



**UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ
ȘI TEHNOLOGIE
POLITEHNICA BUCUREȘTI**

TEZĂ DE DOCTORAT

Rezumatul lucrării

**Contribuții la proiectarea și realizarea unui sistem
de filtrare a aerului ce folosește cavitația
ultrasonică**

Conducator științific

Prof.univ.dr.ing.ec Vasile Bendic

**Doctorand,
Ing. Ispas Adrian**

REZUMAT

Tematica tezei de doctorat este prezentată pe scurt, în acest Rezumat, ținând cont de succesiunea logică a capitolelor lucrării. Teza de doctorat este constituită din două părți. Prima dintre ele intitulată “ *Dezvoltarea durabilă, calitatea aerului și stadiul actual al sistemelor de filtrare a aerului industrial*” este destinată prezentării stadiului actual al tematicii propuse precum încadrarea acesteia în contextul dezvoltării actuale. Cea de a doua parte intitulată “*Contribuții la proiectarea și realizarea unui sistem de filtrare a aerului industrial bazat pe fenomenul de cavitație ultrasonică*” este consacrată prezentării calculelor, proiectării și realizării sistemului experimental pentru filtrarea aerului industrial folosind fenomenul de cavitație ultrasonică.

Primul capitol este intitulat „*Dezvoltarea durabilă*” conține mai multe subcapitole din care vor fi selectate spre prezentare elementele esențiale.

1.1. Generalități

La ora actuală în limbajul comun al omenirii și în activitățile de zi cu zi a apărut o sintagmă foarte interesantă și importantă în același timp ce a ghidat și va ghida acțiunile oamenilor mult timp de acum încolo. Aceasta noțiune se numește dezvoltare durabilă - Sustainable-development- care a fost și este definită în foarte multe feluri. Toate definițiile însă conduc către aceleași activități ale omenirii care urmăresc o planificare a activităților economice ce vor să stimuleze creșterea economică dar cu menținerea în același timp a calității mediului pentru generațiile viitoare. Cu toate că acest concept s-a vehiculat foarte mult un ultimele două decenii ale secolului XX, s-a dovedit a fi dificil de folosit deseori datorită studiilor de sustenabilitate pe o perioadă mai lungă depind de resursele analizate. Sustenabilitatea a fost punctul central al Summitului Pământului din 1992 și mai târziu a fost esențial pentru o multitudine de studii de mediu, de conferințe, de analize și abordări. Se urmărește în acest fel găsirea unui punct comun între creșterea economică și mediul social și natural. În anul 2001, Uniunea Europeană a stabilit cadrul pentru abordarea dezvoltării durabile. Acesta este reconsiderat în 2006, ceea ce oferă „o imagine pe o perioadă de timp mare pentru dezvoltarea durabilă, pentru care dezvoltarea economică, problemele sociale și protecția mediului nu se exclud unele pe celelalte bazându-se în același timp unele pe altele”. Revizuirea gândirii de către Comisia Europeană în 2009 a subliniat reminiscența unor manifestări nesustenabile și necesitatea unor acțiuni mult mai puternice în această privință. Cu toate acestea, s-au evidențiat, pașii

făcuți înainte de Uniunea Europeană în includerea dezvoltării durabile în multe dintre prevederile adoptate precum comerț și dezvoltare economică și a subliniat inițiativă luată în ceea ce privește modificările climei și asigurarea că economiilor țărilor vor conduce la scăderea emisiilor de carbon. În același timp, istoric vorbind, dezvoltarea durabilă este de atunci în mod oficial un țel pe termen îndelungat ale Uniunii Europene conform articolului 3, alineatul (3) din Tratatul privind U E.

În anul 2015 s-au stabilit 17 obiective ale dezvoltării durabile. Acestea sunt o chemare către toate națiunile la acțiune pentru a elimina sărăcia, a “salva” planeta și a crește nivelul de trai al oamenilor și aspirațiile acestora de pe toate continentele. Cele 17 obiective ale dezvoltării durabile au fost însușite de țările membre ale Organizației Națiunilor Unite în anul 2015, în cadrul Agendei 2030 - Dezvoltare Durabilă. S-a stabilit astfel o agendă pe o perioadă de 15 ani pentru îndeplinirea obiectivelor propuse. Această foaie de parcurs este o succesiune de acțiuni pentru locuitorii planetei și pentru bunăstare. În același timp se încearcă să consolida pacea într-o cât mai mare pondere. În acest context se știe că eliminarea sărăciei în toate formele acesteia cât și mărimea ei, inclusiv sărăcia extremă reprezintă printre cele mai mari provocări și un criteriu esențial pentru dezvoltarea durabilă.

Cele 17 obiective de dezvoltare durabilă demonstrează mărimea și ambiția acestei noi agende universale. Acestea sunt integrate și indivizibile și echilibrează cele trei dimensiuni ale dezvoltării durabile: economică, socială și de mediu.

Cele 17 obiective ale dezvoltării durabile sunt prezentate pe scurt astfel :

- Fără sărăcie
- Fără foamete
- Viață sănătoasă și bunăstare pentru toți indiferent de vârstă
- Educația de calitate
- Realizarea egalității de gen și punerea în valoare a tuturor persoanelor de sex feminin
- Asigurarea accesului egal la apă și canalizare
- Asigurarea accesului la energie accesibilă, durabilă și modernă

Promovarea dezvoltării economice durabile, incluzive, a ocupării forței de muncă și a muncii decente - Muncă decentă, în condiții ce respectă normele de sănătate și securitatea muncii implică printre altele și asigurarea unui climat sau microclimat adecvat, fără poluare a aerului. În aceste condiții și cercetările realizate pe parcursul acestei teze de doctorat corespund obiectivului dezvoltării durabile.

- Construirea unei o infrastructuri reziliente, promovarea industriei durabile și încurajarea inovației - În acest context se încadrează și prezenta teză

de doctorat ce descoperă o nouă tehnologie de filtrare a aerului industrial cu rezultate foarte bune, rezultate ce pot fi îmbunătățite în continuare.

- Reducerea inegalității în interiorul unei țări și între țări
- Orașe și comunități durabile, orașele incluzive, sigure, reziliente și durabile .

Ținând cont și de această cerință a dezvoltării durabile, prezenta teză de doctorat încearcă și reușește să includă elemente ce contribuie la transformarea orașelor în ecosisteme durabile și mai sigure.

- Producție și consum responsabile. Asigurarea unor modele durabile
În acest context, în continuare se poate observa că prezentele cercetări încearcă să aducă o contribuție cât de mică la oprirea degradării mediului natural prin eliminarea tehnologiilor vechi de depoluare a aerului, ce la rândul lor prin elementele de filtrare utilizate poluează mediul natural.
- Luarea de măsuri urgente pentru a combate schimbările climatice și impactul acestora
- Viață sub apă. Conservarea și utilizarea în mod durabil a oceanelor, mărilor și resurselor marine
- Viața pe suprafața pământului
- Pace, justiție și instituții puternice. Promovarea unei societăți juste, pașnice și incluzive
- Parteneriate pentru îndeplinirea Țintelor dezvoltării durabile. Revitalizarea parteneriatului global pentru dezvoltare durabilă

Una din cele mai importante și actuale probleme ale omenirii este asigurarea unei dezvoltări durabile a societății pentru anii ce vor veni. Această problemă fiind atât de importantă și complexă conține la ora actuală, pentru a deveni aplicabilă, cele mai noi cunoștințe științifice pe care să poate conduce la îndeplinirea acestora.

Acest capitol a fost gândit tocmai pentru a încadra în obiectivele dezvoltării durabile tema cercetărilor realizate în scopul identificării unor noi metode, tehnologii de filtrare a aerului industrial. Din cele 17 obiective ale dezvoltării durabile, tematica abordată și anume realizarea unui nou sistem, cu caracteristici superioare, de filtrare a aerului industrial se regăsește în cele patru din obiectivele prezentate și anume : obiectivul 8-Promovarea dezvoltării economice durabile, incluzive, a ocupării forței de muncă și a muncii decente, obiectivul 9-Construirea unei infrastructuri reziliente, promovarea industriei durabile și încurajarea inovației, obiectivul 1-Orașe și comunități durabile, Orașele incluzive, sigure, reziliente și durabile și obiectivul 12-Producție și consum responsabile. Asigurarea unor modele durabile.

Cel de al doilea capitol se întitulează ”*Poluarea aerului*” este destinat clasificărilor, a prezentării efectelor acestui tip de poluare asupra sănătății umane, totul pentru a argumenta necesitatea dezvoltării unui nou sistem de filtrare a aerului industrial.

2.1 Generalități. Poluarea aerului pe Pământ

Definirea poluării aerului se regăsește sub multe forme dar una din cele mai cunoscute spune că aceasta constă în eliberarea de poluanți în aer. Acești poluanți dăunează sănătății umane și planetei în ansamblu. Aceasta este o concluzie care este valabilă în orice situație, indiferent de definiții. În fiecare an, potrivit Organizației Mondiale a Sănătății, poluarea aerului are ca rezultat aproape șapte milioane de decese pe tot globul. În jur de 10 % dintre oameni respiră în prezent aer viciat care depășește limitele prevăzute de OMS pentru poluanți.

Poluarea aerului reprezintă una dintre cele mai importante, dacă nu cea mai importantă, formă de poluare cu efecte dintre cele mai grave, chiar dezastruoase asupra oamenilor, animalelor și mediului înconjurător. Din punct de vedere științific, orice modificare biologică, fizică, sau chimică în atmosferă poate fi denumită poluare și apare atunci când orice substanță nocivă, praf sau fum, intră în aceasta afectând plantele, animalele precum și ființele umane. În acest fel, poluarea aerului presupune implicit poluarea atmosferei și astfel orice gaz sau substanță care pătrund în atmosfera pot crea dezechilibre nedorite pe termen mediu și lung. De aceea, subțierea stratului de ozon din atmosferă (cel care ne protejează de efectele negative ale radiațiilor ultraviolete) cauzat de poluarea aerului reprezintă o amenințare majoră pentru existența ecosistemelor de pe planetă și reprezintă provocarea supremă pe care omenirea trebuie să o depășească în ciuda diferendelor politice de pe scena internațională.

Una din principalele cauze este arderea combustibililor fosili precum cărbune, benzină, motorină sau gaz cu scopul de a produce energie electrică sau de a facilita transportul. Emisiile de monoxid de carbon la un nivel înalt indică cât de mult combustibil este ars. Inhalarea aerului poluat cu aceste substanțe duce la scăderea abilității inimii de a pompa suficient oxigen și poate provoca boli respiratorii.

O altă sursă de poluare este reprezentată de emisiile industriale, toate activitățile industriale ce folosesc ca sursă primară de energie lemn sau cărbune emit în atmosfera poluanți precum dioxid de nitrogen, dioxid de sulf și monoxid de carbon. Poluarea industrială poate avea efecte negative asupra sănătății cum ar fi iritarea ochilor și al gâtului, probleme respiratorii și poate ajunge chiar și la boli cronice.

2.1.1 Tipuri de poluare

În continuare se vor prezenta în mod succint mai multe tipuri de poluanți, cei mai importanți, ce afectează viața în aspectul cel mai general al acesteia. Printre principalele cauze ce conduc la poluarea atmosferei se enumeră :

- particulele în suspensie ce reprezintă un amestec de particule solide și lichide precum carbonul, elementele organice complexe, sulfații, nitrații și particule de apă. Mărimea particulelor în suspensie diferă ca și dimensiuni, unele fiind mai mari precum praful sau nisipul pe de o parte sau fumul acestora putându-se observ cu ochiul liber. În schimb, cele mai vătămătoare sunt cele ce nu pot fi văzute cu ochiul liber deoarece au dimensiuni microscopice, fiind definite ca PM 10 și PM 2.5. Particulele PM 10 au dimensiuni mai mici de 10 μm , iar PM 2.5 au dimensiuni mai mici de 2,5 μm , ele rezultând din activități naturale sau umane.

- arderea combustibililor fosili (cărbunele, benzina sau motorina sau gaz) cu scopul de a produce energie electrică, sau de a fi folosiți în transport, etc.

- emisiile industriale, în care sursa de energie este lemnul sau cărbunele ce emit în aer poluanți precum oxizii azotului, dioxidul de sulf și monoxid de carbon. Poluarea industrială are efecte dezastruoase asupra sănătății umane precum : iritarea ochilor, a gâtului, boli de plămâni și putându-se ajunge la boli cronice sau cancer.

- incendiile de vegetație reprezintă din ce în ce mai puternic o cauză majoră a poluării, acestea putând fi naturale sau declanșate de om ; aici exemplul cel mai sugestiv fiind incendiile provocate intenționat în pădurea amazoniană în scopul obținerii de noi suprafețe agricole

- activitățile agricole ce au un impact foarte important în degradarea calității aerului pe perioade îndelungate de timp. Fertilizatorii și pesticidele reprezintă principalele surse de poluare ale aerului din jurului zonelor unde acestea sunt aplicate.

- dioxidul de azot este un poluant sub formă de gaz și reprezintă un element extrem de important în poluarea aerului din zonele industriale sau urbane. Dioxidul de azot este produs de activitățile umane prin folosirea vehiculelor, de unitățile de alimentare cu combustibili sau prin încălzirea cu centrale termice.

- ozonul este un gaz ce are în compoziție 3 atomi de O. Pe de o parte el are un rol benefic când se regăsește în partea superioară a atmosferei acolo unde formează o barieră ce absoarbe radiațiile cosmice, dar are un efect toxic în aerul respirat de om. Ozonul se format la nivelul solului este rezultatul reacțiilor chimice dintre razele soarelui, elementele chimice organice și oxizii de azot emiși de mașini, centrale termice, etc.

- dioxidul de sulf este un gaz incolor cu un miros înțepător și sufocant. Acest gaz este format de arderea combustibililor ce conțin sulf precum petrol și cărbune. Cea mai mare cantitate de SO₂ este produsă de centralele ce folosesc combustibili fosili, rafinăriile de petrol și producătorii de ciment.

2.2 Analiza poluării aerului și a efectelor acesteia

În anul 2021, ca răspuns la creșterea calității și cantității dovezilor privind impactul poluării aerului, OMS a actualizat ghidul de calitate medie anuală a aerului conform criteriului PM_{2,5} și la considerat ca având valoarea 5μg/m³, ceea ce reprezintă aer curat, deoarece sub această valoare se consideră că impactul asupra sănătății umane este unul foarte important. Această actualizarea reduce la jumătate nivelul valorilor anterioare, stabilite în anul 2005 și care era stabilit la valoarea de 10μg/m³. Pentru a atinge aceste obiective Națiunile Unite au stabilit o serie de obiective intermediare ce se referă la concentrațiile de poluanți din aer și care sunt catalogate drept trepte intermediare.

În continuarea articolului sunt prezentate diferite studii și grafice referitoare la poluarea aerului precum :

- Nivelurile de poluare a aerului pe zone și țări ;
- Principalele cauze de poluare a aerului grupate pe zone mari ale Pamântului ;
- Repartiția deceselor cauzate de poluarea aerului;
- Procentul de decese din fiecare boală atribuit poluării aerului exterior cu particule fine în 2019 ;
- Incidența bolilor ischemice ale inimii la nivel mondial ce au ca și cauză inhalarea particulelor fine din aerul ambiant;
- Îndeplinirea la nivel global a țintelor privind standardele de mediu privind poluarea aerului;
- Procentul deceselor pe tipuri de afecțiuni cauzate de poluarea aerului ;
- Nivelul de îndeplinire a standardelor privitoare la calitatea aerului în Romania

2.3 Poluarea industrială a aerului

2.3.1 O scurtă istorie a poluării aerului

Poluarea aerului este prezentă într-o formă sau alta cel puțin încă din Imperiul Roman și dinastia Han, când activitatea umană a început să elibereze metan și alte gaze cu efect de seră în atmosferă. În Londra medievală, infamul smog era atât de nociv încât regele Edward al II-lea a încercat să interzică arderea unor tipuri de cărbune - în anul 1272 - fără însă niciun rezultat. Poluarea aerului

avansează rapid până la « Revoluția Industrială », când în 1872, 273 de oameni au murit din cauza bronșitei cauzate de poluarea aerului. Astăzi, Agenția pentru Protecția Mediului din SUA (EPA), împreună cu organismele de standardizare din Uniunea Europeană, China și din alte țări, desfășoară multiple și profunde cercetări și dezvoltă tehnologii care să ajute la înțelegerea cauzelor poluării și să găsească remediile poluării aerului. Această cercetare este realizată și sintetizată la fiecare cinci ani pentru a se asigura că standardele și reglementările actuale privind poluarea aerului răspund nevoilor unei populații globale în creștere [2].

2.3.2 Variația emisiilor de gaze poluante la nivel European

Conform ultimelor studii din luna aprilie 2022, la nivelul Europei emisiile industriale de poluanți atmosferici care dăunează sănătății umane și mediului au scăzut între 2010 și 2020 în Europa [3]. Emisiile de gaze cu efect de seră (de exemplu, dioxid de carbon (CO₂) și oxizi de sulf (SO_x)) și alți poluanți (de exemplu, oxizi de azot (NO_x), particule (PM₁₀) și metale grele) au scăzut în mod semnificativ. Contrar așteptărilor bazate pe aceste scăderi a emisiilor de gaze cu efect de seră, valoarea economică generată de Europa în această perioadă a crescut până în 2019, în conformitate cu obiectivul strategiei industriale a UE de a sprijini competitivitatea industriei europene. Conform ultimelor date oficiale între 2010 și 2020, emisiile industriale de SO_x și PM₁₀ au scăzut cu aproximativ 70% în UE. Alte emisii au scăzut într-o măsură mai mică: metalele grele (Cd, Hg și Pb) cu 56%, NO_x cu 41%, NMVOC cu 27% și CO₂ cu 24%. Cu toate acestea, datele din ultimii ani nu sunt încă asigurate și corectate de către țările raportoare și, prin urmare, ar putea varia ușor. În aceeași perioadă, valoarea pe care industria a generat-o pentru economie - măsurată prin valoarea adăugată brută (VAB) - a crescut până în 2019, ceea ce indică faptul că industria europeană a devenit mai puțin generatoare de emisii, odată cu raportul dintre emisiile de poluanți atmosferici și producția de bunuri industriale ce a scăzut. Pandemia de Covid-19 a avut diferite rate de impact asupra VAB și a emisiilor în aer: în timp ce VAB a scăzut cu 7% între 2019 și 2020, emisiile unor poluanți (SO_x, PM₁₀ și metale grele) au scăzut mai mult în fiecare an (peste 10%) comparativ cu altele (emisiile de oxizi de azot au fost aproape stabile între 2019 și 2020).

Scăderea emisiilor de poluanți industriali în aer poate fi parțial atribuită reglementărilor europene, cum ar fi sistemul UE de comercializare a certificatelor de emisii și Directiva privind emisiile industriale, îmbunătățirea eficienței energetice și tehnologiile de reducere a emisiilor și relocarea diferitelor producții puternic poluante și consumatoare de energie.

În continuare este prezentat, în rezumat, cel de al treilea capitol ce se întitulează „*Sisteme de filtrare a aerului industrial. Filtrarea aerului din atelierele de reparatii caroserii și cabine de vopsitorie,*”

În primul subcapitol 3.1 « *Filtre de aer utilizate în scop domestic și industrial* » sunt prezentate mai multe tipuri de filtre clasice pentru aer, ce pot fi utilizate în acest domeniu, astfel :

- filtre pentru pătrunderea prafului, apei, ploii cauzate de vânt și ceață de sare ce sunt folosite în situația în care se dorește filtrarea aerului de la exterior spre interior ;
- filtre rezistente la foc, ce pot fi curățate și care oferă o scădere mică de presiune, cu capacitatea de a capta cantități mari de praf din aer în aplicațiile din incintele industriale ;
- filtre plisate de aer realizate dintr-un strat de poliester, hârtie sau bumbac în pliuri pen-tru a mări întreaga suprafață de schimb ;
- filtre de aer din panouri sunt instalate în sistemele HVAC pentru a elimina contami-nanții din fluxul de aer ;
- filtrele de tip sac sunt filtre utilizate în aplicațiile HVAC pentru a îndepărta praful din aerul ambiant ;
- filtre din carbon activat ;

Întrucât filtrele ce folosesc cărbunele activ reprezintă o tehnologie de vârf, în continuare sunt prezentate câteva elemente foarte importante.

3.2 Filtrarea aerului folosind carbonul activat

La ora actuală, în lume foarte multe din sistemele de filtrare a aerului, în special cele utilizate în construcția sistemelor de filtrare a aerului din cabinele de vopsitorie, utilizează filtrele cu carbon activat.

În general vorbind, filtrele de aer cu carbon, sunt filtrele cel mai frecvent utilizate pentru eliminarea gazelor. Ele sunt concepute pentru a filtra gazele folosind un strat de cărbune activ și sunt de obicei utilizate pentru a elimina compușii organici volatili (COV-urile). De asemenea, se pot utiliza și în scopuri domestice pentru a elimina mirosurile din aer, cum ar fi mirosul de fum de tutun. Ca și dezavantaje, acestea nu pot elimina particulele fine precum mucegaiul, praful sau polenul din aer [2]. Filtrele de aer cu cărbune activ îndepărtează poluanții din aer printr-un proces cunoscut sub numele de adsorbție. Important de remarcat este faptul că acest proces este total diferit de cel numit absorbție. În absorbție, substanța ce se dorește a fi îndepărtată (să zicem apa) este absorbită în structura absorbantului (ca un burete), dar nu devine o parte a absorbantului la nivel molecular. Prin urmare, atunci când de exemplu, se absoroarbe apa cu un

burete, apa nu se lipește chimic de burete, doar umple volumele din interiorul lui. Astfel filtrele cu cărbune activat sunt utilizate la filtrarea compușilor organici volatili din aer. Acestea reprezintă elemente gazoase pe care cele mai multe filtre mecanice, cum ar fi filtrele de tip HEPA, nu le pot elimina. În mod practic, gazele degajate în procesul de uscarea a vopselei sau a substanțelor de curățare pot fi îndepărtate din aer folosind filtrul de carbon iar benzenul și toluenul, și unii compuși clorurați se numără printre cei care pot fi îndepărtați prin acest tip de filtre.

Întrucât aplicația sistemului de filtrare prin cavitație ultrasonică s-a realizat în cadrul unui atelier de reparații caroserii auto în următorul subcapitol sunt prezentate elemente caracteristice acestuia prezentate foarte pe scurt

3.3 Sisteme clasice de filtrare a aerului în cabinele de vopsitorie

Cabinele de vopsitorie reprezintă sisteme de lucru în care calitatea aerului este foarte importantă. Când se vorbește de calitatea aerului în aceste sisteme trebuie să se țină cont de faptul că există aici trei subsisteme ce funcționează succesiv [3].

În primul rând, pentru a-și îndeplini rolul funcțional aerul ce se află în cabină trebuie să fie de puritate avansată, trebuie să fie lipsit de particule pentru că suprafețele vopsite să fie perfecte, fără impurități. Pentru aceasta trebuie să existe un sistem de admisie prin care aerul să fie filtrat [3].

Al doilea sistem trebuie să asigure aer comprimat pentru pistolul cu care se realizează procesul tehnologic de vopsire. Și acest aer, din punct de vedere al calității trebuie să fie de asemenea filtrat pentru că suprafețele vopsite să rezulte de calitate ridicată.

Al treilea sistem de filtrare a aerului se referă la evacuarea în atmosferă a aerului puternic poluat rezultat în urma procesului tehnologic de vopsire.

Astfel, filtrele utilizate în construcția sistemului de filtrare a aerului în cabinele de vopsitorie sunt clasificate astfel (<https://www.taffguard.com/our-filter-blog/paint-filtration>) :

- filtre pentru unitatea de completare a aerului
- filtre de admisie
- filtre de evacuare.

Cea de a doua parte a tezei de doctorat este axată pe contribuțiile personale ale autorului atât la nivel teoretic cât și la nivel practic, experimental ce vizează realizarea sistemului filtrare a aerului bazat pe fenomenul de cavitație ultrasonică. Această parte începe cu capitolul 5 intitulat „Direcțiile, obiectivul

principal și metodologia de cercetare-dezvoltare a unui sistem de filtrare a aerului industrial bazat pe fenomenul de cavitație ultrasonică”.

Acesta cuprinde următoarele subcapitole:

5.1. Direcții de cercetare-dezvoltare

Pentru realizarea obiectivelor propuse am stabilit două direcții principale de cercetare ce țin cont de complexitatea fenomenului de piezoelectricitate care stă la baza fenomenului de cavitație ultrasonică care este folosită în procesul de filtrare a aerului industrial.

În ceea ce privește dezvoltarea sistemului de filtrare a aerului am urmărit proiectarea cuvei în care are loc cavitația ultracustică precum și a instalației de filtrare a aerului industrial. De asemenea am urmărit proiectarea sistemului de măsurare a emisiilor de gaze ce apar în atelierul de tinichiderie în timpul proceselor tehnologice de acolo.

5.2. Obiectivul principal al activității de cercetare-dezvoltare

5.2.1 Obiectivul principal al activității de cercetare

Obiectivul principal al activității de cercetare este împărțit în două direcții principale, ambele la fel de importante. Prima direcție de cercetare se referă la studiul fenomenului de piezoelectricitate care se concretizează în cele din urmă la calculul analitic și la modelarea funcționării sistemului ultrasonic format din elementele piezoceramice, amplificatorul și concentratorul ultrasonic. Modelarea și simularea funcționării sistemului ultrasonic s-a realizat folosind metoda elementelor finite implementata prin software-ul ANSYS.

Cea de a doua direcție de cercetare s-a realizat în sensul studiului fenomenului de cavitație ultrasonică, cea care conduce la formarea bulelor de cavitație ce sunt amorsate de impuritățile ce provin aerul industrial ce trebuie filtrat.

Din punct de vedere al cercetării tehnologice, de dezvoltare, s-a urmărit și realizat:

- selectarea transductorilor piezoceramici corespunzători rezultați din etapă de calcul și proiectare a acestora;
- poziționarea acestora pe fundul cuvei unde are loc fenomenul de cavitație ultrasonoră,
- dimensionarea și realizarea cuvei pentru filtrarea aerului

- proiectarea și realizarea sistemului de măsurarea a emisiilor ce au loc în cadrul proceselor tehnologice ce au loc într-un atelier de tinichigerie vopsitorie.

În capitolul 6 intitulat „*Cercetări teoretice și experimentale privind proiectarea matematică a sistemului ultrasonic*” sunt prezentate la începutul acestuia câteva noțiuni introductive astfel:

6.1 Piezoelectricitatea

6.1.1 Introducere

Piezoelectricitatea reprezintă o proprietate a anumitor materiale dielectrice de a-și modifica forma geometrică în prezența unui câmp electric sau, dimpotrivă, de a produce o sarcină electrică atunci când sunt deformate mecanic prin aplicarea unei forțe concentrate asupra acestora. Există o mare varietate de materiale care prezintă acest fenomen într-o oarecare măsură, inclusiv cristale de cuarț natural, polimer semicristalin, piezoceramic policristalin, os și chiar lemn. Piezoelectricitatea se produce datorită separării spontane a sarcinii electrice în anumite structuri cristaline în condiții adecvate. Acest fenomen, denumit polarizare spontană, este cauzat de o deplasare a norilor de electroni în raport cu centrul lor atomic individuali, adică o deplasare a ionilor pozitivi în raport cu ionii negativi din celulele lor cristaline. O astfel de situație produce un dipol electric.

Materialele piezoceramice se folosesc într-o serie de domenii industriale și științifice foarte importante ce includ elemente de înaltă inteligență și inovare. Astfel, putem regăsi structuri, în domenii precum : automatizări industriale; industria militară; inginerie și mecanică de mare precizie; aviație și activități spațiale; industria automobilelor; medicină avansată; telecomunicații; industria bunurilor de consum.

Piezoelectricitatea fiind fenomenul esențial pe baza căruia se realizează procesul de cavitație ultrasonică, este absolut necesar a se studia parametrii pe baza cărora acesta se produce și pe baza cărora se proiectează sistemul ultrasonic folosit la proiectarea și realizarea cuvei de filtrare a aerului. În general, în analiza materialelor piezoceramice se folosesc următoarele noțiuni: T = tensiunea mecanică; S = deformația mecanică; E = câmpul electric constant (electrozi scurtcircuitați); D = deplasare electrică constantă (electrozi în circuit deschis); De exemplu, KT_3 , reprezintă constanta dielectrică măsurată între electrozii polari ai unei piese din material piezoceramic neincastate. Într-o formă simplificată relația de bază care face legătura dintre proprietățile electrice și cele elastice poate fi reprezentată astfel:

$$D = d T + \varepsilon^T E$$

$$S = s^E T + d E$$

Aceste relații se aplică doar la amplitudini mici ale semnalului electric și la amplitudini de vibrație mici, așa-numitele valori mici ale semnalului. În acest interval, relațiile dintre componentele ale deformării elastice (S) sau tensiuni mecanice (T) și componentele câmpului electric E sau electric densitatea fluxului D sunt liniare.

În continuare sunt prezentate relațiile dintre câmpurile electrice aplicate și răspunsurile rezultate depind de proprietățile piezoelectrice ale ceramicii, de geometria piesei și de direcția excitației electrice. Proprietățile materialului piezoceramic variază atât în funcție de deformare, cât și de temperatură. Materialul piezoceramic este definit în primul rând de direcțiile de polarizare.

$$T_1 = \tau_{11} ; T_2 = \tau_{22} ; T_3 = \tau_{33}; T_4 = \tau_{23}; T_5 = \tau_{13}; T_6 = \tau_{12}$$

În care T este efortul aplicat (N/m²).

Un prim element de caracterizare a fenomenului de piezoelectricitate este **vectorul de polarizare**. Acesta este definit în timpul fabricării materialului piezoceramic printr-o tensiune continuă mare aplicată între electrozi și este reprezentat de o săgeată îndreptată de la electrodul pozitiv la cel negativ. Această informație este transmisă prin desenarea unui punct sau a unei dungi pe suprafața electrodului ținut la tensiune înaltă în timpul procesului de polarizare.

Coefficienții piezoelectrice fac legătură dintre parametrii de intrare și parametrii de ieșire, iar în reprezentarea acestora se folosește un indice dublu. Primul indice indică direcția câmpului electric E sau dielectric D, iar al doilea indice se referă la direcția tensiunii mecanice T sau de deformație S [5,9,10,11, 12,13, 35, 36,37].

Coefficientul de sarcină piezoelectrică este un tensor de ordinul 3 care poate fi exprimat ca o matrice 3x6 ce corelează deplasarea unității de arie a sarcinii electrice (cu electrozii în scurtcircuit), asociată cu aplicarea tensiunii mecanice, conform relației:

$$D_i = d_{ij} T_j$$

Coefficientul de tensiune piezoelectric g, este reprezentat de o matrice 3 x 6 și corelează câmpul electric, E dezvoltat, (cu electrozii în circuit deschis), cu tensiunea mecanică T, conform relației:

$$E_i = -g_{ij} T_j$$

Coeficienții piezoelectrice, utilizați pentru a face legătură dintre parametrii de intrare cu parametrii de ieșire, sunt notați cu un subindice dublu. Coeficienții piezoelectrice de deformare, d_{ij} , corelează starea de deformații cu câmpul electric aplicat conform relației:

$$S = d_{ij} E_j$$

Coeficientul de cuplaj, k , prezintă capacitatea materialelor de a transforma energia electrică în energie mecanică [6,7,8]. Mai exact, pătratul coeficientului de cuplare este egal cu raportul dintre energia mecanică oferită la ieșire și energia electrică introdusă în materialul piezoceramic. Acest coeficient este mai relevant pentru puterea maximă de lucru a dispozitivelor ceramice solide (cu dimensiuni relativ gale pe cele trei axe) decât pentru elementele cu lungimea sensibil mai mare decât celelalte două dimensiuni, capabile a se încovoia, deoarece un element piezoceramic cu această forma stochează o parte din energia să mecanică în suportul și stratul central metalic al suportului. Pentru elementele de încovoiere kefectiv $\sim \frac{3}{4} k_3$.

Constanta dielectrică relativă, K reprezintă raportul dintre permitivitatea materialului piezoceramic și cea în gol, ϵ_0 ($\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ farad/metru). K_3 , reprezintă constanta dielectrică relativă dintre electrozii de polarizare determină capacitatea electrică a piesei astfel:

$$C = K_3 \epsilon_0 A / T$$

Unde A este aria suprafeței electrodului iar T este grosimea stratului sau a straturilor ceramice dintre electrozi. Anumite constante ale materialelor piezoceramice sunt scrise cu indici și în partea superioară pentru a specifica contextul experimental în care este măsurat parametrul.

Modulul Young, Y , reprezintă tensiunea mecanică până la care materialul se comportă elastic și descrie rigiditatea materialului. Unitatea de măsură este $[N/m^2]$. Pentru realizarea transductorului piezoceramic se folosește un material ale cărui proprietăți sunt prezentate în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1 Proprietățile materialului piezoceramic utilizat în realizarea transductorului piezoceramic folosit în experimentări

Proprietatea	simbol	Unitatea de masura	valoarea
densitatea	ρ	g/cm^3	7.75
temperature Curie	T_c	$^{\circ}\text{C}$	295
permitivitatea relativa pe directia de polarizare	$\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$		1015
permitivitatea relativa pe directia perpendiculara pe directia de polarizare	$\epsilon_{11}^T / \epsilon_0$		1250
factorul dielectric de pierdere	$\text{tg}\delta$	10^{-3}	5
Factorul de cuplaj	k_p		0.55
	k_t		0.44
	k_{31}		0.3
	k_{33}		0.62
	K_{15}		0.65
Coeficientul piezoelectric de sarcina	d_{31}	10^{-12} C/N	-100
	d_{33}	10^{-12} C/N	219
	d_{15}	10^{-12} C/N	418
Coeficientul piezoelectric de tensiune	g_{31}	10^{-3} Vm/N	-11.1
	g_{33}	10^{-3} Vm/N	24.4
Coeficienți de frecvență	N_p	Hz m	2195
	N_1	Hz m	1590
	N_3	Hz m	1930
	N_t	Hz m	2035
Coeficientul de complianța elastica	S_{11}^E	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$	12.7
	S_{33}^E	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$	14
Coeficient de rigiditate elastica	C_{33}^D	10^{10} N/m^2	14.8
Factor de calitate mecanică	Q_m		400
Coeficientul de temperatura ϵ_{33}^T	$\text{TK } \epsilon_{33}^T$	$10^{-3}/\text{K}$	5
Permitivitatea relativă	C_ϵ		-4
Factorul de cuplaj	C_k		-2

Pentru înțelegerea cât mai bună a fenomenului pe baza căruia are loc procesul de curățare a aerului în continuare sunt prezentate câteva noțiuni despre cavitația ultrasonoră și anume în subcapitolul 6.2.

6.2 Cavitația ultrasonoră

Deoarece principalul fenomen folosit în procesul de filtrare ultrasonică este cavitația ultraacustică, fenomen ce se produce la propagarea undelor ultrasonice printr-un mediu lichid, s-au efectuat o serie de cercetări privind cavitația ultraacustică, o parte dintre ele, cele cu aplicabilitate în domeniul filtrării, fiind prezentate în continuare. Aceste cercetări teoretice vin să susțină faptul că procesul de cavitație ultrasonoră este capabil de a produce modificări chimice care vin să susțină capabilitatea filtrării aerului prin cavitație ultrasonoră. În mai multe cercetări științifice s-a constatat că lichidele expuse ultrasunetelor emit radiații și sunt supuse descompunerilor chimice [54]. Fenomenele ce au loc în timpul spargerii bruște a bulelor de cavitație generate de expansiunea acustică a nucleelor gazoase preexistente conduc la producere unor temperaturi maxime ce variază de la 3000 la 50000 K, în funcție de sistemul ultrasonic folosit. De exemplu, efectele chimice sunt compatibile cu temperaturile din partea inferioară a intervalului, în timp ce emisiile discrete de la OH excitat, moleculele de C_2 și CN necesită temperaturi peste aproximativ 60000 K. Dinamica spargerii bulelor de cavitație este determinată de conservarea energiei în timpul transformării energiei externe în energia cinetică a învelișului lichid, de conținutul de căldură al gazelor, de entalpia reacțiilor chimice, de radiația emisă și căldura pierdută în lichid. Incorporarea explicită a modificărilor de entalpie chimică în ecuația mișcării bulelor caracterizează efectele complexe și uneori surprinzătoare asociate cavitației acustice în lichide.

Teoria ce legată de dezvoltarea bulelor de cavitație arată că sonochimia și sonoluminiscenta sunt manifestări legate și complementare, ale fenomenelor de dezechilibru legate inexplicabil de ratele și energiile reacțiilor chimice. În concluzie, după cum astfel se poate observa, reacțiile chimice sunt multiple, se desfășoară la temperaturi foarte ridicate și sunt capabile de a modifica compoziția chimică a aerului poluat ce este transferat prin cuva în care are loc procesul de cavitație ultrasonică.

Operațiile de curățire și filtrare folosind energia ultrasonoră în lichide sunt rezultatul efectelor propagării undelor ultrasonore asupra mediului prin care se propagă, cele mai importante fiind: absorbția și dispersia ultrasonoră, cavitația ultrasonoră și o serie de efecte de natură mecanică, ultrasonică, chimică și biologică. În lucrarea sa [43], Kenneth spune că un câmp ultrasonic intens ce se propagă printr-un lichid provoacă bule de cavitație, care prin implozie generează

temperaturi foarte mari, în jur de 5500 0 C, formându-se astfel un mediu deosebit în care au loc fenomene chimice. Primul chimist care a recunoscut efectele deosebite ale câmpului ultrasonic ce se propagă într-un lichid a fost Alfred I. Loomis, acesta fiind cel ce a pus bazele sonochimiei. Efectul chimic al ultrasunetelor rezultă din procesul fizic care creează, dezvoltă și mai apoi conduce la impozia unor goluri de cavitație în care se găsesc gaze și vapori [44].

În figura 1 se prezintă cele patru faze, filmate, de apariție și implozie a unei bule de cavitație [48].

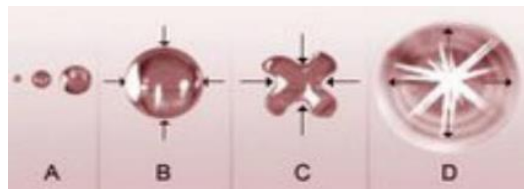


Fig 1 Formarea și implozia unei bule de cavitație :
 a - formarea bulei de cavitație ; b - expansiunea bulei ; c,d - implozia bulei de cavitație

<https://www.ultratecno.eu/technology/ultrasound-cavitation/>

Formarea bulei de cavitație are loc ca urmare a unui proces de întindere-comprimare cu frecvențe la nivel ultrasonic după cum se poate observa în figura 6.6.

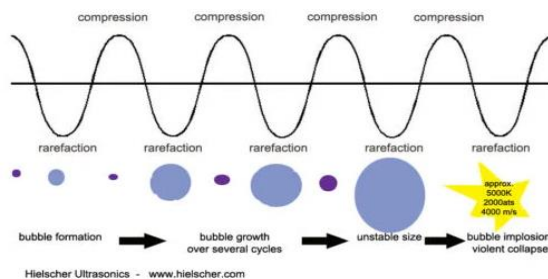


Fig. 2 Procesul de întindere-compresiune cu frecvență ultrasonică ce conduce la formarea bulei de cavitație

<https://www.ultratecno.eu/technology/ultrasound-cavitation/>

În concluzie se poate spune că procesul de filtrare în câmp ultrasonic este rezultatul apariției fenomenului de cavitație ultraacustică și accelerării acesteia datorită prezenței în mediul lichid a unor germeni cavitaționali, germeni introduși odată cu mediul gazos ce urmează a fi filtrat și purificat (toate substanțele poluante existente în curentul gazos fie în stare solidă, lichidă sau gazoasă). Așa se explică și reținerea în procente foarte ridicate a unor gaze poluante pentru mediul înconjurător (acetona, toluenul, acidul butilic, unele hidrocarburi etc.) deoarece fenomenul de cavitație ultraacustică accelerează procesul de dizolvare chimică a gazelor în apă și face posibilă desfășurarea unor reacții chimice care nu ar fi posibile fără acțiunea energiei ultrasonice. În cadrul aplicațiilor industriale ale ultrasunetelor se folosesc în mod uzual câteva frecvențe de lucru ce sunt prezentate în continuare.

Una din contribuțiile personale ale tezei de doctorat se referă la proiectarea teoretică, la calculul și dimensionarea sistemului ultrasonic. Acesta este prezentat în subcapitolul 6.4.

6.4 Calculul și dimensionarea sistemului ultrasonic folosit în obținerea fenomenului de cavitație ultraacustică.

Pentru a calcula și a face dimensionarea sistemului ultraacustic, conform [22,23] se introduc mai întâi datele inițiale necesare în rezolvarea ecuațiilor ce descriu comportamentul vibratoriu al materialelor piezoceramice și anume :

- permitivitatea materialului $\epsilon_0=8.85 \cdot 10^{(-12)}$ [F/m]
- frecvența de rezonanță - $f_0 = 2.5 \times 10^4$ Hz
- pulsația de rezonanță - $\omega_0=2\pi f_0=15.7 \cdot 10^4$
- amplitudinea minimă la vârful părții active - $\xi= 39 \cdot 10^{-6}$ m
- puterea electrică de intrare - $P_{in} = 1500$ W
- intensitatea acustică minimă - $I_a = 190$ W/cm²
- randamentul acusto-mecanic – $\eta = 0.75$
- factorul de cuplaj electromecanic – $\zeta = 0.65$
- randamentul electroacustic- $\eta_{ea} = 0.98$
- densitatea $\rho=7.6 \cdot 10^3$ [Kg/m³]
- modulul lui Young - $Y=7.6 \cdot 10^{10}$ [N/m²]

- permitivitatea relativă la 1 Hz - $\epsilon_{rp}=2600$
- unghiul de pierderi - $\delta_p = 0.6982 \text{ deg}$; $\text{tg}(\delta_p) = 0.014$
- constanta piezoelectrică - $k_p=665 \cdot 10^{(-12)} \text{ [m/V]}$
- temperature Curie - " Θ " = 560.15 K

Reflectorul se construiește dintr-un aliaj de titan Ti5AlV cu următoarele caracteristici:

- modulul lui Young - $Y=80.3 \text{ [N/mm}^2\text{]}$
- densitatea - $\rho=4.43 \cdot 10^3 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$

Folosind datele de intrare prezentate anterior s-au calculat dimensiunile transductorului compus dintr-un element pasiv (reflectorul) și un element activ, aceasta presupunând determinarea următorilor parametrii:

- viteza de propagare a ultrasunetelor prin componente:

$$v_p = \sqrt{\frac{Y}{\rho_p}} = 3.25 \times 10^3 \text{ m/s}$$

$$v_{Ti} = \sqrt{\frac{Y_{Ti}}{\rho_{Ti}}} = 4.258 \text{ [m/s]}$$

$$v_{OL} = \sqrt{\frac{Y_{ol}}{Q_{ol}}} = 5.25 \times 10^3 \text{ m/s}$$

unde: v_p este viteza de propagare a ultrasunetelor în elementul piezoceramic; v_{Ti} - viteza de propagare a ultrasunetelor în reflector, v_{OL} - viteza de propagare a ultrasunetelor în concentrator.

Lungimea de undă a ultrasunetelor :

$$\lambda_p = \frac{v_p}{f_0} = 938 \text{ mm} = 130 \text{ mm}$$

$$\lambda_{Ti} = \frac{v_{pTi}}{f_0} = 121.66 = 170 \text{ mm}$$

$$v_{OL} = \sqrt{\frac{Y_{ol}}{Q_{ol}}} = 5.25 \times 10^3 \text{ m/s}$$

unde: λ_p este lungimea de undă în elementul piezoceramic; λ_{Ti} - lungimea de undă în reflector; λ_{ol} - lungimea de undă în concentrator.

Dimensiunile componentelor după direcția longitudinală de propagare a vibrațiilor ultrasonice în /4 sunt:

$$d_{Ol} = \frac{\lambda_{Ol}}{4} = 52$$

$$d_p = \frac{\lambda_p}{4 \cdot 2} = 16$$

$$d_{Ti} = \frac{\lambda_{Ti}}{4} = 42.5$$

unde d_{Ol} este lungimea concentratorului; d_p – lungimea elementelor piezoceramice; d_{Ti} – lungimea reflectorului.

- Aria de radiație a elementului activ trebuie să fie în corelație cu puterea de intrare și cu intensitatea acustică cerută și este:

$$A_p = \frac{P_{in}}{I_a \cdot \eta_{ea}} = 1500 / 0.75 \times 190 = 10.52 \text{ cm}^2$$

$$A_{Ti} = A_p = 1500 / 0.75 \times 190 = 10.52 \text{ cm}^2$$

$$A_{Ol} = A_p = 1500 / 0.75 \times 190 = 10.52 \text{ cm}^2$$

unde A_p , A_{Ti} , A_{Ol} sunt ariile de radiație ale celor trei elemente ale transductorului ultrasonic.

- raza elementului activ (pentru secțiunea circulară), r_p :

$$r_p = \sqrt{\frac{A_p}{\pi}} = 18.3 \text{ mm}$$

- coeficientul transformării electromagnetice, n_p :

$$n_p = k_p \cdot Y_p \cdot \frac{A_p}{d} = 665 \text{ E} - 12 \cdot 63\text{E}9 \cdot \frac{1052}{16} = 2.75$$

- Impedanțele acustice ale elementelor transductorului:

$$Z_p = \rho_p \cdot v_p \cdot A_p = 7500 \cdot 3.25\text{E}3 \cdot 10.52\text{E} - 4 = 2.56\text{E}4 \text{ Kg/s}$$

$$Z_{OL} = \rho_{pOl} \cdot v_{Ol} \cdot A_{Ol} = 7800 \cdot 5.25\text{E}3 \cdot 10.52\text{E} - 4 = 4.3\text{E}4 \text{ Kg/s}$$

$$Z_{Ti} = \rho_{Ti} \cdot v_{Ti} \cdot A_{Ti} = 4430 \cdot 4.25\text{E}3 \cdot 10.52\text{E} - 4 = 1.98\text{E}4 \text{ Kg/s}$$

unde: $\rho_p, \rho_{pOl}, \rho_{Ti}$ sunt densitățile materialului piezoceramic, ale concentratorului respectiv reflectorului; v_p, v_{Ol}, v_{Ti} – volumele transductorului piezoceramic, ale concentratorului respectiv reflectorului; A_p, A_{Ol}, A_{Ti} – ariile celor trei volume.

- caracteristicile electrice efective necesare pentru producerea puterii acustice în condiții de rezonanță mecanică sunt:

- tensiunea electrică, U_p dată de relația:

$$U_p = (\alpha_0 \cdot Z_p \cdot P_{in} \cdot \eta_{ea})^{1/2} / \eta_p \eta_{am} = 1.45 \cdot 10^3 \text{ V}; \quad \alpha_0 = 0.85$$

- capacitatea electrică a elementului activ, C_p dată de relația:

$$C_p = \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot A_p / d_p = 1.24 \text{ nF}$$

Pentru scrierea compactă a relațiilor se fac notațiile:

$$Z^1 = Z^p = 2.56 \cdot 10^4 \text{ Kg/s}$$

$$Z^2 = Z^p + Z^{Ti} = 4.54 \cdot 10^4 \text{ Kg/s}$$

$$\tau = 2\rho_p \cdot v_p \cdot A_{Ti} = 2 \cdot 7.6 \cdot 10^3 \cdot 3.25 \cdot 10^3 \cdot 10.52 \cdot 10^{-4} = 5.19 \cdot 10^{-4} \text{ Kg/s}$$

$$Z_3 = jZ_2 + \tau + \tau_p = 10^4(j \cdot 4.54 + 5.19 + 1.38) \text{ Kg/s}$$

$$Z_4 = Z_p + Z_{Ol} = 2.56 \cdot 10^4 + 4.3 \cdot 14^4 = 6.86 \cdot 10^4 \text{ Kg/s}$$

$$Z_5 = jZ_4 + \tau_p = 10^4(j \cdot 6.86 + 1.38)$$

$$Z_6 = Z_p + Z_{Ol} = 2.986 \cdot 10^4 \text{ Kg/s}$$

- puterea acustică de rezonanță ideală, P_{ai0} , cu relația:

$$P_{ai0} = \frac{(2\alpha_0 \cdot \rho_0 \cdot v_p \cdot A_{Ti} \cdot \eta_p^2 \cdot U_p^2)}{\tau^2} \frac{Z_4}{Z_4 - Z_1} \eta_{am}^2 = 0.892 \cdot 10^3 \text{ W} = 1.35 \cdot 10^3 \text{ W}$$

- puterea acustică la rezonanță cu considerarea pierderilor prin radiație:

$$P_{ai0} = \frac{(2\alpha_0 \cdot \rho_0 \cdot v_p \cdot A_{Ti} \cdot \eta_p^2 \cdot U_p^2) \frac{Z_4}{Z_4 - Z_1} \eta_{am}^2}{\tau + \tau_p^2} = 0.68 \cdot 10^3 \text{ W}$$

- volumul și masa componentelor:

$$V_p = A_p \cdot d_p = 10.52 \cdot 1.6 = 16.83 \text{ cm}^2$$

$$m_p = V_p \cdot \rho_p = 16.83 \cdot 10^{-6} \cdot 7.6 \cdot 10^3 = 0.121 \text{ Kg}$$

$$V_{Ti} = A_{Tip} \cdot d_{Ti} = 10.52 \cdot 4.25 = 4.71 \text{ cm}^3$$

$$m_{Ti} = V_{Ti} \cdot \rho_{Ti} = 4.71 \cdot 10^{-6} \cdot 4500 = 0.201 \text{ Kg}$$

$$V_{Ol} = A_{Ol} \cdot d_{Ol} = 10.52 \cdot 5.2 = 54.7 \text{ cm}^3$$

$$m_{Ol} = V_{Ol} \cdot \rho_{Ol} = 54.7 \cdot 10^{-6} \cdot 7800 = 0.426 \text{ Kg}$$

In care m_p , m^{Ti} m^{Ol} unt masele elementelor piezoceramice, a reflectorului respectiv concentratorului de enrgie ultrasonică.

- Dependența de frecvență a puterii acustice:

$$P_{ac}(f) = \frac{P_{a0}}{1 + Q_m^2(f) \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)}$$

- Variația modulului impedanței transductorului cu frecvența este dată de relația:

$$R_p(f) = \frac{1}{\cos(f) \cdot c_p \cdot tg(\delta_p)}$$

in care:

$$\omega(f) = 2\pi f$$

$$Z_p(f) = \frac{Z_p}{\sin(\omega_f) \cdot \frac{dp}{v_p}}$$

$$\tau(f) = 2\rho_p \cdot v_p \frac{A_{Ti}}{\cos\left(\omega_f \frac{dT_i}{v_{Ti}}\right)}$$

$$Z_m(f) = \frac{Z(f)}{n_p^2}$$

$$Z_{tm}(f) = |Z_t(f)|$$

$$Z_{tm}(f_0) = 2.98 \cdot 10^5 \Omega$$

$$C_s(f) = \frac{1}{\omega(f) \cdot Z_m(f)}$$

- randamentul electroacustic efectiv al transductorului al transductorului compus este:

$$\eta_{e ar} = \frac{p_{ao}}{p_{in}} = 0.77$$

- forța dezvoltată de elementul activ:

$$F_p = k_p \cdot U_p \cdot \frac{A_p \cdot Y_p \cdot \eta_{e ar}}{d_p} = 4.55 N$$

- energia mecanică propriuzisă este de forma:

$$W_m = \frac{1}{2} (F_p^2 \cdot C_m) = 3.014 Ws$$

- energia electrică consumată se calculează cu relația:

$$W_e = \frac{1}{2} (U_p^2 \cdot C_p) = 0.25 Ws$$

Elementele de calcul pentru concentratorul de energie ultrasonoră:

- lungimea concentratorului se calculează cu relația:

$$L = \frac{n \cdot c}{2 \cdot f_0} \sqrt{1 + \left[\frac{\ln(n)}{\pi \cdot n} \right]} = 78 mm$$

în care: $f^0 = 25000$ Hz; $n = 1$; $N = 3.5$;

- punctele nodale x_{nod} se calculează cu relația:

$$X_{nod} = \frac{L}{n \cdot \pi} \operatorname{arc\,tg} \left(\frac{\ln N}{n \cdot \pi} + n \cdot \pi \right)$$

în care: $n = 1$; $n = 1, 2, 3$

Primul punct nodal $x^{nod 1}$ este: $x^{nod} = 40.2$ mm

Ca urmare a calculului prezentate s-a proiectat transductorul piezoceramic compus prezentat în figura 3.

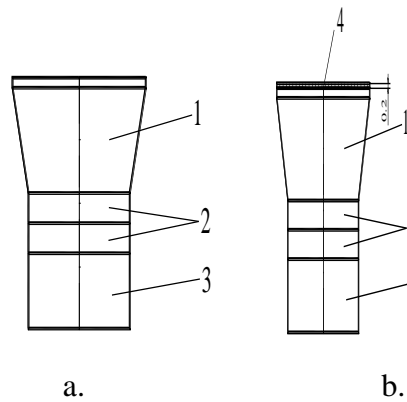


Fig. 3 a - Transductorul piezoceramic folosit la obținerea fenomenului de cavitație ultrasonică:

a. - dimensiuni constructive; b. - elementele constitutive 1. - amplificatorul ultrasonic; 2 - elemente piezoceramice; 3 - reflector ultrasonic ; Tehnica de fixare a transductorului piezoceramic în partea inferioară a cuvei; 4 - strat de adeziv

Cunoașterea modului de vibrație al sistemului ultrasonic este deosebit de importantă întrucât în experimente nu se poate trece prin toate frecvențele de vibrație din domeniul ultrasonic, între-18000-100000 Hz. Așadar, găsirea frecvențelor de lucru utile ajută la funcționarea și optimizarea procesului de cavitație și oferă o imagine foarte clară a ceea ce se întâmplă în domeniul de frecvențe studiat. După proiectarea transductorului piezoceramic compus, una din problemele importante se referă la atașarea acestuia de partea inferioară a cuvei în care se va produce cavitația ultrasonică. Lipirea acestuia este extrem de importantă întrucât o fixare foarte rigidă ar putea cauza fisurarea legăturii în

timpul vibrațiilor în timp ce o adeziune foarte flexibilă ar putea cauza o amortizare puternică a oscilațiilor și ca urmare acestea nu se vor transmite în interiorul cuvei. Pentru aceasta am ales un adeziv pe bază de silicon ce se va depune între transductor și partea inferioară a cuvei, acesta având o grosime relativă de aproximativ 0.2 mm. În figura 3b se prezintă schema sistemului astfel realizat. Proprietățile mecanice ale stratului de adeziv vor fi prezentate în etapa de modelare și simulare a modurilor de vibrație. Pentru producerea cu eficiență a fenomenului de cavitație ultrasonică în partea inferioară a cuvei s-au plasat 10 transductori piezoceramici, a căror schema de amplasare, este prezentată în figura 4.

6.6 Proiectarea schemei funcționale a sistemului de filtrare a aerului industrial folosind fenomenul de cavitație ultrasonică

Ca și contribuție atât practică cât și teoretică am realizat shema funcțională a sistemului de filtrare a aerului prin cavitație ultrasonică este prezentată în figura 5. Analizând elementele componente din această schemă se poate spune că aceasta este formată din tubulatura 1 ce pătrunde în lichid și introduce aerul ce trebuie filtrat prin fenomenul de cavitație ultrasonoră. Acesta este introdus forțat prin ventilatorul de aspirație 4 ce este alimentat din interiorul cabinei de vopsitorie prin tubulatura.

Pe capacul 3 se fixează elementul de comandă 6, al pompei de aspirație 7, prevăzută la interior cu un ventilator 8. Pompa de aspirație 7 preia aerul purificat și îl trimite în atmosferă. Pentru măsurarea calității aerului filtrat, în interiorul tubulaturii acestei pompe se execută un orificiu în care se va introduce sonda de măsurare 10, ce este conectată la sistemul de măsurare a calității aerului filtrat 9. Tot pe capacul 3 se va monta sistemul electronic de alimentare motorului 13, a ventilatorului de aspirație 4.

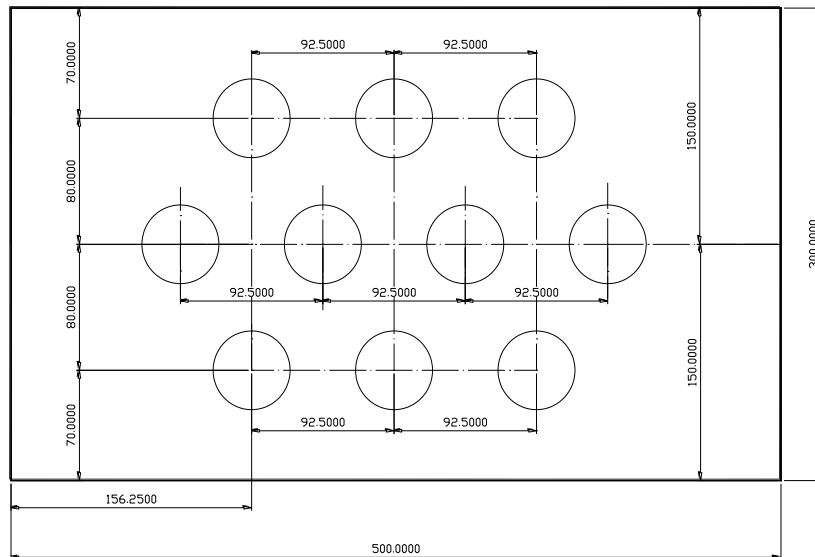


Fig. 4 Schema de amplasare a transductorilor piezoceramici pe partea inferioară a cuvei

În capitolul 7 intitulat « *Modelarea matematică a proceselor ce au loc ca urmare a fenomenului de cavitație ultrasonică* » este prezentat un model matematic bazat pe teoria elementelor finite. Acest capitol este considerat ca și contribuții personale în domeniul matematic pentru determinarea modurilor optime de vibrație și pentru determinarea teoretică a grosimii optime a stratului de adeziv necesar lipirii transductorilor pe suprafața inferioară a cuvei. Acesta este format din următoarele subcapitole:

7.1 Modelarea matematică a sistemului ultrasonic și determinarea modurilor de vibrație optime

Modelarea matematică prin metoda elementelor finite reprezintă la ora actuală o metodă de lucru ce se regăsește în foarte multe domenii științifice inclusive medicină. Ingineria beneficiază de aportul acestei metode de aproximativ 40 ani fiind folosită cu preponderență datorită rezultatelor sale ce se apropie de comportarea reală a sistemelor cu o precizie de aproximativ 90 %. Pentru obținerea unor rezultate cât mai apropiate de realitate, introducerea datelor de intrare este extrem de importantă. În acest sens, în continuare se vor prezenta etapele parcurse pentru rezolvarea problemei propuse. Această problemă constă

în determinarea modurilor de vibrație și a frecvențelor de vibrație optime, utile în obținerea fenomenului de cavitație.

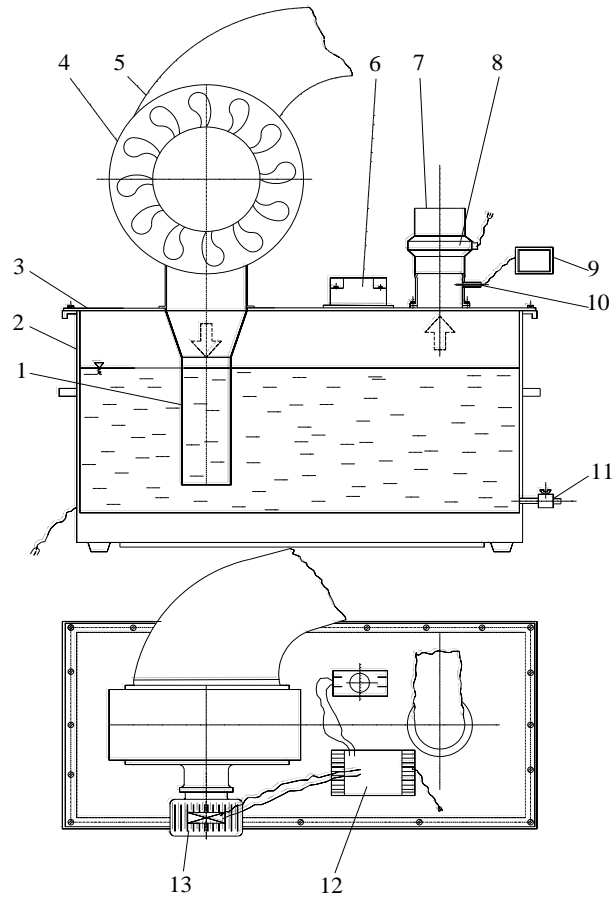


Fig. 5 Schema funcțională a sistemului de filtrare a aerului industrial folosind fenomenul de cavitație ultrasonică :

1 – tubulatura interioară intrare aer ce trebuie filtrat; 2- cuva cu lichid pentru producerea fenomenului de cavitație ultrasonoră; 3 – capac cuva; 4 – ventilator aspirație aerul industrial; 5 – tubulatura intrare aer industrial cu impurități și noxe; 6 – sistem electronic de reglare a turației ventilatorului; 7 – sistem de conducte pentru eliminarea în atmosfera a aerului filtrat; 8 – ventilator pentru extragerea aerului filtrat ; 9 – sistem determinare compoziție chimică aer filtrat ; 10 - sonda pentru determinarea compozitei chimice a aerului filtrat ; 11 - robinet evacuare apă ; 12 – sistem electronic alimentare motor ventilator ; 13 – motor ventilator

7.1.1 Realizarea modelului teoretic, virtual al sistemului ultrasonic

În prima etapă, cea definitorie, se alege tipul elementului de discretizare folosit în rezolvarea problemei propuse. În cazul studiat, se folosesc două elemente de discretizare întrucât analiza este de tip modal iar modurile de vibrație provin de la elementele piezoceramice. Fenomenul de piezoelectricitate se analizează și se studiază prin folosirea unui element, de exemplu, de tipul SOLID98 (software ANSYS). Acesta transformă energia electrică în energie mecanică fiind un element de tip Coupled Field.

Pentru realizarea modelului propus se folosesc patru tipuri de material astfel:

1. oțelul - pentru modelarea părții inferioare a cuvei;
 2. aluminiul - pentru modelarea reflectorului și a concentratorului sistemului ultrasonic;
 3. materialul piezoceramic - pentru discurile piezoceramice;
- adezivul de tip silicon pentru modelarea stratului de adeziv cu ajutorul căruia se fixează transductorul de partea inferioară a cuvei.

7.1.2 Analiza modală a sistemului transductor - cuva de cavitație. Determinarea modurilor de vibrație proprii și a frecvențelor de vibrație

În urma realizării unei analize de tip „Modal”, programul oferă mai multe moduri de vibrație. Analiza de tip modal oferă modurile proprii de vibrație, libere ale unui sistem mecanic, ultrasonic sau a altor structuri vibratorii. Aceste moduri de vibrație libere sunt proprii fiecărui sistem și se realizează la frecvențele determinate de software. Aceasta analiza ajută la acordarea sistemelor ultrasonice la frecvențele optime de vibrații care se realizează și cu un consum minim de energie. Prin acesta se evita baleierea unei game foarte mari de frecvențe din domeniul ultrasonic începând cu 18 KHz până la aproximativ 100 KHz. Sistemele ultrasonice pot funcționa la mai multe frecvențe dar cele optime se pot regăsi prin realizarea analizei modale, în acest caz oferită de software-ul Ansys. Dintre frecvențele calculate, unele din acestea, primele mai ales, sunt foarte posibil a fi realizate în timp ce următoarele mai puțin.

În continuare sunt prezentate două moduri de vibrație posibile, foarte apropiate ca mod de oscilație real și care se produc la frecvențe apropiate de frecvența de lucru oferită de producătorul elementelor piezoceramice și anume $f = 35000$ Hz. În figura 6 se prezintă modul de vibrație la frecvența $f = 35596$ Hz că suma a deformațiilor. După cum se poate observa, în centrul concentratorului de energie apar oscilații cu preponderență pe axa OZ dar care prezintă și deplasări și pe celalte două axe. Din analiza imaginii se poate observa și comportamentul unei zone extrem de importante precum este adeziunea transductorului suprafață

cuvei. Aici, adezivul de tip silicon suferă deformații mici, exact în domeniul în care pot transmite oscilațiile de la transductor către cuva.

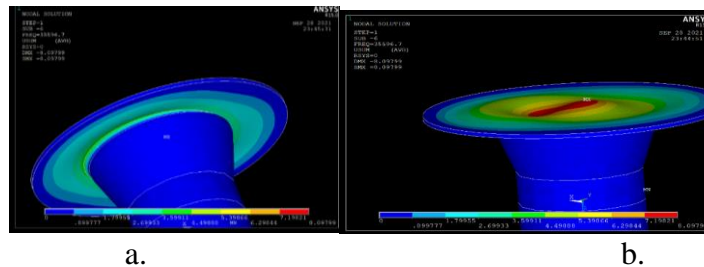


Fig. 6 Prezentarea sumei deformațiilor la frecvența $f = 35596$ Hz;

a - partea inferioară a cuvei; b - partea superioară a cuvei ce se deformează ca urmare a producerii vibrațiilor în domeniul ultrasonor

Unul dintre cele mai importante avantaje ale folosirii modelelor matematice bazate pe teoria elementelor finite se referă la prezentarea unor rezultate extrem de greu de obținut prin măsurători și ca urmare de înțeles. Astfel devine posibilă cunoașterea proceselor în amănunt și cu mare acuratețe. Astfel, pentru înțelegerea cât mai îndeaproape a producerii vibrațiilor în domeniul ultrasonor, în figura 7 a se prezintă oscilațiile în lungul axe OX în care amplitudinea maximă apare în sensul pozitiv al acesteia, în sensul negativ neproducându-se vibrații. Pentru axa OY, oscilațiile prezentate în figura 7.5 b arată deplasări maxime în sensul negativ al axei OY. Cele mai importante observații se pot afla din figura 7.5c în care se prezintă oscilațiile de-a lungul axei OZ, axă care contribuie în mod esențial la transmiterea vibrațiilor în mediul lichid din cuvă. După cum se poate observa din analiza imaginii, în lungul axei OZ se produc alternativ oscilații generatoare de unde longitudinale în sensul pozitiv respectiv al axei OZ. În acest caz, la această frecvență exista două puncte generatoare de oscilații, apropiate unele de altele și apropiate de axa longitudinală a sistemului ultrasonor.

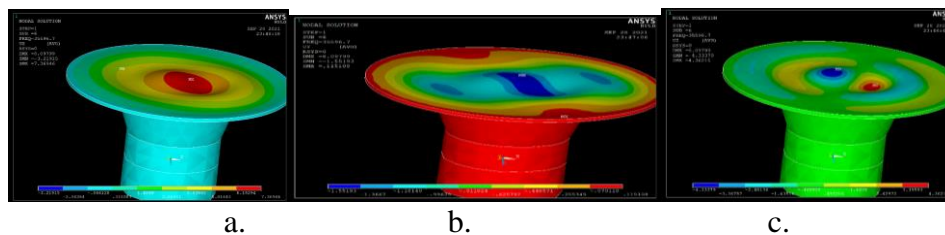


Fig. 7 Prezentarea oscilațiilor sistemului ultrasonor la frecvența $f = 35596$ Hz raportate la: a - axa OX;

b - axa OY; c - axa OZ

Programul oferă de asemenea, o a doua frecvență de lucru la care se poate opera sistemul ultrasonic și anume la $f = 31223$ Hz. În figura 8 este prezentată imaginea ce reprezintă suma deformațiilor. După cum se poate observa, în centrul sistemului ultrasonic există o sursă de oscilații, transductorul ultrasonic concentrând aici energia ultrasonoră. Din zona prezentată cu culoare roșie se vor genera oscilațiile longitudinale ce vor produce fenomenul de cavitație ultrasonoră utilizat la filtrarea aerului.

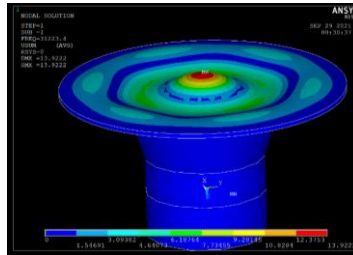
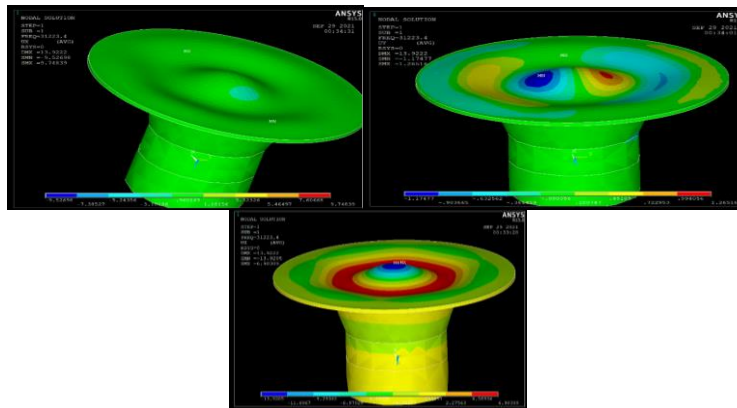


Fig. 8 Prezentarea oscilațiilor ultrasonore la frecvența $f = 31223$ Hz ca sumă a deformațiilor sistemului studiat.

Pentru o mai bună înțelegere a proceselor derulate la această frecvență, în figura 9 a se prezintă oscilațiile de-a lungul axei OX. Pentru acest caz, se poate observa că valoarea acestora este apropiată de zero. Descompunerea mișcării vibratorii în lungul axei OY este prezentată în figura 9 b. Raportat la această axă se poate observa o zonă cu deplasare în sensul pozitiv al axei OY (culoarea roșie) și o zonă cu deplasare în sensul negativ al acestei axe, forma zonei centrale generatoare de oscilații rămânând aceeași.



a.

b.

c.

Fig. 9 Prezentarea funcționării sistemului vibratoriu la frecvența $f = 31223 \text{ Hz}$;
a - oscilația în lungul axei OX; b - oscilația în lungul axei OY;
c – oscilația în lungul axei OZ

Cea mai ilustrativă imagine este prezentată în figura 9 c unde se poate observă cum zona centrală de forma unui „ou” vibrează în lungul axei OZ, perpendicular de partea inferioară a cuvei generând trenuri de impulsuri ce se propagă în lichidul din interiorul cuvei. Toată energia transductorului se concentrează astfel aproape într-un punct, ceea ce face că randamentul sistemului vibratoriu să fie mare la această frecvență. Întrucât metoda elementelor finite este un model matematic ce oferă mai multe rezultate, în acest caz mai multe moduri de vibrație corespunzătoare mai multor frecvențe, este foarte importantă analiza modurilor de vibrație posibil a se produce în realitate. În acest sens de exemplu, în figura 10 este prezentat un mod de vibrație la frecvența $f = 19091 \text{ Hz}$ dar care produce discontinuitate la nivelul fixării transductorului pe suprafața cuvei. Deci această frecvență de vibrație nu poate fi folosită pentru funcționarea optimă a sistemului de filtrare a aerului pe baza fenomenului de cavitație ultrasonică.

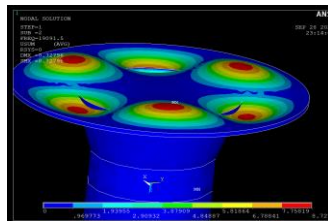


Fig. 10 Frecvența de vibrație $f = 19091 \text{ Hz}$ și modul de vibrație corespunzător ce nu poate fi folosit în funcționarea sistemului vibrator ultrasonor

7.2 Modelarea matematică a transferului optim de energie între sistemul ultrasonic și cuva de cavitație. Determinarea grosimii stratului de adeziv folosit la fixarea transductorului ultrasonic pe fundul cuvei de cavitație

7.2.1 Definirea modelului teoretic al sistemului ultrasonic atașat părții inferioare a cuvei prin adezivul de tip silicon

Funcționarea sistemului ultrasonic la frecvențele la care are loc un transfer optim de energie între acesta și cuva de cavitație este deosebit de importantă pentru că întreg sistemul să ofere un randament optim al procesului de filtrare a aerului.

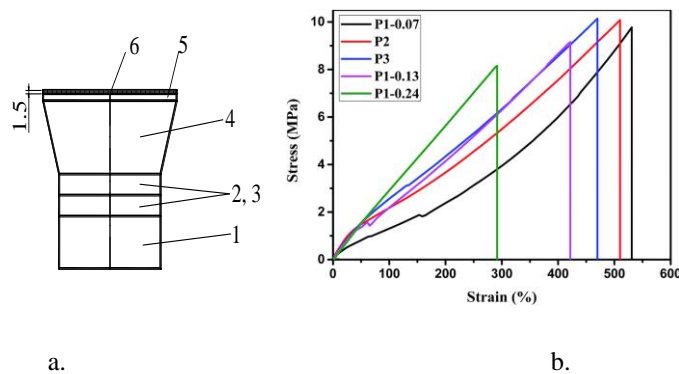


Fig. 11 Transductorul ultrasonic folosit pentru obinerea fenomenului de cavitație ultrasonică:

- a. - elemente componente 1. - reflector ultrasonic; 2,3 - piezoceramic elements;
4 - amplificator ultrasonic; 5- cylindrical element; 6 - strat de adeziv silionic;
b - proprietățile mecanice ale adezivului

Una dintre problemele apărute în timpul construcției sistemului de filtrare a fost aceea a fixării prin lipire a transductorului pe fundul cuvei. Întrucât o fixare rigidă nu este posibilă, singura soluție este aceea de a folosi un material elastic de tip silicon. Acesta prezintă avantajul că poate funcționa până la temperaturi ridicate și este stabil din punct de vedere chimic. Lipirea cu silicon a prezentat însă o problemă foarte importantă deoarece funcție de grosimea stratului de adeziv, fenomenul de transmitere a vibrațiilor de la transductor poate fi în totalitate atenuat sau, în situația favorabilă fie poate fi amplificat.

Cunoașterea grosimii acestui strat de lipire s-a determinat prin modelarea prin metoda elementelor finite. Pentru aceasta modelarea a început de la forma geometrică a transductorului prezentată în figura 7.2 în continuarea căruia s-a realizat depunerea stratului de silicon prezentat în figura 11 a. Proprietățile mecanice ale adezivului folosit, de tip silicon, sunt prezentate în figura 11 b. Proprietățile mecanice ale stratului adeziv (cauciuc silionic) vor fi prezentate în etapa de modelare și simulare a modurilor de vibrație. Cauciucul silionic utilizat la lipirea sistemului ultrasonic de fundul cuvei este unul dintre cele mai promițătoare materiale datorită proprietăților sale unice, inclusiv rezistența

superioară la temperatură și rezistență chimică, rezistență la intemperii, rezistență la îmbătrânire, izolație electrică și biocompatibilitate. În general, modulul de elasticitate al cauciucului silionic este scăzut, iar apariția tensiunilor mecanice în cauciucul silionic provoacă imediat deformări relativ mari, limitând aplicarea acestuia într-o anumită măsură, în special în circumstanțele dinamice.

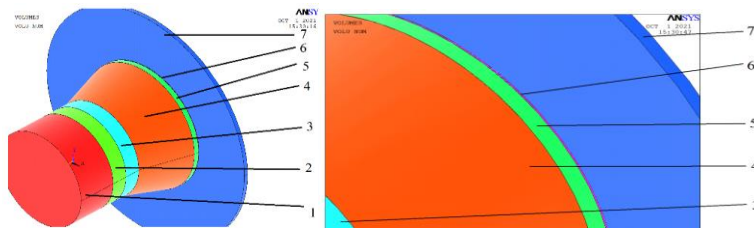


Fig. 12 a. - Prezentarea sistemului ultrasonic utilizat pentru producerea fenomenului de cavitație ultrasonică:

1 – reflector ultrasonic; 2,3 – elemente piezoceramice de tip disc; 4 – amplificator în formă de con; 5 – cilindru de legătură; 6 – adeziv silionic de fixare; 7 – fundul rezervorului de cavitație cu ultrasunete. b. – imagine mărită a zonei de îmbinare dintre transductorul cu ultrasunete și fundul cuvei de cavitație

Modulul de elasticitate al cauciucului silionic poate fi îmbunătățit prin adăugarea de materiale suplimentare față de formula adezivului clasic bazat pe cauciuc. Proprietățile mecanice ale cauciucului silionic au fost obținute de la o mașină de testare universală WDW-5 (KeXin Testing Machine Co., Ltd) [1,2]. În figura 12 se prezintă modelul sistemului ultrasonic format din: două elemente piezoceramice; reflector; amplificator, adeziv silionic de fixare; partea inferioară a rezervorului de cavitație.

Pentru a determina grosimea optimă a stratului adeziv elastic pe bază de silicon s-au avut în vedere trei situații în care grosimea acestui strat (poziția 6) este $h_1 = 0,1$ mm, $h_2 = 1$ mm și $h_3 = 1,5$ mm. Pentru fiecare dintre aceste cazuri a fost efectuată o analiză modală cu ajutorul căreia se studiază transferul oscilațiilor de la traductorul ultrasonic la suprafața metalică a fundului rezervorului unde are loc procesul de cavitație ultrasonică. Studiul tipului și formei oscilațiilor legate de suprafața părții inferioare a rezervorului va permite alegerea grosimii optime a stratului adeziv elastic de tip silicon [4,5,6].

7.2.2.1 Grosimea stratului de adeziv $h_1 = 0.1$ mm

Primul caz studiat se refera la o grosime a stratului de adeziv siliconic (pozitia 6) $h_1 = 0,1$ mm. Figura 13 prezintă (conform analizei modale) moduri de vibrație la frecvențe $f = 30377$ Hz, $f = 30490$ și respectiv $f = 30616$ Hz. O analiză atentă a vibrațiilor din zona stratului de silicon arată că amplitudinea vibrațiilor provoacă deteriorarea acestuia, care nu mai poate îndeplini rolul de element de transmitere a oscilațiilor de la traductorul piezoceramic către partea inferioară a rezervorului.

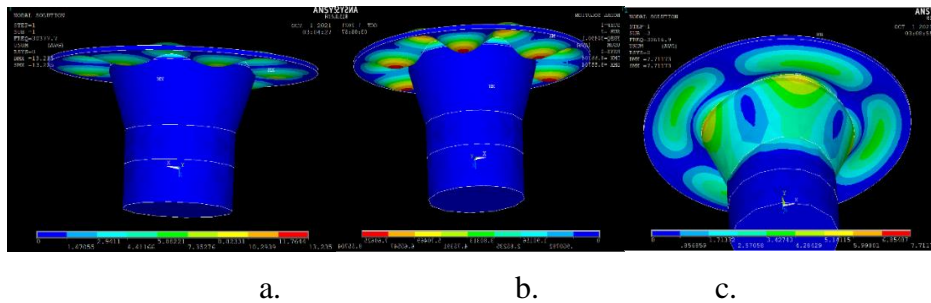


Fig 13. Modurile de vibrație în cazul unei grosimi $h = 0.1$ mm a adezivului de silicon a. $f = 30377$ Hz; b. $f = 30490$ Hz; c. $f = 30616$ Hz.

7.2.2.2. Grosimea stratului de adeziv $h_1 = 1$ mm

În al doilea caz studiat, s-au obținut frecvențele proprii de vibrație $f = 30822$ Hz, $f = 33409$ Hz (Fig. 14).

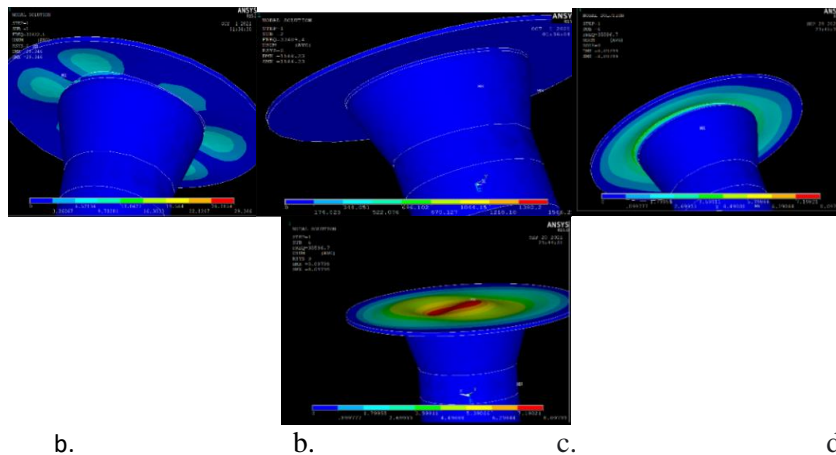


Fig. 14 Moduri de vibrație în cazul stratului adeziv siliconic $h = 1 \text{ mm}$; A. - $f = 30822 \text{ Hz}$; b. - $f = 33409 \text{ Hz}$; c, d - Moduri de vibrație în cazul stratului adeziv siliconic $h = 1,5 \text{ mm}$ $f = 35596 \text{ Hz}$.

Din analiza fiecărei imagini se poate observa cum stratul de silicon nu mai este distrus și îndeplinește, la limită, rolul de element de cuplare între traductor și fundul rezervorului unde are loc procesul de cavitație ultrasonică.

7.2.3.3 Grosimea stratului de adeziv $h_1 = 1.5 \text{ mm}$

Al treilea caz studiat se refera la realizarea unui cuplaj între traductorul piezoceramic și cuva prin folosirea unui strat de adeziv siliconic cu grosimea de $1,5 \text{ mm}$. În acest caz, analiza modală a condus la calculul unei frecvențe utile de vibrație la $f = 35596 \text{ Hz}$ (Fig. 4). După cum se poate observa din figura 5.12, stratul adeziv cu grosimea $h = 1,5 \text{ mm}$ își menține integritatea și realizează în mod optim un transfer de oscilații. În centrul său, traductorul produce vibrații care sunt surse de producere a bulelor de cavitație ultrasonică utilizate în filtrarea industrială a aerului.

În vederea validării funcționării sistemului de filtrare a aerului prin procesul de cavitație ultrasonică, în capitolul 8 intitulat „*Cercetări experimentale privind depoluarea aerului prin fenomenul de cavitație ultrasonică*” s-au prezentat măsurătorile privind calitatea aerului filtrat.

Acestea sunt prezentate în mai multe capitole:

8.1 Parametrii tehnologici ce definesc comportamentul sistemului de filtrare bazat pe cavitația ultrasonică

Pentru a realiza filtrarea aerului prin fenomenul de cavitație ultrasonică instalația proiectată și realizată necesită două dispozitive care :

- modifică presiunea și debitul de aer la admisia acestuia în sistemul de filtrare ;
- Ajută la extragerea aerului filtrat ce se află în spațiul dintre suprafața liberă a apei și capacul cuvei de filtrare, acolo unde acesta se regăsește după procesul de curățire.

8.1.1 Modificarea presiunii aerului ce trebuie filtrat la intrarea în cuva cu apă

Pentru a introduce în cuva cu apă aerul poluat este necesar a se produce o creștere de presiune a aerului întrucât numai așa acesta poate depăși bariera de presiune ce apare când acesta trebuie introdus în cuva cu apă unde are loc filtrarea

acestui. Presiune necesară și debitul de aer, deci în același timp și debitul de substanțe poluante reprezintă elemente necunoscute în realiarea experiențelor.

Dacă presiunea aerului la intrarea în cuvă este prea mică, acesta nu poate forma un amestec cu aerul din cuvă iar fenomenul de cavitație ultrasonoră ce în care germeii de cavitație sunt reprezentați de particulele poluante nu poate avea loc. Procesul de cavitație ultrasonoră se va produce oricum dar nu în sensul filtrării aerului industrial poluat.

În situația în care presiunea aerului este prea mare în interiorul cuvei pot apărea curgeri nelaminare, turbulente, care nu au în niciun caz un rol favorabil în producerea fenomenului de cavitație.

Așadar stabilirea unei presiuni optime a aerului ce vă trebui filtrat reprezintă o cerință foarte importantă a cercetărilor ce trebuie întreprinse în acest sens. Presiunea aerului vă fi una din variabilele viitoarei ecuații de optimizare a procesului de filtrare prin cavitație ultrasonoră.

Creșterea presiunii și debitului de aer ce trebuie filtrat și introdus în cuvă se face cu ajutorul unei pompe cu turație variabilă de tip Casals ce este prezentată în figura 15 [1]. Ventilatorul este destinat transportului aerului ce conține praf sau impurități. Este un ventilator centrifug, de presiune medie cu transmisie directă. Rotorul are palete drepte, curbate înapoi, profilate, sudate, din tablă de oțel, echilibrat dinamic conform ISO 1940. Această echilibrare este deosebit de importantă. Cu toate că vibrațiile sistemului acustic sunt în domeniul ultrasonic ($f \leq 20000$ Hz), nu este de drept să existe suprapuneri cu vibrațiile altor elemente ce funcționează în cadrul sistemului de filtrare. Carcasa este din tablă sudată iar motorul electric este monofazat 230 V la 50 Hz, cu condensator. Motoarele sunt fabricate în conformitate cu standardele IEC 60072 și IEC 60034 și au primit marcajul CE. O altă caracteristică foarte importantă, foarte necesară întrucât sistemul de filtrare funcționează în mediul umed, este clasa de izolare F, cu gradul de protecție IP 55. Debitul de aer este 10.3 m³ pe oră, foarte suficient pentru aplicația realizată în acest caz.

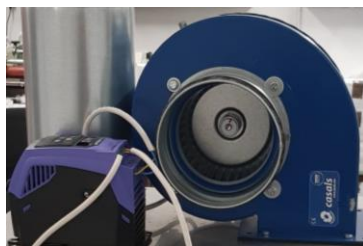


Fig. 15 Pompa de aer de tip Casals folosită pentru introducerea cu presiune a aerului cu noxe în cuva de filtrare

8.1.2 Variația debitului de aer ce trebuie filtrat în vederea introducerii în cuvă

Debitul de aer ce trebuie filtrat reprezintă o a doua variabilă necesară în ecuația determinării calității aerului filtrat prin cavitație ultrasonică. Dacă valoarea acestui parametru este foarte mică randamentul operației de filtrare este mic iar această metodă nu și-ar găsi aplicabilitate. Pe de altă parte, dacă debitul de aer, respectiv de particule poluante este prea mare numărul de bule de cavitație s-ar putea să nu fie suficient de mare pentru că procesul de filtrare să aibă loc în condiții eficiente. În acest sens, acest parametru trebuie reglat astfel încât să se poată vorbi de un proces de filtrare eficient iar debitul de aer să fie introdus în ecuația de optimizare a calității aerului filtrat prin această metodă.

8.1.3 Modificarea și optimizarea debitului de aer filtrat ce urmează a fi eliminat de la suprafața cuvei cu apă

Cel de al treilea parametru ce intervine în optimizarea procesului de filtrare este realizarea unei « depresiuni » ce are loc în volumul dintre suprafața apei din cuva de filtrare și capacul acesteia. . După cum este gândit a avea loc procesul de filtrare a aerului industrial, acesta este supus procesului de filtrare prin apariția bulelor de cavitație ce au ca germeni particulele poluante ce sunt introduse în interiorul cuvei cu apă. După realizarea filtrării aerul curățat ajunge la suprafața apei din cuvă acumulându-se între acesta și capacul cuvei. Pentru că această acumulare de aer să nu realizeze o creștere a presiunii la suprafața apei și astfel să îngreuneze procesul de filtrare și eliminare a aerului filtrat, este necesar că acesta să fie aspirat prin intermediul unui ventilator și trimis în exterior, în atmosferă. Această extragere a aerului filtrat se realizează cu ajutorul unui ventilator prezentat în figura 16 [2].



Fig. 16 Ventilatorul pentru extragerea aerului filtrat de la suprafața lichidului din cuva de filtrare

8.2 Asamblarea și montarea instalației de filtrare în atelierul de tinichigerie - vopsitorie pentru realizarea măsurărilor privind calitatea aerului dizolvat prin fenomenul de cavitație ultrasonică

În prima etapă de cercetare experimentală, instalația de filtrare s-a asamblat separat unde i s-a verificat funcționarea din punct de vedere a fiecărui element în parte ce constituie ansamblul sistemului de filtrare.

În primul rând s-a verificat funcționarea cuvei și anume a sistemului de transductoare ce formează rețeaua de 10 surse de vibrație ce vor produce oscilațiile ultrasonice în interiorul volumului de apă ce constituie elementul filtrant al aerului industrial poluat.

Odată verificată funcționarea transductoarelor ultrasonice plasate pe fundul cuvei, aceasta s-a umplut cu apă, după care s-a montat capacul poziționat în partea superioară a cuvei. Capacul a fost fixat printr-o serie de șuruburi poziționate pe bordura cuvei.

Capacul astfel montat și fixat este prevăzut cu două orificii necesare montării ventilatorului necesar extragerii aerului ce ajunge la suprafața volumului de apă și a turbosuflantei necesară introducerii aerului sub presiune în interiorul volumului de apă. Aerul poluat, ce trebuie filtrat ajunge în volumul de apă al cuvei prin interiorul unui tub din material plastic ce este fixat pe pompa de aer 4 (turbosuflantă) după cum este prezentat și în schema de principiu din figura 4.16.

Pe capacul astfel fixat se montează subansamblul format din tubul de admisie a aerului și pompa de aer. Pentru evacuarea aerului depoluat, tot în această etapă se fixează și ventilatorul de extracție a acestuia notat cu 8 în figura 5.

În figura 17 a și b este prezentată o imagine de ansamblu a sistemului de filtrare bazat pe fenomenul de cavitație ultrasonică. Această imagine corespunde etapei de asamblare a tuturor elementelor sistemului de filtrare.



a.

b.

Fig. 17 Realizarea ansamblului sistemului de filtrare a aerului industrial bazat pe fenomenul de cavitație ultrasonică :
a - vedere frontală ; b - vedere laterală

Sistemul de filtrare bazat pe cavitație acustică astfel realizat a fost instalat în atelierul de vopsitorie al unui service specializat. În figura 18 se prezintă imaginile din timpul instalării și al măsurătorilor privind calitatea aerului. După cum se poate observa, în figura 18 a, este prezentată instalația de filtrare ce este conectată prin tubulatura din partea stângă la zonele unde, în postul de lucru, slefuire, are loc un nivel de poluare ridicat. Tubulatura verticală este conectată la ventilatorul ce extrage aerul filtrat ce este trimis mai apoi în exteriorul atelierului de tinichigerie-vopsitorie. În figura 18b, este prezentată tubulatura de admisie a aerului așezată în zona de filtrare.



a.

b.

c.

Fig. 18 Instalarea sistemului e filtrare a aerului industrial în interiorul unui atelier de tinichigerie-vopsitorie :

a - poziționarea sistemului de filtrare în vederea realizării testelor; b - desfășurarea tubulaturii de captare a noxelor ; c - poziționarea tubulaturii de captare a noxelor în zona de lucru

Pentru măsurarea calității aerului filtrat, în figura 19 se prezintă orificiul executat pentru introducerea furtunului pentru captarea aerului ce va fi analizat la iesirea din sistemul de filtrare. Acest orificiu a fost executat la aproximativ 200 mm pentru a fi în concordanță cu standardele în vigoare.



Fig. 19 Execuția punctului de măsurare a calității aerului în tubulatura de la evacuarea aerului filtrat

9.3 Măsurarea calității aerului într-un atelier de tinichigerie, vopsitorie

Măsurarea calității aerului reprezintă cea mai importantă etapă în demonstrarea eficienței instalației de filtrare a aerului folosind fenomenul de cavitație ultrasonică. După cum se poate vedea în continuare, acest sistem vine și elimină o parte importantă din dezavantajele utilizării sistemelor clasice de filtrare a aerului ce folosesc filtre mecanice.

După cum s-a prezentat în capitolul 3, sistemul clasic de filtrare a aerului utilizează filtre ce prezintă o serie de dezavantaje importante precum :

- au un timp de funcționare relativ scăzut de aproximativ 100 ore ;
- înlocuirea acestora este greoaie și presupune o activitate în care operatorii umani sunt supuși, prin manevrarea filtrelor îmbâcsite, la expunerea la inhalarea de particule foarte nocive sănătății umane ;
- activitatea de înlocuire a filtrelor îmbâcsite este consumatoare de timp ceea ce conduce la scăderea randamentelor de lucru în atelierul de vopsitorie ;
- filtrele mecanice sunt relativ scumpe iar schimbarea acestora la intervale scurte de timp, pe perioade îndelungate va conduce la costuri importante suportate de companie.
- foarte multe din tipurile de filtre utilizate la evacuarea aerului poluat necesită cerințe de temperatură sau umiditate care de multe ori, datorită condițiilor de funcționare nu pot fi îndeplinite.
- activitatea de aprovizionare permanentă cu filtre este și ea la rândul ei o activitate care necesită resurse de timp și umane.
- filtrele îmbâcsite, deja utilizate, reprezintă deșeuri a căror reciclare este deosebit de grea și conduce la poluarea mediului ambiant pe termen foarte lung.

- folosirea sistemelor de filtrare clasice, cu filtre presupune o activitate de proiectare a cabinelor de vopsitorie sau a zonelor de lucru în care sunt necesare spații de poziționare a filtrelor în situație de lucru relativ mari ceea ce conduce la creșterea în dimensiuni a acestora.

Prin folosirea sistemului de filtrare a aerului cu ultrasunete prin fenomenul de cavitație se elimină toate aceste dezavantaje. Investiția inițială, care cu toate că este mai mare, se va amortiza relativ repede în timp iar utilizarea acestui sistem se dovedește a fi o « *tehnologie verde* » pentru o perioadă foarte mare de timp.

În scopul determinării eficacității sistemului de filtrare a aerului prin sistemul ce folosește cavitația ultrasonoră s-au făcut o serie de măsurători ce vor fi descrise în continuare.

9.3.1 Tipul încercărilor executate

Măsurătorile realizate la SC TOP Lac au vizat mai multe serii de parametri ce privesc mediul și calitatea mediului înconjurător.

În vederea determinării calității apei s-au realizat o serie de măsurători după cum urmează :

1. pH ;
2. materii în suspensie ;
3. consum chimic de oxigen - CCOCr;
4. consum biochimic de oxigen-CB05, substanțe extractibile cu solvent ;
5. detergenți-agenți de suprafață anionici.

La măsurătoarea contaminanților aceștia sunt exprimați ca miligrame pe metru cub (mg/m^3) pentru particule și părți pe milion (ppm) pentru gaze. De exemplu, limita maximă de expunere la locul de muncă pentru praful total (inhalabil) este de $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ pe o perioadă de 8 ore. Pentru a avea o valoare orientativă a exprimării unităților de măsură în care se exprima valorile măsurate se poate spune că :

- miligram pe metru cub (mg/m^3) este aproximativ același cu o linguriță de praf răspândită pe suprafața unui teren de fotbal la o înălțime de un metru.

- parte per milion (ppm) este aproximativ aceeași cu conținutul unui balon de petrecere în comparație cu volumul de aer din interiorul a 50 de case cu trei dormitoare.

9.3.1.1 Modul de prelevare și conservare a probelor

Modul de prelevare a probelor s-a făcut conform SR EN ISO5667-1:2007, SR EN ISO 5667-1 :2007/AC :2007, SR EN ISO 5667-3 :2018, SR ISO 5667-10 :1994. Modul de conservare a probelor a fost prin păstrare la rece.

9.3.1.2 Echipamentele folosite pentru realizarea măsurătorilor

Pentru realizarea măsurătorilor s-au folosit următoarele echipamente:

- Multiparametru WTW;
- Etuvă tip EC25 Caloris Group, etuvă Binder FD 115, spectrofotometru CINTRA 6, balanță analitică Mettler Toledo (cu cinci zecimale)

9.4 Rezultatele analizelor fizico-chimice

Rezultatele analizelor fizico-chimice din incinta R1 SC TOP LAC Service COTROCENI SRL București, B-dul Timișoara, nr. 6-8, Sect.6 (Tab.2). Aceste valori au au fost incluse în Raportul de încercare nr. 3043.

Înainte de începerea realizării determinărilor pentru compuși organici volatili și particule în suspensie au fost realizate o serie de măsurători ce sunt necesare activității de evaluare a emisiilor. Conform tabelului 9.5 s-au măsurat :

- Ph-ul atmosferic ;
- Materiile în suspensie ;
- CCOCr ;
- CBO5 ;
- Substanțe extractibile cu solvent ;
- Detergenți de suprafață anionici.

Valorile acestor determinări sunt prezentate în tabelul 9.5.

În același timp sunt prezentate și incertitudinile metodelor de determinare precum și standardele ce au stat la baza acestora.

Tab. 2 Rezultatele analizelor fizico-chimice din incinta R1 SC TOP LAC Service COTROCENI SRL București

Nr. Crt.	Indicator analizat	UM	Simbol probă/ Valori determinate	Incertitudine extinsă relativă, Metodă (k=2), %	Metoda de încercare
			2887		
1	pH	Unit pH	7,7 (la 20.4 ⁰ C)	± 2	SR EN ISO 10523:2012
2	Materii în suspensie	mg/l	88	± 15	SR EN 872:2005
3	CCOCr	mgO ₂ /l	87,58	± 15	SR ISO 6060:96
4	CBO ₅	mgO ₂ /l	34	± 26	SR EN ISO 5815-1:2020
5	Substanțe extractibile cu solvent	mg/l	<20	± 15	SR7587:1996
6	Detergenți-agenti de suprafață anionici	mg/l	3.14	± 20	SR EN 903 :2003

9.4.1 Măsurători privind calitatea aerului în cadrul atelierului de vopsitorie

În cadrul acestei serii de analize s-au realizat măsurători privind :

- Temperatura ;
- Viteza aerului ;
- Umiditate ;
- Presiune ;
- Debitele volumetrice.

9.4.1.1 Metodele aplicate în sensul realizării măsurătorilor

Pentru realizarea măsurătorilor s-au folosit următoarele metode: PI-(v1,r1), SR EN 14790:2017; ISO 10780:1994, SR EN 15259:2008, SR EN ISO 16911-1:2013, SR ISO 14164:2008, ISO 10780:1994, STAS 8421-87 – metode automate.

9.4.1.2 Echipamente folosite

Pentru cea de a doua serie de măsurători s-a folosit un analizor automat TESTO 350 XL de producție germană echipat cu sondă de temperatură, tub Pitot, anemometru. În această schemă s-a realizat măsurarea particulelor de tip PM, după cum se poate vedea în tabelul 7.6. Aceste măsurători au fost incluse în raportul de încercare 3044. Aceste rezultate au fost obținute, că și cele ce se vor prezenta ulterior în diferite condiții de lucru: și anume 50%. 75%. 100% din puterea de la intrare a pompei cât și din puterea ventilatorului la ieșire.

9.4.2 Măsurarea parametrilor fizici ai efluentului gazos rezidual și parametrilor geometrici ai sursei punctiforme de emisie

În condițiile de lucru prezentate au fost realizate două serii de măsurători ce sunt prezentate în tabelele 3 și 4. După cum se poate observa din ambele măsurători, desfășurate în două zile diferite, în condițiile vizice prezentate dimensiunile particulelor măsurate la ieșirea din sistemul de filtrare cu ultrasunete sunt la nivelul de 1.6 μm , nivel aflat sub valorile acceptate de PM 2.5.

Tab.3 Parametrii fizici ai efluentului gazos rezidual și parametrilor geometrici ai sursei punctiforme de emisie- prima serie de măsurători.

Secția	Sursa	Dime nsiuni **	aria **	Viteza	Debit	
		[μm]	mp	m/sec.	Volumetric	
		P.M. G.E.	P.M. G.E.	P.M. G.E.	mc/s	Nmc usc/s
Sistem de filtrare cu ultrasu nete	Inainte de filtru 50% din putere După filtru 50% din putere	Med 1.6	Med 0.02 0.1	Med 1.5 2.3	0.038	0.01 9688
	Inainte de filtru 75% din putere După filtru 75% din putere	Med. 1.6	Med 0.020 1	Med 2.9 2.2	Med 0.051	Med 0.03 7575
	Inainte de filtru 100% din putere După filtru 100% din putere	Med 1.6	Med 0.020	Med 3.5 2.3	Med 0.058	Med 0.03 65
					± 10	± 5

In tabelul 4 se prezintă parametrii fizici ai efluentului gazos rezidual și parametrii geometricii sursei punctiforme de emisie. – a doua serie de masuratori

Tab.4 Parametrii fizici ai efluentului gazos rezidual și parametrii geometrici ai sursei punctiforme de emisie

Secția	Sursa	Dimensiuni**	aria**	Viteza	Debit Volumetric*	
		m	m ²	m/sec.	mc/s	mc/s
		P.M. G.E.	P.M. G.E.	P.M. G.E.		
Sistem de filtrare cu ultrasunete	Inainte de filtru 50% din putere După filtru 50% din putere	Med. 1.6	0.0201	Med 2.65	Med 0.043	Med 0.026
	Inainte de filtru 75% din putere După filtru 75% din putere	Med 1.6	0.0201	Med 2.75	Med 0.055	Med 0.033
	Inainte de filtru 100% din putere După filtru 100% din putere	Med 1.6	0.0201	Med 3	Med 0.06	Med 0.037
Incertitudine extinsă relativă k=2, %		-	-	±10	±15	

*- Debite volumetric calculate

** - încercări neacoperite de acreditarea RENAR

In care P.M. – punctul în care s-au efectuat măsurătorile, G.E. – gura de evacuare în atmosferă

H – înălțimea sursei punctiforme, de la sol la gura de evacuare din atmosferă

Valorile emise în atmosferă la sursele punctiforme sunt centralizate în tabelul 4 și se referă numai la probele supuse încercării. Prelevările/măsurările de poluanți au însumat câte 50 min/sursă. Tabelul prezintă tipurile de poluanți a căror cantitate a fost măsurată și anume :

- Pulberi în suspensie ;
- Compuși organici volatili COV/COT ;
- Oxizi ai azotului NOx

Pentru a realiza o optimizare a procesului tehnologic de filtrare a aerului folosind fenomenul de cavitație acustică, măsurătorile s-au realizat în anumite condiții. Aceste condiții presupun atât puterea pompei ce introduce aerul sub presiune ce trebuie filtrat cât și puterea ventilatorului de extracție a aerului ce a fost filtrat. Astfel pentru ambele variabile de intrare respectiv de ieșire din sistemul de filtrare a aerului s-au considerat procente de 50%, 75% și 100% din puterea (presiunea) de lucru a pompei respectiv a ventilatorului de extracție. Acest lucru s-a considerat a fi necesar din doua puncte de vedere :

- al pompei de introducere a aerului, ce trebuie filtrat, sub presiune întrucât o presiune prea mică nu poate ajuta la pătrunderea poluanților în interiorul apei din cuva de filtrare iar o presiune prea mare poate realiza turbulente în interiorul cuvei ceea ce înseamnă diminuarea considerabilă a realizării procesului de cavitație ultrasonora ;
- al ventilatorului de extracție a aerului filtrat întrucât există posibilitatea că acesta să nu poată părăsi cu ușurință lichidul din cuva datorită presiunii atmosferice ce se exercită din atmosfera pe suprafață liberă a lichidului. Pe de altă parte și o depresiune prea mare realizată la suprafața lichidului de către ventilator, datorate curgerii turbulente a aerului, poate crea în volumul lichidului turbulențe ce împiedică realizarea fenomenului de cavitație ultrasonică. În acest sens s-au considerat deasemenea trei trepte respectiv la 50%, 75% și 100% din puterea de funcționare a ventilatorului.

Pentru fiecare din combinațiile rezultate și prezentate în tabelul 9.8 au rezultat valori diferite ale concentrațiilor poluanților rămași în urma procesului de filtrare a aerului. Astfel, se poate constata că toate valorile înregistrate se află sub limitele admisibile stabilite de standardele naționale și europene.

Tab. 5 Valori de emisie în atmosferă la sursa punctiformă de la TOP Lac Service Cotroceni

Secția /Instalația	Sursa	Poluant	U.M.	Concentrație				VLA
				Dupa filtru 50%	Dupa filtru 75%	Dupa filtru 100 %	Medi a	
Sisteme de filtrare cu ultrasunete	Inainte filtru 50% din putere	Pulberi	mg/Nmc	0.68	0.44	0.42	0.5133	50 mg/nmc
		COV/CO T*	mg/Nmc	20	18	20	19.33	100 mg/nmc
		NOx	mg/Nmc	0.1687	0.1831	0.1485	0.1667	350 mg
	Inainte filtru-75% din putere	Pulberi	mg/Nmc	0.46	0.42	0.41	0.43	50 mg/nmc
		COV/CO T*	mg/Nmc	22	19	18	19.666	100 mg/nmc
		NOx	mg/Nmc	<0.1364	<0.1365	<0.1312	<0.1347	350 mg
	Inainte filtru-100% din putere	Pulberi	mg/Nmc	0.75	0.74	0.74	0.7433	50 mg/nmc
		COV/CO T*	mg/Nmc	26	26	24	25.33	100 mg/nmc
		NOx	mg/Nmc	<0.1363	<0.1369	<0.1362	<0.1364	350 mg

Din primul set de masuratori se constata ca obtinerea unor valori minime ale poluantilor si impuritatilor din aerul industrial ce trebuie filtrat se poate realiza in anumite conditii. Daca se face o mediere a acestora valorile optime de funcționare sunt acelea când pompa ce introduce aerul ce trebuie filtrat funcționează la 75 % din putere și atunci când depresiunea obținută cu ventilatorul de extracție a aerului este maximă adică atunci când acesta funcționează la puterea maximă.

Pentru a vedea dacă sistemul de filtrare funcționează la parametrii ce presupun o filtrare corespunzătoare normativelor în vigoare s-a realizat un al doilea set de determinări în aceleași condiții tehnologice. În tabelul 9.9 se prezintă un al doilea set de măsurători ai poluanților aerului industrial.

Tabelul 6 Valori de emisie în atmosferă la sursa punctiformă de la TOP Lac Service Cotroceni – set 2

Secția/Instalația	Sursa	Poluant	U.M.	Concentrație				VLE
				Dupa filtru 50%	Dupa filtru 75%	Dupa filtru 100%	Media	
Sistem de filtrare cu ultrasunete	După filtru 50% din putere	Pulberi	mg/Nmc	0.28	0.27	0.29	0.28	50
		COV/CO T*	mg/Nmc	12	11	12	10.67	100 mg/nmc
		NOx	m/Nmc	< 0.136	0.136	0.1372	< 0.1364	500
	După filtru-75% din putere	Pulberi	mg/Nmc	0.23	0.22	0.25	0.23	50
		COV/CO T*	mg/Nmc	11	12	10	11	100 mg/nmc
		NOx	mg/Nmc	<0.1364	0.136	0.1373	<0.1364	500
	După filtru-100% din putere	Pulberi	mg/Nmc	0.22	0.21	0.23	0.21	50
		COV/CO T*	mg/Nmc	10	10	11	10.33	100 Mg/nmc
		NOx	mg/Nmc	<0.1363	0.136	0.1373	<0.1363	500

9.5 Concluzii

În prima parte a capitolului, în subcapitolul 7.1 intitulat « **Introducere. Principali poluanți regăsiți în atelierelor de vopsitorie** » se face o scurtă prezentare a problemelor produse de emisiile de COV-uri și a faptului că acest tip de emisii există chiar și în situația folosirii vopselurilor pe bază de apă. În cel de al doilea subcapitol intitulat « **Normative naționale și europene privind generarea compusilor organici volatili** » am prezentat legislația națională și europeană privitoare la valorile limită ale emisiilor poluante ce se regăsesc la nivelul atelierelor de reparații din domeniul auto. Am prezentat astfel :

- Valorile limită maxime ale conținutului de compuși organici volatili pentru produsele de refinisare a suprafețelor vehiculelor
- Metodă permisă pentru produse cu un conținut de COV mai mic decât 15% din masă în absența diluanților reactivi
- Metode permise pentru produse cu un conținut de COV mai mare sau egal cu 15% din masă în absența diluanților reactivi
- Metodă permisă pentru produse care conțin COV în prezența unor diluanți reactivi

În cel de al treilea subcapitol intitulat « **Măsurarea calității aerului într-un atelier de tinichigerie, vopsitorie** » am prezentat măsurătorile poluanților din atelierul de reparații tinichigerie și vopsitorie ce s-au realizat de firma Givaroli SRL, firmă ce posedă toate acreditările necesare pentru realizarea măsurătorilor efectuate.

S-au măsurat astfel :

- pH
- Materii în suspensie

- CCOCr
- CBO₅
- Substanțe extractibile cu solvent
- Detergenți-agenți de suprafață anionici
- Particule materiale
- COV/COT*
- NO_x

Pentru toate aceste determinari s-au măsurat de asemenea condițiile de lucru precum :

- presiune
- umiditate
- temperatura
- debitul de aer
- viteza aerului la intrarea în sistemul de filtrare cu ultrasunete

Pentru a dovedi viabilitatea noului sistem de filtrare a aerului industrial prin cavitație ultrasonică am conceput un sistem de măsurare a calității acestuia ce cuprinde toată gama de aparate de măsurare necesare. În urma măsurătorilor efectuate am constatat că sistemul de filtrare cu ultrasunete bazat pe fenomenul de cavitație corespunde rolului funcțional pentru care a fost proiectat și realizat.

Cu acest sistem de măsurare s-a realizat variația debitului de aer atât înainte de filtrul de aer cât și după filtrul de aer la puteri de 50 %, 75 % respectiv 100 % din capacitatea pompei de aer cât și a ventilatorului folosit la extragerea aerului filtrat.

Pentru a obține condițiile de funcționare optime ale sistemului de filtrare realizat am trasat mai multe curbe de variație a poluanților măsurați din care am obținut o medie de funcționare în condiții optime, cu randament maxim.

Folosind sistemul proiectat și realizat experimental s-a constatat o calitate a aerului ce se încadrează în limitele de poluare acceptate la nivel național și european, legislația românească fiind o transpunere a celei europene.

Se poate spune astfel că sistemul de filtrare a aerului bazat pe producerea fenomenului de cavitație ultrasonică își îndeplinește cu prisosință rolul funcțional pentru care a fost proiectat, rezultatele obținute fiind sub valorile impuse de reglementările naționale sau europene, uneori chiar mult sub limita acestora. Conform legii 462/1993 valorile limita admisibile sunt pentru :

- COV – 100 mg/nmc ;
- NO_x – 350 mg
- Pulberi - 88 mg/l

Toate valorile măsurătorilor și a limitelor admisibile sunt prezentate în tabelele 3,4,5,6.

Ținând cont de tot ce s-a prezentat, se poate spune cu certitudine că noul sistem industrial de filtrare a aerului bazat pe fenomenul de cavitație ultrasonică își îndeplinește rolul funcțional, aducând în același timp anumite avantaje față de sistemele de filtrare a aerului industrial de tip clasic, precum durata de funcționare foarte îndelungată de ordinul anilor, funcționare fără afectarea sănătății și siguranței în muncă a oamenilor, dimensiuni mult mai mici față de filtrele clasice, posibilitatea de a fi orientat tocmai în zone foarte poluante, funcționare simplă, costuri care se amortizează în timp.