii dimensionali din tabelul 1 apare a doua frecvență de $f=21,2$ kHz. .

Calculul efectuat demonstrează faptul că generatorul hidroacustic elaborat și confecționat la Institutul de Fizică Aplicată al Academiei de Științe a Moldovei (fig. 2.2 și 2.3) destinat tratării cavitaționale a lichidelor poate fi utilizat direct ca generator sonic gazodinamic în procesele de tratare a apei.

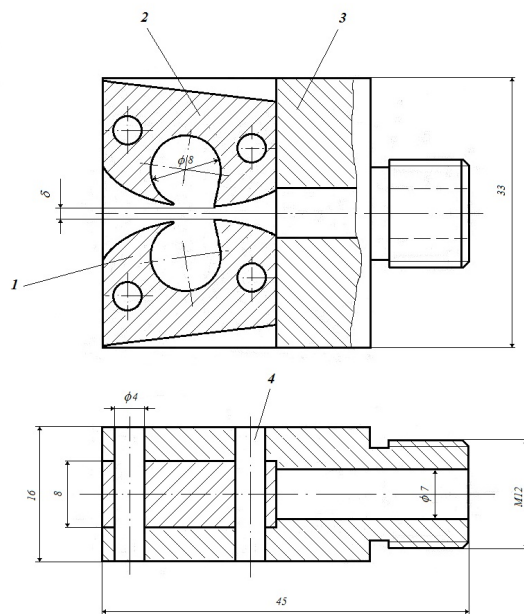


Fig. 2.2. Generatorul sonic gazodinamic experimental cu două rezonatoare: 1-carcasă; 2-rezonatorul de sus ; 3- rezonatorul de jos ; 4- știft de fixare ; δ - fanta generatorului



a)



b)

Fig.2.3. Imaginea generatorul sonic gazodinamic experimental cu două rezonatoare confecționat din oțel inoxidabil de tipul 20 Cr 120: a-vedere laterală; b-vedere frontală

2.2.1. Instalația experimentală pentru tratarea sonică a apei brute din cadrul Companiei de Utilități Publice Dunărea S.A. Brăila

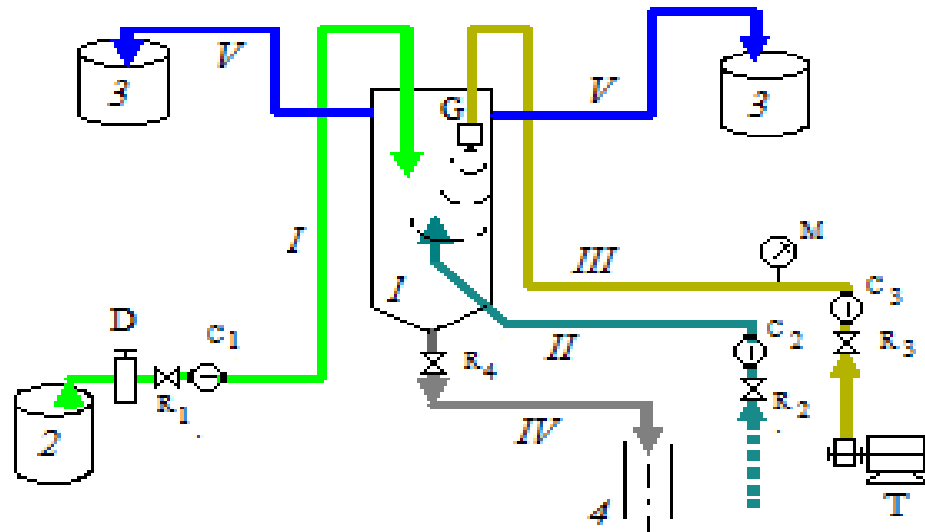


Fig. 2.4. Instalația experimentală pentru cercetarea decantorului sonic: 1-decantor; 2-cuvă de coagulant, 3-cuvă de apă decantată; 4 canalizare; G– generator sonic, D–dozator coagulant; R₁–robinet reglare debit coagulant; C₁–contor monitorizare coagulant; R₂– robinet reglare apă brută; C₂–contor monitorizare apă brută; T- turbosuflantă; R₃–robinet reglare aer sub presiune, M – manometru; R₄-robinet reglare evacuare nămol

Instalația experimentală (fig. 2.4)., în afară de decantorul sonic 1, cuprinde diferite sisteme: sistemul de alimentare cu soluție de coagulant I; sistemul de alimentare cu apă brută II; sistemul de alimentare cu aer comprimat al generatorului III; sistemul de canalizare a suspensii decantate IV; sistemul de colectare a apei decantate V.

Metodologia de lucru în cadrul cercetărilor experimentale a fost următoarea:

- stabilirea regimului de lucru al instalației la care debitul apei în decantorul experimental este constant (debitul apei brute de 0,9144 m³/h; viteza ascensională a apei brute de 0,145 mm/s);
- stabilirea debitului soluției agentului de coagulare (sulfatul de aluminiu Al₂(SO₄)₃) pentru doză de 40 - 60g/m³;
- stabilirea ciclului de funcționare intermitentă a generatorului sonic în funcție de viteza ascensională a apei și de capacitatea decantorului experimental (perioada de funcționare efectivă a generatorului sonic de 60 minute, alternat cu perioadele de pauză de 5,10,15 sau 20

de minute), adâncimea de scufundare a generatorului în camera de reacție (0; 0,5; 0,75; 1 m) și poziționarea generatorului față de cameră (tangent față de perete sau axial - central).

Testările prealabile ale decantorului sonic experimental au evidențiat efectul maxim al tratării sonice la distanța de 40 mm față de axa centrală a camerei de reacție, practic tangent la peretele (cilindric) camerei.

2.2.2. Metoda de calculul a decantorului vertical

Parametrii geometrici ai decantorului experimental s-au determinat reieșind din calculul hidraulic și dimensional a decantoarelor verticale (fig. 2.5):

A. Calcul hidraulic

1. Volumul decantorului se calculează cu relațiile (2.19) și (2.20), considerându-se valoarea cea mai mare

$$V_d = Q_c \cdot t_d, \text{ m}^3 \quad (2.19)$$

$$V_v = Q_v \cdot t_v, \text{ m}^3 \quad (2.20)$$

unde: Q_c este debitul de calcul, m^3/h ; Q_v este debitul de verificare, m^3/h ;

t_d este timpul de decantare la Q_c , h; t_v este timpul de decantare la Q_v , h

la calcule se consideră cea mai mare valoare pentru V_d

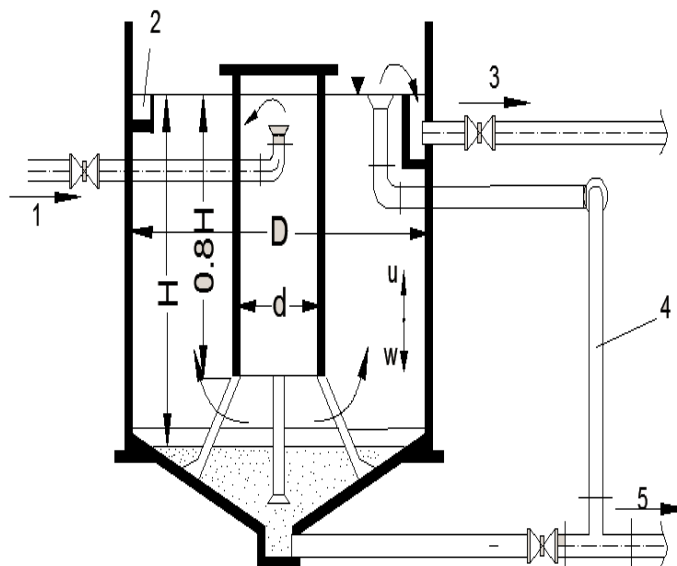


Fig. 2.5. Schema decantorului de tip vertical (cilindric) : 1 – intrarea apei; 2 – jgheab pentru colectarea apei decantate; 3 – iesirea apei decantate; 4 – prealin; 5 – golire.

2. Suprafața orizontală și adâncimea decantorului se calculează cu relațiile (2.21) și (2.22)

$$A_0 = \frac{Q_c}{u_s}, \text{ m}^2 \quad (2.21)$$

$$h_u = u \cdot t_d, \text{ m} \quad (2.22)$$

unde: u_s este încărcarea superficială egală cu viteza de sedimentare u , considerată conform tabelului 2.2; t_d este timpul de decantare la Q_c (tabelul 2.23).

3. Secțiunea tubului central

$$A_{tc} = \frac{Q_c}{v_t}, \text{ m}^2, \quad (2.23)$$

- unde v_t este viteza de curgere a apei prin bazin ($v_t \leq 0,10$ m/s)

4. Se propune un număr par de unități de decantare și se urmărește ca diametrul fiecărei unități să fie sub 10 m. Se verifică apoi cu relația:

$$\frac{h_u}{D-d} \geq 0,80, \quad (2.24)$$

în care D este diametrul decantorului iar d este diametrul tubului central (fig. 2.5)

5. Înălțimea tubului central

$$H_t = 0,8 h_u, \text{ m} \quad (2.25)$$

6. Adâncimea totală a decantorului

$$H = h_s + h_u + h_n + h_d, \text{ m}, \quad (2.26)$$

în care: h_s este înălțimea de siguranță; h_u - înălțimea utilă a spațiului de decantare,

h_n - înălțimea neutră; h_d - înălțimea trunchiului de con.

B. Calcul dimensional

1. Secțiunea tubului central se determină, dar:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{tc}}{\pi}}, \text{ m}, \quad (2.27)$$

unde secțiunea A_{tc} , m^2 să obțină din relația (2.23).

2. Se calculează suprafața efectivă a secțiunii orizontale:

$$A_0 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}, \text{ m}^2 \quad (2.28)$$

3. Din relațiile (2.27), (2.28) se determină diametrul D :

$$D = \sqrt{\frac{4(A_c + \frac{\pi \cdot d^2}{4})}{\pi}}, \text{ m}, \quad (2.29)$$

4. Încărcarea superficială:

$$u_s = \frac{Q_c}{A_0}, \text{ m/h}, \quad (2.30)$$

care trebuie să fie sub valoarea de 0,1944 m/h (0,7 mm/s).

5. Să verifice condiția:

$$u_s < u, \quad (2.31)$$

în care valoarea lui u se ia din tabelul 2.2.

6. Adâncimea utilă se determină la limita, astfel:

$$h_u = 0,8 \cdot (D-d), \text{ m} \quad (2.32)$$

7. Înălțimea tubului central :

$$H_t = 0,8 \cdot h_u, \text{ m} \quad (2.33)$$

2. 2.3. Construcția decantorului sonic experimental

Pentru realizarea tehnologie sonice de decantare a apei brute s-a proiectat un decantor vertical suspensional (fig.2.5) echipat cu un generator sonic gazodinamic.

Construcția decantorului sonic experimental, a fost executată după parametrii dimensionali obținuți din calcul (tab. 2.3).

Tabelul 2.3. Parametrii dimensionali principali ai decantorului sonic experimental

Parametrii de dimensionare	Simbol	Unitate De măsură	Valoare
Adâncimea totală a decantorului	H	m	2,16
Înălțimea depunerilor	h_d	m	0,4
Înălțimea de siguranță	h_s	m	0,3
Înălțimea utilă a spațiului de decantare	h_u	m	1,8
Diametrul decantorului	D	m	1,6
Diametrul tubului central	d	m	0,116
Secțiunea orizontală	A_0	m ²	2,0096
Debitul de calcul	Q_c	m ³ /h	0,904
Debitul de verificare	Q_v	m ³ /h	1
Volumul de decantare	V_d	m ³	3
Timpul de decantare (la debitul de calcul)	t_d	h	4

Decantorul sonic funcționează în felul următor: Apa brută (apă de Dunăre) pătrunde în cameră de amestec 2 prin conducta de alimentare 5. Tot acolo ajunge prin conducta de alimentare 7 și coagulantul (soluție de sulfat de aluminiu). Generatorul sonic, alimentat cu aer sub presiune prin conducta 6, este introdus în camera de amestec având poziții și adâncimi diferite (adâncimea variază în domeniul $h = 0 - 1$ m) unde produce concomitent unde sonice și barbotare, datorită aerului de lucru necesar pentru funcționarea generatorului.

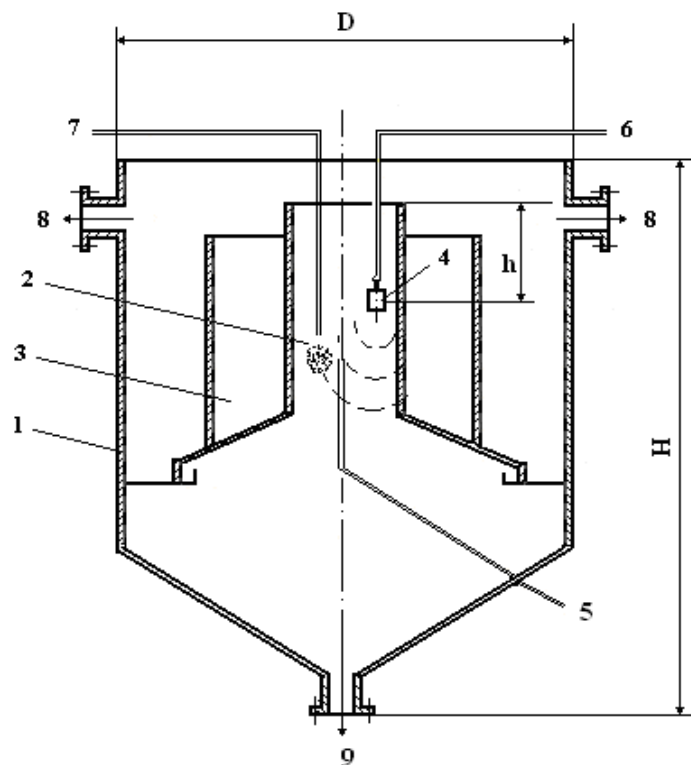


Fig. 2.5. Decantorul sonic experimental: 1- peretele decantorului; 2 – camera de amestec; 3 – camera de reacție; 4 – generatorul sonic; 5 – conductă de apă brută; 6 – conductă de aer de lucru a generatorului; 7 – conductă de coagulant; 8 –colectare apă decantată; 9 – colector de evacuare nămolului; D, H – diametrul , respectiv înălțimea decantorului; h- adâncimea generatorului

2.3. Materiale utilizate și metode de determinare a parametrilor fizico-chimici și bacteriologici

Pentru evaluarea eficacității decantorului sonic s-a măsurat turbiditatea apei brute tratate sonic în decantorul experimental și a apei tratate clasic într-o instalație tehnologică de tratare a apei, în conformitate cu legislația în domeniu.

În cadrul experimentelor, s-au utilizat pentru tratarea sonică următoarele materiale:

1) Apă brută de Dunăre .

Probele de apă au fost prelevate în recipiente curate (sterile) conform SR ISO 5667-4.

2) Aerul de lucru al generatorului a fost preluat de la o turbosuflantă, la presiunea de 0,05 MPa.

3) Coagulant sulfat de aluminiu ($Al_2(SO_4)_3$). Sulfatul are reactivitate redusă la temperaturi mai mici de $5^{\circ}C$ și pH-ul optim de reacție $6,2 \div 6,5$.

2.3.1. Metode de determinare a indicatorilor fizico-chimici a apei

Determinarea turbidității s-a efectuat imediat după recoltarea probei. În turbidimetrul de tip *Tyndall* s-a introdus fiola de 20 ml ce conține apă de de analizat și se așteaptă stabilizarea aparatului.

Oxidabilitatea este un indicator de calitate care arată cantitatea de substanțe organice și anorganice oxidabile conținute într-o probă de apă, în condițiile specifice metodei de analiză utilizate.

Principiul metodei de determinare a conținutului de ioni de sulfati din apă se poate sintetiza astfel: sulfatii în mediu de alcool etilic și în prezența sulfatului de bariu sunt titrați cu clorură de bariu folosind thorin ca indicator până la virajul culorii de la galben la roz, persistent.

Principiul metodei de determinare a conținutului de ioni de aluminiu de apă din apă se poate sintetiza astfel: ionii de aluminiu formeaza cu aluminona la $pH = 4$ un complex colorat in rosu a carui absorbanta se masoara la lungime de unda de 525 nm . Valoarea conținutului de ioni de aluminiu din apa brută (de Dunăre) a fost de 0,03 mg/l (30 $\mu g/l$).

2.3.2. Metode de determinarea indicatorilor bacteriologici ai apei

Prezența bacteriilor mezofile se pune in evidenta prin insamantare probei sau dilutiilor decimale prin procedeul incorporarii într-un mediu nutritiv solid incubat la $37^{\circ}C$ timp de 48 h, urmat de numaratoarea coloniilor dezvoltate. Rezultatul se exprima prin numarul de unitati formatoarede colonii pe centimetrul cub.

Prezența bacteriilor coliforme (coliformi totali) se pune în evidență prin testul de prezumție însămânțând apa sau / și diluții decimale într-un număr de flacoane și eprubete cu mediu de îmbogățire lichid, reacția pozitivă fiind evidențiată printr-un test de confirmare pe mediu solid la temperatura de $37 \pm 0,5^{\circ}C$, după 24 h.

Prezența bacteriilor coliforme termotolerante (coliformi fecali) se pune în evidență plecând de la flacoanele și eprubetele pozitive în testul de prezumție pentru bacteriile coliforme (coliformi totali) prin confirmare în mediu selectiv lichid, la temperatura de $44 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ în 24 ore.

Prezența streptococilor fecali se pune în evidență prin testul de prezumție însămânțând produs și / sau diluții decimale într-un număr de flacoane și eprubete cu mediu de îmbogățire lichid la $37 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, reacția pozitivă fiind evidențiată printr-un test de confirmare într-un mediu selectiv lichid la temperatura de $44 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ timp de 48 ore .

CAPITOLUL 3. CERCETĂRI ACUSTICE ALE GENERATORULUI SONIC GAZODINAMIC EXPERIMENTAL CU DOUĂ REZONATOARE

3.1. Metodologia măsurărilor acustice și gazodinamice ale generatorului experimental cu două rezonatoare

Măsurările de zgomot au urmărit comportarea acustică a generatorului gazodinamic experimental cu două rezonatoare în funcție de regimul de funcționare.

Cercetările au fost efectuate în Laboratorul de Zgomot și Vibrații din cadrul Catedrei de Mecanică a Facultății de Ingineria Sistemelor Biotehnice, Universitatea „Politehnica” București.

Generatorul experimental a fost situat orizontal la distanță de 2 m de la podea și de 8-10 m față de pereți într-o camera fonoizolată. Zgomotul de fond al camerei în timpul cercetărilor nu depășea nivelul de 28 dB, ceea ce este mult mai mic comparativ cu intensitatea sonoră produsă de generatorul sonic. Microfonul se afla în planul orizontal pe o distanță de 1m, având unghiul de 120° cu axa generatorului, astfel ca axa microfonului să treacă prin centrul ajutorului generatorului (fig. 3.2).

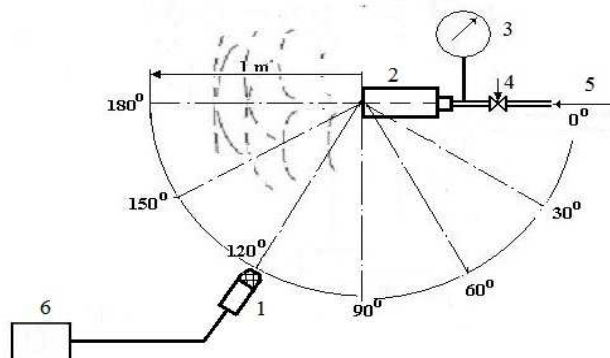


Fig.3.2. Schema efectuării măsurărilor acustice: 1- microfon; 2- generatorul sonic; 3- manometru, 4-reductor; 5- admisir aer de lucru; 6- sistemul acustic de măsurare

3.2. Parametrii acustici ai generatorului experimental cu două rezonatoare

3.2.1. Analiza spectrului de emisie acustică a generatorului

Spectrul de emisie acustică în benzi de 1/3 octavă al generatorului experimental cu două rezonatoare în funcție de presiunea de alimentare p este prezentat în fig. 3.3-3.12, iar analiza spectrală FFT cu programul LABView în fig. 3.15. Valorile numerice măsurate sunt prezentate în tabelul 3.3. Cum rezultă din măsurătorile efectuate, nivelul intensității globale L_z în funcția de presiune ($p = 0,05 \div 0,5 \text{ MPa}$) variază de la 112,32 dB până la 121,92 dB, diferența fiind de 9,6 dB, ceea ce corespunde variației intensității acustice I/I_0 aproximativ de 10 ori și a presiunii sonore P/P_0 de 5 ori. Se observă ca frecvențele de lucru sunt multiple (de 10 și de 20 kHz) și în funcție de presiune de lucru este dominantă după valoarea nivelul intensității acustice având frecvența sonică la presiuni $p \leq 0,15 \text{ MPa}$ (fig. 3.3) sau ultrasonică la $p \geq 0,3 \text{ MPa}$ (fig. 3.12).

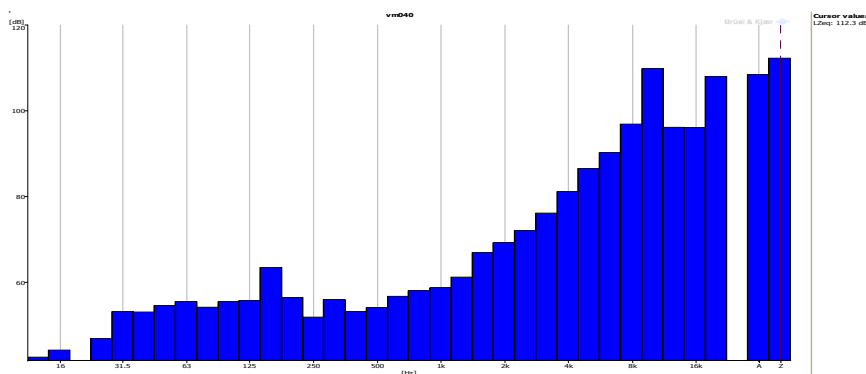


Fig. 3.3. Spectrul de emisie acustică a generatorului cu două rezonatoare (presiunea de lucru a generatorului $p = 0,05 \text{ MPa}$)

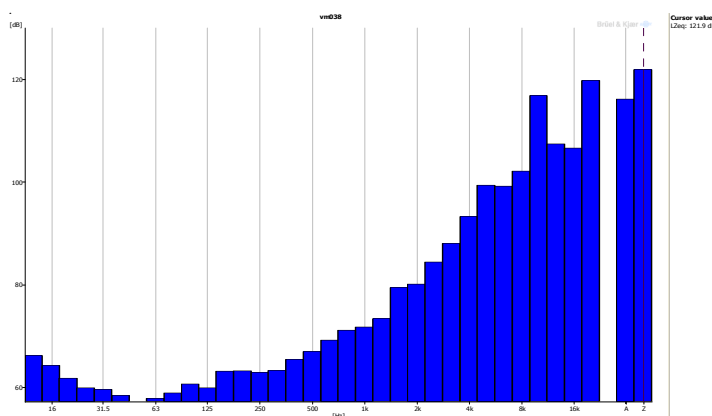


Fig. 3.12. Spectrul de emisie acustică generatorului cu două rezonatoare (presiunea de lucru a generatorului $p = 0,5 \text{ MPa}$)

3.2.2. Influența presiunii de lucru asupra intensității acustice

Dependența de presiune a nivelului global de intensitatea acustică și a nivelurilor respective la frecvența sonică și ultrasonică produse de generator este prezentată grafic mai jos.

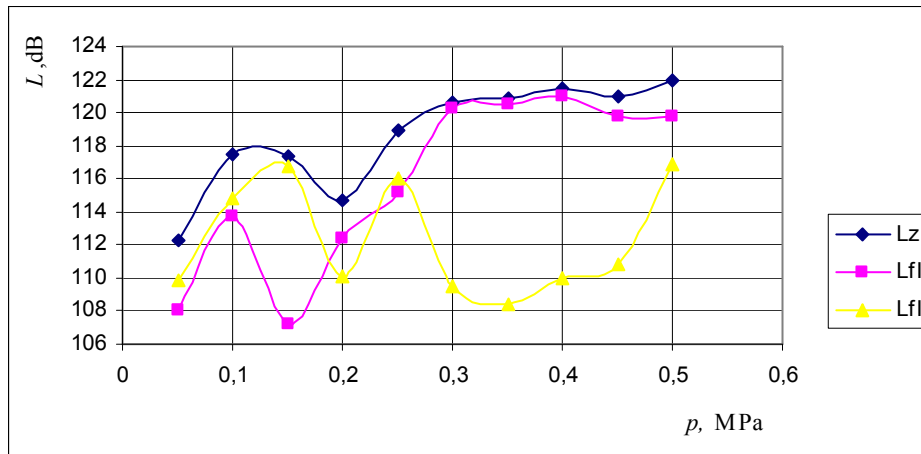


Fig. 3.13. Variația nivelurilor de intensitatea acustică în funcție de presiunea de lucru a

p , MPa	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
L_z , dB	112.32	117.44	117.36	114.69	118.88	120.67	120.85	121.45	121.03	121.92

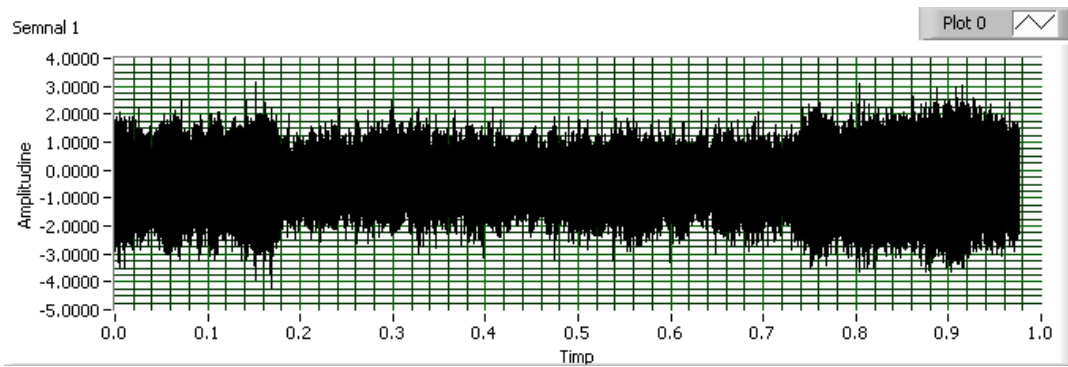
generatorului: L_z – nivelul global de intensitatea acustică; L_{fI} – nivelul intensității acustice la frecvență de emisie ultrasonică (de 20 kHz); L_{fII} – nivelul intensității acustice la frecvență de

Tabelul 3.2. Variația nivelurilor de intensitatea acustică în funcție de presiunea de lucru a generatorului

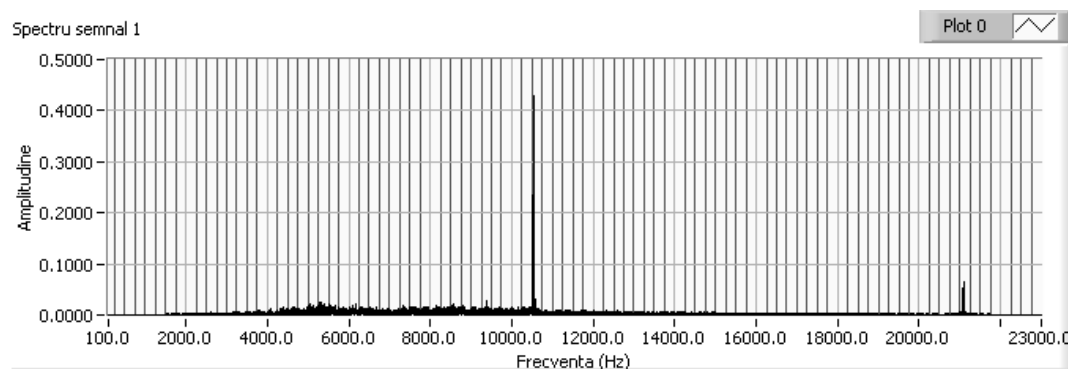
L_{fI} , dB	108.09	113.74	107.15	112.41	115.22	120.22	120.46	120.99	119.79	119.79
L_{fII} , dB	109.88	114.82	116.8	110.09	116.03	109.48	108.4	109.95	110.82	116.85

3.2.3. Influența presiunii de alimentare asupra frecvențelor de lucru ale generatorului

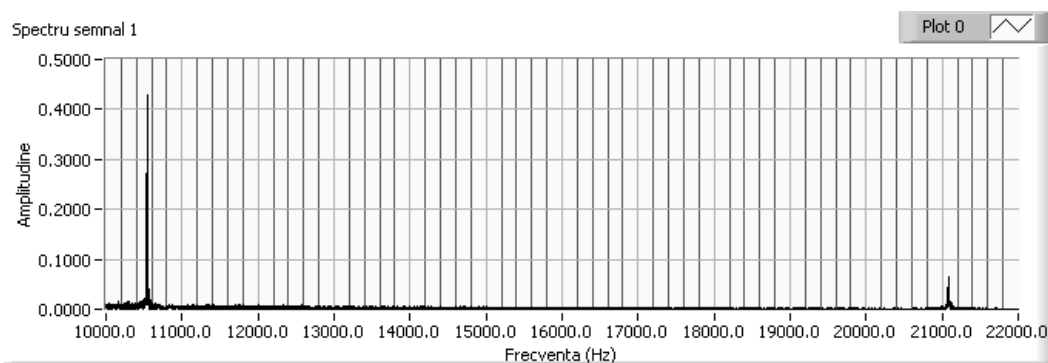
În fig. 3.15 sunt prezentate pulsațiile de presiunea acustică măsurate în timpul funcționării generatorului sonic experimental (a) analiza spectrală FFT a acestui semnal cu programul LABview (b, c) :



a)



b)



c)

Fig. 3.15. Analiza spectrală FFT cu programul LABwiev a câmpului acustic produs de generatorul cu doua rezonatoare (presiunea de lucru a generatorului $p = 0,5$ MPa): a) pulsații de presiune sonoră în timp real; b) spectrul pulsațiilor în banda îngustă; c) zoom-ul spectrului în zona de interes.

După cum reiese, frecvența harmonicilor după valoarea practic rămâne constantă având 10,76 kHz (fig.3.15 b,c) în domeniul sonic 21,52 kHz (fig.3.15 b,c) pentru cel ultrasonic.

Caracterul variației frecvențelor de emisie în funcție de presiunea de lucru a generatorului este dat în fig. 3.16.

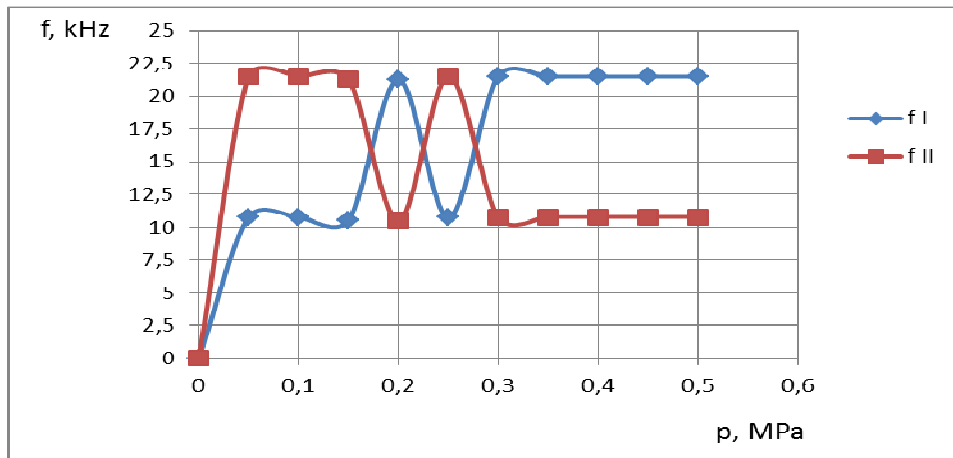


Fig. 3.16. Variația frecvențelor de emisie în funcție de presiunea de lucru a generatorului:

f_I – prima harmonică, f_{II} - a doua harmonică

Trebuie de subliniat faptul ca valoarea frecvențelor este practic constantă și nu poate fi schimbată la variația presiunii de alimentare, în funcție de presiune poate avea loc numai schimbul frecvenței de baza de la valoarea sonică la cea ultrasonică și invers.

Rezultatele obținute în urma măsurărilor acustice indică faptul că jetul generatorului pulsează în două în direcții de curgere - axială și transversală, formând două surse de emisie acustică cu două frecvențe observate.

Capitolul 4. EFECTUL TRATĂRII SONICE ASUPRA PARAMETRILOR DE CALITATE AI APEI BRUTE

4.1. Influența regimului de lucru al generatorului experimental cu două rezonatoare asupra parametrilor de calitate fizico-chimici ai apei brute

Având în vedere faptul că regimul de funcționare al decantorului sonic este discontinuu (cu pauze) pentru a aprecia atât perioada de funcționare efectivă cât și perioada de pauză, dar și adâncimea și poziția generatorului sonic introdus în camera de amestec, experimentele s-au efectuat în funcție de adâncimea scufundării generatorul la diferite regimuri de funcționare în timp ale generatorului.

4.1.1. Indicele de Turbiditate

S-a cercetat variația turbidității în funcție de adâncimea de lucru a generatorului h la diferite valori ale raportului de timp efectiv de funcționare a generatorului t_{rap} , prin care se va descrie regimul de funcționare a generatorului :

$$t_{rap} = \frac{t}{t_0}, \quad (4.1)$$

unde t este timpul de funcționare, iar t_0 reprezintă timpul de pauză dintrun ciclu de lucru al decantorului.

Pentru a stabili valorile optime pentru adâncimea h (vezi fig.2.5) și raportul de timp t_{rap} s-au urmărit următoarele regimuri de funcționare a generatorului :

- 0 minute funcționare / 60 minute pauză, $t_{rap} = 0$;
- 5 minute funcționare / 15 minute pauză, $t_{rap} = 0,33$;
- 10 minute funcționare / 10 minute pauză, $t_{rap} = 1,0$;
- 20 minute funcționare / 10 minute pauză, $t_{rap} = 2,0$.

Adâncimile la care a fost introdus generatorul experimental au fost: $h=0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0$ m față de gura de ieșire a reactorului decantorului experimental. Se observă că valoarea minimă a turbidității se obține la $h = 0,75$ m, chiar dacă timpul efectiv de funcționare al generatorului a scăzut la jumătate, de la 20 minute la 10 minute.

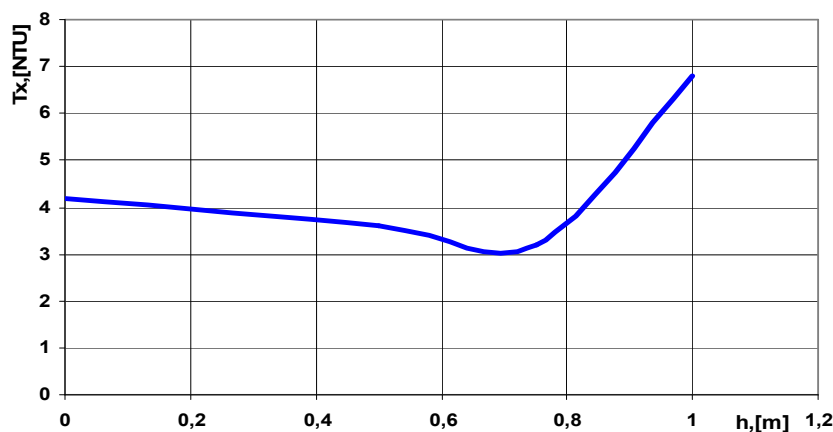


Fig. 4.3. Turbiditatea apei T_x decantate sonic, $t_{rap} = 0,33$ în funcție de adâncimea h
($L_{fI} = 109,88$ dB/ $L_{fII} = 108,09$; $f_I = 10,76$ kHz/ $f_{II} = 21,520$ kHz, $t_{rap} = 0,33$)

Valoarea minimă a turbidității se observa tot pentru adâncimea la care este scufundat generatorul de 0,75 m și este de 3,2 NTU , valoarea mai mică decât la decantoarele clasice (valoare ce variază între 4,2 și 4,6 grade NTU).

Variația turbidității în funcție efectiv de regimul de lucru la adâncimea $h^* = 0,75$ m este prezentată în fig. 4.4.

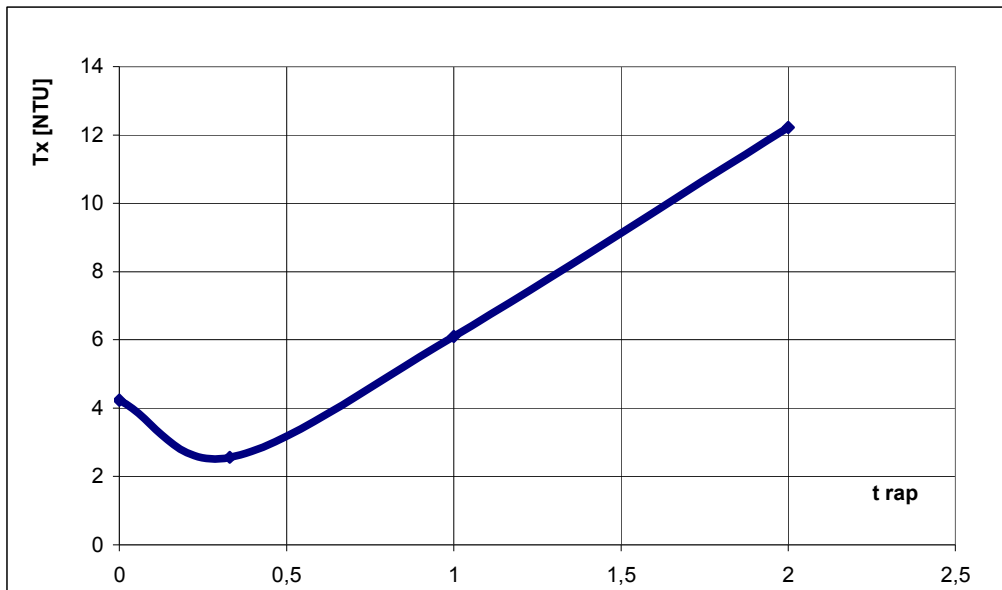


Fig. 4.4. Turbiditatea apei T_x decantate sonic în funcție de raportul $t_{rap} = \frac{t}{t_0}$
 ($L_{fI} = 109,88$ dB/ $L_{fII} = 108,09$; $f_I = 10,76$ kHz/ $f_{II} = 21,520$ kHz, adâncimea $h^* = 0,75$ m)

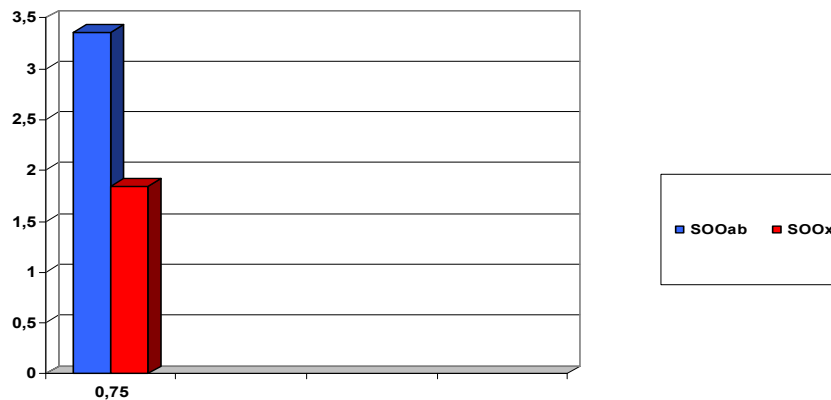


Fig. 4.5. Valoarea oxidabilității apei decantate sonic față de apa brută : SOOab - substanța organică oxidabilă a apei brute; SOOx - substanța organică oxidabilă a apei decantate sonic

($L_{fI} = 109,88$ dB/ $L_{fII} = 108,09$; $f_I = 10,76$ kHz/ $f_{II} = 21,520$ kHz)

Din fig. 4.5 se observă că valoarea oxidabilității apei decantate la tratarea sonică scade și este de 1,826 ori mai mică decât valoarea determinată pentru apa brută .

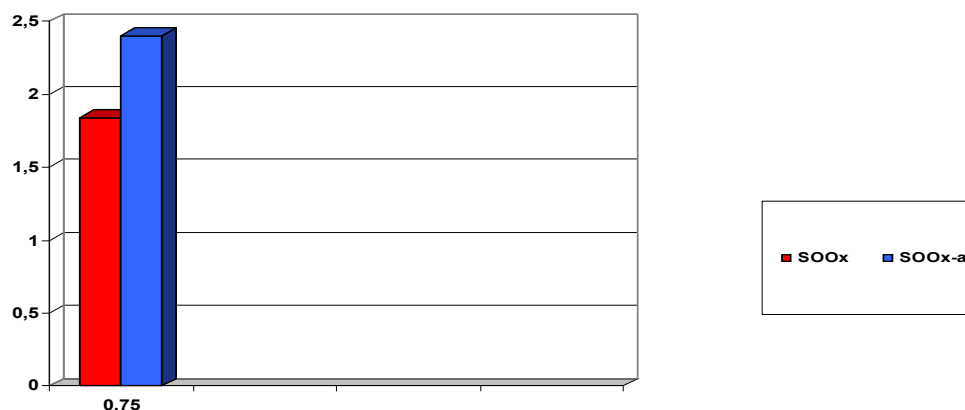


Fig. 4.6. Valoarea oxidabilității apei tratate prin aerare : SOOx-a substanța organică oxidabilă la aerare; SOOx - substanța organică oxidabilă a apei decantate la tratare sonică ($L_{fI} = 109,88$ dB/ $L_{fII} = 108,09$; $f_I = 10,76$ kHz/ $f_{II} = 21,520$ kHz)

Înlocuirea generatorului sonic cu un aerator a evidențiat creșterea valorii medii a oxidabilității apei decantate (fig.4.6). Valoarea oxidabilității apei decantate prin decantorul experimental când generatorul sonic a fost înlocuit cu un aerator este: $SOOx-a = 2,40$ mgO₂/l.

Această valoare este de 1,3 ori mai mare decât cea obținută atunci când se utilizează generatorul sonic, ceea ce indică faptul că în cazul tratării sonice au loc două procese distincte - cavitația acustică care produce degazarea apei ce duce la scăderea oxidabilității, și barbotarea cu aer care duce la aerarea apei, respectiv la creșterea oxidabilității.

4.1.3. Conținutul ionilor de aluminiu

Ca și în cazul precedent s-a considerat o oră de funcționare formată din 3 cluri de: 5 minute de funcționare efectivă a generatorului urmate de 15 minute de pauză. Adâncimea la care este scufundat generatorul este tot de 0,75 m față de suprafața apei.

Rezultatele analizelor au arătat (fig. 4.7.) că valoarea medie a conținutului ionilor de aluminiu din apa decantata prin decantorul sonic experimental ($Al-x = 0,12$ mg/l) este de 1,66 ori mai mica decât valoarea medie obtinuta in decantorul clasic ($Al-d = 0,14$ mg/l).

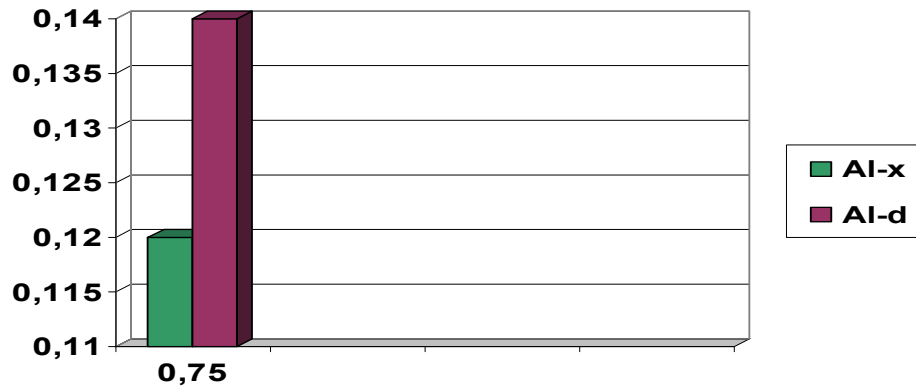


Fig. 4.7. Valoarea conținutului ionilor de aluminiu la tratarea sonică ($L_{fI} = 109,88$ dB/ $L_{fII} = 108,09$; $f_I = 10,76$ kHz/ $f_{II} = 21,520$ kHz) față de tehnologia clasică

Trebuie subliniat ca efectul reducerii conținutului de ioni de aluminiu din apa tratată sonică este benefic pentru sistemele ecologice acvatice și pentru sănătatea omului.

4.1.4. Conținutul ionilor de sulfati

S-au păstrat aceleași condiții de lucru ca până acum: 3 cicluri de 5 minute de funcționare efectivă a generatorului urmate de 15 minute de pauză la adâncimea de scufundare a generatorului de 0,75 m. Rezultatele experimentale au evidențiat (fig. 4.8.) că valoarea medie a conținutului de ioni de sulfati din decantorul sonic experimental ($SO_4-x = 100$ mg/l) este puțin mai mică decât valoarea medie determinată pentru decantorul clasic ($SO_4-d = 110$ mg/l).

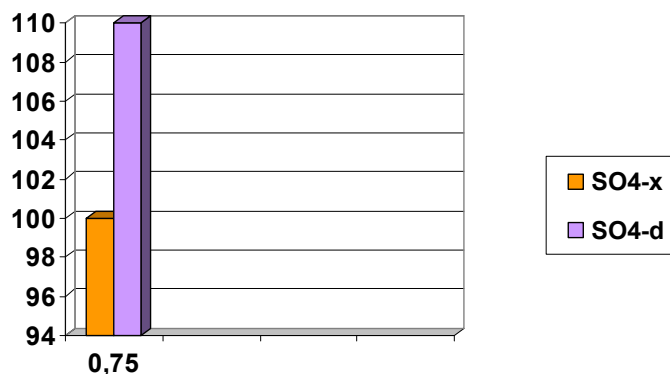


Fig. 4.8. Valoarea conținutului de ioni de sulfati la tratarea sonică ($L_{fI} = 109,88$ dB/ $L_{fII} = 108,09$; $f_I = 10,76$ kHz/ $f_{II} = 21,520$ kHz) față de tehnologia clasică

4.2. Influența regimului de lucru al generatorului sonic cu două rezonatoare asupra parametrilor de calitate microbiologici ai apei brute

Tabelul 4.6. Valorile indicatorilor bacteriologici determinati in apa bruta decantata, functie de timpul de functionare al generatorului sonic

T_{rap}	0	0,33	1,0	2.0
Indicatori bacteriologici				
<i>Germei</i>	17	0	0	0
<i>Coliformi totali</i>	13	0	0	0
<i>Coliformi fecali</i>	13	0	0	0
<i>Streptococi</i>	3	0	0	0

Din valorile prezentate în tabelul 4.6 se observă că indiferent de timpul de funcționare al generatorului sonic valorile indicatorilor bacteriologici de calitate ai apei tratate sunt nule. Valorile indicatorilor bacteriologici ai apei decantate in decantorul experimental [96], pentru $t_{rap} = 0,33$, indiferent de adincimea la care este scufundat generatorul sonic sunt nule.

Graficul de mai jos (fig.4.9) arata evolutia numarului total de germeni [98], respective a streptococilor in functie de debitul de apa pentru cazul tratarii continue cu generatorul sonic.

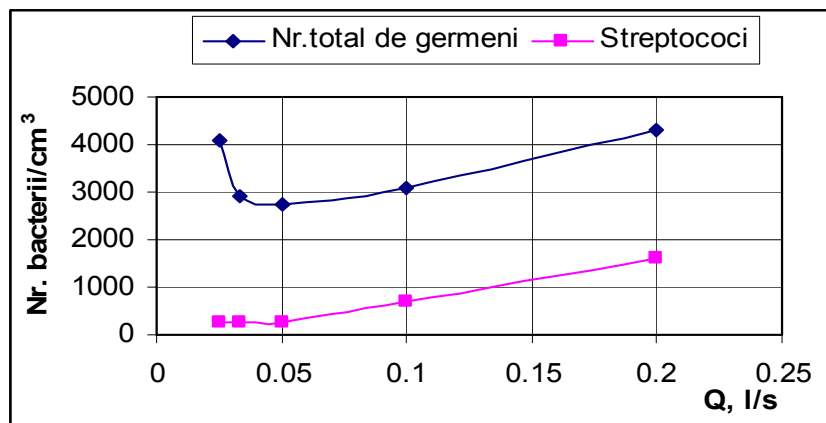


Fig.4.9. Numarul total de germeni si streptococci in functie de debitul de apa la tratarea sonica ($L_{fI} = 109,88$ dB/ $L_{fII} = 108,09$; $f_I = 10,76$ kHz/ $f_{II} = 21,520$ kHz)

Numarul total de germeni are valoare minima la debitul de 0,05 l/s, dupa care creste odata cu debitul. Valoarea minima la streptococci 1985 se obtine la un debit mai mic de 0,05 l/s, dupa care numarul lor creste, ceea ce confirma faptul ca intensitatea acustica nu este suficienta pentru debite mai mari.

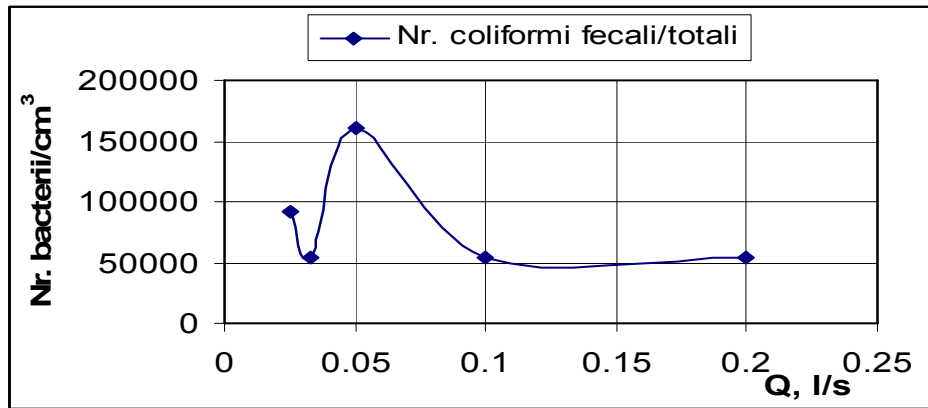


Fig. 4.10. Numarul de coliformi totali si fecali in functie de debitul de apa la tratarea sonica
($L_{fI} = 109,88$ dB/ $L_{fII} = 108,09$; $f_I = 10,76$ kHz/ $f_{II} = 21,520$ kHz)

În fig. 4.10 se observa valoarea minima in doua zone corespunzatoare unui debit de apa scazut (0.033l/s), respective unui debit de apa mai mare (0.1-0.15 l/s).

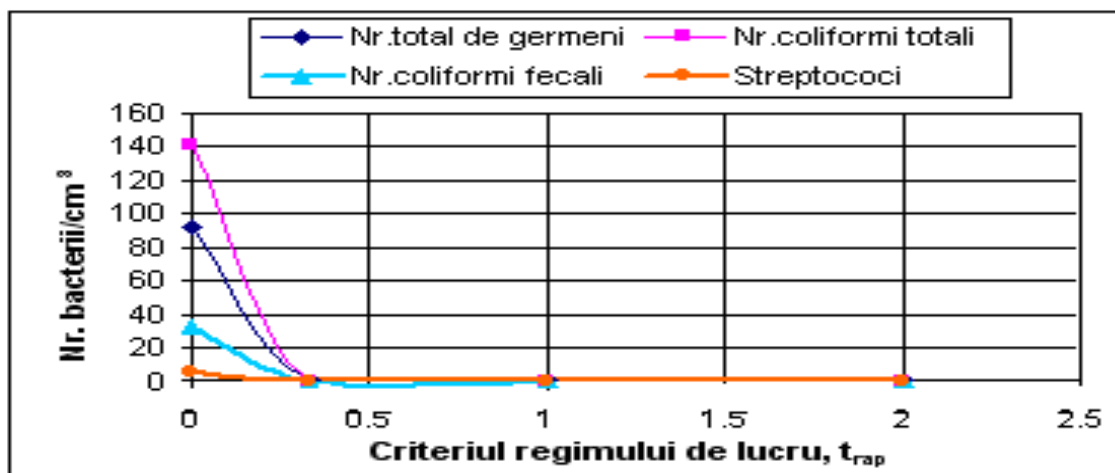


Fig.4.11. Indicatorii microbiologici ai apei in functie de raportul de timp t_{rap} pentru regimul discontinuu de lucru la tratarea sonica
($L_{fI} = 109,88$ dB/ $L_{fII} = 108,09$; $f_I = 10,76$ kHz/ $f_{II} = 21,520$ kHz)

In fig. 4.11 , se observă că incepand cu raportul de timp $t_{rap}=0,33$ (tabel 4.7) indicatorii ating valoarea zero, ceea ce ne permite sa alegem cea mai mica durata a timpului de functionare a generatorului – 5 minute functionare/15 minute pauza.

Prelucrarea datelor experimentale permite determinarea valorii criteriului sonic, la care efectul antimicrobian este maxim, și

$$S_0 = 0,11 \pm 0,295 \left[\frac{dB \cdot s}{l} \right]$$

Cercetarile efectuate au acceptat sa elucideze o serie de aspecte importante cum ar fi:

- nivelul încărcării microbiologice a apei brute din Dunăre și a apei decantate pentru potabilizare; corelarea cu nivelul Dunării și eficiența decantării privind încărcarea microbiană;
- efectul biocid al generatorului sonic și elaborarea mecanismului de acțiune.

4.3. Efectul sinergetic al tratării sonice a apei brute asupra dozelor de coagulant

Pe baza determinărilor efectuate la instalația experimentală cu decantorul sonic, determinat turbiditatea apei decantate la diferite doze de coagulant sulfat de aluminiu: 4 mg/l (10%); 8 mg/l (20 %); 12 mg/l (30 %); 20 mg/l (50 %); 24 mg/l (60 %); 32 mg/l (80%) .

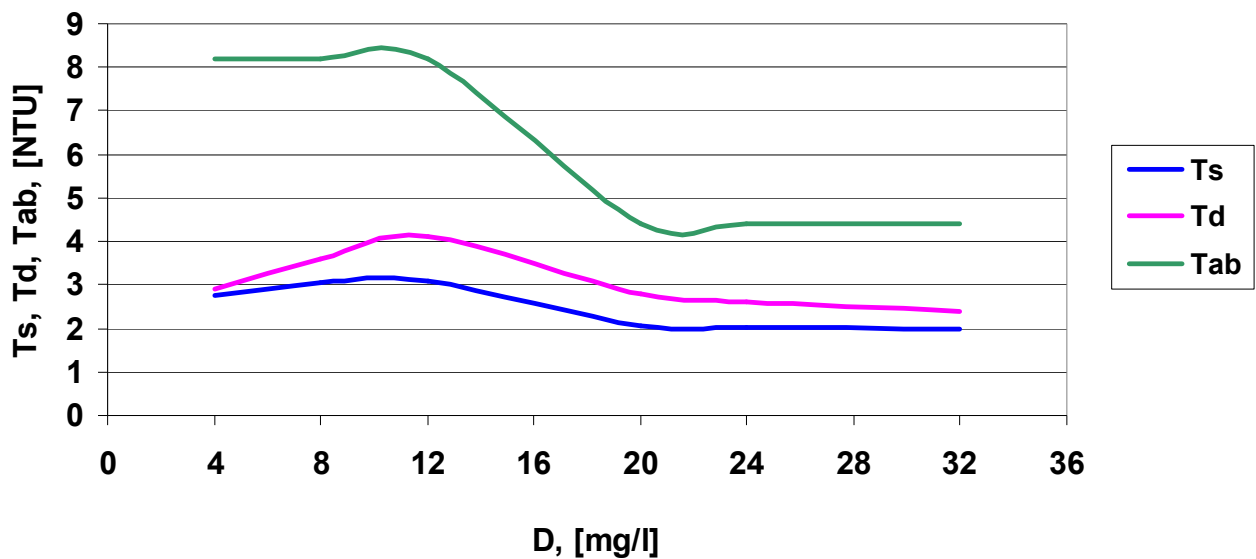


Fig.4.13. Variația turbidității în funcție de doza de sulfat de aluminiu: Ts – turbiditate la tratarea sonică; Td – turbiditate la decantare clasică; Tab – turbiditatea apei brute; D-doza de sulfat de aluminiu

După cum se observă din fig.4.13, cele mai scăzute valori ale turbidității se obțin în cazul tratării sonice a apei, la creșterea dozei turbiditatea crește până la doza de 10 mg/l (în soluție: 50 ml/l) coagulant, după care scade până la 20 mg/l (în soluție: 100 ml/l), după care doza nu mai influențează turbiditatea.

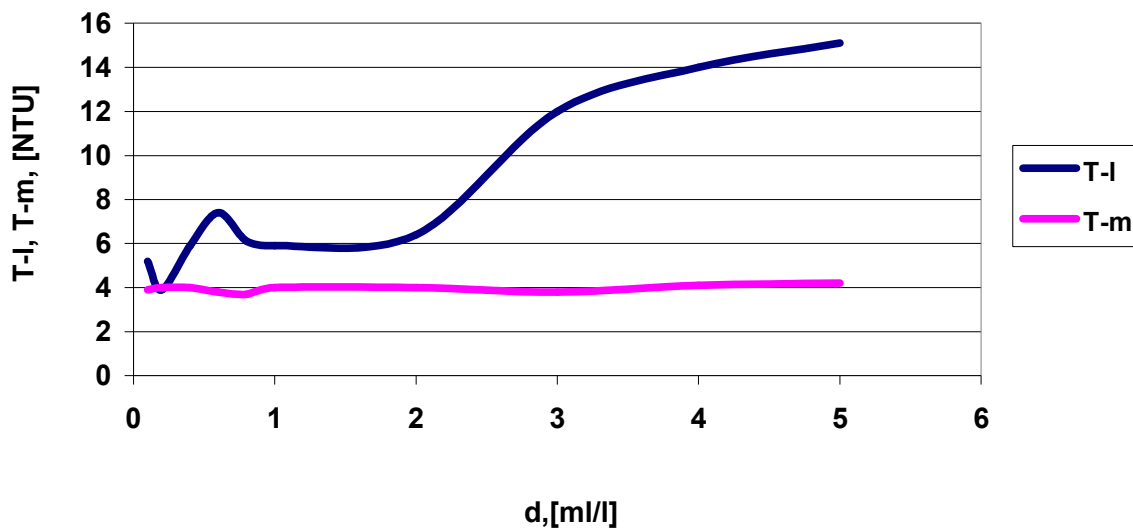


Fig. 4.16. Variația turbidității în funcție de doza de sulfat de aluminiu (Jar-test): T-m - turbiditate martor; T-I - turbiditate de lucru

După cum se vede din figura 4.16, doza minimă la care turbiditatea martor coincide cu turbiditatea probei este de 0,2 ml/l soluție de sulfat de aluminiu. (Având în vedere că doza utilizată la uzinele de apă pentru decantarea clasică este de 200 ml / m³).

4.5. Eficiența tehnico – economică a utilizării sistemului sonic de tratare a apei brute

Considerăm că decantorul sonic experimental face parte dintr-o baterie de 4 decantoare necesare unei stații de tratare ce alimentează o localitate (sau o unitate administrativă teritorială) cu cel mult 10 000 locuitori.

Prețul unui metru cub de apă brută (apă de Dunăre) achiziționat de la Compania Națională “Apele Române” este de 0,062 lei. Prețul pentru un metru cub de apă potabilă la Brăila este de 3,31 lei.

Datele inițiale pentru calcul sunt:

V_d , m³; volumul de apă decantat în interval de o oră; n_d , numărul unităților de decantare (numărul decantoarelor); n_g , numărul generatoarelor sonice; τ , min; timpul de acționare a turbosuflantei; n_t , numărul de acționări al turbosuflantei în interval de o oră; t_0 , h, timpul necesar decantării unui m³ de apă în decantorul sonic; P_t , puterea electromotorului ce

acționează turbosuflanta; C_e , lei/kW·h, costul energiei electrice; C_{cg} , lei/kg, costul coagulantului (sulfat de aluminiu); C_p , lei/kg, costul adjuvantului de coagulare (polielectrolit) C_{Cl} , lei/kg, costul dezinfectantului (clor); C_g , lei/buc, costul generatorului sonic; C_{aCl} , lei/buc, costul unui aparat de clorinare; C_x , lei, cheltuielile generale, în tratarea sonică a apei brute; d_x , mg/l, doza optimă de coagulant pentru decantorul sonic; d_c , mg/l, doza medie de coagulant utilizată într-un decantor clasic; M_x , kg, masa coagulantului utilizat în decantorul sonic; M_c , kg, masa coagulantului utilizat în decantorul clasic, M_p , kg, masa polielectrolitului (adjuvantului de coagulare – floclare) utilizat în decantorul clasic

1. Calculul începe cu determinarea consumului de energie electrică (W_0) necesară decantării sonice a apei în interval de o oră:

$$W_0 = P_t \cdot \frac{t_0}{\tau \cdot n_t}, \text{ kW} \quad (4.1)$$

în care : $P_t = 3\text{ kW}$, $\tau = 5 \text{ min}$, $n_t = 3$, $t_0 = 1 \text{ h} = 60 \text{ min}$; Rezultă : $W_0 = 0,75 \text{ kW}$

2. Costul energiei electrice pentru decantarea sonică a 1 m^3 de apă brută ce se decantează în interval de 1 h este:

$$C_0 = C_e \cdot W_0 \cdot t_0 = 0,045 \text{ lei}, \quad (4.2)$$

unde: $C_e = 0,06 \text{ lei/kW}\cdot\text{h}$; $W_0 = 0,75 \text{ kW}$, $t_0 = 1 \text{ h}$

3. Costul energie electrice pentru decantarea sonică a apei brute în cele 4 unități de decantare, în interval de 1 h este:

$$C_4 = C_0, \text{ lei} \quad (4.3)$$

în care $C_0 = 0,045 \text{ lei}$

4. Cantitatea de coagulant (sulfat de aluminiu) utilizat în procesul de decantare sonică a 1 m^3 de apă brută este:

$$M_x = d_x / 1000 = 0,02 \text{ kg}, \quad (4.4)$$

în care $d_x = d_c / 2 = 20 \text{ mg/l}$

5. Cantitatea de coagulant (sulfat de aluminiu) utilizat în procesul de decantare soică a apei brute într-un interval de 1 h este:

$$M_{4x} = 4 \cdot M_x, \text{ kg} \quad (4.5)$$

în care $M_x = 0,02 \text{ kg}$

6. Cheltuielile zilnice pentru decantarea sonica a apei brute din stația de tratare (4 unități de decantare) sunt:

$$C_z = (M_{4x} \cdot C_{cg} + C_4) \cdot 24 = 2,53488 \text{ lei} \quad (4.6)$$

în care M_{4x} este de 0,08 kg iar C_{cg} este de 1,264 lei/kg

7. Cheltuielile generale, anuale pentru decantarea sonică a apei brute în condiții prezentate anterior sunt:

$$C_x = C_z \cdot 365 + C_g \cdot 4 \text{ buc.} = 2605,23 \text{ lei} \quad (4.7)$$

în care $C_z = 2,53488 \text{ lei}$; $C_g = 420 \text{ lei/ buc.}$ (100 euro - 4,2 lei/euro)

8. Profitul anual obținut printr-o tratare sonică a apei brute față de o tratare caldică, în cadrul unei stații de tratare este:

$$P_f = \{[(M_c \cdot C_{cg} + M_{Cl} \cdot C_{Cl}) \cdot 4 \cdot 24] \cdot 365 + M_p \cdot C_p + C_{aCl} \cdot 1 \text{ buc.}\} - C_x, \text{ lei} \quad (4.8)$$

$$\text{sau } P_f = C_{gen} - C_x = 1492,01 \text{ lei}$$

în care:

$$M_c = 0,04 \text{ kg}; C_{cg} = 1,264 \text{ lei/kg}; M_{Cl} = 0,00416 \text{ kg}; C_{Cl} = 1,6306 \text{ lei/kg}$$

$M_p = 10 \text{ kg}$ (media consumată într-un an); $C_p = 13,5 \text{ lei/kg}$; $C_{aCl} = 2000 \text{ lei/buc}$ (media de piață); $C_x = 2605,23 \text{ lei}$; $C_{gen} = 4097,24 \text{ lei}$ (cheltuielile anuale pentru tratarea clasică a apei brute)

9. Eficiența decantării sonice (anuală) față de decantarea clasică în cadrul stației de tratare analizate este de:

$$E_f = 100 - \frac{C_{gen}}{P_f} \cdot 100 = 36,415 \%, \quad (4.9)$$

unde $P_f = 1492,01 \text{ lei}$

Costul tratării apei prin metoda clasică reprezintă 1,91 % din prețul apei, adică 0,06324 lei din 3,31 lei (prețul pentru 1 m³ apă potabilă, la Brăila), datorită eficienței decantării sonice ($E_f = 36,415\%$) costul tratării apei prin metoda sonică reprezintă 0,6955 % din prețul apei potabile, iar prețul obținut prin tratarea sonică a apei brute va fi de 3,287 lei / m³.

CONCLUZII FINALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE

Scopul tezei a fost realizarea practică a instalației pentru tratarea sonică a apei brute în regimul continuu la nivel industrial, și determinarea regimurilor de funcționare pentru care efectul aplicării tehnologiei sonice este maxim.

Ideea principală promovată în teza este îmbunătățirea calitatii apei prin echiparea decantoarelor cu generatoare gazodinamice de sunet și ultrasunet. Prelucrarea concomitentă cu unde acustice și cu aerare a apei prin utilizarea generatoarelor sonice gazodinamice reprezintă o noutate științifică în procesele de tratare a apei brute.

Pe baza analizei tipurilor de generatoare, cel mai potrivit poate fi considerat generatorul de tip *Levasseur*, care este stabil în funcțiune la presiuni mici de lucru (pana la 0,05 MPa – presiune specifică turbosufletelor existente în uzinele de apă) pentru a asigura procesele de aerare a apei brute. Din păcate nu există metoda de calcul a acestui tip de generator.

În conformitatea cu obiective de cercetare stabilite după analiza stadiului actual a problematicii abordate în teza s-a efectuat un complex de cercetări științifice și s-au obținut rezultatele prezentate mai jos.

S-a proiectat instalația experimentală cu decantorul vertical pentru tratarea sonică a apelor ce face posibilă cercetarea posibilității de funcționare a generatorului sonic în cadrul unui flux tehnologic și eventualele modificări ale calității apei tratate prin utilizarea tehnologiei sonice. S-a elaborat metodologia de lucru pentru cercetarea tratării sonice a apei în condiții industriale, într-o stație de tratare a apei.

S-a elaborat metoda de calcul a decantorului experimental de tip vertical combinat cu cel de tip accelerator – ascensional cu posibilitatea echipării cu generator sonic gazodinamic.

S-a particularizat metoda de determinare a dozei de coagulant cu ajutorul Jar-Testului.

S-a elaborat o metodă nouă de calcul al generatoarelor gazodinamice cu două rezonatoare și jetul plat. Pe baza acestei metode, după parametrii dimensionali obținuți din calcul, s-a proiectat generatorul gazodinamic experimental cu două rezonatoare.

S-au adoptat metodele existente de măsurări acustice ale generatorului gazodinamic de ultrasunete experimental și metodele de determinare a parametrilor fizico-chimici și microbiologici ai apei la tratarea sonică cu ajutorul generatorului. S-a efectuat analiza statistică a măsurărilor în conformitate cu metodele adaptate la tratarea sonică a apei.

S-a studiat influența presiunii de lucru a generatorului $p = (0,05-0,5)$ MPa (presiunea aerului de alimentare) asupra parametrilor câmpului acustic produs de generatorul.

Analiza spectrului de emisie acustică a generatorului experimental în benzi de 1/3 octavă a evidențiat două frecvențe multiple: prima harmonică la 10 kHz și a doua la 20 kHz, ceea ce arată că generatorul experimental este bifrecvențial, de tip sonic-ultrasonic.

S-a depistat ca în funcție de domeniu de presiune prima harmonică cu intensitatea acustică superioară poate fi sau sonică sau ultrasonică.

S-a stabilit ca frecvența sonică este dominantă după valoarea nivelului intensității acustice la presiuni de lucru a generatorului mai mici sau egali de 0,15 MPa, iar cea ultrasonică la presiuni mai mari de 0,3 MPa.

Analiza spectrală numerică FFT a permis precizarea valorilor stabilite - frecvență sonică produsă de generator este de 10,76 kHz, iar frecvență ultrasonică - de 21,520 kHz.

Trebuie de subliniat faptul ca valoarea frecvențelor este practic constantă și nu poate fi schimbată la variația presiunii de alimentare, în funcție de presiune poate avea loc numai schimbul frecvenței de baza de la valoarea sonică la cea ultrasonică și invers.

Prelucrarea datelor cu ajutorul softului MathCAD PLUS, cu metoda celor mai mici pătrate, a permis obținerea modelului matematic care descrie parametrii funcționali ai generatorului experimental cu două rezonatoare :

- nivelul global al intensității acustice (L_z, db) în funcție de presiunea de lucru (p, MPa)

$$L_z = 3,9151 \ln(p) + 124,48$$

- frecvențele de lucru (f, kHz) ale generatorului în funcție de presiunea de lucru (p, MPa):

- prima harmonică $f_I = -6547,8 p^4 + 7888 p^3 - 3180,1 p^2 + 452,97 p + 1,76$

- a doua harmonică $f_{II} = 17538 p^5 - 24472 p^4 + 12259 p^3 - 2691,9 p^2 + 286,46 p + 0,352$

Rezultatele obținute în urma măsurărilor acustice indică faptul că jetul generatorului pulsează în două direcții de curgere - axială și transversală, formând două surse de emisie acustică cu două frecvențe observate.

S-a studiat influența regimului de lucru al generatorului sonic cu două rezonatoare asupra parametrilor de calitate fizico-chimici ai apei brute și anume asupra turbidității,

substanței organice oxidabile, conținutului de aluminiu și conținutului de sulfati la tratarea apei brute, parametrii acustici ai generatorului fiind:

- nivelul intensității acustice $L_{f I} = 109,88$ dB la prima frecvență de emisie $f_I = 10,76$ kHz (frecvență sonică),
- nivelul intensității acustice $L_{f II} = 108,09$ dB la a doua frecvență $f_{II} = 21,520$ kHz (frecvență ultrasonică).

Regimul optim de lucru a generatorului este cel discontinuu, în varianta ciclică : un timp de funcționare urmat cu un timp de pauză.

Pentru a descrie regimul discontinuu de funcționare a generatorului s-a intradus timpul relativ de funcționare a generatorului $t_{rap} = \frac{t}{t_0}$, care reprezintă timpul efectiv de funcționare t raportat la timpul de pauză t_0 dintr-un ciclu de lucru al decantorului.

S-au urmărit următoarele regimuri de funcționare a generatorului :

- 0 minute funcționare / 60 minute pauză, $t_{rap} = 0$;
- 5 minute funcționare / 15 minute pauză, $t_{rap} = 0,33$;
- 10 minute funcționare / 10 minute pauză, $t_{rap} = 1,0$;
- 20 minute funcționare / 10 minute pauză, $t_{rap} = 2,0$.

S-a cercetat variația turbidității în funcție de poziția a generatorului la diferite regimuri de funcționare a generatorului, adâncimile la care a fost introdus generatorul experimental au fost: 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 m față de gura de ieșire a reactorului decantorului experimental.

Efectul maxim al tratării sonice se observă atunci când generatorul sonic experimental are poziția tangențială față de peretele camerei de amestec a decantorului și este introdus la o adâncime de 0,75 m față de nivelul apei din decantor, care face aproximativ jumătate din înălțimea camerei de amestec a decantorului.

S-a determinat raportul optim între perioada de funcționare a generatorului și perioada de pauză $t_{rap} = 5\text{min}/15\text{ min}$, stabilit într-un ciclu de funcționare de o oră, la care valoarea medie a turbidității fiind de $T_x = 2,56$ NTU, și este mai mică decât cea obținută în decantorul clasic (valoare cuprinsă între 4,2 și 4,8 NTU), ceea ce dovedește că decantorul sonic are eficiența față de decantorul clasic.

Datorită efectului câmpului acustic bi-frecvențial (frecvență sonică de 10,76 kHz, frecvență ultrasonică de 21,520 kHz) s-au obținut următoarele rezultate:

- a scăzut valoarea oxidabilității apei (substanțelor organice oxidabile) de 1,5 ori comparativ cu cea obținută după tehnologia clasică și de 1,826 ori față de apa brută ;
- s-a redus conținutul ionilor de aluminiu din apă de 1,66 de ori comparativ cu tehnologia clasică;
- s-a micșorat de la 110 mg/l până la 100 mg/l conținutul ionilor de sulfat la apă decantată sonic comparativ cu decantarea clasică

La înlocuirea în decantorul experimental generatorului sonic cu un aerator s-a observat că valoarea oxidabilității apei decantate devine mai mare de 1,3 ori comparativ cu tratarea apei cu generator. Acest fapt confirmă că paralel cu aerarea prin barbotare are loc și degazarea apei datorită proceselor cavitaționale.

Analiza efectului sinergetic al tratării sonice asupra dozelor de coagulant s-a evidențiat prin reducerea dozei de coagulant necesare în procesul de tratare al apei. Pe baza experimentelor făcute în decantorul sonic cu doze diferite de coagulant s-au obținut rezultate eficiente pentru micșorarea dozei de sulfat de aluminiu cu 50 % .

De asemenea s-a studiat și influența regimului de lucru al generatorului sonic cu două rezonatoare asupra parametrilor de calitate microbiologici ai apei brute: numărul total de bacterii mezofile aerobe (mezofile), numărul probabil de bacterii coliforme (coliformi totali), numărul probabil de bacterii coliforme termotolerante (coliformi fecali), numărul probabil de streptococi fecali.

Tratamentul sonic al apei are un efect bactericid important. În toate experimentele efectuate s-a observat că valorile indicatorilor bacteriologici sunt nule. Nu contează timpul efectiv de funcționare al generatorului sonic (din variantele ciclice) și nici adâncimea de scufundare a generatorului sonic.

Comportamentul microorganismelor sub influența ultrasunetelor depinde de fenomenul de cavitație. Astfel, dacă germenii și streptococii sunt distruși de unde de presiune produse de undele sonice, atunci coliformii totale și fecali sunt rezistenți la undele sonice, dar se distrug la implozia bulelor cavitaționale (asa numitul fenomen "hot spot").

Pentru prima oară în teza se introduce notiunea de sono – microbiologie, notiune care se referă la dezinfectia apei cu ajutorul unui generator sonic gazodinamic. Datorită efectului câmpului acustic bi – frecvențial (frecvența sonică de 10,76 kHz și frecvența ultrasonică de 21,52 kHz, nivelul global de intensitate acustică de 112,32 dB), are loc distrugerea totală a microorganismelor din apă.

În scopul de a cuprinde rezultatele în funcție de variație a debitului, la tratarea cu generatorul sonic al apei brute, s-a propus un nou criteriu sonic pentru a determina energia

acustica minimă necesară sonicintroducerii într-un volum de apă pentru a obține cel mai bun efect sonochimic și sonomicrobiologic.

Acest criteriu sonic reprezintă raportul dintre intensitatea câmpului acustic de

ultrasunete și debitul de apă $C_s = \frac{L \cdot t}{Q(t + t_0)}, \frac{dB \cdot s}{l}$, unde: L , dB – nivel de intensitate

acustica produs de generator; t , s – timpul efectiv de lucru al generatorului; t_0 , [s] – timpul de pauza din ciclul de funcționare al generatorului; $Q, l/s = Q \times 10^{-3} m^3/s$ – debitul de apă tratat.

Prelucrarea datelor experimentale prezentate în teza a permis determinarea valorii optime a criteriului sonic:

$$C_s = 0,11 \div 0,295 \left[\frac{dB \cdot s}{l} \right]$$

Pe baza rezultatelor obținute în teza se propune o nouă tehnologie de tratare a apei brute fără două trepte de tratare filtrarea și clorinarea (ce se utilizează astăzi).

Tratarea sonică asigură diminuare substanțială a reagenților chimici la potabilizarea apei. Procedul face parte din gama procedurilor de dezinfectie fizică, fiind preferabil utilizării biocizilor din motive ecologice.

Eficiența anuală a tratării sonice a apei brute este $E_f = 36,415\%$, iar costul tratării apei prin metoda sonică reprezintă 0,6955 % din prețul apei potabile. Profitul la utilizarea sistemului sonic este 1492,01 lei / an.

Astfel scopul principal impus în teza a fost atins și toate obiectivele de cercetare au fost realizate.

DIRECȚII DE CERCETARE

Rezultatele obținute în urma măsurărilor acustice indică faptul că generatorul experimental cu două rezonatoare este bifrecvențial de tip sonic-ultrasonic. Se cunoaște că aplicarea a două generatoare cu frecvențe multiple de 10-11 kHz și 20-22 kHz intensifică considerabil transferul de masă în lichide tehnologice datorită fenomenelor cavitaționale ce au loc la pătrunderea undelor acustice puternice în interiorul lichidului. Se știe că în lichide undele ultrasonice produc radicali liberi care sunt foarte activi chimic.

O direcție de cercetare nouă poate fi investigarea procesului de sonoactivare apei și a soluțiilor apoase în aceste condiții.

Altă direcție de cercetare este studiul curgerii nestaționare a jeturilor subsonice tridimensionale, care reprezintă o problemă cheie pentru generarea undelor acustice cu frecvențe multiple.

Cum optimizarea sistemelor sonice implică simularea computațională a întregului proces , măsurătorile asupra tratării sonice trebuie folosite pentru a valida modelele ce descriu procesul de sedimentarea particulelor din apă sub influența combinată a undelor acustice și a barbotării cu aer pusatoriu.

Datorită rezultatelor superioare obținute prin aplicarea generatorului gazodinamic bifrecvențial de tip sunet-ultrasunet la tratarea antimicrobiană a apei brute fără utilizarea clorului se impune să se studieze utilizarea acestor generatoare și la dizinfecția cu aerosol de apă în câmpul acustic a pereților infectate atât din spații spitalicești medicale cât și din cele zootehnice .

CONTRIBUȚII PROPRII

Principalele contribuții proprii sunt:

- realizarea unui studiu detaliat asupra tratării în câmp sonor bifrecvențial a apei brute și asupra principiilor constructive și funcționale ale generatoarelor sonice gazodinamice cu două rezonatoare folosite la tratarea sonică;
- conceperea unei metode de calcul al generatoarelor gazodinamice bifrecvențiale cu două rezonatoare destinate tratării apei brute în vederea potabilizării ;
- proiectarea și execuția decantorului vertical experimental înzestrat cu un generator gazodinamic cu două rezonatoare și destinat studiului cercetării sonice a apei brute în curgerea continuă;
- conceperea unei metode de calcul a decantorului experimental de tip vertical combinat cu cel de tip accelerator – ascensional cu posibilitatea echipării cu generator sonic gazodinamic.
- elaborarea metodologiei de lucru pentru cercetarea tratării sonice a apei în condiții industriale, într-o stație de tratare a apei.
- adoptarea metodelor existente de măsurări acustice ale generatorului gazodinamic de ultrasunete experimental și metodele de determinare a parametrilor fizico-chimici și microbiologici ai apei la tratarea sonică cu ajutorul generatorului.
- particularizarea metodei de determinare a dozei de coagulant cu ajutorul Jar-Testului.
- efectuarea de experimente utilizând aparatură modernă pentru determinarea parametrilor câmpului acustic produs de generatorul gazodinamic cu două rezonatoare

bifrecvențial; s-au depistat două frecvențe de lucru: frecvență sonică produsă de generator este de 10,76 kHz, iar frecvență ultrasonică - de 21,520 kHz .

- realizarea de experimente pe decantorul vertical echipat cu generatorul gazodinamic cu două generatoare la Uzina de Apă din Brăila. S-au urmărit indicatorii fizico-chimice și microbiologice în diferite regimuri de funcționare a generatorului. Au fost analizate rezultatele și evidențiate regimuri optime la care efectul sonic este maxim;
- realizarea unei tehnologii noi de tratarea sonică a apei brute în vederea potabilizării fără 2 etape, eliminând etapa de clorurare , fiind preferabilă din motive ecologice,
- elaborarea metodologiei pentru calcul eficienței tehnico – economice a utilizării sistemului sonic pentru stații de tratare a apei.

Bibliografie selectivă

- [1] Bălan G., Ciurea A., Bordei M., Balan V., *The Sonic Technologies*, Quatrieme edition du Colloque Francophone en Energie, Environnement, Economie et Thermodynamique COFRET'08, 11 – 13 June 2008, Nantes - France , pp. 17-25
- [2] Iordache I., Iordache M., *Sonochimia în epurarea energico-intensivă a apelor*, Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, 2009
- [3] Amza Gh., *Ultrasunetele. Aplicatii active*, Ed. AGIR, Bucuresti, 2006
- [4] Ștefan A., *Cercetări privind utilizarea generatoarelor sonice gazodinamice în procesele tehnologice de epurare a apei*, Teză de doctorat, Universitatea Dunărea de Jos din Galați, 2010.
- [5] Ștefan A., Balan G., *Efectul tratării sonice asupra parametrilor fizico-chimici ai apei de Dunare* , Revista Meridian Ingineresc, nr. 3/2009, pag.11-18, Editura UTM, Chisinau, Republica Moldova, ISSN 1683-853X.
- [6] Ștefan A., Balan G., *Efectul tratării sonice asupra microbiologiei apei de Dunare* , Revista Meridian Ingineresc, nr. 4/2009, pag. 35-40, Editura UTM, Chisinau, Republica Moldova, ISSN 1683-853X.
- [9] Ștefan A., Balan G., *The Chemistry Of The Raw Water Treated By Air-Jet Ultrasound Generator*, Revue Roumaine des Sciences Techniques - Série de Mécanique Appliquée, Published/Hosted by Romanian Academy, Tome 56 (1), Bucharest, 2011, ISSN: 0035-4074.
- [10] Bălan, G., *Aerogazodinamică*, Ed. Tehnica-INFO, Chișinău, 2003.

- [12] Enescu N., Magheți I., Sârbu M.A., *Acustica tehnică*, Editura ICPE, București, 1998.
- [45] Ianculescu, O., *Alimentări cu apă*, Ed. Matrixrom, București, 2006
- [46] Robescu, D., Robescu, D., Lanyi S., Vercestoy, A., *Fiabilitatea proceselor, instalațiilor și echipamentelor de tratare și epurare a apelor*, Ed. Tehnica, București, 2002
- [61] Lin-Lin jr., Huang, C., Ruhsing, J., P., Dongsheng, W., *Effect of Al (III) speciation on coagulation of highly turbid water*, Chemosphere, 72, 2008, 189 – 196
- [62] Stingaciu, E., Simionescu, C., M., *Supravegherea și controlul calității apelor naturale*, Ed. Matrix Rom, București, 2009
- [71] Karpinos, D., M., Askarov, R., M., Abramov O., V., *Effect of ultrasound on the distribution of reinforcing particles in a liquid medium*, Poroshkovaya Metallurgiya, 3 (231), 1982, 64 - 68
- [72] Bandes, A., S., *Ultrasound*, Plant Engineering, oct. 2009, 40 – 43
- [83] Cuciuc T., Cirnu C., Balan G., Computing of the Levasseur type air- jet flat generator with two resonators, Rev. Roumaine Science Tech. – Mécanique Appl., Tome 56, N°1, Bucharest, 2011.
- [86] STAS 6323-88. APĂ POTABILĂ. Determinarea turbidității.
- [87] STAS 3002 – 85, APA POTABILĂ. Determinarea substanțelor organice oxidabile
- [88] STAS 3069 – 87, APA POTABILĂ. Determinarea conținutului de sulfat
- [89] STAS 6326 – 90, APA POTABILĂ, Determinarea conținutului de aluminiu
- [90] Moșoarcă, G., Negrea, P., *Controlul și efectele aluminiului în apa potabilă*, Buletinul AGIR, nr.1-2/2008.
- [91] STAS 3001-91 APA. *Analiza bacteriologică*, Institutul Român de Standardizare, București, 1991.
- [93] Magheți I., Savu M., *Teoria și practica vibrațiilor mecanice*, Editura Didactica și Pedagogică, București, 2007.
- [94] Ștefan A., **Cîrnu C.**, Bălan G., *The Treatment Of The Danube Water By The Ultrasound Air-Jet Generator*, The 3rd International Conference on Thermal Engines and Environmental Engineering - METIME 2009, Galati 4-6 June, University “Dunarea de Jos” of Galati, Mechanical Engineering Faculty Thermodynamics and Heat Engines Department, Galati 2009, ISBN 978-973-627-442-8, pag 121-125.
- [95] **Cîrnu C.**, Bălan G., Dumitraș P., Oxidability, aluminium and sulphates at the raw water sonic regime treatment, Revista Meridian Ingineresc, nr. 4/2010, Editura UTM, Chisinau, Republica Moldova, pag. 88-92, ISSN 1683-853X.

- [96] **Cîrnu C.**, Bălan G., Dumitraș P., Decantorul sonic pentru tratarea apei brute în vederea potabilizării, Revista Meridian Ingineresc, nr. 1/2011, Editura UTM, Chișinău, Republica Moldova, pag. 14-19, ISSN 1683-853X.
- [97] Cuciuc T., **Cîrnu C.**, Balan G., Computing of the Levasseur type air- jet flat generator with two resonators, Revue Roumaine de Science Tech. – Mécanique Appl., Tome 56, N°1, Bucharest, 2011, ISSN: 0035-4074.
- [98] **Cîrnu C.**, Ștefan A., Bălan G., Sonomicrobiology of raw water at the treatment by air-jet generators , The 9th International Conference "Constructive and Tehnological Design Optimization in the Machines Building Field" OPROTEH-2011, Bacău, 24-26 May, 2011.
- [99] **Cîrnu C.**, Ștefan A., Bălan G., Acoustic parameters of the flat air-jet generator with two swirl resonators, The annual symposium of the institute of solid mechanics SISOM 2011 and Session of the Commission of Acoustics, Bucharest, 25-26 May, 2011, ISSN 2068-0481, pg 216-222.

LUCRĂRI PUBLICATE DE AUTOARE

1. Ștefan A., **Cîrnu C.**, Balan G., *The Treatment Of The Danube Water By The Ultrasound Air-Jet Generator*, The 3rd International Conference on Thermal Engines and Environmental Engineering - METIME 2009, Galati 4-6 June, University "Dunarea de Jos" of Galati, Mechanical Engineering Faculty Thermodynamics and Heat Engines Department, Galati 2009, ISBN 978-973-627-442-8, pag 121-125.
2. **Cîrnu C.**, Bălan G., Dumitraș P., Oxidability, aluminium and sulphates at the raw water sonic regime treatment, Revista Meridian Ingineresc, nr. 4/2010, Editura UTM, Chisinau, Republica Moldova, pag. 88-92, ISSN 1683-853X.
3. **Cîrnu C.**, Bălan G., Dumitraș P., Decantorul sonic pentru tratarea apei brute în vederea potabilizării, Revista Meridian Ingineresc, nr. 1/2011, Editura UTM, Chisinau, Republica Moldova, pag. 14-19, ISSN 1683-853X.
4. Cuciuc T., **Cîrnu C.**, Balan G., Computing of the Levasseur type air- jet flat generator with two resonators, Revue Roumaine de Science Tech. – Mécanique Appl., Tome 56, N°1, Bucharest, 2011, ISSN: 0035-4074.
5. **Cîrnu C.**, Ștefan A., Bălan G., Sonomicrobiology of raw water at the treatment by air-jet generators , The 9th International Conference "Constructive and Tehnological Design Optimization in the Machines Building Field" OPROTEH-2011, Bacău, 24-26 May, 2011.
6. **Cîrnu C.**, Ștefan A., Bălan G., Acoustic parameters of the flat air-jet generator with two swirl resonators, The annual symposium of the institute of solid mechanics SISOM 2011 and Session of the Commission of Acoustics, Bucharest, 25-26 May, 2011, ISSN 2068-0481, pg 216-222.