

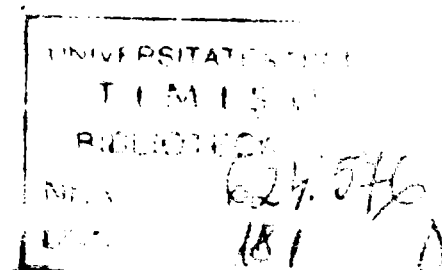
3 00  
21.05.19

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN  
TIMISOARA  
FACULTATEA DE MECANICĂ  
CATEDRA DE TEHNOLOGIA CONSTRUCTIILOR DE MASINI**

**ACTIVAREA CU ULTRASUNETE  
A MEDIILOR LICHIDE DE LUCRU**

**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC,  
Prof.dr.ing. Tudor ICLĂNZAN**

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA



**DOCTORAND,  
s.l.ing. Mihaela CREȚU - NICA**

**1999**

# CUPRINS

<b>INTRODUCERE</b> .....	5
<b>CAPITOLUL I. Considerații generale privind ultrasunetele</b> .....	7
1.1. Oscilații și unde .....	7
1.2. Generatoare de unde ultrasonore .....	13
1.3. Efectele undelor ultrasonore .....	14
1.3.1. Producerea fenomenului cavitațional .....	14
1.3.2. Efectele cauzate de cavitația acustică .....	34
1.3.3. Metode de determinare a unor mărimi caracteristice ultrasunetelor	36
1.3.4. Aplicațiile activării ultrasonice în medii lichide .....	44
1.3.5. Propagarea undelor în medii lichide cu mai multe componente . . . .	60
<b>CAPITOLUL II. Stadiul actual al cercetărilor privind efectele ultrasunetelor</b>	
<b>în mediile lichide</b> .....	61
2.1. Echipamente de activare cu ultrasunete a mediilor lichide .....	61
2.1.1. Principii constructive generale .....	61
2.1.2. Echipamente de activare în volum limitat .....	89
2.1.3. Echipamente de activare în flux continuu .....	95
2.2. Obiectivul tezei de doctorat .....	97
<b>CAPITOLUL III. Cercetări teoretice și experimentale privind</b>	
<b>efectele ultrasunetelor în lichide</b> .....	98
3.1. Cercetări privind particularitățile efectului cavitației ultrasonice .....	98
3.2. Cercetări teoretice și experimentale privind distribuția câmpului ultrasonic	
în băile de activare .....	103
3.3. Cercetări experimentale privind activarea ultrasonică a procesului	
de curățire .....	108

<b>CAPITOLUL IV. Cercetări experimentale privind activarea cu ultrasunete a unor medii lichide și vâsco-elastice folosite în tehnici diverse . . . . .</b>	<b>110</b>
4.1. Cercetări experimentale privind efectul sterilizant al propagării ultrasunetelor prin medii lichide . . . . .	110
4.1.1. Considerații generale privind operația de sterilizare . . . . .	110
4.1.2. Efectul sterilizant al ultrasunetelor cu aplicații în medicină . . . . .	111
□ Sistemul experimental utilizat . . . . .	111
□ Metodologie . . . . .	114
□ Rezultatele cercetărilor experimentale . . . . .	115
4.1.3. Efectul sterilizant al ultrasunetelor cu aplicații în industria alimentară. Tratarea laptelui cu ultrasunete . . . . .	119
□ Considerații generale . . . . .	119
□ Sistemul experimental utilizat . . . . .	120
□ Metodologie . . . . .	120
□ Prelucrarea rezultatelor cercetărilor experimentale, concluzii . . . . .	121
4.1.4. Tratarea berii cu ultrasunete . . . . .	122
□ Sistemul experimental utilizat . . . . .	123
□ Metodologie . . . . .	123
□ Rezultatele cercetărilor experimentale, concluzii . . . . .	123
4.2. Cercetări experimentale privind obținerea emulsiilor prin activare ultrasonică . . . . .	125
4.2.1. Considerații generale privind emulsionarea . . . . .	125
4.2.2. Cercetări experimentale privind emulsia ulei-apă . . . . .	126
□ Sistemul experimental folosit . . . . .	126
□ Metodologie . . . . .	127
□ Prelucrarea datelor . . . . .	127
4.3. Cercetări experimentale privind activarea cu ultrasunete a mediilor lichide și vâscoase urmărind efecte de omogenizare . . . . .	128

-4.3.1. Omogenizarea ultrasonică în flux continuu a laptelui	
<i>provenit din lapte praf</i> . . . . .	128
□ <i>Sistemele experimentale utilizate, descriere, studiu comparativ</i> . . .	129
□ <i>Determinarea unor parametri fizico-chimici și biologici ai laptelui reconstituit din lapte praf în urma tratării cu ultrasunete</i> . . . . .	132
□ <i>Prelucrarea rezultatelor, concluzii</i> . . . . .	132
4.3.2. Omogenizarea și condensarea materialelor dentare vâsco-elastice activate cu ultrasunete . . . . .	137
□ <i>Materiale utilizate</i> . . . . .	137
□ <i>Sistemele experimentale folosite</i> . . . . .	140
□ <i>Metodologia utilizată în cercetările experimentale</i> . . . . .	146
□ <i>Prelucrarea rezultatelor, concluzii</i> . . . . .	152
4.4. Cercetări experimentale privind influența puterii și timpului de activare în procesul de sinteză al poliuretanului rigid . . . . .	158
□ <i>Considerații generale</i> . . . . .	158
□ <i>Sistemele experimentale utilizate</i> . . . . .	159
□ <i>Metodologia utilizată în cercetările experimentale</i> . . . . .	162
□ <i>Prelucrarea rezultatelor</i> . . . . .	163
4.5. Cercetări experimentale în vederea obținerii de aditivi alimentari cu proprietăți protective, antioxidante și antimicrobiene din reziduuri forestiere . . . . .	172
□ <i>Materiale utilizate</i> . . . . .	172
□ <i>Sistemul experimental folosit</i> . . . . .	172
□ <i>Prelucrarea rezultatelor, concluzii</i> . . . . .	173

**CAPITOLUL V. Contribuții la concepția echipamentelor de activare . . . . . 175**

5.1. Optimizarea proiectării concentratoarelor adaptoare de undă . . . . .	175
5.2. Soluții constructive specializate ale echipamentelor de activare . . . . .	179
5.2.1. Echipament de activare în volum limitat . . . . .	180
❖ <i>Dispozitiv de activare cu ultrasunete în volum limitat DAU – 01.</i> . . . . .	180
5.2.2. Echipamente de activare în flux continuu . . . . .	182



- ❖	<i>Dispozitiv de activare cu ultrasunete în flux continuu DAU-02 . . .</i>	<i>182</i>
❖	<i>Echipament de activare ultrasonică în flux continuu EAU-01 . . .</i>	<i>185</i>
❖	<i>Celula de activare interstițială I.C.A.I. . . . . .</i>	<i>186</i>
❖	<i>Echipament de activare ultrasonică în flux continuu EAU-02 . . .</i>	<i>186</i>
5.2.3.	<i>Adecvarea constructiv funcțională a echipamentelor de activare . .</i>	<i>187</i>
5.2.4.	<i>Activator ultrasonic polivalent AUP – soluție constructivă . . . . .</i>	<i>188</i>
5.2.5.	<i>Evaluarea limitelor funcționale impuse unei instalații de activare</i>	<i>189</i>

<b>CAPITOLUL VI. Concluzii finale și contribuții personale . . . . .</b>	<b>191</b>
--	------------

<b>BIBLIOGRAFIE . . . . .</b>	<b>197</b>
-------------------------------	------------

<b>ANEXE . . . . .</b>	<b>204</b>
------------------------	------------

# **INTRODUCERE**

*Ultraacustica fizică și tehnică reprezintă un domeniu interdisciplinar de activitate cu multiple aplicații. Utilizarea ultrasunetelor de mare putere și frecvențe joase-macrosunetele-a consacrat o serie de aplicații cu arie largă de răspândire, cum sunt curățirea și sudarea cu ultrasunete, aplicații speciale cum sunt prelucrarea materialelor dure și fragile, sau deformarea plastică activată a metalelor. Dacă pentru aceste categorii de aplicații procesele și echipamentele sunt relativ cunoscute cu perspective reduse de dezvoltare semnificativă în viitor, domeniul activării cu ultrasunete a mediilor lichide pare a fi mai puțin pus la punct, dar cu un real potențial de dezvoltare. Acest lucru este determinat de multitudinea de aplicații interesante în domenii foarte diferite: industria alimentară, biologie, medicină, chimie, hidraulică etc., de aparenta simplitate și costul relativ scăzut al echipamentului ultrasonic utilizat.*

*Prezenta lucrare este un rezultat al activității susținute a autorului în domeniul ultrasunetelor, sintetizată în cercetări proprii, verificate în laborator și valorificată parțial prin sesiuni de comunicări științifice, lucrări publicate în reviste de specialitate și contracte de colaborare cu unități economice.*

*În contextul celor de mai sus, obiectivele tezei vizează cercetările teoretice și experimentale legate de :*

- *studiul documentar privind propagarea și efectele ultrasunetelor în lichide vâscoase;*
- *studiul sistemelor de generare a ultrasunetelor;*
- *studiul sistemelor de activare cu ultrasunete a mediilor vâsco-elastice;*
- *concepția, realizarea și încercarea unor standuri și modele experimentale pentru activarea cu ultrasunete a proceselor de :*
  - *curățire*
  - *sterilizare (medii biologice, produse alimentare)*
  - *emulsionare*
  - *omogenizare (produse alimentare, materiale dentare)*
  - *sinteză (spume poliuretanică)*
  - *extracție de componente aromatici ( din reziduuri lingocelulozice) cu potențial antioxidant*
- *cercetări experimentale privind activarea cu ultrasunete a proceselor enumerate anterior.*

*Teza de doctorat este organizată pe 6 capitole, reunind un număr de 203 pagini, 170 figuri și tabele, 26 anexe și 156 referințe bibliografice.*

*Realizarea bazei materiale și activitatea de cercetare experimentală s-a desfășurat în atelierele și laboratoarele catedrei de Tehnologia Construcțiilor de Mașini din cadrul Facultății de Mecanică din Timișoara.*

*Unele din rezultatele cercetărilor efectuate pot fi utilizate pentru formarea unor baze de date proprii pentru întreprinderi și institute de cercetări implicate în activarea cu ultrasunete a unor procese desfășurate în medii lichide vâscoase. O bună parte din cercetările cuprinse în prezenta lucrare s-au concretizat în :*

- 6 contracte de cercetare cu Ministerul Educației Naționale, CNCSU ;Institutul de Chimie Alimentară București ;*
- 18 lucrări științifice publicate în volumele unor sesiuni de comunicări,simpozioane, conferințe naționale și internaționale ;*
- 15 standuri și modele experimentale care se constituie în bază materială pentru dezvoltarea cercetărilor în domeniu, cât și pentru desfășurarea unor activități didactice aplicative în cadrul disciplinelor de B.C.E., T.C.M., Procedee de prelucrare electrofizice etc.*

*Având convingerea că lucrarea constituie un pas înainte pe calea perfecționării sistemelor tehnologice de activare cu ultrasunete a mediilor lichide și de lărgire a domeniilor de utilizare a ultrasunetelor, doresc să mulțumesc pe această cale tuturor celor cu care am colaborat pe parcursul elaborării ei.*

*Doresc să mulțumesc în mod deosebit D-lui Prof. dr. ing. Tudor Iclănzan, în primul rând pentru formarea mea profesională și apropierea de domeniul ultrasunetelor încă din perioada studenției ( tema proiectului de diplomă a fost "Echipament pentru activarea ultrasonică a mediilor lichide") și pentru conducerea atentă și competentă în calitate de conducător științific, atât în perioada pregătitoare, cât și în cea de realizare și finalizare a prezentei teze de doctorat.*

*Mulțumiri conducerilor și colectivelor catedrelor de Tehnologia Construcțiilor de Mașini și Geometrie Descriptivă și Desen Tehnic pentru sprijinul colegial pe care mi l-au acordat.*

*Nu în ultimul rând adresez mulțumiri conducerii Facultății de Mecanică pentru asigurarea cadrului organizatoric legal de realizare a lucrării.*

# CAPITOLUL I

## CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND ULTRASUNETELE

### 1.1. OSCILAȚII ȘI UNDE

#### 1.1.1. Oscilația sistemelor elastice

Ultrasunetele reprezintă oscilații elastice ale unui mediu material, ale căror frecvențe de oscilație depășesc 16 kHz. Pentru propagarea oscilațiilor (vibrațiilor) elastice este necesară prezența unui mediu material, adică prezența legăturilor elastice între particulele substanței. La trecerea undei prin mediu particulele se abat de la poziția de echilibru. Dacă una dintre particule este scoasă din poziția de echilibru, acțiunea forțelor elastice din partea celorlalte particule tinde să o readucă în poziția inițială. Prezența forțelor de inerție este urmarea faptului că particulele continuă să oscileze în jurul unei poziții medii chiar și după trecerea undei.

Mărimile caracteristice ale undelor ultrasonice sunt următoarele:

- perioada de oscilație  $T$  [s] - reprezintă o oscilație completă a particulei materiale;
- lungimea de undă  $\lambda$  [m] - este spațiul parcurs de undă în  $T$ ;
- frecvența de oscilație  $f$  [Hz] - reprezintă numărul de oscilații într-o secundă;
- viteza undei  $c$  [m/s] - este spațiul parcurs în unitatea de timp de perturbație în mediul elastic.

Între aceste mărimi există următoarele relații:

$$f = \frac{1}{T}; \quad \lambda = \frac{c}{f} = cT$$

- presiunea acustică  $p$  [ $N/m^2$ ] - reprezintă diferența dintre presiunea totală  $p_t$  din mediul de propagare și presiunea statică  $p_0$  a mediului în lipsa propagării undelor;
- puterea acustică  $P = A \cdot p_e / c$  [W]  
în care:  $A$  = aria prin care se propagă undele [ $m^2$ ]  
 $p_e$  = presiunea acustică efectivă [ $N/m^2$ ]
- intensitatea acustică  $I = \frac{P}{A}$  [ $W/m^2$ ] - este puterea acustică transmisă prin unitatea de arie radiantă.

În orice-moment corpul oscilant posedă o valoare bine determinată pentru deplasare, viteză și accelerație. Fie momentul  $t = 0$  la care corpul a fost scos din poziția de echilibru și a început să oscileze. La momentul  $t$ , valoarea instantanee a deplasării va fi egală cu:

$$x = A \sin \omega t = A \sin 2\pi f t \quad (1.1)$$

unde:  $A$  este amplitudinea oscilației.

Expresia (1.1) reprezintă ecuația mișcării armonice oscilatorii [5, 13, 50].

Viteza de deplasare instantanee este egală cu derivata deplasării funcție de timp:

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega A \cos \omega t \quad (1.2)$$

Valoarea maximă a vitezei de oscilație are loc pentru  $\cos \omega t = 1$

$$v_m = \omega A = 2\pi f A \quad (1.3)$$

Derivând față de  $t$  relația (1.2) se obține expresia pentru accelerația punctului material oscilant:

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \sin \omega t \quad (1.4)$$

Valoarea maximă a accelerației este:

$$a_m = -A\omega^2 = -\dot{\omega} v_m \quad (1.5)$$

Din relațiile (1.2) și (1.4) se observă că viteza și accelerația punctului care execută o mișcare oscilatorie armonică sunt funcții periodice de timp, având aceeași perioadă  $T$ ; viteza crește proporțional cu frecvența, iar accelerația crește cu pătratul frecvenței.

Pentru ca un corp să efectueze o mișcare oscilatorie armonică, asupra lui trebuie să acționeze o forță îndreptată întotdeauna spre poziția de echilibru, iar ca mărime trebuie să fie direct proporțională cu deplasarea din această poziție:

$$F = m \cdot a_m = -m \cdot \omega^2 \cdot x = -k \cdot x \quad (1.6)$$

unde:  $k = m\omega^2$  este coeficientul de rigiditate a sistemului oscilant;  
 $m$  - masa corpului oscilant.

Fie  $m$  o masă oarecare concentrată într-un volum foarte mic care efectuează o oscilație armonică. Energia totală a unui astfel de sistem mecanic se compune din energia cinetică și potențială în procesul de oscilație, mărimea lor variind periodic.

Energia cinetică a sistemului are expresia:

$$E_c = mv^2 / 2 = (m\omega^2 A^2 \cos^2 \omega t) / 2 \quad (1.7)$$

Energia potențială a sistemului asupra căruia acționează forța  $F = kx$  este:

$$E_p = kx^2 / 2 = (m\omega^2 A^2 \sin^2 \omega t) / 2 \quad (1.8)$$

Energia totală va fi:

$$E_t = E_c + E_p = m\omega^2 A^2 / 2 \quad (1.9)$$

Din expresia (1.9) rezultă că energia totală a mișcării oscilatorii armonice este direct proporțională cu pătratul amplitudinii și cu pătratul pulsației oscilațiilor.

Dacă sistemul oscilatoriu se află într-un mediu oarecare, atunci energia sa se consumă prin învingerea forțelor de frecare, prin aceasta amplitudinea și viteza mișcării oscilatorii scad treptat. Astfel de oscilații se numesc amortizate. Legea variației amplitudinii oscilațiilor amortizate depinde de mărimea și caracterul forțelor de rezistență, care la rândul lor depind de proprietățile mediului.

Amplitudinea oscilațiilor se schimbă în timp după o lege exponențială de forma:

$$A = A_0 \cdot e^{-\delta t} \quad (1.10)$$

unde:  $\delta$  este coeficient de amortizare (definește viteza descreșterii amplitudinii oscilațiilor în timp).

Dacă asupra unui sistem oscilatoriu se acționează cu o forță exterioară, în sistem apar oscilații forțate, a căror amplitudine este direct proporțională cu amplitudinea forței aplicate. Amplitudinea oscilațiilor forțate atinge un maxim la o frecvență a forței aplicate care satisface relația:

$$\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2} \quad (1.11)$$

unde:  $\omega_0$  este frecvența de rezonanță a sistemului.

Apariția maximului amplitudinii oscilațiilor forțate constituie fenomenul de rezonanță.

La aplicarea oscilațiilor ultrasonice în procesele tehnologice fenomenul de rezonanță este deosebit de important deoarece, pentru obținerea unui efect maxim este important ca sistemul oscilatoriu să funcționeze în regim de rezonanță.

Amplitudinea maximă la rezonanță este:

$$A_r = (F_0 / m) \left( 2\delta \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \right) \quad (1.12)$$

unde:  $F_0$  este amplitudinea forței aplicate sistemului.

Modul de comportare la rezonanță a unui sistem oscilatoriu poate fi caracterizat prin factorul de calitate  $Q$ , definit astfel:

$$Q = \omega_r m / r = \pi f_r \delta \quad (1.13)$$

unde:  $r$  este factor de proporționalitate pentru rezistența mecanică a mediului.

Cu cât valoarea lui  $r$  este mai mică, deci și coeficientul de amortizare este mai mic, cu atât mai ridicată este valoarea factorului de calitate și ca urmare, mai ascuțită apare forma curbei de rezonanță.

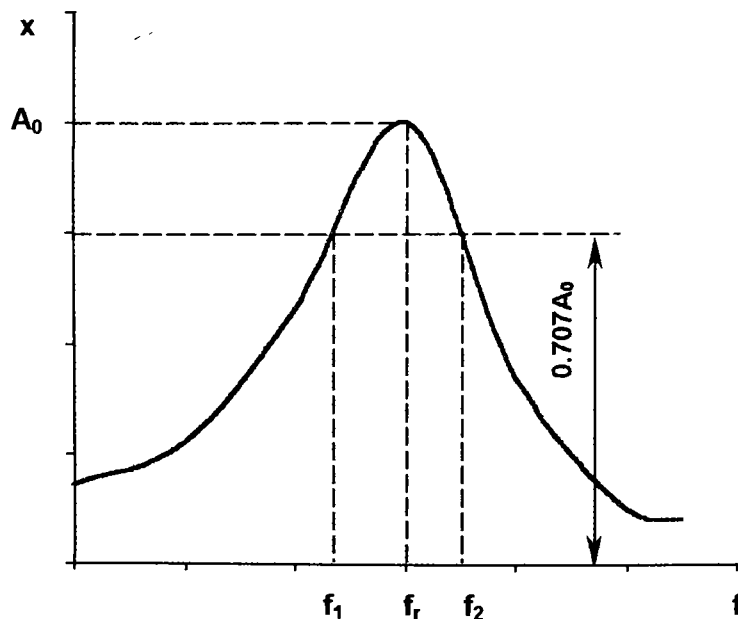


Fig.1.1

Factorul de calitate mai poate fi exprimat prin relația (conform figurii 1.1):

$$Q = f_r / (f_1 - f_2) = \omega_r / (\omega_1 - \omega_2) \quad (1.14)$$



### 1.1.2. Unde acustice

Oscilația unui punct material creează în mediul înconjurător tensiuni elastice, care la rândul lor provoacă oscilația particulelor învecinate, transmițând mai departe oscilația. Fenomenul de propagare a oscilațiilor în mediu, din aproape în aproape, cu viteză finită, este denumit undă. În funcție de direcția de oscilare a particulelor mediului elastic în raport cu direcția de propagare a undei, cu natura și dimensiunile mediului prin care se propagă se definesc mai multe tipuri de unde: longitudinale, cvasilongitudinale, transversale, de suprafață (Rayleigh), de încovoiere, de torsiune. În cazul undelor longitudinale, traiectoria este liniară și deplasarea particulelor se produce în direcția propagării undelor. Asemenea unde se pot propaga prin orice mediu elastic, fie el gazos, lichid sau solid.

Când fronturile de undă sunt suprafețe sferice, având centrul într-un punct care coincide cu sursa (sursă punctuală), aceste fronturi dau naștere la unde sferice. Dacă se consideră suprafețele sferice la distanțe foarte mari în raport cu sursa care le-a produs, fronturile de undă pot fi asimilate cu unde plane, perpendiculare pe direcția de propagare. Caracteristica principală a acestor unde este aceea că presiunile acustice și deplasările particulelor se transmit într-un plan perpendicular pe direcția de propagare cu aceeași fază și aceeași amplitudine. Undele plane sunt cel mai simplu tip de undă, dar cu cea mai largă aplicare în practică.

#### □ Ecuația undelor longitudinale plane

În scopul deducerii ecuației generale a undelor plane se pornește de la premisa că unda acustică se propagă într-un mediu perfect elastic, liniar, omogen, izotrop și conservativ. Ecuația se obține luând în considerare legea mișcării, legea continuității și proprietățile termodinamice ale gazelor.

Astfel, se consideră o bară rectilinie de secțiune constantă  $S$  (fig.1.2). Prin deformarea de tip longitudinal, pe direcția  $Ox$ , secțiunile normale pe axa longitudinală a barei se deplasează paralele cu ele însele.

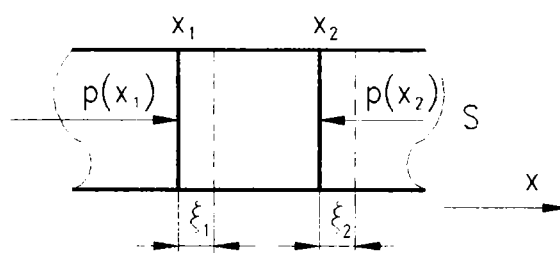


Fig.1.2

Astfel, dacă la momentul  $t = 0$  secțiunea ocupă poziția  $x_1$ , la momentul  $t$  ea va trece în poziția  $x_1 + \xi_1$ , astfel se obține funcția  $\xi(x,t)$  ce reprezintă deplasarea secțiunii de abscisă  $x$  la momentul  $t$ .

Aplicând legea lui Hooke pentru bara de secțiune constantă considerată se obține relația:

$$p = -E \frac{\partial \xi}{\partial x} \quad (1.15)$$

în care:  $p$  este efortul unitar și reprezintă forța pe unitatea de suprafață cu care mediul (restul barei) acționează asupra unei porțiuni de bară;  
 $E$  - modulul de elasticitate.

Ecuția undelor longitudinale în bare de secțiune constantă se obține scriind legea lui Newton pentru o porțiune de bară de grosime  $dx$  și masă specifică  $\rho$ :

$$\rho \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} dx = p(x) - p(x + dx) = -E \left[ \frac{\partial \xi}{\partial x} \Big|_x - \frac{\partial \xi}{\partial x} \Big|_{x+dx} \right] \quad (1.16)$$

care devine:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad (1.17)$$

#### □ Propagarea undelor acustice

Producerea și propagarea undelor acustice presupune, așa cum s-a arătat anterior, existența unor medii continue și deformabile, a căror cunoaștere este de mare importanță teoretică și mai ales practică.

Relația (1.17) ce definește ecuația undelor longitudinale permite determinarea vitezei de propagare a unei unde longitudinale într-un mediu liniar, izotrop, omogen și conservativ:

$$c_l = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1.18)$$

unde:  $E$  este modulul de elasticitate;  
 $\rho$  - densitatea mediului.

Dacă în relația (1.18) se înlocuiește modulul de elasticitate  $E$  cu modulul de forfecare  $G$  se obține expresia vitezei undelor transversale:

$$c_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1.19)$$

✧ Deoarece  $G < E$  rezultă că undele transversale au în medii elastice viteza mai mică decât undele longitudinale.

Dacă se ia în considerare că oscilațiile se produc adiabatic, adică viteza de variație a presiunii este atât de mare încât se poate neglija schimbul de căldură dintre straturile aflate în vecinătate, viteza de propagare este definită de compresivitatea adiabatică -  $K$  - și de densitatea mediului lichid:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho K}} \quad (1.20)$$

sau

$$c = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}} \quad (1.21)$$

în care:  $\beta$  este modul de compresibilitate.



În cazul barelor cu secțiune variabilă și masă distribuită în lungul lor forțele de inerție provoacă în timpul vibrației o anumită distribuție a deplasărilor și tensiunilor mecanice funcție de timp  $t$  și coordonata  $x$  (fig. 1.3).

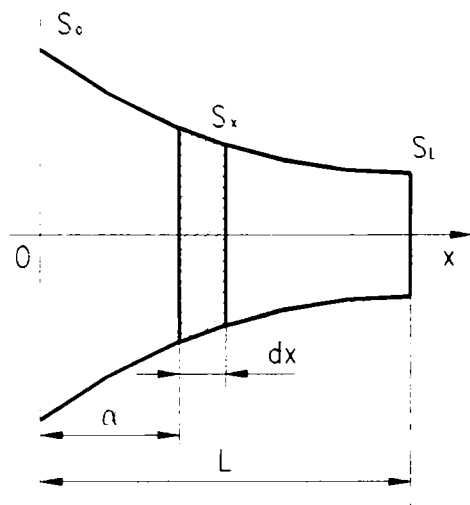


Fig. 1.3

Unda longitudinală se propagă în conductorul acustic după direcția axei  $Ox$ , dinspre capătul cu secțiune mare înspre interior. Elementul de volum al conductorului supus vibrației sub acțiunea undelor este:

$$dV = S_x \cdot dx \quad (1.22)$$

în care  $S_x$  este aria secțiunii situate la distanța  $x$  de extremitatea conductorului cu secțiunea mică.

Pentru sistemul material - bară cu secțiune variabilă - perfect elastic, cu coeficient de frecare internă  $\mu = 0$ , ecuația generală de propagare a undelor longitudinale este dată de relația:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{1}{S} \cdot \frac{\partial S}{\partial x} \cdot \frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (1.23)$$

Se observă că ecuația undelor va lua diferite forme după modul în care variază secțiunea în lungul conductorului. Această variație poate fi liniară, exponențială, parabolică, catenoidală, în care caz conductorul are formă conică, exponențială, etc.

Conductorii acustici cu secțiune variabilă au numeroase aplicații: transmit energie acustică în direcția dorită, produc egalarea impedanței sursei cu cea a mediului în care aceasta radiază, respectiv modifică energia transmisă de sursă.

Soluția ecuației diferențiale de gradul II în cazul oscilației armonice este:

$$\xi = \xi_m \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right) \quad (1.24)$$

în care:  $\xi_m$  este amplitudinea deplasării [m];

$\omega = 2\pi f$  este pulsația [rad/s];

$\lambda$  - lungimea de undă [m].

Viteza de oscilație a particulei este dată de relația:

$$v = \frac{\partial \xi}{\partial t} = -\omega \xi_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right) \quad (1.25)$$

Considerând mai multe ipoteze simplificatoare: ipoteza secțiunii plane, existența unor oscilații numai longitudinale (lipsa oscilațiilor transversale parazite), omogenitatea materialului etc. ecuația generală (1.23) devine:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{1}{S} \cdot \frac{\partial S}{\partial x} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + k^2 v = 0 \quad (1.26)$$

în care:  $k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi f}{\lambda f} = \frac{2\pi}{\lambda}$  este numărul de undă.

Ecuatiile diferențiale de ordinul II (1.23) și (1.26) descriu variația amplitudinii de oscilație  $\xi(x)$ , respectiv a vitezei de oscilație  $v(x)$  în lungul unui concentrator adaptor de undă - bară cu secțiune variabilă - când prin acesta se transmit vibrații longitudinale.

## 1.2. GENERATOARE DE UNDE ULTRASONICE

### 1.2.1. Noțiuni generale privind construcția sistemelor ultraacustice

În cazul undelor ultrasonore oscilațiile sunt produse de un echipament specific determinat de aplicația tehnologică. Proiectarea și execuția unui astfel de sistem acustic necesită o analiză a întregii linii de energie radiantă, pornind de la generator și terminând cu elementul din incinta de utilizare a ultrasunetului. Soluțiile adoptate trebuie să conducă la micșorarea pierderilor de energie acustică în fiecare componentă a sistemului acustic, urmărindu-se o bună impedanță de ajustare între componente, precum și amplasamente de lucru și legături acustice care să suporte sarcinile statice și dinamice impuse de condițiile de exploatare. O mare importanță prezintă, de asemenea, determinarea parametrilor energiei acustice în orice proces, pentru a putea aplica corecțiile necesare optimizării tehnologiei.

În cadrul cercetărilor teoretice și experimentale desfășurate, privind utilizarea ultrasunetelor în multiple aplicații industriale, alegerea echipamentului ultrasonic adecvat este determinantă.

În figura 1.4 se prezintă schema generală de principiu a unui sistem ultrasonic, precum și principalele părți ce o compun.

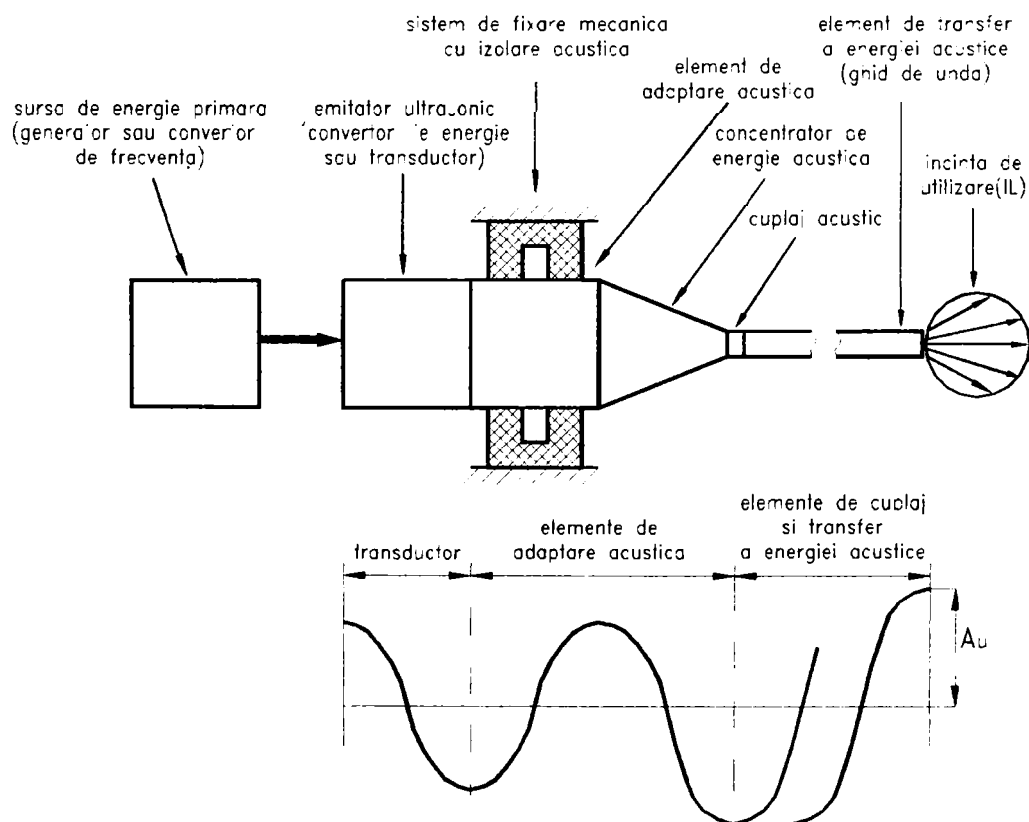


Fig. 1.4

Generatorul de ultrasunete este o sursă de energie primară și este o construcție electronică, realizată pe principiul fie generării și amplificării de semnal, fie pe cel al comutației și pe baza energiei electrice absorbite generează la ieșire tensiune sau curent de intensități mari la frecvențe de oscilație ultrasonice.

Transductorul ultrasonic are rolul de a transforma oscilațiile de frecvență ultrasonoră în oscilații mecanice de aceeași frecvență ce sunt transmise apoi concentratorului.

În componența capului ultrasonic, concentratorul ultrasonic constituie o verigă de legătură între transductor și obiectul de transfer cu scopul de a mări amplitudinea de oscilație și de a asigura un acord de impedanță acustică între transductor și sarcina din spațiul de lucru. La alegerea formei concentratoarelor trebuie găsită o soluție de compromis între mărimea amplitudinii de oscilație și valoarea tensiunii mecanice maxime variabile, care este periculoasă pentru ruperea prin oboseală [29,117].

Activarea ultrasonică a lichidelor se poate realiza atât în volum limitat (fig.1.5 a,b) cât și în flux continuu (fig.1.6):

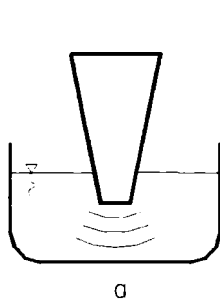


Fig.1.5

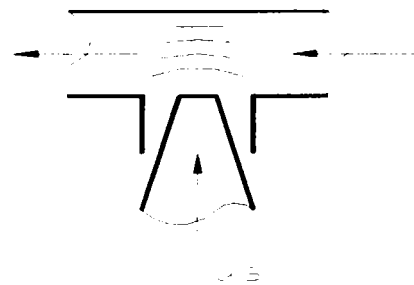
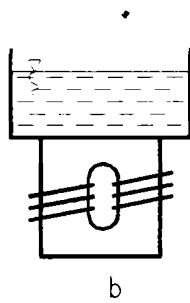


Fig.1.6

### 1.3. EFECTELE UNDELOR ULTRASONORE

#### 1.3.1. Producerea fenomenului cavitațional

- **Generalități**
- Fenomenul de cavitație ultrasonică

În termeni generali prin cavitație se înțelege fenomenul ce constă din ruperea unui lichid și refacerea imediată a acestuia, sub acțiunea unor tensiuni suficient de mari sau a unor variații rapide și puternice de presiune. Ea poate lua naștere odată cu propagarea unei unde ultrasonice de frecvență și intensitatea convenabile într-un lichid.

Sub acțiunea schimbărilor de presiune, întocmai ca și sub influența schimbărilor de temperatură, distanța mijlocie dintre particulele mediului variază, iar atunci când această depărtare atinge o anumită valoare, se produce o ruptură a lichidului. Aceasta se întâmplă în momentul în care presiunea acustică este negativă și anulează presiunea corespunzătoare forțelor de coeziune dintre particulele lichidului. Ruperea de ordin microscopic a mediului este urmată în acele locuri de apariția unor goluri sau cavități. Ruptura nu se produce simultan în toată masa lichidului, ci în punctele de slabă rezistență, provocată de neomogenitate, numită germen de cavitație sau nucleu. Deci prezența în masa lichidului a neomogenității sau microbulelor este condiția de producere a cavitației.

Comportarea bulelor de cavitație după ce s-a produs rupura lichidului este descrisă prin următoarele faze:

- a. faza de demaraj: sub acțiunea unor unde acustice de frecvență corespunzătoare (de exemplu 10KHz) bula de cavitație își mărește volumul prin umplerea cu gazul sau aerul care se găsea în locul respectiv în momentul formării ei (cavitație gazoasă) sau cu vaporii rezultați prin evaporarea ce se produce la suprafața interioară a peretelui (cavitația de vaporii sau cavitația pură);
- b. bula se dezvoltă până la o anumită mărime, care la o presiune hidrostatică dată depinde de durata dezvoltării bulei și de frecvența ultrasunetului;
- c. după dilatarea relativ lentă a bulei, ea suferă o comprimare bruscă, distrugându-se (implozie). Gazul sau vaporii aflați în interiorul bulei se comprimă adiabatic, temperatura putând ajunge până la aproximativ 10.000°C. Timpul de includere a bulei de cavitație sau implozia este inferior timpului dezvoltării acesteia;
- d. ca urmare a distrugerii bulei de cavitație se formează o undă de șoc a cărei intensitate este determinată în primul rând de mărimea razei maxime pe care o avea bula înainte de procesul de implozie.

Între mărimile implicate în inițierea și desfășurarea procesului cavitațional există o relație de directă proporționalitate.

Astfel, pentru o valoare dată a frecvenței ultrasunetului, raza maximă a bulei de cavitație depinde de presiunea acustică; rezultă o creștere a intensității undei de șoc odată cu creșterea valorii presiunii acustice.

Presiunea acustică maximă corespunzătoare undei de șoc, la o distanță  $r = 1,587 R$  se poate determina cu relația:

$$P_{max} = \frac{p}{4^{4/3}} \left( \frac{R_{max}}{R} \right)^3 \quad (1.27)$$

Relația frecvență - intensitate ultrasonică este, de asemenea, în directă proporționalitate. Cu cât frecvența ultrasunetului este mai mare, cu atât sunt necesare intensități mai mari ale ultrasunetului pentru ca fenomenul cavitațional să aibă loc. Problema apariției acestui fenomen a preocupat un număr însemnat de cercetători. O sintetizare a rezultatelor cercetărilor efectuate până în prezent [7,123,124] conduc la o dispersie a valorilor obținute experimental, aceasta datorită faptului că pentru o frecvență determinată presiunea acustică limită necesară producerii cavitației depinde de o serie de factori care se referă fie la natura lichidului, fie la condițiile în care a avut loc experimentarea (vâscozitatea și puritatea lichidului, cantitatea de gaze conținută în el etc.).

#### □ Cercetări teoretice și experimentale privind cavitația ultrasonică [68,88,122]

Fenomenul de cavitație generat de activarea mediilor lichide cu ultrasunete este, prin multiplele sale efecte, elementul determinant al diverselor aplicații posibile. Cunoașterea fenomenului este foarte importantă, iar în cele ce urmează se va face o sinteză a celor mai reprezentative cercetări ale acestui proces [88,122,123].

## Rezistența lichidelor

Sub influența presiunii sau temperaturii distanțele medii dintre molecule într-un lichid se modifică. Pentru fiecare lichid există o presiune negativă specifică sau o valoare a temperaturii pentru care aceste distanțe ating valori critice. Dacă se depășesc aceste valori, are loc “ruperea” lichidului.

Energia produsă de tensiunea de suprafață  $\sigma$  (energie de suprafață) poate fi determinată ca raport între energia potențială excedentară și suprafață. Această energie poate fi comparată cu raportul dintre energia de vaporizare a lichidului și unitatea de volum, obținând astfel distanța  $R$  dintre particulele adiacente în condițiile în care sunt încă prezente forțele (tensiuni) de suprafață. Astfel, pentru apă această distanță este  $R = 10^{-8}$  cm. Pentru ca lichidul să se “rupă” este necesar ca între particulele acestuia să existe o distanță egală cu dublul spațiului dintre moleculele adiacente.

Lichidul poate suporta, așadar, o presiune maximă:

$$P_t = \frac{2\sigma}{R} \quad [\text{atm}] \quad (1.28)$$

O altă relație de calcul a presiunii maxime  $P_t$  este următoarea:

$$P_t = P_v - 44\sqrt{\frac{\sigma^2}{T}} \quad [\text{atm}] \quad (1.29)$$

în care:  $P_v$  este presiunea vaporilor în cavitate;  
 $T$  - temperatura absolută.

Calcululele privind stabilirea valorii lui  $P_t$  în apă pură, pentru care are loc “ruperea” lichidului au condus la valori  $P_t \cong 10^3$  atm.

În figura 1.7 sunt cuprinse o serie de valori determinate experimental [18,60,122] pentru presiunea acustică negativă minimă  $P_K$  corespunzătoare apariției cavitației  $P_K = P_t$  în apă distilată, apă de robinet și apă impregnată cu aer, măsurări realizate pentru diferite frecvențe acustice.

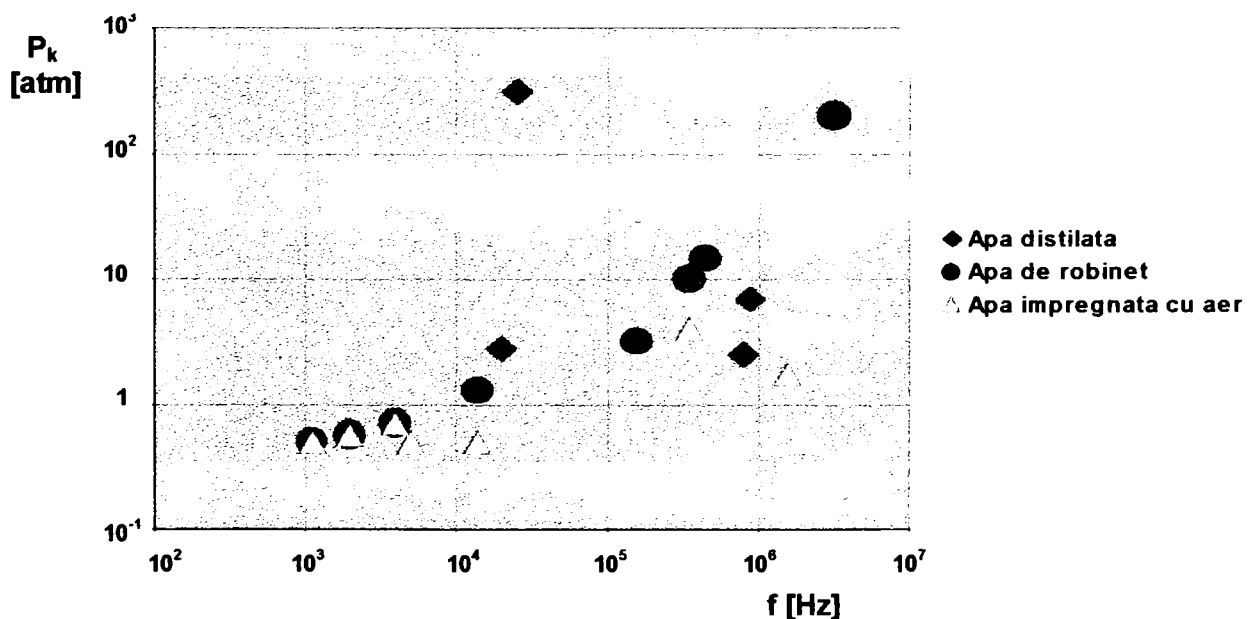


Fig. 1.7



Valoarea presiunii  $P_i$  stabilită pe baza relației (1.29) este substanțial mai ridicată față de valoarea stabilită experimental. Această discrepanță se atribuie prezentei în apa reală a diferitelor impurități insolubile care diminuează rezistența lichidului.

### Nucleul cavitațional

Este cunoscut faptul că într-un lichid sunt prezente, pe lângă impuritățile dizolvate, și particule ce cad în lichid din atmosferă sau de pe pereții vasului. Astfel, din diverse impurități conținute de lichid, doar bulele de gaz din particulele insolubile, sau bulele existente în mod independent pot modifica substanțial rezistența lichidelor.

Cercetările experimentale au arătat că degazarea lichidului sau aplicarea preliminară a unei presiuni hidrostatice ridicate conduc la creșterea rezistenței lichidului.

Moleculele de apă sunt înconjurate de ioni ca  $Mg^{2+}$ ,  $Li^+$ ,  $Na^+$  care formează o grupare hidrată ce determină o creștere a densității apei (hidroliză pozitivă) și de alți ioni ca:  $K^+$ ,  $Cs^+$ ,  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $I^-$  care scad densitatea apei (hidroliză negativă).

Dacă într-un lichid injectăm artificial o soluție corespunzătoare hidrolizei negative este de așteptat ca raza bulei să crească, iar rezistența lichidului va descrește sub influența creșterii forțelor lui Columb.

În figura 1.8 este evidențiată dependența presiunii acustice cavitaționale  $P_K$  (presiunea acustică negativă minimă la care se produce fenomenul cavitațional) de concentrațiile soluțiilor LiOH, respectiv KBr în apă. Soluția de LiOH favorizează obținerea unei hidrolize pozitive, iar soluția de KBr favorizează hidroliza negativă.

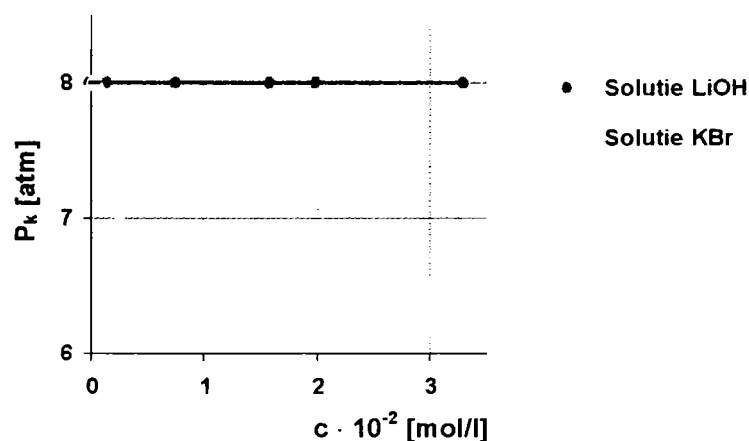


Fig.1.8

Dacă în lichid sunt prezente bule încărcate electric, câmpul electric existent în lichid amplasează aceste bule aflate în mișcare în direcția liniilor de câmp.

Figura 1.9 redă schema de principiu pentru un experiment ce pune în evidență prezența sarcinilor electrice pe suprafața bulelor.

Regiunea focală O a fost plasată în câmpul electric produs de doi electrozi plani izolați. Lichidul utilizat este apa distilată sau apă conținând KBr dizolvat. Distanța dintre electrozi este de 20mm, electrozii fiind conectați la o sursă electrică de 3KV.

624.576 / 181017

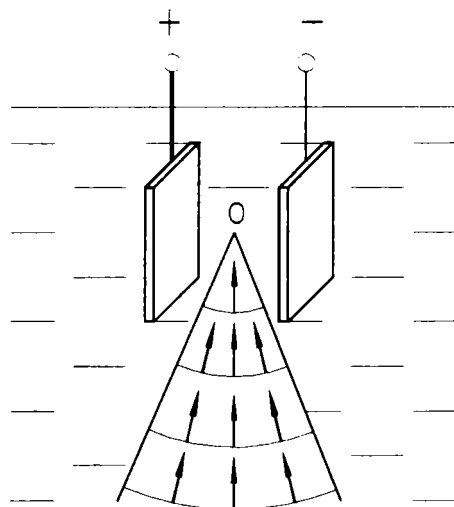


Fig.1.9

Variația presiunii  $P_K$  în apă distilată funcție de existența sau absența unui câmp electric într-un interval  $t$  de timp este redată în figura 1.10:

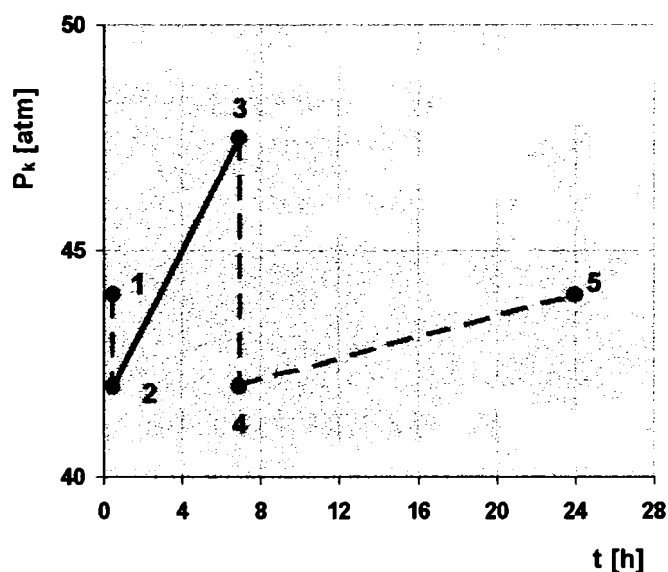


Fig.1.10

Punctul (1) corespunde începutului experimentului, iar punctul (2), după măsurări repetate, corespunde momentului aplicării câmpului electric ce durează 7 ore, după care rezistența lichidului, respectiv presiunea  $P_K$  se măsoară din nou rezultând punctul (3).

După cum rezultă din figura 1.10, prezența câmpului electric determină creșterea rezistenței lichidului (în condițiile experimentale descrise rezistența lichidului crește cu 14%).

Figura 1.11 ilustrează dependența de frecvența ultrasunetelor a presiunii acustice  $P_K$  în două cazuri:

- pentru nuclee cu raza  $R = 10^{-5} \div 10^{-2}$  cm prezente în apă (curba 1);
- numai nuclee cu raza  $R < 10^{-5}$  cm prezente în apă (curba 2).

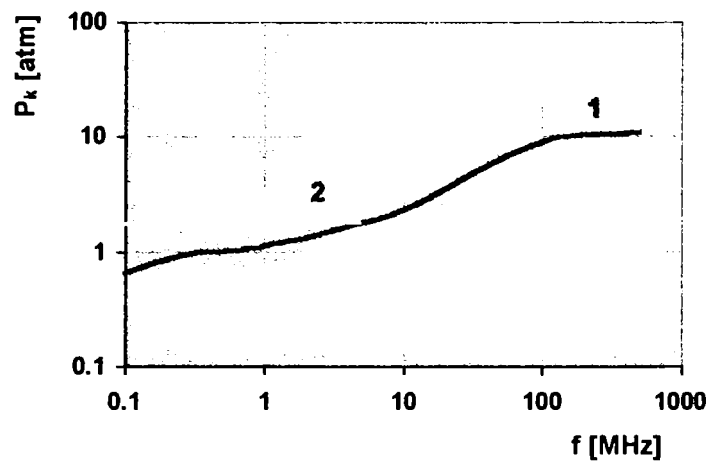


Fig.1.11

Pragul de cavitație ( începutul fenomenului ) și dependența acestuia de frecvență se modifică dacă și volumul de lichid se modifică.

Dacă presiunea acustică este concentrată într-un spațiu mic, ca în cazul concentratoarelor ultrasonice, pragul cavitației crește brusc comparativ cu pragul de început al fenomenului cavitațional în cazul unui volum mare de lichid, deoarece probabilitatea existenței unui nucleu de rază mare în zona focală este mică. Graficul din figura 1.12 ilustrează rezultatele cercetărilor experimentale, desfășurate de diferiți autori, privind distribuția bulelor de cavitație (concentrația de nuclei cavitaționali) în apă distilată [122].

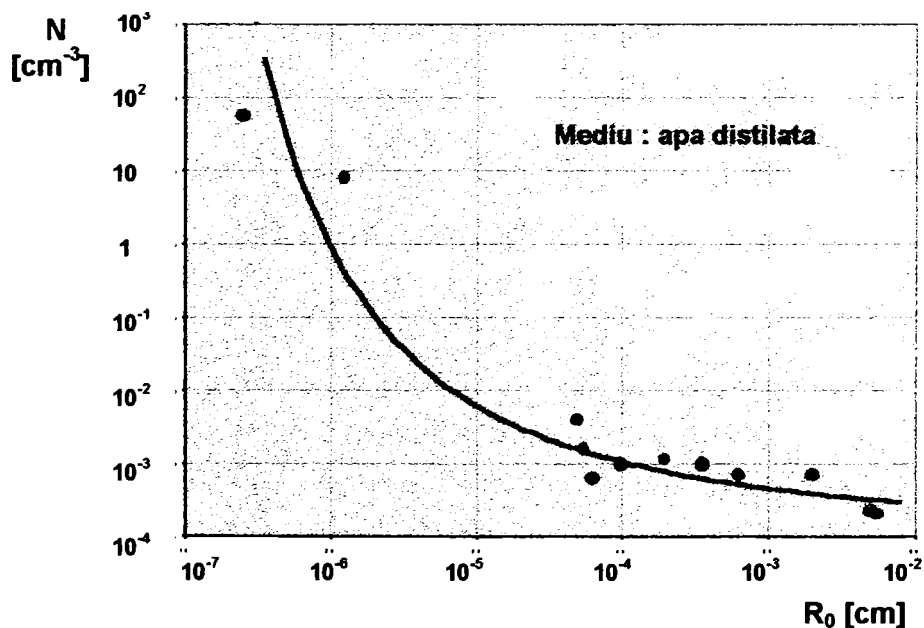


Fig.1.12

Se constată că distribuția nucleelor sub forma bulelor de vapori (gaz) în apa distilată este neuniformă. Numărul nucleelor de rază mică ( $< 10^{-6}$  cm) este de  $\approx 10^5$  ori mai mare ca numărul nucleelor de rază mare ( $> 10^{-3}$  cm), ceea ce implică o dependență invers proporțională a intensității de cavitație (mediu fiind apa) de volumul de lichid iradiat.



Totodată rezistența lichidului crește odată cu diminuarea dimensiunii nucleului.

Ecuțiile care caracterizează comportarea bulelor cavitaționale într-un câmp acustic sunt de forma:

$$P_a = P_m \sin \omega t \quad [\text{atm}] \quad (1.30)$$

unde:  $P_m$  este amplitudinea presiunii acustice;  
 $\omega$  - frecvența acustică.

Correspondența între valorile experimentale și teoretice privind variația diametrului  $2R$  al bulei cavitaționale în timpul  $T$  ( $T$  fiind perioada acustică) este evidențiată în figura 1.13. "Curba teoretică" reprezintă soluția dată de computer descriind comportarea bulei de cavitație în lichidul real (ținând cont de compresibilitatea și vâscozitatea acestuia). Odată cu creșterea presiunii acustice crește și numărul bulelor de cavitație.

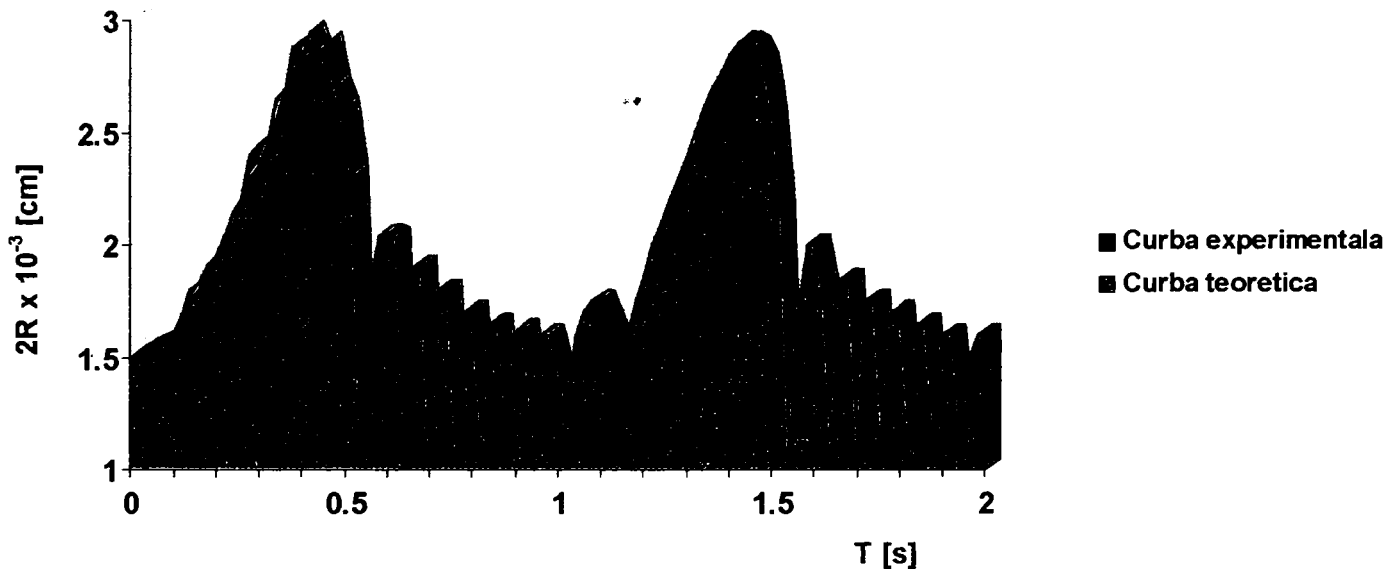


Fig.1.13

### Presiunea acustică în zona de cavitație

Cercetările teoretice și experimentale legate de complexul fenomen cavitațional au continuat cu măsurarea presiunii acustice în zona de cavitație, pas important în asigurarea unei evoluții corespunzătoare a fenomenului. Diagramele prezentate în continuare cuprind valori experimentale obținute prin măsurarea presiunii acustice -  $p_c$  - cu ajutorul hidrofonului. Rezultatele obținute arată că valoarea presiunii acustice medii în zona de cavitație descrește odată cu creșterea puterii acustice iradiate.

Dependența presiunii acustice medii  $P_c$  în zona de cavitație de tensiunea electrică aplicată transductorului piezoelectric este redată în figura 1.14.

În absența cavitației dependența  $P_c = f(U)$  este liniară (curba 3). Utilizarea receptorului de bandă largă (până la 3MHz, curba 1) permite măsurarea unei presiuni acustice mai ridicate decât în cazul utilizării receptorului de bandă îngustă (max 500 KHz, curba 2).

Micșorarea presiunii acustice odată cu dezvoltarea fenomenului cavitațional poate fi interpretată astfel: presiunea de apăsare din jurul nucleului în lichid poate crește până când nucleul este distrus.

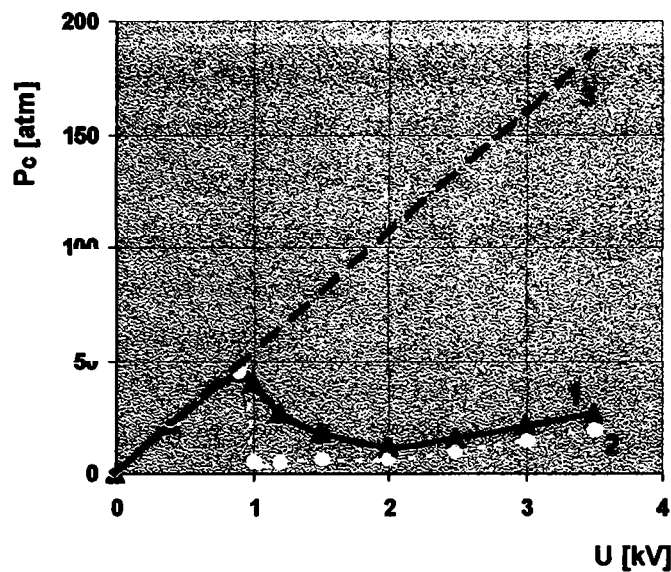


Fig.1.14

Dependența dintre raza  $R$  a nucleului bulei cavitaționale și presiunea  $P_t$  reiese din graficul trasat în figura 1.15 pentru doi nuclei:  $R_0 = 1,5 \cdot 10^{-6}$  cm (curba 1) și  $R_0 = 10^{-5}$  cm (curba 2) ( $P_v = 0,02$  atm;  $P = 1$  atm). Rezultă din grafic faptul că bula de cavitație este stabilă până când presiunea  $P_t$  atinge un maxim.

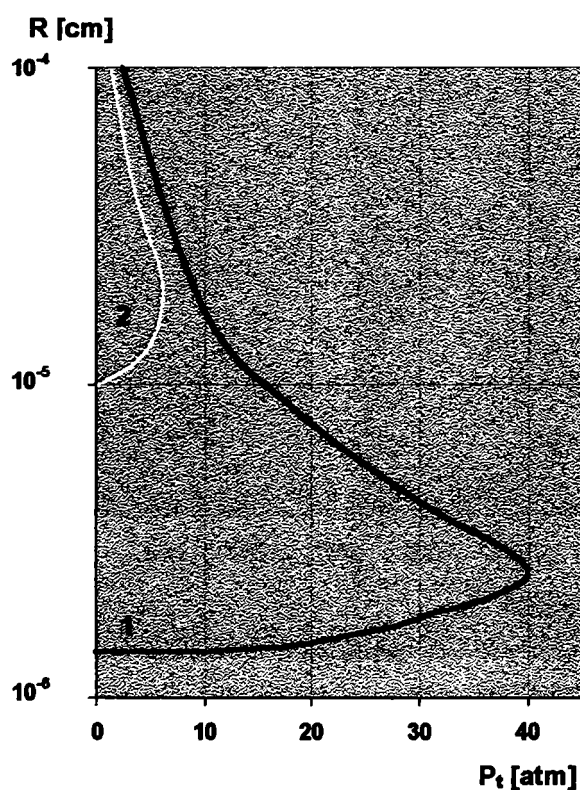


Fig.1.15

După "ruperea" lichidului, presiunea din apropierea bulei începe să scadă, în timp ce bula se extinde, raza acesteia atingând o valoare maximă, calculabilă cu relația:

$$R_{max} \cong \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \frac{P_t(R)}{\rho_K} \cdot t_m} \quad (1.31)$$

în care:  $P_t$  - este presiunea maximă de cavitație;  
 $\rho_K$  - densitatea medie a lichidului în zona cavitațională;  
 $t_m$  - timpul în care bula se află sub presiunea  $P_t$ .

$$\rho_K = \rho (1 - K) + \rho_n \cdot K \quad (1.32)$$

în care:  $\rho_n$  - este densitatea amestecului vaporilor din cavitate;  
 $\rho$  - densitatea lichidului;  
 $K$  - index cavitațional.

În figura 1.16 este ilustrată dependența razei maxime a bulei cavitaționale,  $R_{max}$ , de valoarea amplitudinii presiunii acustice,  $P_m$ . Curba (1) reprezintă dependența  $R_{max}=f(P_m)$  în zona cavitațională a unui concentrator cu perioada  $T = 10^{-6}$  s și  $P_K \cong 42\sqrt{2}$ . Curba (2) rezultă din relația  $P_t(R) \cong P_c / 2$  pentru diferite valori ale lui  $P_m = \sqrt{2}P_c$  (curba 3), corespunzătoare unei valori definite a lui  $R_{max}$  (din figura 1.14). Punctele reprezentate grafic corespund datelor experimentale obținute în zona cavitațională prin fotografierea bulelor de cavitație și măsurarea lor cu ajutorul unui microscop special (cu înregistrarea pulsului luminos al unui spot cu un timp mediu de luminare de  $\approx 3 \cdot 10^{-6}$  s, ceva mai lung decât perioada acustică, astfel că bulele au în permanență posibilitatea de a atinge raza maximă) [60,95,122].

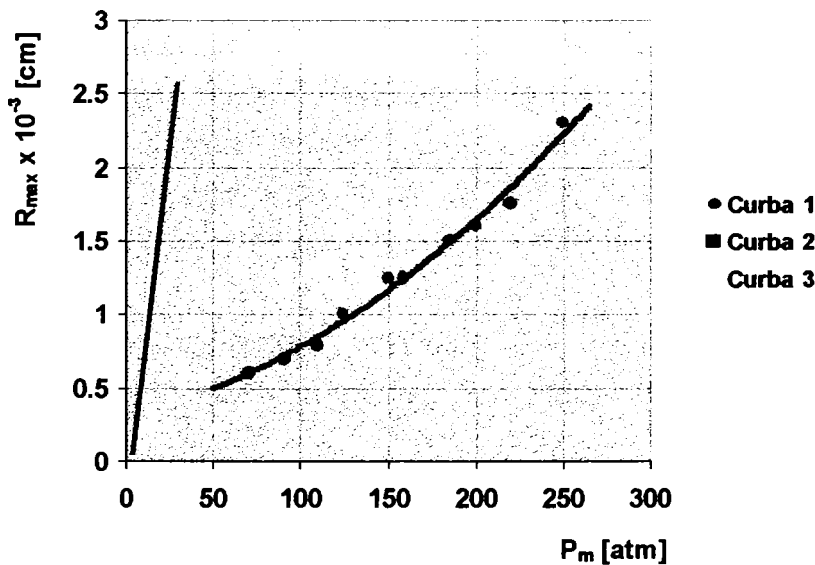


Fig.1.16

Dependența razei maxime,  $R_{max}$ , de tensiune electrică,  $U$ , de alimentare a concentratorului din zona cavitațională este redată în figura 1.17.

Cunoscând valoarea lui  $R_{max}$  se poate determina timpul de "prăbușire" (colaps) al bulei cavitaționale:

$$t_c = R_{max} \sqrt{\rho / PF} \quad [s] \quad (1.33) [122]$$

în care:  $F$  este coeficient dependent (direct proporțional) de parametrul  $\sigma$ , caracteristic gazului ;  
 $P$  - presiunea acustică determinată din relația:

$$\delta = \frac{P_{vg}}{P} \quad (1.34)$$

în care:  $P_{vg}$  este presiunea în interiorul bulei cavitaționale;  
 $\delta$  - parametrul caracteristic gazului.

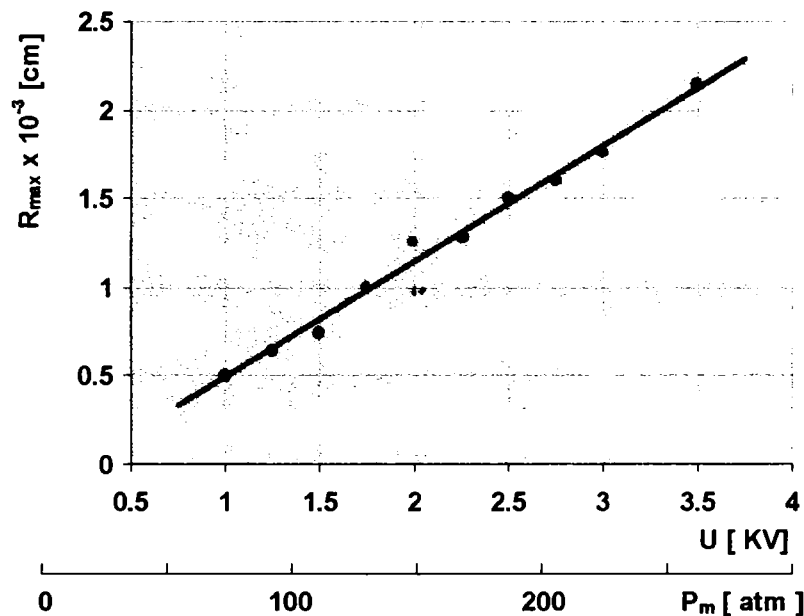


Fig.1.17

### Zona cavitațională și numărul bulelor de cavitație

Pentru o evoluție bună a fenomenului cavitațional, concentrația bulelor de cavitație crește, astfel că presiunea acustică din preajma bulelor se diminuează odată cu dezvoltarea zonei de cavitație.

Configurația zonei cavitaționale depinde de natura câmpului acustic. Zona cavitațională locală creată cu o mare densitate de bule este cea mai potrivită în scopul cercetării.

Eficiența procesului cavitațional este determinată atât de numărul  $N$  al bulelor participante în proces cât și de presiunea  $P_m$  în unda de șoc.

Numărul bulelor cavitaționale poate fi determinat cunoscând raza maximă  $R_{max}$  a unei bule și volumul total  $\Delta V$  al tuturor bulelor cavitaționale existente în lichid în stadiul de maximă expansiune:

$$\Delta V = 4/3 \pi R_{max}^3 N \quad (1.35)$$

Pentru stabilirea volumului  $\Delta V$  s-au utilizat metode directe de măsurare. Un exemplu este cel din figura 1.18.

Transductorul împreună cu lichidul în care urmează să aibă loc fenomenul cavitațional se introduc într-un recipient închis ermetic, prevăzut cu vase capilare gradate.

“Ruperea” lichidului datorată bulelor cavitaționale va determina o variație de volum  $\Delta V$  ce se măsoară în capilare.

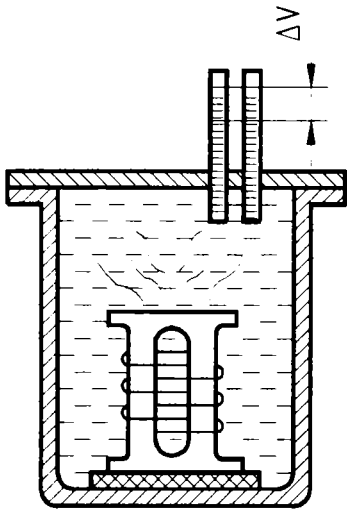


Fig. 1.18

Relația între numărul total  $N$  al bulelor cavitaționale în focarul concentratorului și pătratul tensiunii electrice de alimentare a acestuia,  $U^2$ , este ilustrată în figura 1.19. Concentrația  $N / V_K$  a bulelor în zona de cavitație pentru diferite valori ale lui  $U^2$  este redată grafic în figura 1.20.

Analizând imaginile obținute pe parcursul cercetărilor desfășurate în zona cavitațională, se constată că această zonă prezintă o formă aproximativ sferică. Odată cu creșterea valorii tensiunii  $U$  aplicate concentratorului crește și diametrul acestei sfere, iar centrul ei se deplasează în direcția suprafeței radiante (focarul concentratorului). Astfel, notând cu  $D_K$  diametrul sferei ce aproximează zona cavitațională, prin prelucrarea datelor experimentale s-a obținut dependența  $D_K$  funcție de tensiunea electrică  $U$  (fig. 1.21).

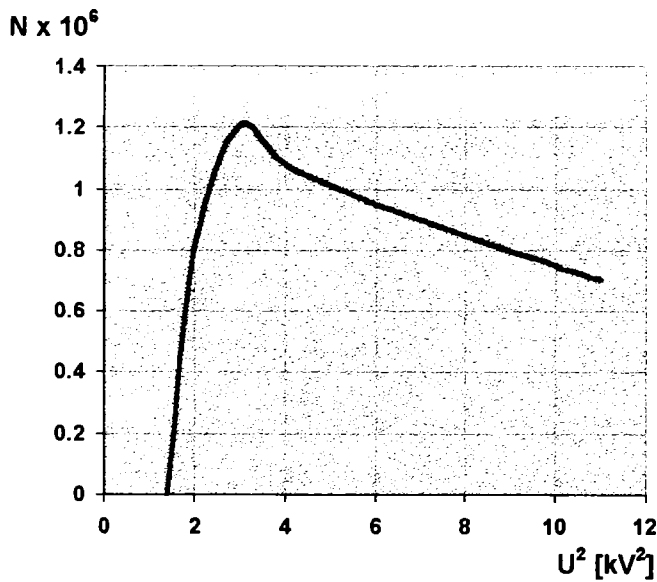


Fig. 1.19

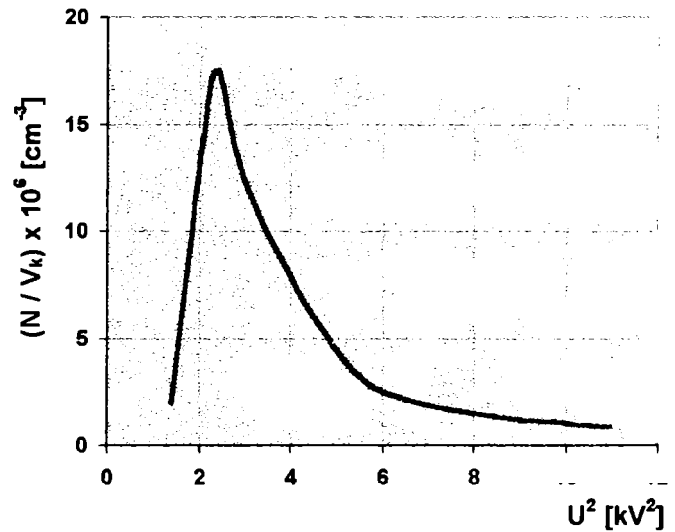


Fig. 1.20

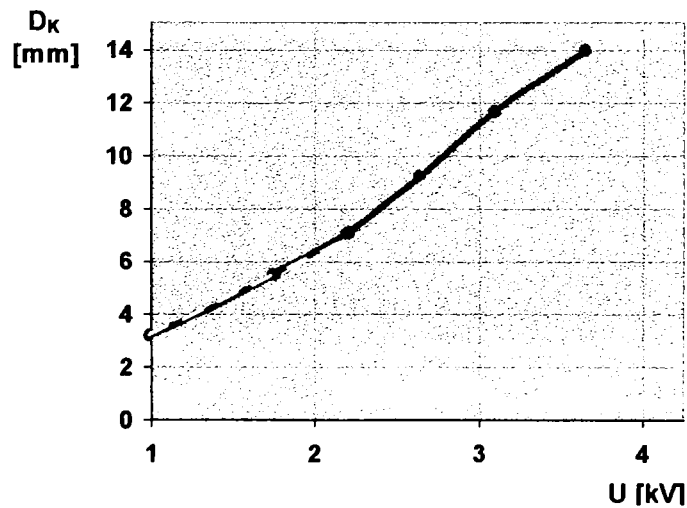


Fig. 1.21



Figura 1.22 ilustrează dependența dintre numărul bulelor de cavitație  $N$ , formate la capătul unui fir (sârmă) subțire (1,5 mm) plasat în câmpul acustic pentru stabilizarea poziției zonei cavitaționale și numărul de ordine,  $n$ , al perioadei acustice ( $T = 6,65 \cdot 10^{-5}$  s). Se constată că numărul bulelor de cavitație crește de la o perioadă la alta, atingând saturația după cca. 10 perioade.

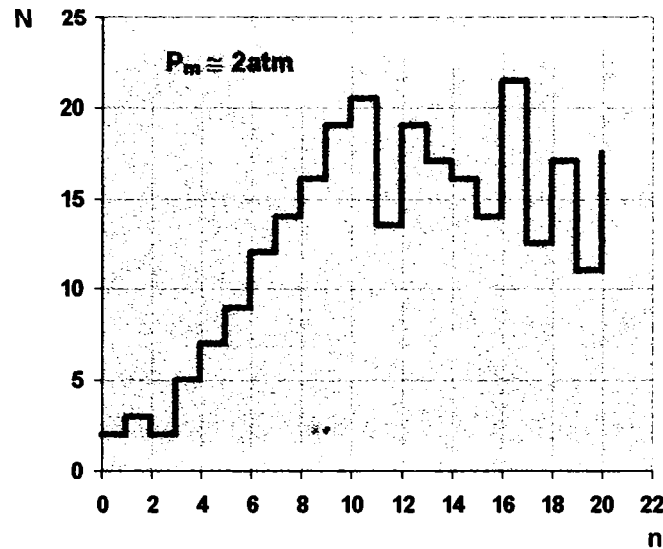


Fig.1.22

Numărul aproximativ al bulelor într-un domeniu dat, depinde de valoarea amplitudinii presiunii acustice  $P_m$ . Cercetările desfășurate [17,122] au condus la următoarele: o creștere a valorii lui  $P_m$  de la 2 la 2,5 atm determină o creștere a lui  $N$  de la 16 la 35.

Graficul din figura 1.23 redă dependența  $P = f(U)$ , pentru diferite valori ale frecvenței câmpului acustic.

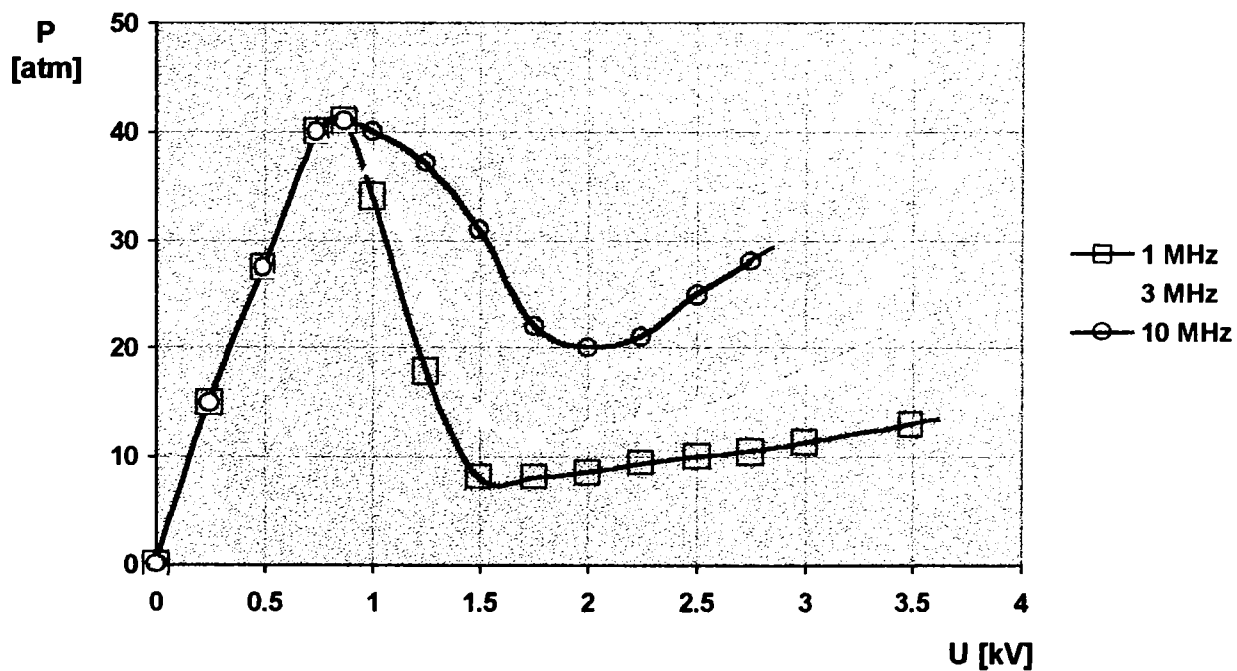


Fig.1.23

### Variația energiei câmpului acustic în procesul de cavitație

Energia consumată în procesul cavitațional trebuie să producă o cădere (curgere) echivalentă de lichid. Această curgere acționează ca un obstacol din câmpul acustic cu o forță  $F_S$ .

S-a stabilit că în timpul propagării undei acustice suma dintre densitatea de energie din câmpul acustic și energia cinetică de cădere este constantă. Această sumă se măsoară ușor cu radiometrul. Forța medie  $F$  ce acționează asupra radiometrului este alcătuită din 2 componente:

$$F = F_r + F_S = \frac{IS}{c} = \frac{W}{c} \quad (1.36)$$

unde:  $F_r$  este forța datorată energiei câmpului acustic în planul radiometrului (presiunea acustică de radiație);

$F_S$  - forța determinată de energia cinetică de curgere a lichidului în planul radiometrului;

$S$  - aria secțiunii transversale a fascicolului în planul radiometrului;

$c$  - viteza de propagare a sunetului;

$W$  - puterea totală radiată.

Prin măsurarea energiei câmpului acustic înainte și după producerea cavitației, se poate determina energia consumată în procesul cavitațional.

Curba (1) din figura 1.24 arată dependența energiei acustice totale  $A$  de pătratul tensiunii  $U^2$ , iar curba (2) indică dependența energiei consumate în procesul de cavitație,  $A_o$ , funcție de  $U^2$ .

$$A = WT \quad [J] \quad (1.37)$$

$$A_o = W_o T \quad [J] \quad (1.38)$$

unde:  $W$  este puterea totală radiată;

$W_o$  - puterea consumată în procesul de curgere a lichidului;

$T$  - perioada acustică.

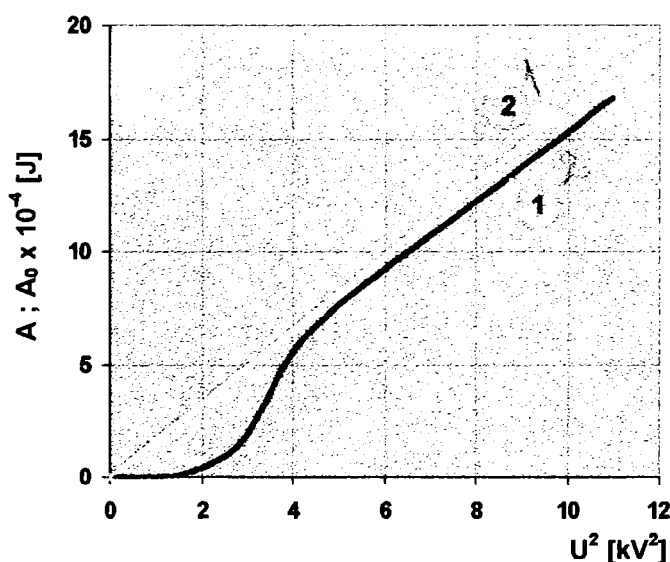


Fig. 1.24

Din figură rezultă că energia acustică totală radiată  $A$  (care este proporțională cu pătratul tensiunii electrice  $U^2$ ) este crescătoare începând cu momentul declanșării cavitației, iar energia  $A_0$  consumată la formarea zonei de cavitație crește de asemenea.

Dependența puterii totale radiate  $W$  (curba 1) și a puterii câmpului acustic  $W_0$  (curba 2) de pătratul tensiunii electrice aplicate unui radiator din ferite, cu o frecvență de rezonanță de 26 kHz este ilustrată în figura 1.25.

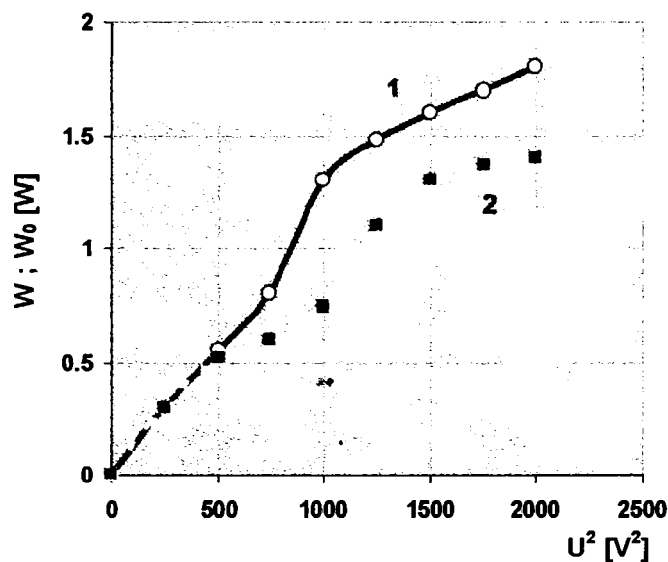


Fig. 1.25

Energia  $A_K$  creată de  $N$  bule cavitaționale identice de rază  $R_{max}$  poate fi determinată pe baza unei relații de forma:

$$A_K \approx P \Delta V \quad (1.39)$$

unde:  $\Delta V$  este volumul total al bulelor cavitaționale în stadiul de maximă expansiune.

Cercetările experimentale desfășurate au condus la ridicarea dependenței din figura 1.26. Curba (2) reprezintă legătura dintre energia  $A_K$  dezvoltată de toate bulele cavitaționale și pătratul tensiunii electrice  $U^2$ . Curba (1) indică energia  $A_0$  consumată de câmpul acustic în procesul cavitațional. Curbele prezintă un mic decalaj datorat neglijării parametrului  $\delta$ , ce scade valoarea lui  $A_K$ .

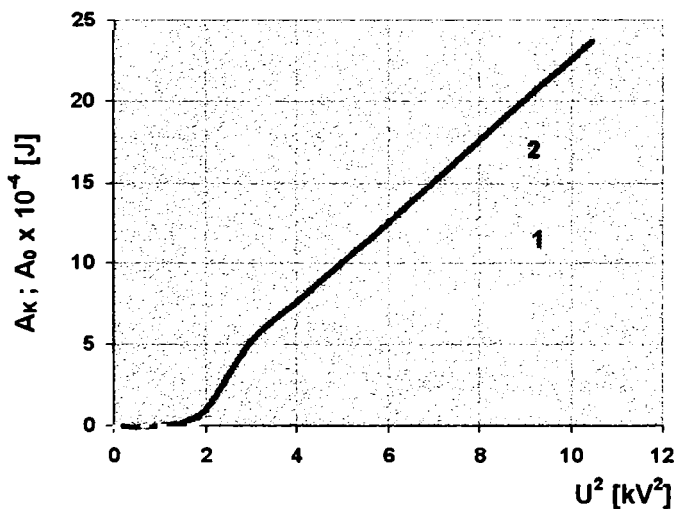


Fig. 1.26



### **Eficiența procesului cavitațional**

Eficiența procesului cavitațional poate fi evaluată pe baza energiei potențiale  $A_K$  înmagazinată în bulele cavitaționale. Această eficiență depinde atât de presiunea  $P_m$  produsă în momentul "prăbușirii" bulelor cât și de numărul  $N$  al acestora. Dar  $N$  este o funcție de  $P_m$  rezultând că eficiența procesului cavitațional poate fi caracterizată de numărul de bule cavitaționale care participă la proces.

Sunt numeroase aplicațiile practice [60,61,105,122] ce evidențiază importanța determinării numărului  $N$  ca prim pas în stabilirea eficienței procesului cavitațional.

Un exemplu este ilustrat în figura 1.27. Graficul reprezintă dependența dintre valoarea erodării unei probe de aluminiu,  $\Delta G$ , situată în zona cavitațională (curba 1), respectiv concentrația bulelor de cavitație,  $N_K / V$ , (curba 2) și pătratul tensiunii electrice  $U^2$ , de alimentare a concentratorului. Prezența probei de Al în focarul concentratorului facilitează declanșarea fenomenului cavitațional, astfel că graficul lui  $\Delta G$  este mai larg decât al lui  $N/V_K$ .

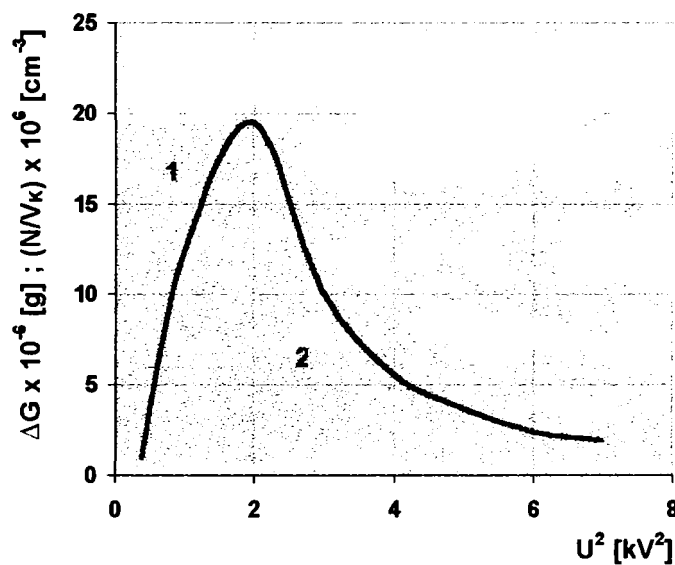


Fig.1.27

Dependența densității energiei de cavitație  $A_K / V_K$  de pătratul tensiunii,  $U^2$ , în zona cavitațională produsă de un concentrator este ilustrată în figura 1.28 ( curba 1) în concordanță cu datele cuprinse în graficele prezentate anterior. Se observă o creștere bruscă la început a densității de energie odată cu creșterea puterii acustice radiate, atingând un maxim la  $\approx 1,6 \text{ kV}$ , după care curba descrește brusc. Dependența dintre concentrația bulelor de cavitație,  $N / V_K$  și pătratul tensiunii  $U^2$  (respectiv puterea acustică) redată prin curba 2, caracterizează intensitatea undei de șoc la momentul "prăbușirii" (colaps) bulelor cavitaționale.

Cercetările desfășurate au evidențiat că doar o parte din energia câmpului acustic primar este utilizată la crearea zonei de cavitație. Astfel, în literatura de specialitate [16,105,122] este definit un coeficient de utilizare a energiei acustice în procesul cavitațional exprimat prin raportul dintre densitatea de energie consumată în proces, notată  $E_K$ , și densitatea de energie primară, notată  $E$ :

$$\chi = \frac{E_K}{E} \quad (1.40)$$

Valoarea acestui coeficient este întotdeauna subunitar,  $\chi < 1$ .

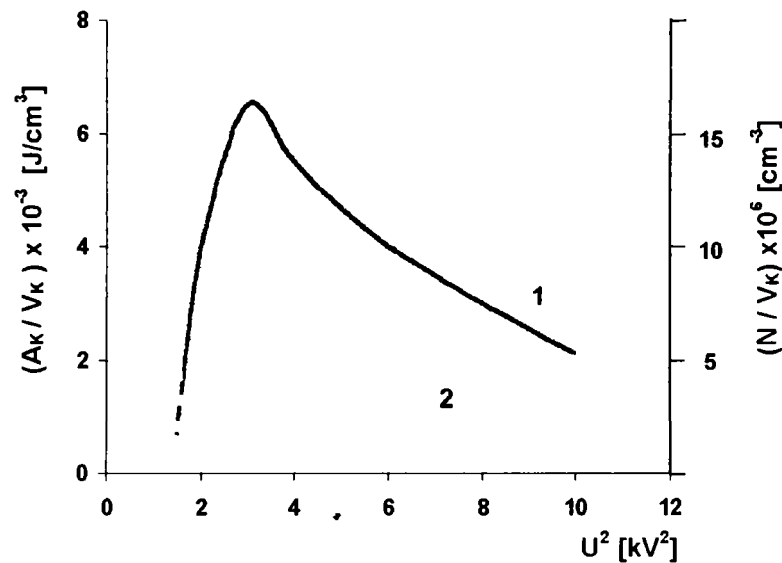


Fig.1.28

O parte din această energie utilizată în procesul cavitațional se recuperează la momentul de “colaps” al bulelor sub diferite forme, mai ales sub forma unor unde de șoc capabile să producă efecte mecanice (eroziune, perforare, curățire, etc.), acustice (generarea unor zgomote ce pot atinge 118 db peste pragul de audibilitate), optice (sonoluminiscenta), chimice (oxidări, reduceri, sinteze, polimerizări etc.). Dintre aceste efecte, eroziunea cavitațională se regăsește în majoritatea aplicațiilor ultrasunetelor în industrie (ex. curățire ultrasonică, emulsionare etc.).

Notând cu  $E_M$  densitatea de energie transmisă de undele de șoc se definește raportul:

$$\varepsilon = \frac{E_M}{E_K} \quad (1.41)$$

ca o măsură a efectului eroziv al cavitației. Este evident că  $\varepsilon < 1$ .

Pentru cunoașterea, înțelegerea și utilizarea efectelor produse în zona de cavitație este necesar studiul intensității undei de șoc și a factorilor ce o influențează.

### **Influența presiunii acustice asupra intensității undei de șoc**

Dacă se consideră că difuzia gazului din bula cavitațională în mediul lichid nu are loc, se poate porni de la condiția de echilibru a bulei:

$$P = P_v + P_g - \frac{2\sigma}{R_o} \quad (1.42)$$

obținându-se:

$$P_g = \left( P - P_v + \frac{2\sigma}{R_o} \right) \frac{R_o^3}{R_{max}^3} \quad (1.43)$$

unde:  $R_o$  este raza inițială a bulei;  
 $\sigma$  - tensiunea superficială.

Parametrul  $\delta$  caracteristic gazului se poate exprima prin următoarea relație:

$$\delta = \frac{P_v + \left( P - P_v + \frac{2\sigma}{R_o} \right) \left( \frac{R_o}{R_{max}} \right)^3}{P} \quad (1.44)$$

Pentru  $R_{max} \gg R_o$  rezultă  $\delta \approx P_v / P$ .

Viteza de evaporare la suprafața lichidului este:

$$v_e = 4 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{RT}{2\pi\mu}} \quad (1.45)$$

unde:  $R$  este constanta universală a gazului;  
 $T$  - temperatura absolută;  
 $\mu$  - greutatea moleculară.

Viteza critică a bulei în apă în condiții standard ( $P = 1 \text{ atm}$ ,  $t = 20^\circ\text{C}$ ) este egală cu:

$$v_K = v_e \approx 7 \cdot 10^2 \quad [\text{cm/s}] \quad (1.46)$$

Pe de altă parte timpul în care raza bulei atinge o valoare maximă este aproximativ  $0,75 T$ , astfel că viteza medie de expansiune a bulei de cavitație este  $v_c = R_{max} / 0,75 T$ .

Dacă se verifică următoarea inegalitate:

$$\frac{R_{max}}{0,75 \cdot T} = v_c > v_K \quad (1.47)$$

atunci presiunea vaporilor  $P_v$  în bulă devine mai mică decât presiunea vaporilor saturați, provocând o scădere a parametrului  $\delta$  și corespunzător, o creștere a presiunii  $P_m$  din interiorul bulei.

Condiția (1.47) se realizează ușor prin utilizarea unui concentrator ultrasonic, utilizându-se o frecvență de aproximativ  $500 \text{ KHz}$ , estimând valoarea maximă a razei bulei cavitaționale la  $R_{max} > 1 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$ . Viteza de expansiune a bulei în acest caz începe să depășească viteza critică  $v_c > v_K$ , iar parametrul  $\delta$  descrește. Astfel, la frecvențe ridicate există posibilitatea obținerii unei valori scăzute a parametrului  $\delta$  pentru bulele cavitaționale, chiar dacă  $R_{max}$  este mai mică decât la frecvențe scăzute.

### Temperatura și gazul din lichid

O reducere a temperaturii și a conținutului gazos din lichid atrage o scădere a presiunii  $P_{vg}$  a amestecului vapori - gaz din bula cavitațională și o creștere a presiunii  $P_m$ . Calculul valorii absolute a presiunii  $P_m$  este dificil de realizat deoarece valoarea presiunii

$$P_{vg} = P_v + P_g$$

este de obicei necunoscută. Presiunea vaporilor  $P_v$  poate fi ușor determinată din tabele corespunzătoare, iar presiunea  $P_g$  a aerului sau gazului din bulă, de rază maximă rămâne fundamental constantă. Prin urmare, intensitatea undei de șoc sub influența variației temperaturii ( $T$ ) și a conținutului gazos ( $\alpha$ ) din lichid a fost determinată experimental prin mărimea erodării -  $\Delta m$  - asupra unui mic cilindru de aluminiu plasat în zona cavitațională [28,122]. Valoarea lui  $\Delta m$  se obține ca diferență între masa cilindrului înainte și după

procesul cavitațional, fiind utilizată ca măsură a intensității relative a undelor de șoc produse de implozia bulelor cavitaționale.

Figura 1.29 redă variația lui  $\Delta m$  funcție de temperatura  $T$  a apei, în cazul experimentului descris mai sus.

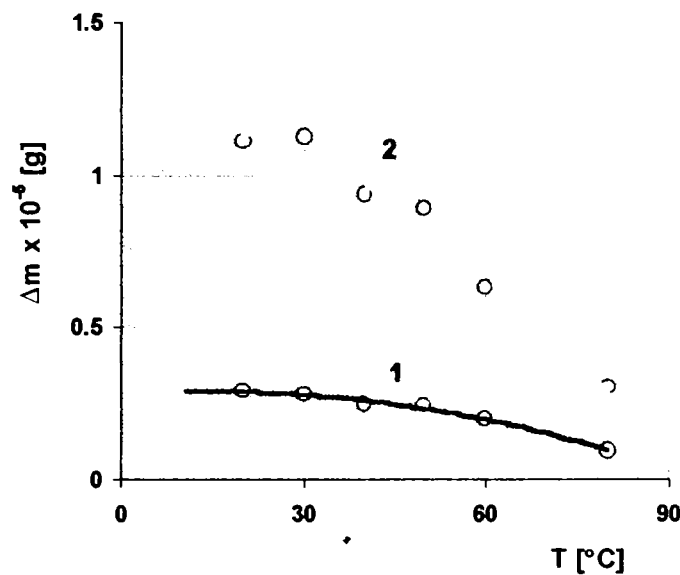


Fig. 1.29

Curba (1) este trasată luând ca mediu pentru experiment apa obișnuită cu un conținut de aer  $\alpha \approx 22 \text{ cm}^3/\text{l}$ , iar curba (2) se referă la apa degazată cu un conținut de aer  $\alpha \approx 6,8 \text{ cm}^3/\text{l}$  [122].

Se observă că efectul eroziv al cavitației în apa degazată este mai puternic decât în apa obișnuită (curentă). Odată cu creșterea temperaturii lichidului efectul eroziv scade în ambele cazuri.

Acest fenomen se explică astfel: odată cu creșterea temperaturii, presiunea în interiorul bulei (determinată de presiunea vaporilor și gazului) crește, implicit cresc razele bulelor cavitaționale; se formează noi nuclee ce determină o creștere a zonei de cavitație și prin urmare o diminuare a intensității undei de șoc. Graficul redat în figura 1.30 vine să confirme cele de mai sus. Dependentele reprezintă variația razei maxime a bulei de cavitație  $R_{\max}$  cu temperatura  $T$ , utilizând ca mediu apa obișnuită (curba 1) și apa degazată (curba 2).

→ În concluzie, pentru a obține efectul eroziv dorit într-un mediu lichid trebuie bine controlat procesul cavitațional, în sensul stabilirii valorilor optime ale temperaturii și conținutului de gaze și vapori din lichid. Cunoscând valoarea presiunii în interiorul bulei de cavitație în momentul "prăbușirii" (colaps) acesteia, se poate stabili o dependență clară între aceasta și valoarea eroziunii cavitaționale.

Prin prelucrarea datelor experimentale existente în literatură [20,28,93,122], utilizate și la trasarea dependențelor prezentate anterior (fig. 1.29 și 1.30), s-a obținut graficul din figura 1.31. Valorile abscisei reprezintă raportul  $p_{md}/p_{ms}$ , unde  $p_{md}$  este presiunea în bula de cavitație în timpul colapsului în apa degazată, iar  $p_{ms}$  presiunea măsurată în aceleași condiții în apa obișnuită (curentă). Ordonata reprezintă tot un raport -  $\Delta m_d/\Delta m_s$  - o măsură relativă între valorile eroziunii, determinate în cele două medii.

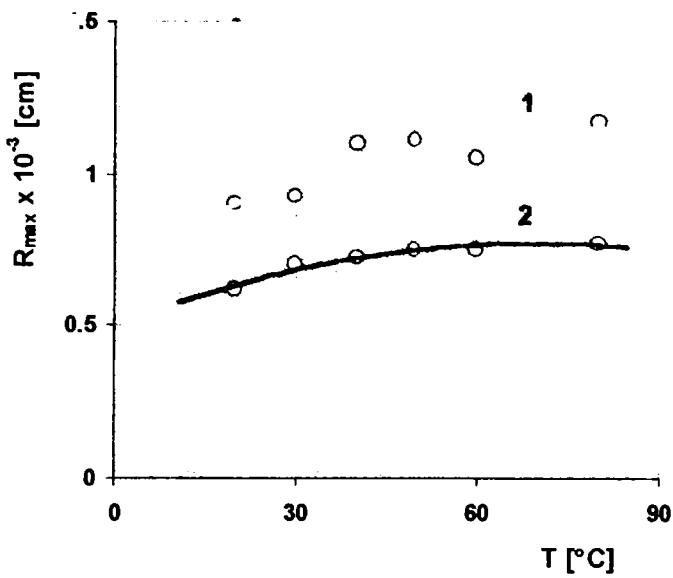


Fig. 1.30

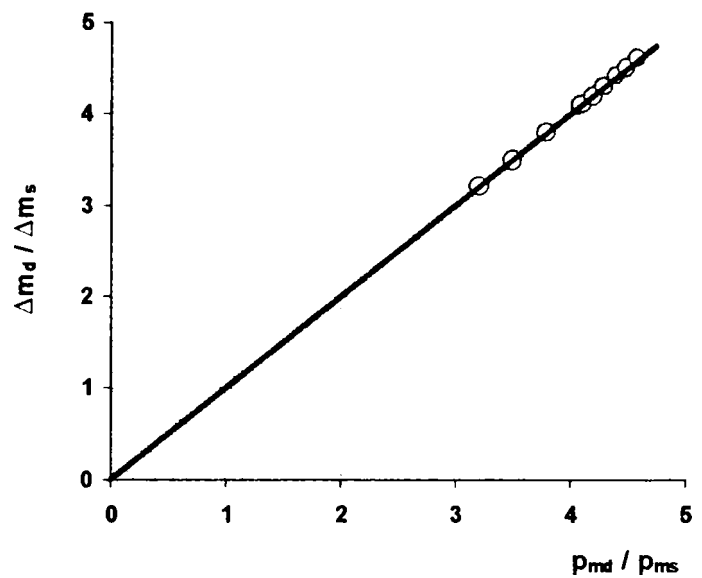


Fig. 1.31

### Presiunea hidrostatică

O reducere a valorii parametrului  $\delta$  prin degazarea lichidului sau scăderea temperaturii determină creșterea presiunii  $p_m$  a undei de șoc. Totuși, o creștere suplimentară a presiunii în unda de șoc poate fi realizată prin crearea unei presiuni statice ridicate.

Sub influența unei presiuni hidrostatice ridicate  $P$ , gazul prezent în nucleele cavitaționale se dizolvă parțial, acesta micșorându-și razele. Dar o scădere a razei  $R_o$  determină o creștere a pragului cavitațional (caracterizat prin presiunea  $P_K$ ) și prin urmare o reducere în  $R_{max}$ . Cunoscând variația lui  $R_{max}$  pentru diferite valori ale presiunii hidrostatice, ținând cont de  $R_{maxo}$ , raza inițială a bulei, se poate exprima variația parametrului  $\delta$  raportat la  $\delta_o$  pentru  $P = P_o$ :

$$\delta_{re} = \frac{\delta}{\delta_o} = \frac{P_o \cdot R_{maxs}^3}{P \cdot R_{maxo}^3}, \quad (1.48)$$

unde:  $\delta_{re}$  este valoarea relativă a parametrului  $\delta$  caracteristic gazului.

Din variația relativă a lui  $\delta_{re}$  se poate determina raportul dintre presiunea maximă  $p_m$  în bula de cavitație, corespunzătoare unei presiuni hidrostatice ridicate  $P$ , și presiunea  $p_{mo}$  în bulă corespunzătoare presiunii atmosferice standard  $P_o$ :

$$\frac{p_m}{p_{mo}} \approx \frac{P}{P_o} \frac{1}{\delta_{om}^3} \quad (1.49)$$

În concluzie, odată cu creșterea presiunii hidrostatice  $P$ , atât variația presiunii în bula cavitațională în timpul colapsului ( $p_m/p_{mo}$ ) cât și efectul eroziv al cavitației, exprimat prin raportul  $\Delta m / \Delta m_o$  (și, prin urmare, intensitatea undei de șoc) cresc considerabil.

### **Măsurarea intensității relative de cavitație**

Cercetările legate de fenomenul cavitațional au arătat că în stadiul imploziei bulelor presiunea ce acționează asupra acestora este aproximativ egală cu presiunea hidrostatică. Cunoașterea tuturor fenomenelor legate de procesul cavitațional este foarte importantă pentru aplicațiile practice unde în primul rând se necesită cunoașterea intensității cavitației în diferite condiții exterioare. Ca și exemplu se poate considera folosirea ultrasunetelor pentru curățire. În acest caz intensitatea cavitației nu depinde numai de forțele mecanice puse în joc după implozia unei cavități, ci și de numărul activ al acestor cavități. Este deci necesar a căuta condițiile favorabile celor două efecte și de a putea măsura în laborator intensitatea cavitației.

Posibilitatea de a produce un efect dat prin cavitație se poate exprima sub forma unei serii:

$$a_1n_1 + a_2n_2 + a_3n_3 + \dots + a_in_i \quad (1.50) [122]$$

în care:  $n$  este numărul evenimentelor pe unitatea de volum și timp în condiții date;

$a$  - coeficient relativ al eficacității relative a fiecărui proces de cavitație;

$i = \overline{1, n}$  = indice ce definește tipul de cavitație.

În aceste condiții trebuie înțeles că intensitatea măsurată printr-o metodă nu este neapărat egală cu cea măsurată prin alta de vreme ce coeficienții pentru cele două efecte - forțele puse în joc în timpul imploziei și numărul cavităților prezente în volumul studiat - nu sunt obligatorii într-un raport simplu.

S-au dezvoltat numeroase metode de măsurare a intensității de cavitație, însă nici una nu permite o măsurare cu eroare mai mică de 10%. Principalele metode pot fi grupate în trei categorii: evacuare de impurități, eroziune și efecte chimice.

Prima dintre aceste metode constă în a iradia un material încărcat cu o anumită cantitate de impurități în condiții bine determinate și a măsura la sfârșitul operației cantitatea de impurități scoase (dă indicații calitative asupra efectului curățirii).

Tehnicile de eroziune par să ofere o metodă de măsurare mai adecvată cavitației, atât calitativ cât și cantitativ. Pentru a obține rezultatele calitative se scufundă folii subțiri de aluminiu, cositor sau plumb în baia ultrasonică, atunci când are loc implozia bulelor cavitaționale în vecinătatea acestora, foliile prezentând un aspect ciupit. Dacă admitem proporționalitatea dintre cantitatea acestor mici cavități și intensitatea de cavitație, se pot deduce mărimile cantitative.

Metoda cantitativă cea mai simplă constă în a măsura variația greutatei foliei. Această tehnică este descrisă de Rozenberg [122] pentru Al și alte metale și de către Brown pentru plumb.

Metodele chimice se bazează pe proprietatea ultrasunetelor de a provoca o anumită reacție chimică. Este cunoscut faptul că anumite reacții chimice sunt declanșate de cavitație, ceea ce permite măsurarea pentru unele dintre ele a intensității de cavitație. Astfel, metoda de



măsurare prin degajare de clor este o soluție rapidă pentru determinarea intensității din vecinătatea suprafeței libere a lichidului conținut într-o cuvă de curățire.

Rozenberg a măsurat intensitatea de cavitație cu ajutorul metodei prin eroziune a unei foi de aluminiu între  $-10^{\circ}\text{C}$  și  $90^{\circ}\text{C}$  pentru un număr mare de lichide. La frecvența de 8kHz utilizarea efectului imploziilor bulelor de cavitație este relativ important. Rezultatele obținute sunt cuprinse în graficul din figura 1.32, la energie acustică constantă.

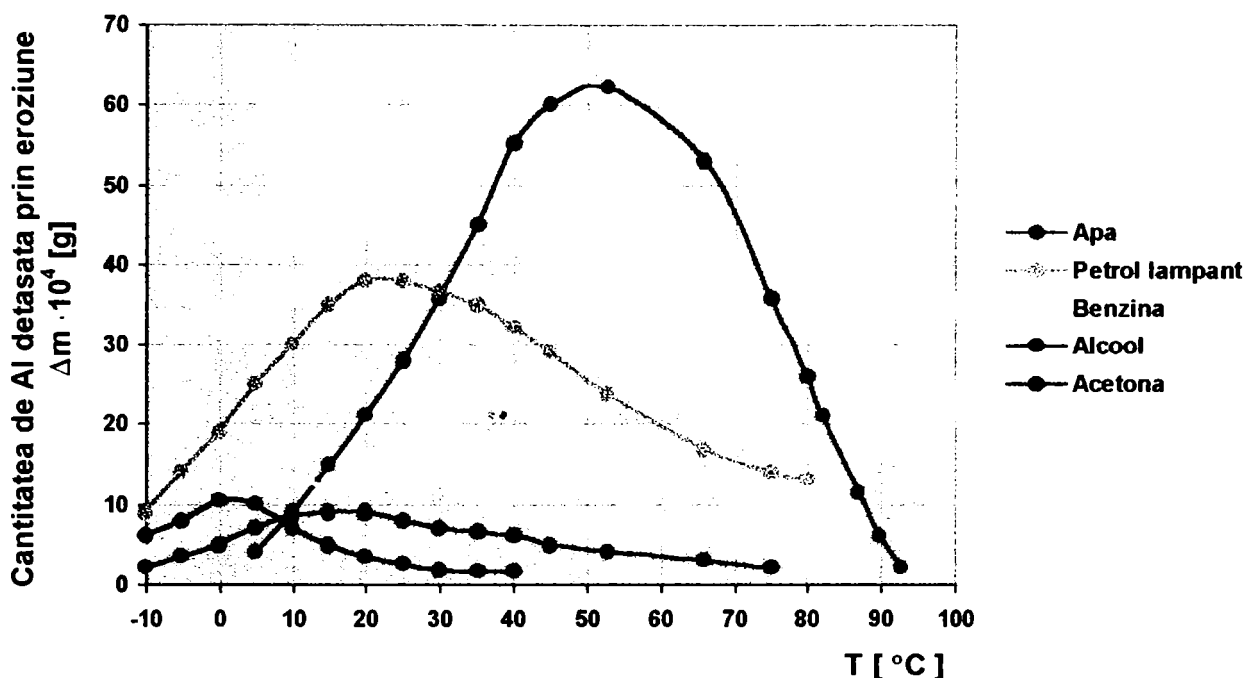


Fig. 1.32

Se constată că intensitatea cavitației trece printr-un maxim pentru o temperatură dată și că acest maxim depinde foarte mult de lichidul ales. Valoarea absolută a eroziunii, deci a intensității, variază mult de la un lichid la altul (este foarte importantă în apă, dar mai slabă în alcool). Prezența acestor maxime poate fi explicată în modul următor: în timp ce temperatura crește, numărul centrelor de nucleu crește de asemenea și prin urmare intensitatea e mai mare. Partea descrescătoare a curbelor se datorează atât amortizării undelor de șoc cât și scăderii tensiunii superficiale sau chiar creșterii presiunii gazului conținut în cavitați.

S-a arătat, de asemenea, că întreaga cantitate de gaz care difuzează într-o cavitate și crește prin presiunea sa este proporțională cu coeficientul de solubilitate al gazului în lichidul utilizat. Această dependență explică valoarea crescută a intensității de cavitație în apă.

Experiențele realizate confirmă și faptul că intensitatea cavitației descrește odată cu creșterea frecvenței ultrasunetelor.

### 1.3.2. Efectele cauzate de cavitația acustică

Producerea cavitației acustice într-un lichid cauzează o serie de efecte de natură mecanică, acustică, optică, chimică și biologică.

- **Efecte mecanice.** Presiunile locale mari care iau naștere în urma imploziilor bulelor de cavitație și care pot atinge  $10^6$  atm produc eroziunea suprafeței unui corp solid imersat.

La această acțiune contribuie și temperatura ridicată generată de contracția bulelor de cavitație la suprafața dintre lichid și corpul solid.

Gradul de erodare a unui material depinde de mai mulți factori printre care se numără intensitatea undei de șoc, natura și temperatura lichidului, natura gazului dizolvat în lichid, durata aplicării câmpului acustic, frecvența și presiunea acustică.

Acțiunea mecanică a cavitației acustice poate fi dirijată. Efectele pot fi produse în locurile dorite și în dozele necesare. Aceasta a permis folosirea fenomenului de cavitație acustică în executarea diferitelor operații tehnologice bazate pe efectele mecanice pe care ea le produce (perforarea, curățirea pieselor, placarea metalelor etc.).

- **Efecte acustice.** Producerea cavitației este însoțită de un zgomot perceptibil chiar cu urechea liberă. Introducerea unui hidrofon în lichidul ultrasonat a permis să se determine intensitatea acustică a zgomotului și să se pună în evidență spectrul de frecvență corespunzător. Așadar, zgomotul care ia naștere este datorat, pe de o parte, radiației emițătorului ultrasonic, iar pe de altă parte, sunetului generat în momentul spargerii bruște a bulelor de cavitație. Deosebit de intensă este prima subarmonică a ultrasunetului emis. Generarea unui zgomot atât de intens (poate atinge 118 dB peste pragul de audibilitate) implică fie capsularea instalației pentru atenuarea zgomotului, fie folosirea de ultrasunete de frecvențe mai ridicate, astfel încât prima subarmonică să nu intre în spectrul audibil.

- **Efecte optice. Sonoluminiscenta.** Fenomenul de cavitație într-un lichid face să apară și efecte optice concretizate printr-o emisie slabă de lumină, denumită sonoluminiscentă. Lumina emisă este rezultatul producerii pe timpul imploziei bulelor de cavitație a unor iluminări de foarte scurtă durată, după aprecierile lui Meyer și Kuttruff mai mică de  $10^{-8}$  s. Luminiscenta apare atunci când intensitatea acustică a undelor introduse în lichid a atins pragul cavitației și odată depășită această limită intensitatea luminoasă crește pe măsură ce intensitatea acustică se mărește. Intensitatea luminoasă mai depinde de natura soluției supusă acțiunii câmpului acustic, de vâscozitatea lichidului (la lichidele cu o vâscozitate mai mare fenomenul apare mai intens) și de temperatură (creșterea temperaturii face ca fenomenul să scadă în intensitate, dispărând complet la o temperatură a soluției de 60 - 80 °C).

- **Efecte chimice.** Prezența unui câmp ultrasonic de intensitate mare într-un mediu lichid face să fie observate o serie de efecte chimice ca: oxidări, reduceri, sinteze, polimerizări, etc. Influența ultrasunetului se poate manifesta fie printr-o accelerare a reacției chimice cunoscute, fie prin producerea unei anumite reacții care în alt mod nu are loc.

S-a constatat că efectele chimice se manifestă numai în lichidele în care se găsesc dizolvate gaze, de a căror natură depinde cinetica de reacții. Producerea unei reacții chimice fiind legată de fenomenul de cavitație, rezultă că este necesară o valoare limită a intensității acustice pentru ca transformările chimice să aibă loc. Dacă însă se depășește pragul intensității acustice limită reacția chimică începe să se producă, ea intensificându-se pe măsură ce presiunea acustică crește. Depășindu-se însă o valoare a presiunii acustice, pentru



care procesul chimic are loc cu maximum de eficacitate, reacția își pierde din intensitate.

Un exemplu de efect chimic determinat de existența unui câmp ultrasonic într-un mediu lichid este dispersia. Pentru producerea dispersiei este necesar ca intensitatea acustică să depășească o anumită valoare, denumită intensitate de prag. Fenomenul de dispersare a particulelor lichide într-un mediu gazos sau lichid cu ajutorul ultrasunetelor își găsește în prezent o largă întrebuințare practică în procesele de formare a aerosolilor în aer și de producerea emulsiilor.

#### • Efectele ultrasunetelor în medii biologice

Viteza de propagare a undelor ultrasonice depinde de densitatea, compresibilitatea și, într-o măsură mică, de temperatura mediului biologic. Concentrația lichidelor biologice influențează viteza de propagare în sensul creșterii acesteia odată cu concentrația. Această interdependență se poate utiliza ca metodă de determinare a concentrației molare a electroliților.

În propagarea printr-un mediu biologic, energia undei ultrasonice se micșorează treptat din cauza absorbției ca și din cauza împrăștierii, adică a difuziunii. Energia absorbită rămâne în mediul de propagare. Micșorarea energiei undei ultrasonice depinde de coeficientul de absorbție  $\alpha$  al mediului de propagare. Valoarea coeficientului mai depinde și de mărimea frecvenței ultrasunetului pentru un mediu dat.

Ultrasunetele suficient de intense, în urma interacțiunii cu medii biologice, vor produce unele modificări.

Unele dintre acestea pot fi explicate prin efectele fizice, chimice sau electrochimice ale ultrasunetelor. Efectele fizice cele mai reprezentative ale ultrasunetelor în medii biologice se clasifică în: efecte mecanice, efecte termice și efecte electrice. Efectele mecanice provin din originea mecanică a câmpului ultrasonic, care imprimă particulelor mediului caracteristici dependente de intensitatea, frecvența și natura mediului.

În terapia cu ultrasunete, frecvențele utilizate au valori cuprinse între 0,8 - 2 MHz, iar intensitatea între 0,05 - 2 W/cm<sup>2</sup>.

Un mediu considerat accesibil pentru cercetarea problemei cavitației este cel format din suspensii celulare.

### 1.3.3. Metode de determinare a unor mărimi caracteristice ultrasunetelor

Eficacitatea maximă a unui proces tehnologic cu ultrasunete este determinată de obținerea unor parametri optimi ai câmpului acustic în zona activată, fapt ce impune pe lângă un nivel optim al energiei acustice pe suprafața radiantă a transductorului și pierderi minime de energie în mediile de propagare a undei. Toate acestea demonstrează importanța elaborării unor metode de măsurare a acestor parametri în tot volumul câmpului acustic.

Mărimile caracteristice ale câmpului acustic (prezentate în capitolul 1) a căror cunoaștere este necesară pentru determinarea eficacității energiei ultrasonice într-un mediu în scopul elaborării și optimizării unui anumit proces tehnologic, sunt: deplasarea particulei ( $x, \xi$ ); viteza particulei ( $v$ ); accelerația particulei ( $a$ ); presiunea acustică ( $p_a$ ); densitatea de

energie ( $\bar{\tau} = \bar{p}V$ ); fluxul de energie ( $Q$ ); intensitatea acustică ( $I$ ); puterea acustică transmisă ( $P_d$ ); energia totală absorbită ( $E$ ); presiunea de radiație; energia consumată în stimularea procesului de cavitație ( $E_K$ ); coeficientul de eficiență a eroziunii ultrasonice ( $\eta_K = E_K / E$ ).

În practică se determină prin măsurări directe valorile deplasării, vitezei sau a accelerației particulei, presiunii acustice, presiunii de radiație și energiei.

Metodele de măsurare a energiei câmpului ultrasonic, a intensității și a mărimilor derivate sunt cuprinse în trei grupe principale:

- a. metode de măsurare directă a energiei totale (în principal metode termice);
- b. metode de măsurare a presiunii acustice, vitezei sau deplasării particulei (electroacustice și optice);
- c. metode de măsurare a radiației câmpului acustic.

Din prima grupă fac parte metodele bazate pe transformarea energiei ultrasonice în energie termică, cuprinzând metoda calorimetrică și metodele de măsurare cu traductoare de temperatură.

**a.1. Metoda calorimetrică** [5,13,14] este frecvent utilizată atât în câmpul acustic apropiat cât și în câmpul depărtat.

Transformarea energiei acustice în căldură când undele ultrasonice străbat un mediu puternic absorbant, realizează o ridicare a temperaturii mediului care poate fi urmărită cu termometrul.

Calorimetrele folosite în măsurarea mărimilor acustice prin metode termice conțin lichide cu coeficient de absorbție mare și impedanță acustică apropiată de cea a mediului de propagare pentru a reduce efectul reflexiilor (tetraclorură de carbon, ulei de ricin, ulei de măsline, uleiuri siliconice etc.).

Cerințele principale impuse calorimetrelor pentru măsurarea mărimilor acustice sunt:

- asigurarea absorbției totale a ultrasunetelor și repartizarea uniformă a temperaturii;
- lichidul folosit să fie stabil și la ultrasunete de intensități mari;
- reflexia fascicolului de ultrasunete spre transductor să fie neglijabilă;
- sensibilitatea mare și un răspuns relativ rapid.

Dezavantajul principal al metodei calorimetrice constă în precizii relativ scăzute de măsurare.

Schema de principiu a unui calorimetru adaptat măsurării energiei ultrasonice în lichide este prezentată în figura 1.33a.

Pentru explicarea mecanismului de măsurare a energiei ultrasonice cu ajutorul acestei metode s-a imaginat un model fizic al unui calorimetru, ca în figura 1.33b, în care:

- $P$  - este puterea ultrasonică a sursei de radiație;
- $P_o$  - puterea sarcinei suplimentare de energie (agitatorului);
- $k_r$  - coeficient de răcire;
- $t^\circ$  - temperatura pereților calorimetrului (constantă);
- $t_i^\circ$  - temperatura reală a lichidului din calorimetru;
- $t_e^\circ$  - temperatura indicată de termometru.

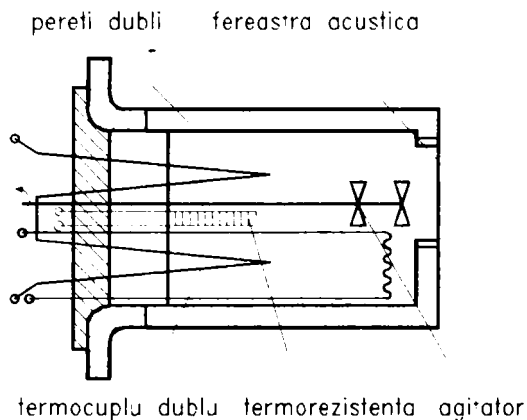


Fig. 1.33a

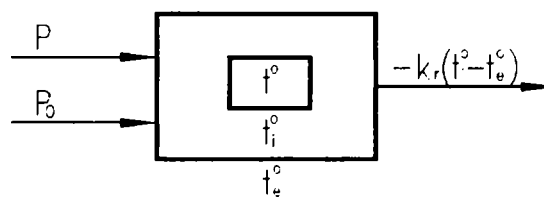


Fig. 1.33b

Se observă că evoluția în timp a variației de temperatură din calorimetru este dependentă de energia termică produsă de sursele  $P_0$  și  $P$  și de pierderile de energie  $[-k_r(t_i^0 - t_e^0)]$ . Astfel, există relația:

$$t^0 - t_e^0 = (P + k_r)k_r^{-1} \quad (1.51)$$

ce conduce la concluzia că odată cu creșterea timpului de activare se înregistrează o variație crescătoare a temperaturii în calorimetru.

Calorimetrele cu debit constant folosind un lichid cu coeficient ridicat de absorbție permit măsurarea puterii acustice emise de către un traductor de ultrasunete.

La obținerea echilibrului termic în calorimetru, diferența de temperatură dintre lichidul ce intră și cel care iese din calorimetru are expresia:

$$t_2^0 - t_1^0 = \frac{W}{Q_m \cdot C_s} \quad (1.52)$$

în care:  $W$  - este puterea primită de lichid de la fasciculul de ultrasunete;  
 $Q_m$  - debitul masic al lichidului;  
 $C_s$  - căldura specifică a lichidului.

Dacă se realizează calibrarea electrică a calorimetrului nu este necesară cunoașterea căldurii specifice, este însă necesară asigurarea unui debit masic riguros constant, deoarece el intră în condițiile de precizie ale calorimetrului.

În figura 1.34 se prezintă schema de principiu a unui calorimetru cu debit constant ce măsoară puterea acustică emisă de un transductor de ultrasunete.

Într-un vas (1), conținând apă (2), menținută la temperatură constantă, se află calorimetrul cu debit constant. În interiorul vasului metalic (3) se află calorimetrul propriuzis (4), între ele existând izolație de aer (5). Calorimetrul primește lichidul de lucru (6, ulei de ricin) prin tubul (7), în care este montat termistorul (8), ce măsoară temperatura de intrare.

Lichidul de lucru este evacuat prin tubul (9) în care se află termistorul (10) ce măsoară temperatura de ieșire. În incinta calorimetrului se află și rezistența (11), ce servește la calibrarea electrică a calorimetrului. Transductorul (12) emite fasciculul de ultrasunete care ajunge în calorimetru printr-o folie (13) din material plastic foarte subțire.

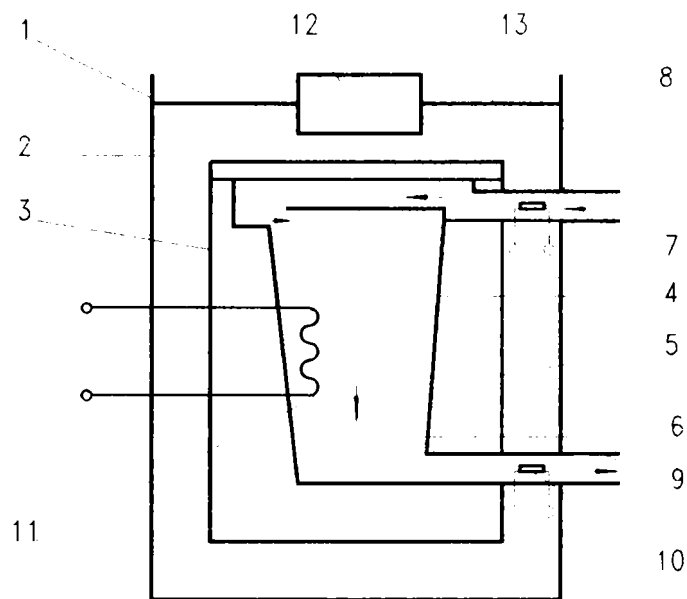


Fig. 1.34

Metoda descrisă prezintă următoarele dezavantaje:

- calorimetrul nu îndeplinește condiții riguros adiabatică, existând în mod inevitabil pierderi de căldură care nu se reflectă în diferența de temperatură;
- debitul masic al lichidului trebuie menținut riguros constant, orice variație a acestuia putând introduce erori apreciabile în procesul de măsurare.

Eliminarea dezavantajelor prezentate mai sus se poate face ușor folosind un calorimetru cu debit constant cu reacție, a cărui schemă de principiu este prezentată în figura 1.35:

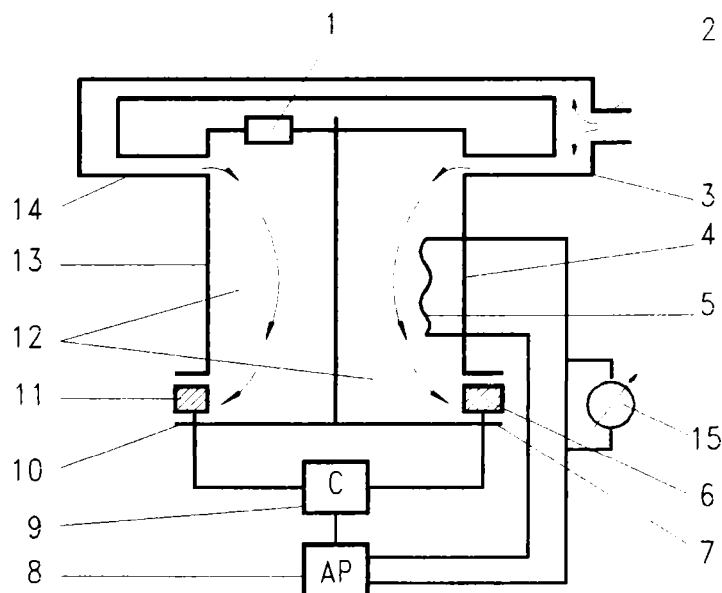


Fig. 1.35

Calorimetrul este compus din două vase identice, (4) și (13) în care se găsește lichidul de lucru (12), care circulă prin două tuburi, (3) și (14), din conducta principală (2), astfel încât să asigure același debit masic prin cele două incinte. Lichidul este evacuat prin tuburile

(7) și (10), în interiorul cărora se găsesc traductoarele de temperatură, (6) și (11), a căror ieșire este aplicată unui comparator (9).

Traductorul de ultrasunete (1) emite un fascicul de ultrasunete în lichidul din incinta (13), realizându-se astfel transformarea energiei acustice în energie termică. Temperatura lichidului va crește, deci va crește semnalul de la ieșirea traductorului (11), rezultând un semnal la ieșirea comparatorului (9), ce se aplică amplificatorului (8), a cărui ieșire este conectată la o rezistență (5) ce va începe să se încălzească. La echilibrul termic se realizează egalizarea energiilor primite în cele două incinte și deci egalitatea temperaturilor la ieșirile din cele două incinte.

Dacă se consideră puterea acustică  $P_a$  emisă de traductorul de ultrasunete, respectiv puterea electrică  $P_e$  cedată de rezistența  $R$ , parcursă de curentul  $I$  și având la bornele sale tensiunea  $U$  măsurată de instrumentul (15), se poate scrie la echilibru:

$$P_a = P_e = \frac{U^2}{R} \quad (1.53)$$

Prin urmare, puterea electrică emisă de traductorul de ultrasunete este proporțională cu pătratul tensiunii aplicate rezistenței de încălzire.

### **a.2. Măsurarea cu traductoare de temperatură**

În mediile solide și lichide parametrii câmpului acustic se pot măsura în baza efectului termorezistiv. În acest caz traductorul are un fir de platină, al cărui diametru este de ordinul  $5 - 8 \mu\text{m}$ , montat în punte Wheatstone, prin care trece un curent etalon. Prin introducerea detectorului într-un câmp ultrasonic, rezistența electrică a firului variază direct proporțional cu amplitudinea oscilațiilor ultrasonice (valorile maxime ale rezistenței corespund nodurilor de deplasare, iar valorile minime corespund ventrelor). Această metodă permite efectuarea de măsurători cu precizie de 1% până la 200 kHz.

Alte tipuri de traductoare sunt construite chiar pe baza principiului transformării energiei acustice în energie termică, când undele ultrasonice străbat un mediu absorbant lichid sau solid ale cărei proprietăți de absorbție (atenuare) sunt bine cunoscute. Căldura rezultată poate fi transformată în tensiune electrică prin intermediul unor termocuple foarte sensibile. În funcție de variația în timp a temperaturii ( $dt^\circ / dt$ ) se poate determina intensitatea acustică în apropierea termocuplului cu ajutorul relației.

$$I = (\rho c / 2\alpha) (dt^\circ / dt) \quad (1.54)$$

unde :  $\alpha$  este coeficientul de absorbție al mediului pentru unitatea de volum a lichidului sau mediului absorbant.

### **b.1. Traductoare piezoelectrice și magnetostrictive**

Pentru detectarea și măsurarea parametrilor câmpului acustic în mediile lichide se utilizează traductoare care funcționează pe principiul fenomenului piezoelectric. Astfel, etalonând curentul generat de traductor și aplicând un anumit factor de conversie, se poate măsura intensitatea câmpului acustic.



Pe lângă traductoarele piezoelectrice se mai folosesc și traductoare magnetostrictive, acestea din urmă având însă sensibilitate redusă (domeniul de utilizare nu depășește frecvența de 30 KHz).

### b.2. Metode optice [5,13]

Din această categorie fac parte, în principal, următoarele metode: refracția unui fascicul, iluminarea stroboscopică; difracția unui fascicul luminos; metoda cavitației; observarea cu oglinda rotitoare și altele. Aceste metode permit vizualizarea și fotografierea câmpului acustic, obținându-se imagini din care se pot determina pozițiile nodurilor, ventrelor, viteza de propagare etc.

În figura 1.36 se prezintă schema principală de funcționare a unui aparat optic utilizat la măsurarea parametrilor câmpului acustic prin metoda difracției.

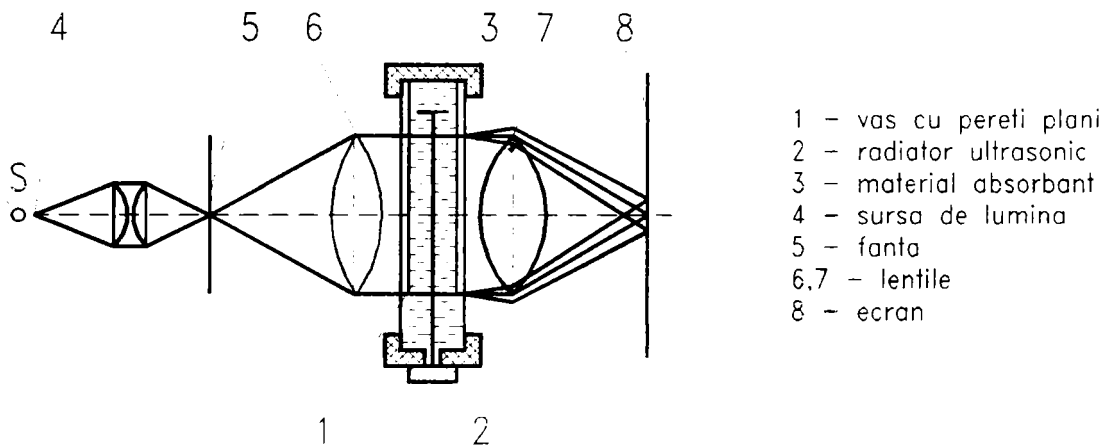


Fig.1.36

Când emițătorul ultrasonic este în funcțiune pe ecran apar pete luminoase care alternează cu pete întunecate. Unghiul de difracție corespunzător imaginii de ordinul  $n$  se poate determina cu relația:

$$\sin\theta_n = n \cdot \lambda / \lambda_n \quad (1.55)$$

iar viteza sunetului în mediul respectiv cu relația:

$$c = n \lambda f D \quad d_n \quad (1.56)$$

unde:  $D$  este distanța dintre lentila 7 și ecranul 8;

$d_n$  - distanța centrului imaginii de difracție de ordinul  $n$ ,  
 de centrul imaginii directe.

În baza cercetărilor lui Rayleigh asupra difracției luminii în câmp ultrasonic s-au stabilit relații ce determină intensitatea luminii pentru diferite armonici, de forma:

$$I_n = J_n^2(a) \quad (1.57)$$

unde:  $J_n(a)$  este o funcție Bessel, de ordinul  $n$ .

Determinările ce utilizează relația (1.57) sunt valabile numai dacă se stabilește o legătură între variația indicelui de refracție și variația presiunii acustice.



### c. Metode mecanice de determinare a forței, respectiv a presiunii de radiație

Efectul mecanic al presiunii de radiație care se exercită în diferite puncte ale câmpului acustic se măsoară cu radiometrul. Acesta se compune dintr-un disc de dimensiuni mici (fig.1.37) suspendat prin două fire de greutate neglijabilă. Prin introducerea discului într-un mediu lichid în care se propagă unde ultrasonice, presiunea de radiație exercită asupra discului o forță care îl deplasează din poziția inițială. Cu ajutorul unui comparator optic se măsoară deplasarea  $d$  a unui punct  $M$  aflat pe firul de suspensie la o distanță  $l$ . Mărimea forței este:

$$F = p_r \cdot S = G \cdot d \cdot l \quad (1.58)$$

în care:  $G$  - este greutatea discului;  
 $d$  - deplasarea;  
 $l$  - distanța față de suportul rigid;  
 $p_r$  - presiunea de radiație;  
 $S$  - suprafața discului.

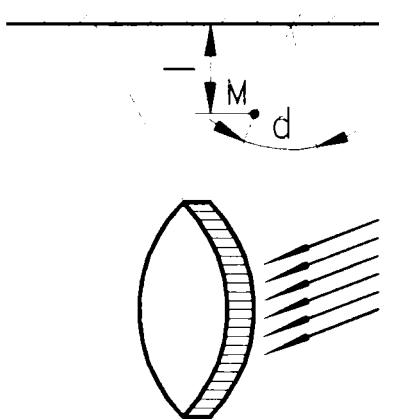


Fig.1.37

Dacă suprafața discului este complet absorbantă, intensitatea acustică este dată de relația:

$$I_a = Gdc \cdot Sl \quad (1.59)$$

unde  $c$  este viteza de propagare a undelor ultrasonice.

Intensitatea acustică se mai poate determina prin metoda discului lui Rayleigh. Discul, introdus într-un câmp ultrasonic, se va roti până când suprafața lui se va orienta perpendicular pe direcția de propagare a undelor. Se obține expresia momentului de torsiune al firului și din ea, ținând cont de relația dintre viteza particulelor și intensitatea acustică, se obține relația de calcul a intensității acustice:

$$I_a = 3c \cdot (8 M R^2 \sin 2\theta) \quad (1.60)$$

în care:  $M$  este momentul de torsiune al firului;  
 $R$  - raza discului;  
 $\theta$  - unghiul dintre suprafața discului și direcția de propagare a undelor.

Datorită faptului că propagarea undelor ultrasonice printr-un mediu are loc cu pierderi de energie, în metodele de determinare a parametrilor câmpului acustic și a mărimilor de propagare a undelor ultrasonice intervin constante ce țin seama de atenuare, fază și propagare.

• **Metodele interferometrice** utilizează undele continue, în regim staționar, și se bazează pe fenomenul de interferență. Principiul de funcționare al interferometrului ultrasonic este următorul: între două suprafețe plane (una radiantă, cealaltă reflectantă) se stabilește un regim de unde staționare; prin deplasarea uneia din suprafețe (se măsoară cu precizie deplasarea) se stabilește un minim al amplitudinii de oscilație a plăcii emițătoare și un maxim de amplitudine al oscilației aceleiași plăci (aceasta având influență în circuitul electric

al interferometrului). Astfel, determinându-se distanțele între două maxime succesive ale curentului, de obicei măsurând un număr suficient de mare de valori ( $n$ ), viteza undelor se poate calcula cu relația:

$$c_L = 2l \cdot f \cdot n \quad (1.61)$$

• **Metodele de rezonanță** constau în aducerea unui corp la starea de rezonanță, prin variația frecvenței undelor ultrasonice excitate, care pot fi longitudinale, de încovoiere, de torsiune, etc.

În figura 1.38 se prezintă schema simplificată a unui aparat de măsurare a vitezei undelor longitudinale. Aparatul are în componența sa un traductor piezoelectric (2) cu rol de emițător și detector, astfel că excitând unde ultrasonice se poate provoca fenomenul de rezonanță, caz în care viteza se stabilește pe baza relației:

$$c_L = 2l \cdot f_0 \quad (1.62)$$

unde:  $l$  = lungimea barei de propagare (3);

$f_0$  = frecvența de rezonanță.

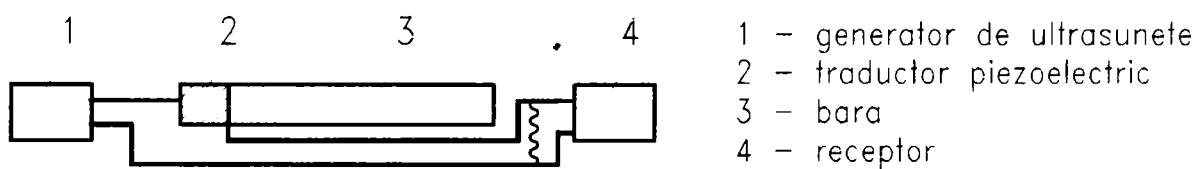


Fig.1.38

• **Metodele de măsurare directă a vitezei de propagare a undelor acustice** utilizează impulsuri ultrasonice care se propagă în mediul în care se efectuează măsurarea. Aparatele construite după acest principiu de funcționare au în componență elemente traductoare emițătoare și receptoare conectate la un oscilograf catodic pe ecranul căruia se pune în evidență imaginea semnalului detectat. Se determină durata propagării impulsului,  $\Delta t$ , prin mediul studiat (diferența de timp între apariția semnalului detectat față de cel emis) și apoi, cunoscându-se lungimea de propagare  $l$ , se determină viteza  $c_L$ .

• **Măsurarea atenuării undelor longitudinale** se poate realiza cu unde continue și cu impulsuri ultrasonice. Din prima grupă fac parte metoda presiunii de radiație, metoda interferometrică, metoda calorimetrică și metoda optică. Metodele presupun determinarea a două valori succesive, fie ale intensității, fie ale energiei acustice în baza cărora se determină mărimea de variație între două valori succesive. Deoarece undele ultrasonice suferă o atenuare în mediu, mărimile presiunii acustice ale impulsului emis, după parcurgerea diferitelor distanțe, sunt proporționale cu amplitudinile semnalelor ( $x_i$ ) apărute pe ecranul osciloscopului catodic. Având posibilitatea măsurării acestor amplitudini, constanta de atenuare se poate stabili cu ajutorul relației:

$$\alpha = (1/l) \ln (x_0 / x_l) \quad (1.63)$$

unde  $l$  este lungimea parcursă de impulsul ultrasonic în mediul studiat.

### **1.3.4. Aplicații ale ultrasunetelor în medii lichide**

Efectele pe care le produc ultrasunetele ca urmare a proprietăților pe care le posedă undele ultrasonore au determinat dezvoltarea spectaculoasă în ultimii ani a cercetărilor în acest domeniu și totodată punerea la punct a diferite metode ultrasonice care intervin în procesele tehnologice de producție, îmbunătățind calitatea produselor, mărirind productivitatea, contribuind la reducerea prețului de cost, a consumului de energie, oferind posibilitatea prelucrării unor materiale de înaltă rezistență mecanică. Astfel, tehnologiile bazate pe ultrasunete, având o gamă foarte largă de aplicații, de la industria aeronautică la cea alimentară, dețin un rol important. Ultrasunetele pot fi utilizate, fie ca purtătoare de informații în aplicații pasive, fie ca purtătoare de energii mari, peste  $0,1 \text{ W cm}^2$ , care interacționează activ cu materia producând transformări ale substanțelor în toate stările de agregare.

Aplicațiile active ale ultrasunetelor se împart în două categorii, și anume:

- aceea de intensificare a ritmului de desfășurare a unor procese în tehnologiile convenționale;
- aceea în care ele joacă un rol activ de sculă, prin interacțiunea specifică cu materialul supus prelucrării.

#### **❖ Curățirea și debavurarea cu ultrasunete [14,35,50,65,77,99]**

Una din direcțiile de mare perspectivă privind utilizarea ultrasunetelor în tehnica modernă o constituie curățirea cu ultrasunete a suprafețelor pieselor, subansamblurilor și ansamblurilor. Domeniul foarte larg de aplicabilitate al curățirii cu ultrasunete vizează următoarele:

- îndepărtarea impurităților mecanice, pulberi metalice, așchii, resturi de smoală, reziduuri rezultate în urma diferitelor procese termice;
- îndepărtarea murdăriei (grăsimi, uleiuri), a pastelor de polizare și șlefuire;
- îndepărtarea impurităților de orice natură din orificii de dimensiuni foarte mici și greu accesibile, de pe suprafețele pieselor cu configurație foarte complicată și suprafețe greu accesibile;
- îndepărtarea bavurilor rezultate din prelucrări anterioare.

Curățirea cu ajutorul ultrasunetelor este mult mai eficientă decât metodele obișnuite de curățire, atât în ce privește productivitatea ei, cât și calitatea procesului. Principiul metodei constă în următoarele: într-un vas umplut cu lichid se scufundă piesele murdare. Lichidul care umple vasul este apoi supus acțiunii unor unde ultrasonore ce provoacă apariția fenomenului de cavitație în el. Formarea bruscă a bulelor de cavitație este însoțită de șocuri hidraulice puternice care acționează asupra piesei în curs de prelucrare. Din cauza slăbirii forțelor moleculare de aderență între particulele de murdărie și ulei și metalul de bază, corpurile străine ce murdăresc suprafața se desprind de pe piesele supuse curățirii. În felul acesta se face curățirea pieselor cu forme complicate, care nu pot fi curățite prin metode obișnuite.

➤ Aparatele pentru curățirea cu ajutorul ultrasunetelor se compun din punct de vedere constructiv, din trei elemente principale: generatorul de oscilații electrice, transductorul

electromecanic și dispozitivul pentru scufundarea pieselor de curățat. Ținând seama de faptul că intensitatea optimă a energiei ultrasonore este cuprinsă, pentru o curățire de calitate, între  $2 - 5 \text{ W cm}^2$ , la calculul puterii electrice de ieșire a generatorului trebuie să ne orientăm după aceste cifre. Gama frecvențelor de lucru se întinde de obicei de la  $8 - 20 \text{ kHz}$  până la  $1200 \text{ kHz}$ .

Producerea unor vibrații ultrasonore intense în lichidul de spălare se realizează cu ajutorul diferitelor transductoare ultrasonore, cele mai convenabile în exploatare fiind transductoarele magnetostrictive și cele din titanat de bariu.

Construcția cuvelor de curățire depinde de forma, dimensiunile geometrice și alte particularități ce caracterizează piesele supuse prelucrării.

Rezultate foarte bune la curățirea pieselor au fost obținute prin combinarea metodei ultrasonore cu cea de degresare cu ajutorul aburului (fig.1.39). Piesele se degresează în prealabil într-o baie de abur apoi se curăță prin metoda ultrasunetelor. Procesul de curățire, exceptând încărcarea și descărcarea, este automatizat.

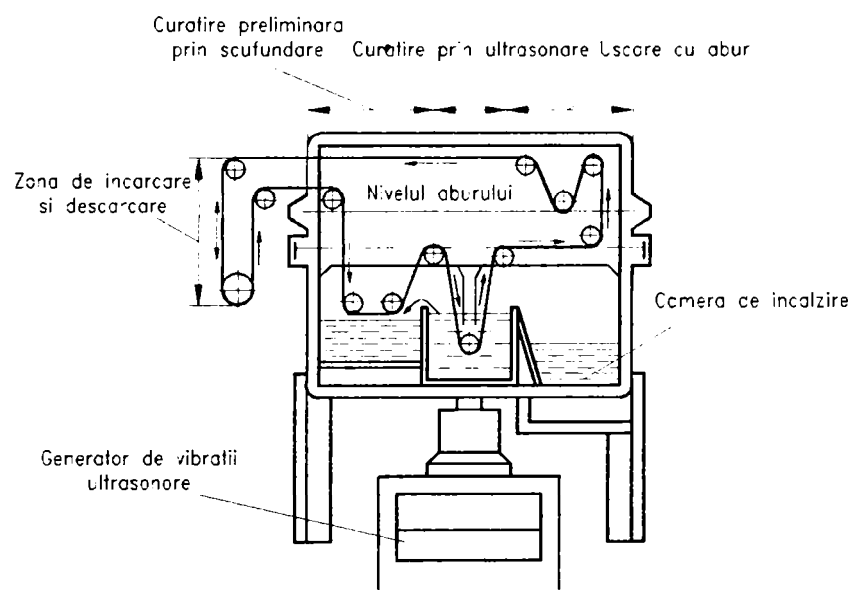


Fig.1.39

Curățirea cu ultrasunete depinde de următorii factori:

- natura materialului din care este confecționat obiectul: metal, ceramică, materiale textile și plastice, legume, fructe;
- forma și dimensiunile obiectului: conducte, canale de ulei, ace de seringă, piese și dispozitive, instrumente chirurgicale, recipiente din sticlă pentru laboratoare, sticle și borcane pentru industria alimentară;
- natura impurităților: organice și anorganice (pelicule groase, praf, săpun, săruri minerale);
- natura agentului de spălare: apă, apă distilată, emulsie de apă cu detergent sau cu săpun, solvenți organici;
- parametrii acustici: intensitatea acustică și frecvența ultrasunetelor;

- timpul de expunere la ultrasunete: între 20 - 60s pentru metale, sticlă, materiale ceramice și trei săptămâni pentru îndepărtarea unei cruste de 3mm de la un cazan;
- dimensiunile băii de spălare, în comparație cu dimensiunile obiectului ce trebuie spălat;
- temperatura din baia de spălare cu ultrasunete: între 50 - 90°C pentru agenți de spălare apoși, între 25 - 60°C pentru solvenți organici, între 60 - 100°C pentru vapori.

Eficiența curățirii cu ultrasunete depinde de îmbinarea tuturor factorilor enumerați și de găsirea unor condiții optime:

- se alege frecvența între 20 - 40 kHz pentru spălarea obiectelor cu dimensiuni de până la 3 cm și frecvența între 40 - 90 kHz pentru spălarea pieselor mai mari;
- se alege o intensitate acustică de 2 - 3 W cm<sup>2</sup> pentru spălarea în apă și de 1,5 - 2 W cm<sup>2</sup> pentru spălarea cu solvenți organici;
- intensitatea acustică pentru o baie cu un volum de 4 l este de 7 W cm<sup>2</sup>, iar puterea acustică pentru o baie cu un volum de 0,2 - 100 l variază între 0,1 - 4 kW;
- dimensiunea maximă a băii de spălare nu trebuie să depășească 20l pentru o intensitate acustică de 2 - 3 W cm<sup>2</sup>;
- peretii băilor de spălare cu ultrasunete se confecționează din materiale rezistente la coroziunea datorată fenomenului de cavitație.

La debavurarea cu ultrasunete eficiența procedurii se datorează tot fenomenului de cavitație acustică creat într-un nămol acid special preparat în funcție de natura materialului piesei, tipul bavurii, precizia dimensională și calitatea suprafeței piesei ce trebuie debavurată.

Procesul de debavurare ultrasonoră constă în general din următoarele operații: curățirea ultrasonoră preliminară, clătirea cu apă limpede, debavurarea ultrasonoră (durata ciclului după cât este necesar) clătirea cu apă limpede, neutralizarea și curățirea ultrasonoră, clătirea cu apă limpede (fig.1.40). Procedul este ușor de aplicat, dă un finisaj uniform, reduce cheltuielile de producție, reclamă mai puțin spațiu decât în mod obișnuit, înlocuiește o muncă manuală grea și costisitoare, curăță și lustruiește în timp ce debavurează. Aspectul final al piesei este lucios și fără urme de oxizi, stratul metalic înlăturat fiind de aproximativ 5...7μm.

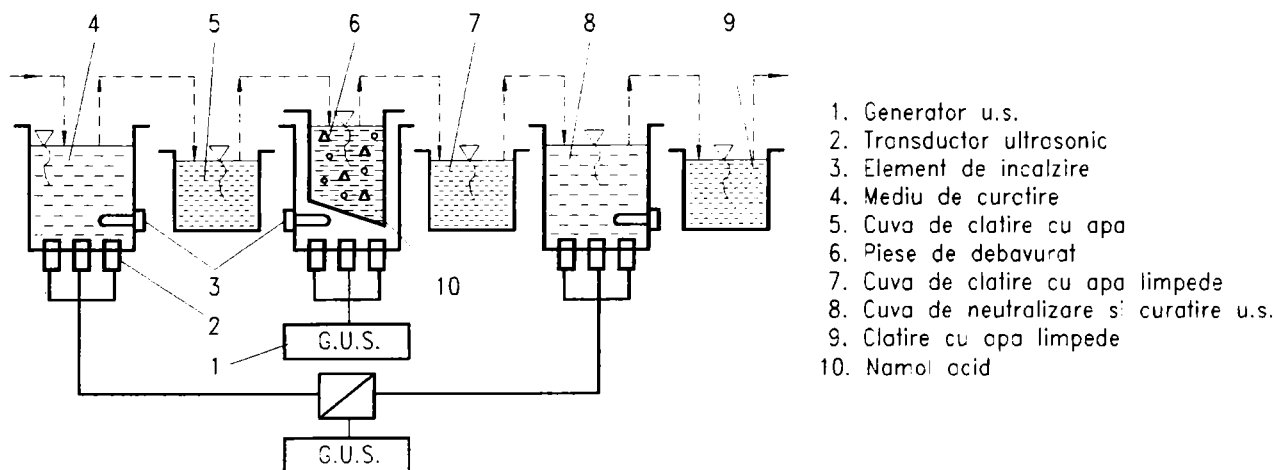


Fig.1.40



Curățirea cu ajutorul ultrasunetelor împreună cu curățirea electrolitică, constituie metodele moderne care dau cele mai bune rezultate și care sunt aplicate pe scară largă în industrie [14,77,99].

Cercetările experimentale desfășurate [35] au scos în evidență avantajele utilizării metodei de curățire cu ultrasunete, prin măsurarea comparativă a gradului de curățire a unei piese prin diferite procedee (cu ultrasunete, electrolitică, prin periere, în abur, cu jet, prin stropire). În acest scop a fost efectuată în prealabil, o impurificare a suprafeței piesei cu un ulei cu vâscozitate mare și care a fost radioactivizat pe cale artificială. Gradul de curățire a fost constatat prin măsurarea radioactivității peliculei de ulei înainte și după operația de curățire (stabilindu-se cu precizie, în mg, restul de impurități rămase în porii suprafeței piesei). S-a constatat că cele mai bune rezultate s-au obținut în urma curățirii cu ultrasunete și electrolitice, iar metoda de curățire cu ultrasunete nu este limitată numai la metale feroase ca în cazul metodei electrolitice.

O aplicație interesantă a curățirii cu ultrasunete este decontaminarea pieselor infectate de substanțe radioactive.

În prezent, procesul de curățire cu ultrasunete este utilizat pe scară industrială, automatizat, urmărindu-se în permanență crearea unor instalații adecvate, cât mai moderne, la care transportul produsului de curățire prin diferitele compartimente să se realizeze fără muncă manuală.

#### ❖ **Tratamentul cu ultrasunete al metalelor și aliajelor topite sau în curs de solidificare**

Acțiunea ultrasunetelor de mare putere asupra metalului topit se datorează fenomenului de cavitație, care produce pe de o parte o degazare a masei lichide de metal și pe de altă parte o fărâmițare a cristalelor.

În metalurgia obținerii diferitelor aliaje și metale pentru curățirea lor de diferite incluziuni nedorite, gaze, impurități, oxizi, se utilizează o serie de operații tehnologice ce constituie procesul de rafinare. Acest proces se poate accelera, intensifica și îmbunătăți folosind energia ultrasonoră, cu rezultate deosebite în ceea ce privește ridicarea calității metalelor și aliajelor.

Cercetările teoretice și experimentale întreprinse [50,58,68] au scos în evidență faptul că prin acțiunea ultrasunetelor asupra masei topite se modifică unele proprietăți de bază ca vâscozitatea, tensiunea superficială la limita de separație lichid - formă și fază lichidă - fază solidă, precum și temperatura, modificări ce influențează în mare măsură condițiile de degajare, rafinare, formarea structurii și dispersarea unui metal în altul.

De asemenea, prin iradierea cu ultrasunete a metalelor topite se obțin structuri compacte cu o granulație fină, granulele devin mai uniforme, rezultând totodată o considerabilă creștere a durtății.

Ruptura și eroziunea particulelor în suspensie într-un lichid, prin acțiunea cavitației intense, permit producerea de amestecuri ale unor metale, amestecuri ce nu pot fi obținute prin metode obișnuite (aliaje fier - plumb, aluminiu - cupru, aluminiu - plumb, zinc - plumb).



Încorporarea unui mic procentaj de plumb în metalele ușoare prezintă avantaje evidente, prin faptul că fac aceste metale mai maleabile.

Cercetările întreprinse [68] au evidențiat eficacitatea utilizării ultrasunetelor la diferite tratamente termice (de revenire, călire izotermică, îmbătrânire) utilizate pentru stabilizarea structurilor aliajelor și a oțelurilor aliate.

Tratarea cu ultrasunete a metalelor și a aliajelor în stare topită sau în curs de solidificare conduce și la schimbarea caracterului câmpului termic. Presiunea acustică determină amestecarea intensă a lichidului, uniformizează temperatura mediului și intensifică difuzia de convecție. În timpul uniformizării temperaturii lichidului se mărește schimbul de căldură cu pereții vasului și mediul înconjurător în urma căruia se mărește viteza de răcire.

Ultrasunetele accelerează procesele de difuzie. S-a constatat că intensitatea acustică, creșterea temperaturii și presiunea acustică provoacă amestecarea turbulentă și distrugerea peliculelor de frontieră dintre faza lichidă și faza solidă accelerând procesul de difuzie.

Totodată, energia ultrasonică introdusă în masa metalelor în stare lichidă poate să schimbe echilibrul dinamic și să determine lărgirea graniței solubilității diferitelor metale greu solubile sau chiar insolubile.

Numeroasele cercetări întreprinse evidențiază puternicul efect de degazare a unei mase topite sub acțiunea ultrasunetelor. Gazele solubile se adună sub formă de sulfuri care datorită curentului acustic se concentrează și se deplasează către suprafața liberă, iar la atingerea unor dimensiuni suficient de mari se degajă. Mecanismul procesului de degazare are la bază fenomenul de cavitație acustică și influența câmpului acustic asupra proprietăților fizico-mecanice ale metalului lichid.

Așa cum s-a arătat anterior [13,50,68], tratarea cu ultrasunete a metalelor și aliajelor în stare lichidă determină micșorarea vâscozității și a tensiunii superficiale și mărește unghiul de înmuiere. Aceste determinări au condus la studiul influenței ultrasunetelor asupra fluidității diferitelor metale și aliaje. Schema de principiu a unui dispozitiv pentru determinarea influenței ultrasunetelor asupra fluidității este redată în figura 1.41.

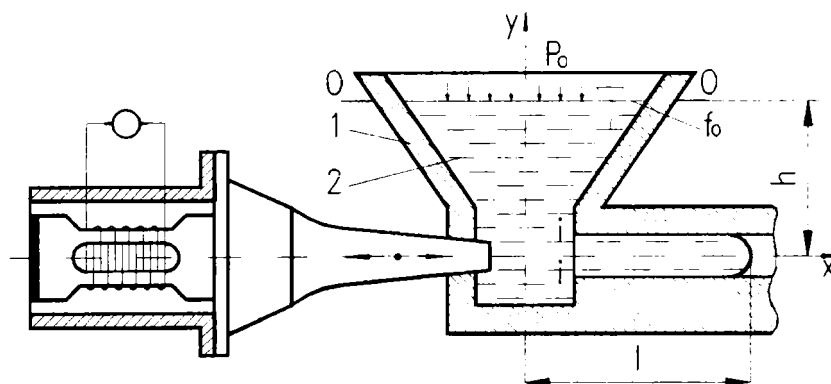


Fig. 1.41

Metalul sau aliajul topit (2), din cuva (1), în condițiile menținerii unui nivel constant în secțiunea 0 - 0, trece prin secțiunea de intrare  $i - i$  și umple canalul orizontal pe lungimea  $l$  variabilă, funcție de valoarea amplitudinii și frecvenței ultrasunetelor aplicate mediului.

Creșterea fluidității este pusă atât pe seama schimbării proprietăților fizico-mecanice ale metalului sau aliajului topit, cât și pe seama acțiunii de "pompaaj" a câmpului acustic creat în zona secțiunii de intrare.

Studiile și cercetările întreprinse asupra aluminiului și aliajelor sale au evidențiat faptul că ultrasunetele conduc la micșorarea (eliminarea) dilatației și la creșterea contracției de solidificare, fenomene explicabile prin aceea că energia ultrasonică conduce la o degazare completă, la o fărâmițare a cristalelor și la distrugerea spațiilor închise în care s-ar fi putut aduna gaze dizolvate. Majoritatea cercetărilor au scos în evidență faptul că gradul de finețe al cristalelor rezultate prin solidificare sub acțiunea ultrasunetelor este invers proporțional cu intensitatea acustică până la o anumită valoare caracteristică naturii aliajului turnat, este direct proporțional cu produsul dintre frecvența și amplitudinea vibrației și este condiționat de apariția fenomenului de cavitație acustică.

#### ❖ **Aplicațiile ultrasunetelor în industria chimică**

Efectele produse de acțiunea ultrasunetelor asupra diferitelor medii specifice industriei chimice au permis elaborarea a numeroase metode ultrasonore care ajută la oxidarea, reducerea, descompunerea și sinteza substanțelor organice și anorganice, coagularea particulelor în suspensie, producerea de emulsii și dispersii, producerea polimerizării și depolimerizării etc, [84,120,135].

Din analiza parametrilor care influențează acțiunea chimică a ultrasunetelor rezultă că efectele chimice în lichide nu au loc dacă intensitățile ultrasunetelor nu sunt suficiente pentru a provoca cavitația. Din analiza fenomenelor chimice care se produc în urma acțiunii ultrasunetelor s-a stabilit [17,19] că reacțiile chimice în câmp ultrasonor se împart în trei grupe:

- reacții chimice care se desfășoară direct în faza gazoasă, adică în bula de cavitație;
- reacții chimice care au loc în faza lichidă, adică în mediul care înconjoară bulele de cavitație;
- reacții chimice care au loc la limita de separare între bulele de cavitație și lichid.

Forțele medii de șoc, care se produc atunci când presiunea în bula de cavitație crește mult sunt suficiente pentru a asigura ruperea valențelor. S-a constatat că efectele chimice se manifestă numai în lichidele în care se găsesc dizolvate gaze, de a căror natură depinde cinetica de reacție.

Producerea unei reacții chimice în câmp ultrasonic fiind legată de fenomenul cavitațional, rezultă că este necesară o anumită intensitate acustică limită pentru ca transformările chimice să aibă loc, ele intensificându-se pe măsură ce presiunea acustică crește. Dacă se depășește însă o anumită valoare a presiunii acustice pentru care procesul chimic are loc cu maximum de eficiență, reacția își pierde din intensitate.

#### **a. Polimerizări și depolimerizări**

Polimerizarea constă în combinarea chimică a unui număr de molecule identice sau

analoge pentru a forma o moleculă complexă ( macromolecule ).

Depolimerizarea este operația inversă, care constă din ruperea legăturilor chimice ale unui lanț de molecule de dimensiuni mai mici decât molecula inițială și aceasta are drept urmare o reducere a vâscozității.

Tratamentul cu ultrasunete pentru a ajuta polimerizarea a fost examinat la un mare număr de reacții. S-a constatat că măbind frecvența și durata iradierii cu ultrasunete procesul devine mai activ, însă rezultatele cele mai bune se obțin atunci când se variază frecvența pe timpul reacției. Pentru aplicațiile practice este importantă concluzia la care s-a ajuns și anume că fenomenul cavitațional este hotărâtor în producerea polimerizării și depolimerizării [14]. Ca urmare, aceste procese sunt mult accentuate atunci când soluțiile conțin mult aer și sunt mult încetinite când soluțiile suferă o degazare prealabilă. Studiul proceselor care au loc sub acțiunea ultrasunetelor a arătat că apa este cel mai favorabil mediu pentru accelerarea proceselor de polimerizare cu ajutorul ultrasunetelor a polimerilor sintetici și totodată un mediu propice pentru inițierea acestor procese. Apa favorizează apariția fenomenului de cavitație în procesele electrochimice, care se desfășoară în spațiile de cavitație și condiționează generarea moleculelor ionizate și activate ale solventului (ale apei și ale gazelor prezente). Totuși, aceste procese se desfășoară sub acțiunea ultrasunetelor, nu numai în apă, ci și în solvenți organici (polari și nepolari).

#### **b. Formarea emulsiilor și fracționarea suspensiilor cu ajutorul ultrasunetelor**

Mecanismul formării emulsiilor are la bază fenomenul de dispersie ultrasonoră (vezi subcapitolul 1.3.2).

Principalii parametri ai procesului de emulsionare rezultă din corelația dintre mărimea perturbării produsă de ultrasunete la suprafața lichidului și diametrul  $\bar{D}$  al particulei de lichid dispersată în celălalt mediu, dată de relația:

$$\bar{D} = 0,34 \left( \frac{8\pi\sigma}{\rho f^2} \right)^{1/3} \quad [\mu\text{m}] \quad (1.64)$$

în care:  $\sigma$  este tensiunea superficială;  
 $\rho$  - densitatea lichidului;  
 $f$  - frecvența ultrasunetelor.

Stabilitatea emulsiei este cu atât mai mare cu cât aceasta este mai omogenă și cu cât dimensiunile particulelor sunt mai mici. Odată cu creșterea duratei de acționare a ultrasunetelor, numărul particulelor de diametru mic crește. În general, prin folosirea ultrasunetelor de puteri mari se obțin emulsii mult mai stabile și mai omogene decât în urma folosirii mijloacelor mecanice convenționale, reducându-se totodată cantitatea de stabilizatori.

Cavitația acustică constituie, după cum s-a arătat în capitolele anterioare, efectul principal al energiei ultrasonice în lichide care stă la baza atomizării lichidelor. Mecanismul producerii aerosolilor (atomizare) se explică prin fenomenul de dispersie ultrasonică și anume, în cazul când sistemul activat este de forma lichid - gaz, atunci la separația celor

două medii se formează o ceață foarte fină și densă. După cum se știe, undele capilare pot fi excitate pe suprafața liberă a unui lichid de joasă vâscozitate cu ajutorul unui emițător ultrasonic amplasat chiar sub suprafața lichidului. Dacă amplitudinea oscilației depășește o anumită valoare limită, undele devin instabile și proiectează particule fine de lichid în gaz, sub formă de ceață. Analizând acțiunea undelor capilare la suprafața de separație se pot trage următoarele concluzii:

- prin activarea unui lichid se pot provoca unde capilare la suprafața acestuia;
- când amplitudinea undelor depășește anumite valori, particulele de mici dimensiuni sunt proiectate în cel de-al doilea mediu (gaz sau lichid);
- diametrul particulelor dispersate este în funcție de parametrii energiei ultrasonice ( $f$ ,  $\lambda$ , etc.) și de natura lichidului (densitate, vâscozitate).

Prin tehnologiile actuale de preparare a emulsiilor și fracționare a dispersiilor cu ajutorul ultrasunetelor s-au realizat, în condiții de reducere a costurilor de fabricație (de câteva ori) și de mărire a duratei de stabilitate, emulsii de apă-ulei, ulei-apă, motorină - apă, dibutil fosfat - apă, toluen - apă, tetraclorură de carbon-apă, bitum-apă, etc.

Există în prezent numeroase aplicații industriale care se bazează pe dispersia solidelor cu ajutorul ultrasunetelor. Pot fi dezagregate celulele plantelor pentru a se elibera conținutul lor. Spre exemplu, în acest fel se poate elibera conținutul amar al hameiului, particulele amare din plantă fiind perfect dispersate în bere, obținându-se o creștere a randamentului extracției și însemnate economii.

Utilizarea ultrasunetelor pentru dispersie are aplicare și în industria lacurilor și vopselelor. Ultrasunetele pulverizează fin pigmentii de coloranți, fiecare particulă fiind învelită într-o peliculă de lac. Procesul devine continuu și este mult mai accelerat în comparație cu metoda obișnuită de obținere a emulsiilor. De asemenea, au devenit curente tehnologiile cu ultrasunete în prepararea unor produse specifice industriei alimentare (margarină, supe concentrate, gelatină, etc.).

### **c. Precipitări și aglomerări**

Prin acțiunea pe care ultrasunetele o au asupra particulelor în suspensie într-un mediu, se poate produce aglomerarea și precipitarea acestor particule.

Sub acțiunea undelor ultrasonore puternice, particulele aflate în suspensie într-un mediu gazos sunt puse în vibrație, exercitându-se o atracție și o respingere a particulelor vecine. Ca urmare, în anumite locuri din mediu se produce o aglomerare de particule, care nu se mai pot menține în suspensie și se depun. Cercetările efectuate au condus la concluzia că eficacitatea operației și viteza de precipitare a particulelor în suspensie depinde de intensitatea și frecvența ultrasunetelor, de granulometria și de natura particulelor [14,50].

Astfel există o valoare limită a densității de energie acustică pentru ca această precipitare să se producă, ceea ce implică folosirea în instalațiile industriale a unor emițătoare de ultrasunete foarte puternice. În ceea ce privește frecvența, rezultatele cele mai bune au fost obținute prin utilizarea de unde acustice cu frecvențe destul de joase, cuprinse



între 5 -25 kHz. În general cu cât particulele în suspensie au dimensiuni mai mari, cu atât este mai indicată utilizarea frecvențelor mai joase.

#### **d. Acțiunea ultrasunetelor asupra polimerilor**

Cercetările experimentale desfășurate ce au vizat influența ultrasunetelor asupra polimerilor au scos în evidență două procese de bază:

- ruperea legăturilor chimice ale unui lanț de molecule cu micșorarea dimensiunilor moleculelor și formarea altor compuși - procesul de depolimerizare.
- formarea moleculelor mari din câteva molecule identice sau asemănătoare - procesul de polimerizare.

Mediile utilizate în cadrul încercărilor sunt soluții de polistiren, polimetil, gelatină, cauciuc, esteri, acid dezoxiribonucleic, acetat de polivinil, etc. Aplicându-se un câmp de unde ultrasonore cu anumite caracteristici (frecvență, intensitate, durată etc.), în majoritatea situațiilor s-a constatat că sub acțiunea ultrasunetelor greutatea moleculelor scade, efect evidențiat prin micșorarea vâscozității soluției.

În unele cazuri, după încetarea acțiunii ultrasunetelor soluția revine la o vâscozitate apropiată de cea inițială (fenomen numit tixotropie), în alte cazuri reducerea vâscozității este ireversibilă (se produce o scindare a legăturilor de valență sub acțiunea ultrasunetelor, iar după încetarea acesteia, legăturile nu mai pot fi restabilite). Astfel, se poate concluziona că gradul de polimerizare nu depinde în primul rând de structura polimerului, ci de diferența dintre gradul de polimerizare inițial și final și de concentrația polimerului activat cu ultrasunete. În procesul de depolimerizare cu ajutorul ultrasunetelor un rol important îl are fenomenul cavitațional, constatându-se că într-un lichid complet degazat sau aflat sub o anumită presiune depolimerizarea nu mai are loc.

La producerea depolimerizării mai contribuie și acțiunea distructivă a forțelor de frecare ce se dezvoltă în lichid în urma acțiunii undelor ultrasonice. Parametrul cu influența cea mai mare asupra eficienței procesului de depolimerizare este intensitatea câmpului ultrasonic aplicat soluției. Există o limită de minim a intensității de la care depolimerizarea poate să apară, dar și o limită maximă peste care procesul devine ineficient.

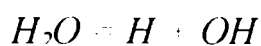
#### **e. Oxidarea și reducerea prin ultrasunete**

Multe din reacțiile chimice care au loc în natură, în industrie și în laborator sunt reacții de oxidare, în urma cărora o substanță se îmbogățește în oxigen. Dar și operația inversă, reducerea, este și ea larg răspândită și folosită. Astfel, în industrie, prin reducere, se poate extrage metalul din minereu, când acesta este un oxid al metalului respectiv. Favorizarea oxidării și a reducerii constituie rolul cel mai important al undelor ultrasonice în domeniul sonochimiei.

Unul dintre factorii cu rol important în favorizarea oxidării este temperatura. Este cunoscut faptul că moleculele unui corp se află într-o permanentă mișcare. Dacă moleculele a două corpuri se întâlnesc, se ciocnesc și se pot uni. Reacția se va produce cu atât mai masiv, cu cât ciocnirile vor fi mai dese. Mărind temperatura unui corp, vitezele cu care se

mișcă particulile lui cresc, ciocnirile devin mai frecvente, determinând accelerarea reacției chimice.

Cercetările experimentale întreprinse au scos în evidență faptul că la baza oxidării prin ultrasunare stă același fenomen cavitațional. Sub influența ultrasunetelor, apa se descompune în atomi de hidrogen (H) și în radicali liberi (OH), conform următoarei scheme:



Imediat după implozia bulei de cavitație, atomii de hidrogen și radicalii liberi trec în mediul apos, unde pot intra în reacție cu diferite substanțe pe care le conține mediul. În raport cu particularitățile și structura lor moleculară, unele substanțe intră în reacție cu atomii de hidrogen, iar alte substanțe cu radicalii OH. În felul acesta se obțin procese de reducere sau de oxidare. Un exemplu de aplicație la nivel de laborator este prepararea iodului prin extragerea lui din iodura de potasiu, activând cu ultrasunete soluția de iodură de potasiu în apă. Tot prin oxidare se poate obține acid azotic prin iradierea cu ultrasunete a unei soluții apoase a unui azotat.

Ultrasunetele își găsesc o largă aplicare și în industria coloranților (obținerea de coloranți prin oxidarea anilinei; obținerea aldehidei acetice din acetilenă, prin introducerea unei molecule de apă în molecula de acetilenă, proces accelerat prin aplicarea ultrasunetelor).

Aplicând tratarea ultrasonică în scopul conservării vinului, s-a constatat [49,85,129] modificarea compoziției acestuia, vinul dobândind o limpezime și aromă pe care le are un vin vechi. Deci, odată cu operația de conservare se face și "îmbătrânirea" vinului, datorată oxidării accelerate prin ultrasunare.

#### ❖ **Utilizarea ultrasunetelor la filtrarea lichidelor și purificarea apelor de suprafață și industriale**

Filtrarea reprezintă operația de separare a unei substanțe solide dintr-un lichid, prin intermediul unui filtru.

Cercetările teoretice și experimentale [58,135] au condus la concluzia că fenomenul de cavitație are cea mai mare importanță în producerea unor schimbări menite să accelereze procesul de filtrare. Astfel, în cazul activării cu energie ultrasonoră, fenomenul de cavitație acționează ca un mecanism de curățire asupra filtrului. Totodată, datorită dispersiei ultrasonore, particulele cu dimensiuni mai mari decât diametrul porilor filtrului sunt dezagregate, iar particulele cu dimensiuni foarte mici sunt aglomerate. La creșterea vitezei de filtrare cu ajutorul energiei ultrasonore contribuie și efectul presiunii acustice asupra particulelor de diverse dimensiuni, sub acțiunea căreia particulele mai mari se aglomerează în fața filtrului și se separă sub acțiunea forței gravitaționale.

În instalațiile ultrasonore de filtrare [65,135] se utilizează atât transductoare piezoceramice cât și magnetostrictive. Modul de activare ultrasonoră poate fi: asupra elementului filtrant, asupra lichidului sau asupra ambelor medii.

Metoda de filtrare în prezența ultrasunetelor este aplicată cu precădere în industria alimentară la:



- *limpezirea uleiurilor vegetale, care este mai eficientă dacă filtrarea se face în prezența cărbunelui activ, când se obține și o decolorare mai intensă a produsului finit;*
- *concentrarea grăsimilor conținute în diverse soluții;*
- *limpezirea vinurilor (coagularea substanțelor coloidale din vin);*
- *fabricarea zahărului, care necesită filtrarea soluției de difuzie obținute din extracția zaharozei din sfecla de zahăr.*

*O problemă care se află în atenția cercetătorilor este tratarea apelor de suprafață și industriale prin diverse tehnologii. Pentru purificarea acestor ape prin utilizarea energiei ultrasonore ( $f = 175 \text{ kHz}$ ) s-a aplicat efectul de coagulare a hidrosolilor în câmp ultrasonor, diferite particule coagulându-se în bulgări care se rețin prin intermediul unor filtre.*

*În baza aceluiași principiu de agregare pri coagulare și a sedimentării particulelor accelerate sub influența câmpului ultrasonor este posibilă realizarea unor procedee pentru limpezirea apelor de suprafață (râuri, lacuri, canale etc.).*

*Filtrarea în prezența ultrasunetelor se folosește de asemenea, în industria farmaceutică pentru prepararea unor medicamente.*

#### **❖ Utilizarea ultrasunetelor în procesul de sedimentare a particulelor**

*Principiul care stă la baza sedimentării particulelor fine, solide sau lichide, suspendate într-un mediu fluid, îl constituie aglomerarea acestora în zona nodurilor unui câmp staționar produs de propagarea ultrasunetelor. Aglomerarea acustică provoacă mărirea particulelor și depunerea acestora datorită creșterii densității.*

*Procesul de sedimentare depinde de: natura particulelor și a mediului fluid; mărirea și concentrația particulelor din mediu; viteza și intensitatea curentului de fluid care transportă particulele în suspensie; frecvența și timpul de acționare a ultrasunetelor; mărirea incintei în care are loc procesul de depunere.*

*Frecvența potrivită pentru depunerea aerosolilor sau a particulelor de praf din aer este de  $16 \text{ kHz}$ , la o intensitate acustică de  $0,1 - 1 \text{ W/cm}^2$ .*

*Pentru depunerea particulelor suspendate într-un lichid se aleg acele condiții acustice care defavorizează apariția cavitației: la o frecvență de  $20 \text{ kHz}$  intensitatea acustică trebuie să fie mai mică de  $2 \text{ W/cm}^2$ .*

*Timpul optim de acționare a ultrasunetelor pentru depunere este dependent de frecvență și intensitate, de volumul incintei și de viteza curentului de gaz care transportă particulele. Pentru o viteză a gazului transportor de  $3 - 4 \text{ m/s}$  și timpul de expunere la ultrasunete de  $4 - 5 \text{ s}$  depunerea particulelor este eficientă.*

*Depunerea ultrasonoră a particulelor aflate în suspensie într-un gaz este influențată de concentrația acestora. La o concentrație mai mică de  $1 - 2 \text{ g/m}^3$  probabilitatea de ciocnire a particulelor este mai mică, masa particulelor aglomerate este redusă și depunerea nu este posibilă. Concentrația optimă pentru depunerea aerosolilor este de  $5 \text{ g/m}^3$ .*

*Prin depunerea ultrasonoră a particulelor solide sau lichide din aer sau din soluții se realizează separarea produselor de reacție solide, dintr-o soluție, recuperarea materiilor*

prime și a produselor intermediare (exemple: recuperarea prin depunere a prafului de cacao și cafea, a zahărului pudră, a pulberilor rezultate în procesul de fabricație a medicamentelor, praful de amidon etc.).

#### ❖ **Reacții chimice care au loc în prezența ultrasunetelor**

În condiții de cavitație, în vecinătatea bulelor care explodează se produc presiuni și temperaturi foarte mari, care determină modificări chimice ale mediului.

În funcție de natura sistemului (produse, materii prime), ultrasunetele acționează asupra următoarelor tipuri de reacții chimice: de polimerizare, de depolimerizare, de descompunere, de combinare, de hidroliză, electrochimice. Prezența ultrasunetelor mărește sau micșorează viteza reacțiilor chimice. Există multe reacții chimice care se pot produce în câmp ultrasonor, dintre care se exemplifică câteva din cele care au loc în industria alimentară și biologie.

**Hidroliza zaharozei.** Prin hidroliza acidă sau enzimatică a zaharozei se obține un amestec molecular de  $\alpha$  - glucoză și  $\beta$  - fructoză, amestec denumit zahăr invertit. Amestecul se caracterizează printr-o putere de îndulcire mare, datorită fructozei care are puterea de îndulcire de 100% (considerată etalon), iar glucoza de 75%. Prezența câmpului ultrasonor la hidroliza zaharozei mărește viteza de reacție.

**Hidroliza grăsimilor.** Aceasta se realizează în mediu acid sau bazic, obținându-se amestecuri de acid gras și alcool, respectiv amestecul format din sarea acidului gras (săpun) și alcool.

Utilizarea undelor ultrasonore în procesul de hidroliză (saponificare) al grăsimilor mărește viteza și randamentul reacției: hidroliza lanolinei este totală după 40 - 60 minute în prezența ultrasunetelor și este incompletă după 10 - 16 ore, în absența acestora. Acest fenomen se poate explica prin reducerea timpului de formare a emulsiei grăsime-apă în câmp ultrasonor.

**Maturizarea băuturilor alcoolice.** Dintre procedeele de învechire a distilatelor din vin sub acțiunea ultrasunetelor amintim:

- menținerea distilatelor la 45 °C, timp de două săptămâni, cu răcirea intermitentă la - 4 °C, combinată cu expunerea la ultrasunete ( $f = 160$  kHz);
- menținerea distilatelor la 45 °C, timp de două săptămâni, combinată cu expunerea la ultrasunete ( $f = 800$  kHz) de trei ori pe zi, câte 10 minute, la fiecare 3 zile în prima săptămână sau de trei ori pe zi, câte 10 minute, la interval de 24 de ore.

#### ❖ **Tratarea cu ultrasunete a unor produse folosite în industria alimentară**

Aplicațiile ultrasunetelor găsesc o răspândire largă și în industria alimentară, în special în industria cărnii, laptelui și conservelor, la fabricarea emulsiilor de grăsimi și folosirea lor pentru producerea mezelurilor, la curățirea și sterilizarea cărnii, a laptelui și berii, la frăgezirea grăsimilor greu topibile, la degresarea oaselor etc.

Majoritatea acestor aplicații se bazează pe fenomenul de cavitație acustică și pe capacitatea ultrasunetelor de a produce emulsionarea lichidelor nemiscibile (apă-ulei, apă-grăsimi). Rezultate pozitive s-au obținut în prepararea unor produse din lapte, în prepararea maionezelor, blaturilor și în conservarea îndelungată a unor produse obținute pe baza acestora.

Schema bloc de principiu a unei instalații industriale de emulsionare în câmp ultrasonor plasată în fluxul tehnologic de preparare a mezelurilor este prezentată în figura 1.42 [5].

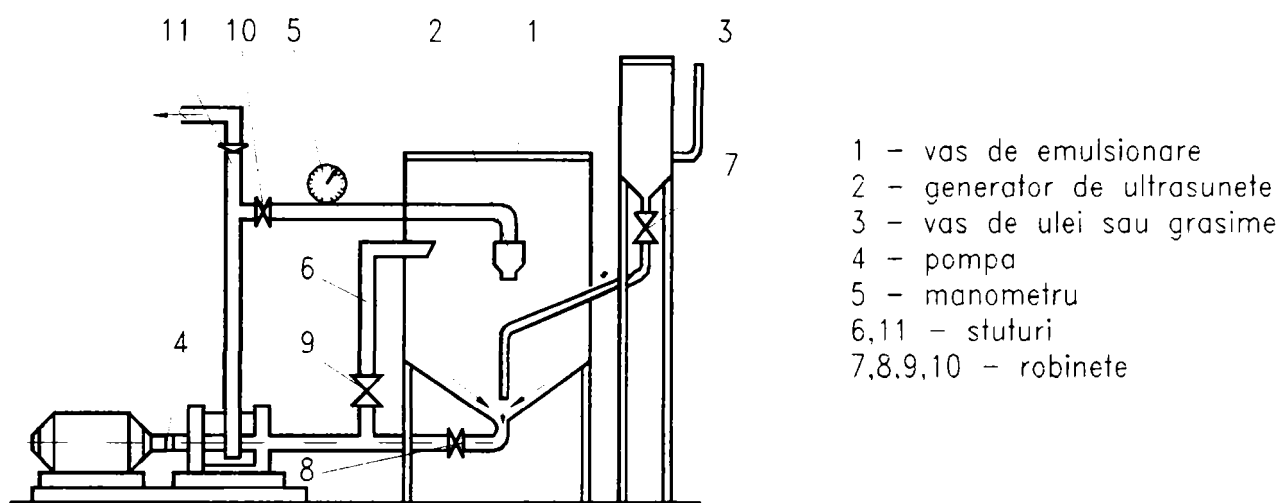


Fig.1.42

Utilizarea unor astfel de instalații permite o reducere considerabilă a timpului de menținere a cărnii în saramură, o distribuire uniformă a grăsimii în compoziția produsului finit, o micșorare a pierderilor de umiditate la prelucrarea termică a preparatelor, obținerea unor produse dietetice prin înlocuirea grăsimii animale cu ulei vegetal și introducerea acestuia în compoziție sub formă de emulsie.

Majoritatea produselor specifice chimiei alimentare sunt "medii de cultură" ideale pentru dezvoltarea și multiplicarea microbilor de diferite specii.

#### ❖ Efecte biologice speciale

Literatura de specialitate [15,48,52] conține numeroase date despre efectele ultrasunetelor asupra sistemelor vii. În aceste cazuri se pune întrebarea dacă efectul observat este urmarea unei acțiuni directe (de exemplu mecanice, calorice) asupra structurii cercetate, sau dacă este determinat de un proces biochimic declanșat de acțiunea ultrasunetelor într-o zonă de țesut sau celulă.

Printre modificările ale căror mecanisme de acțiune sunt considerate necunoscute se află și următoarele:

- scăderea numărului de granule de glicogen din celule. Acest fenomen constituie și un indiciu precoce al acțiunii radiației ultrasonice. Nu se cunoaște dacă "granulele", probabil similare cu "picăturile", se rup pe cale mecanică sau biochimică, ca o urmare a acțiunii ultrasunetelor în altă parte, în sau aproape de

celulă. Numărul granulelor de glicogen în celule scade și crește ca urmare a proceselor biologice normale: astfel, modificările induse de energia ultrasonoră trebuie considerate ca un indiciu sensibil al acțiunii ultrasunetelor;

- altă indicație timpurie a acțiunii ultrasunetelor este alterarea mitocondriilor prin creșterea volumului și întreruperea cristelor acestora. Leziunile constatate s-ar putea datora acțiunii mecanice a ultrasunetelor; există și aici posibilitatea unui efect indirect, deoarece mitocrondrii capătă diferite configurații în cursul proceselor biologice normale. Mitocondria are capacitatea de a se autorepara;
- în țesutul hepatic iradiat cu ultrasunete se constată distrugerea sau creșterea numărului de lizozomi, fără să aibă loc încălzirea sau cavitația. Aceste modificări au consecințe grave, deoarece enzimele eliberate în urma distrugerii, duc în mod tipic la o dezintegrare a structurilor intracelulare. Sunt situații în care se observă creșterea temporară a numărului de lizozomi, fapt explicat prin modificarea metabolismului celular.

Studiile efectuate privind transportul apei și al ionilor de sodiu prin membranele celulare, supuse câmpului ultrasonic, prezintă rezultate contradictorii. Metodele "microsonice", prin care s-a eliminat cavitația și efectul caloric, au demonstrat că activitatea electrică a pielii de broască suferă modificări reversibile.

Experiențele efectuate pe membrane semipermeabile, comerciale, au arătat că s-a modificat viteza de dializă în câmp ultrasonic pentru frecvențe cuprinse între 20 - 1000 kHz. La niveluri mari ale intensității, în condiții pentru apariția cavitației, scade permeabilitatea membranei, fenomen explicat prin schimbări ireversibile în structură.

#### ❖ **Acțiunea ultrasunetelor asupra microorganismelor și virușilor**

Folosirea ultrasunetelor în microbiologie se bazează pe capacitatea acestor unde de a exercita o acțiune ultrasonică asupra lor. La o anumită valoare a intensității câmpului ultrasonic și durată de ultrasonare se pot distruge protozoare, bacterii, viruși.

##### **Protozoarele**

Sub un anumit prag de intensitate ultrasunetele exercită o acțiune biopozitivă asupra dezvoltării protozoarelor. Infuzorii încep o mișcare rapidă, după care viteza mișcării scade. După îndepărtarea ultrasunetelor structura și funcția organismelor revine la normal. La o intensitate mare însă protoplasma se separă de membrana celulară care se rupe, iar conținutul celular trece în mediul înconjurător. Paramecii dispersați în ser fiziologic se pot distruge în câteva secunde datorită cavitației.

Viteza de distrugere depinde, pe lângă parametrii câmpului ultrasonic și de condițiile de tratare: de temperatura și de natura mediului de dispersare, precum și de forma și stadiul de dezvoltare a protozoarelor. Dacă ultrasonarea se face la o temperatură la care microorganismele își păstrează capacitățile de mișcare în spațiu, ele se distrug în 10 secunde. La o temperatură mai mare, forma lor devine rotundă, în acest stadiu fiind mult mai rezistente față de ultrasunete. Distrugerea lor nu are loc nici după 100 secunde. În ser fiziologic (9% NaCl) distrugerea este eficientă, însă soluția de clorură de sodiu exercită un rol protector,



deoarece paralizează protozoarele. Celulele mai mari sunt mai sensibile decât cele de dimensiuni mici.

### **Bacteriile**

Suspensiile de bacterii sunt sisteme biologice ideale pentru studiul efectelor biologice ale ultrasunetelor, deoarece efectul se poate determina la interval de 12 - 14 ore după tratare, folosind metodele exacte ale bacteriologiei. Din această cauză literatura de specialitate este foarte vastă și bogată [48,52,85].

Sub un anumit prag de intensitate (care diferă pentru diverse medii bacteriene), în cazul tratamentelor ultrasonice cu durate scurte, ultrasunetele au o acțiune biopozitivă asupra creșterii și dezvoltării bacteriilor. Harvey și Loomis au fost primii care au studiat în anul 1927, acțiunea biopozitivă a ultrasunetelor asupra suspensiilor de bacterii, observând creșterea lor numerică în cazul aplicării intensităților mici. Aceste efecte au fost explicate de unii autori prin separarea mecanică, ce tinde să împrăstie coloniile de celule bacteriene. Unii cercetători au atribuit creșterea numerică a indivizilor rușerii lanțurilor bacteriene. Alți autori au descris acțiunea bionegativă a ultrasunetelor de o intensitate mare și durată lungă, asupra unor suspensii bacteriene. În anumite condiții experimentale bine determinate acțiunea ultrasunetelor este letală asupra tuturor tipurilor de bacterii: bacteriile patogene, nepatogene, aerobe, anaerobe, bacteriile situate izolat, sub formă de perechi sau lanțuri, coci și așa mai departe. Iată câteva exemple: în urma acțiunii ultrasunetelor se distrug bacterii dizenterice, bacterii parafitice, bacilii care generează intoxicațiile intestinale, etc. (vezi subcapitolul 4.1.). Sub acțiunea ultrasunetelor bacteriile luminescente își pierd luminescența și nu se dezvoltă.

De asemenea, bacilii tuberculoși cunoscuți prin rezistența la față de mulți factori fizici și chimice, sunt distruși în câmp ultrasonic.

### **❖ Alte aplicații ale ultrasunetelor în medii lichide**

Una din aplicațiile cele mai răspândite este dezintegrarea celulelor. În cele ce urmează se prezintă o listă de substanțe care au fost tratate cu un dezintegrator tip SONIFER (firma BRANSON), fie în timp mai scurt decât cu metodele convenționale, fie în mod extrem de simplu: țesuturi celulare, vaccinuri, antigeni de transplant, microbacterii, neurospori, penicilină, țesuturi hepatice, culturi de celule tisulare, globule de sânge, probe de sol, coloranți, țesuturi cerebrale, țesuturi musculare etc. Tot cu dezintegratoare tip SONIFER s-au realizat următoarele:

- desprinderea substanțelor conținute în țesuturi animale și vegetale;
- realizarea unor emulsii extrafine chiar și din substanțe greu amestecabile;
- distribuția extrafină a substanțelor insolubile în lichid;
- accelerarea reacțiilor chimice și biologice;
- detectarea bacteriilor, virusilor, ciupercilor, țesuturilor.

O serie de cercetări experimentale au fost consacrate influenței ultrasunetelor asupra solidificării fontei albe, fontei cenușii și a fontei cu grafit nodular. În condițiile tratării cu ultrasunete a masei topite de fontă albă s-a obținut o structură cu granulație fină de perlită și o dezvoltare a rețelei de cementită. Fonta astfel obținută supusă tratamentului de recoacere se

grafitizează după un timp considerabil mai scurt. Proprietățile mecanice și tehnologice se măresc în proporție de 1,5 - 2 ori.

Numeroase cercetări teoretice și experimentale au căutat să pună în evidență influența ultrasunetelor asupra cristalizării oțelurilor (oțeluri carbon obișnuite, feritice, austenitice, de scule, oțeluri carbon slab aliate, refractare, oțeluri speciale). În majoritatea cazurilor analizate s-a constatat fărâmițarea structurii, obținerea unor proprietăți mecanice mai bune cu 20 – 60 %, creșterea proprietăților de plasticitate cu 20 – 40 %, obținerea unei structuri omogene etc.

Accelerarea proceselor electrochimice din tehnologiile de electrodepunere se explică prin influența pe care o are energia ultrasonoră în cinetica de desfășurare a procesului. Astfel, la intensități mari ale radiației ultrasonore se produce o depolarizare puternică, care provoacă degazarea hidrogenului în anumite condiții și a oxigenului din soluția electrolitică, cauza acestui fenomen fiind efectul cavitațional. De asemenea, câmpul ultrasonor are o acțiune de agitare a electrolitului, care este mai puternică decât agitarea mecanică. Așadar, acțiunea de intensificare a proceselor chimice și electrochimice constituie motivul utilizării energiei ultrasonice în tehnologiile de lustruire electrolitică, electroeroziune, îmbunătățirii capacității electrice a acumulatorilor.

În ultimul timp ultrasunetele și-au găsit utilizarea și în hidrometalurgie în procesele de flotație, măcinare și concentrare a minereurilor.

În industrie a dobândit o importanță din ce în ce mai mare lipirea și cositorirea metalelor și aliajelor cu ultrasunete (exemple: aluminiu, oțelurile inoxidabile și refractare, titanul și aliajele sale, ceramici etc.). Avantajele folosirii ultrasunetelor în procesul de lipire s-au constatat și în alte domenii de utilizare ca: industria lemnului, industria construcțiilor, industria materialelor plastice, cauciucului, sticlăriei, textilă etc. Experimental s-a constatat că pelicula de oxizi ce acoperă suprafețele de lipit, greu îndepărtabilă prin metode clasice, este foarte sensibilă la cavitație, dar numai la temperaturi la care materialul de adaos este în stare topită, când fenomenul de cavitație are intensitatea maximă.

Ultrasunetele își găsesc aplicabilitate în industria textilă, în cadrul diferitelor procese fizice și chimice cuprinse în tehnologiile de fabricație (spălare, degomare, albire, vopsire, emulsionare etc.).

În industria medicamentelor, în baza efectului de fracționare a suspensiilor, ultrasunetele se utilizează la extragerea alcaloizilor, iar datorită efectelor de omogenizare și sterilizare, acestea se aplică în stomatologie (omogenizări și condensări de materiale vâsco-elastice utilizate în obturațiile dentare, detartrări) și medicină (distrugere de colibacili, floră microbială cu aplicabilitate la sterilizarea acelor de seringă și a unor instrumente chirurgicale de dimensiuni mici, detectări, diagnosticări, fizioterapii, vezi subcapitolele 4.1.2., 4.3.2.).



### **1.3.5. Pròpagarea undelor în medii lichide cu mai multe componente**

*Numeroase cercetări au fost consacrate obținerii diferitelor emulsii, adică amestecării unor lichide nemiscibile, ca de exemplu ulei-apă, benzină-apă, mercur-apă etc. Efectul de amestecare este determinat de faptul că particulele unui lichid sunt împinse cu putere în celălalt lichid, sub acțiunea presiunilor înalte care iau naștere în urma cavitației.*

*În literatura de specialitate există considerații contradictorii cu privire la problema eficacității acestui proces, care depinde de frecvența, puterea vibrațiilor și durata expunerii. S-au obținut emulsii cu un grad înalt de dispersie, la frecvențe de 400 - 500 kHz, iar unii cercetători au afirmat că dispersarea optimă s-a observat la o frecvență de 500 kHz, în timp ce mărirea sau micșorarea frecvenței vibrațiilor avea un efect negativ asupra randamentului dispersării și a gradului de dispersie. Paralel, există lucrări care arată că emulsiile pot fi obținute în domeniul frecvențelor sonore de ordinul a 8 - 20 kHz. Rezultatele experimentale arată că este posibilă obținerea unor emulsii și suspensii într-o gamă foarte largă de frecvențe. Factorul cel mai important care caracterizează viteza de emulsionare este intensitatea undelor ultrasonore, deoarece acest proces este posibil numai atunci când are loc cavitația.*

*În cazul acțiunii vibrațiilor ultrasonore asupra unor volume mari de lichid, relația dintre viteza de emulsionare și intensitatea vibrațiilor este practic liniară. Când se activează cu ultrasunete volume mici de lichid, se observă existența unei intensități optime a cărei mărire întârzie procesul de emulsionare. Acest fenomen este caracterizat prin formarea unor cantități mari de bule de cavitație, care dispersează o parte însemnată din energia ultrasonoră. Există, de asemenea, o ipoteză conform căreia, la apariția unei cavitații intense, aerul este eliminat din lichidul supus acțiunii vibrațiilor, ceea ce provoacă o încetinire a procesului și, în consecință, o micșorare a eficacității emulsionării.*

# CAPITOLUL II

## STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND EFECTELE ULTRASUNETELOR ÎN MEDIILE LICHIDE

### 2.1. ECHIPAMENTE DE ACTIVARE CU ULTRASUNETE

#### A MEDIILOR LICHIDE

În prezent există pe plan mondial o gamă largă de instalații pentru producerea ultrasunetelor. În funcție de energia utilizată pentru producerea vibrațiilor ultrasonore se disting două mari categorii de instalații:

- instalații mecanice, la care energia folosită pentru producerea vibrațiilor este energia mecanică;
- instalații electroacustice, la care energia folosită pentru producerea vibrațiilor este energia electrică.

Dintre aceste două categorii, instalațiile de activare electroacustice au o mai largă utilizare în practică și o eficiență sporită, în special în mediile lichide și solide.

#### 2.1.1. Principii constructive generale

Principalele componente ale unei instalații electroacustice de producere a ultrasunetelor sunt:

**a. Sursa de energie primară.** Ca sursă de energie primară se utilizează cel mai des energia electrică care prezintă avantajul că poate fi produsă continuu la puterile și frecvențele dorite. O astfel de sursă de energie o constituie generatoarele de frecvență, care pot fi electronice, cu tuburi electronice sau cu semiconductoare sau mașină electrică.

În concordanță cu numeroasele aplicații tehnologice bazate pe ultrasunete, pe plan mondial se realizează o mare diversitate de generatoare, în game de puteri și frecvențe foarte variate.

Instalațiile ultrasonice descrise în lucrare (capitolele II și V) au în componența lor generatoare de înaltă frecvență (G.I.F.). Aceste generatoare realizează transformarea frecvenței curentului alternativ de la rețea ( $f = 50$  Hz) în curenți sinusoidali cu frecvență ultrasonică ( $f \geq 16$  kHz) în scopul alimentării bobinei de excitație a transductorului (Ts) din capul ultrasonic.

În mod uzual echipamentele ultrasonice utilizează generatoare de înaltă frecvență ce lucrează în următoarele domenii de frecvență: 20 kHz și 40 kHz (în mod excepțional se mai utilizează 18 kHz și 66 kHz). Aceste generatoare permit reglarea frecvenței pentru acoperirea domeniilor de frecvență specificate mai sus.

Generatoarele de înaltă frecvență sunt definite de caracteristici electrice (frecvență de lucru, putere de ieșire, randament, stabilitate și precizie de reglare a frecvenței și asigurarea stabilității amplitudinii oscilațiilor mecanice) și caracteristici neelectrice (particularități constructive ale generatorului).

În echipamentele ultrasonice industriale se utilizează, de obicei, generatoare cu reglare automată a frecvenței pe frecvența de rezonanță a transductorului.

Reglajul frecvenței trebuie să asigure o apropiere maximă a frecvenței generatorului ( $f_G$ ) de frecvența de rezonanță a transductorului ( $f_{Ts}$ ), iar diferența  $\Delta f_{adm} = f_G - f_{Ts}$  să nu scoată din rezonanță sistemul acustic.

În aplicațiile practice prezintă interes raportul dintre amplitudinea oscilațiilor transductorului ( $A_{Ts}$ ) și valoarea ei admisibilă ( $A_{adm}$ ), la frecvența de rezonanță:

$$K_{adm} = \frac{A_{Ts}}{A_{adm}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\Delta f_{adm} Q f_{Ts})^2}} \quad (2.1) \quad [24]$$

în care  $Q$  reprezintă factorul de calitate a sistemului mecanic al transductorului.

În proiectarea G.I.F. se ține cont de tipul transductoarelor pe care urmează să le alimenteze.

În funcție de modul de lucru există trei tipuri constructive de generatoare [89]:

1. generatoare cu excitație separată (fig.2.1a);
2. generatoare cu autoexcitație (fig.2.1b);
3. generatoare cu reacție pozitivă de mișcare.

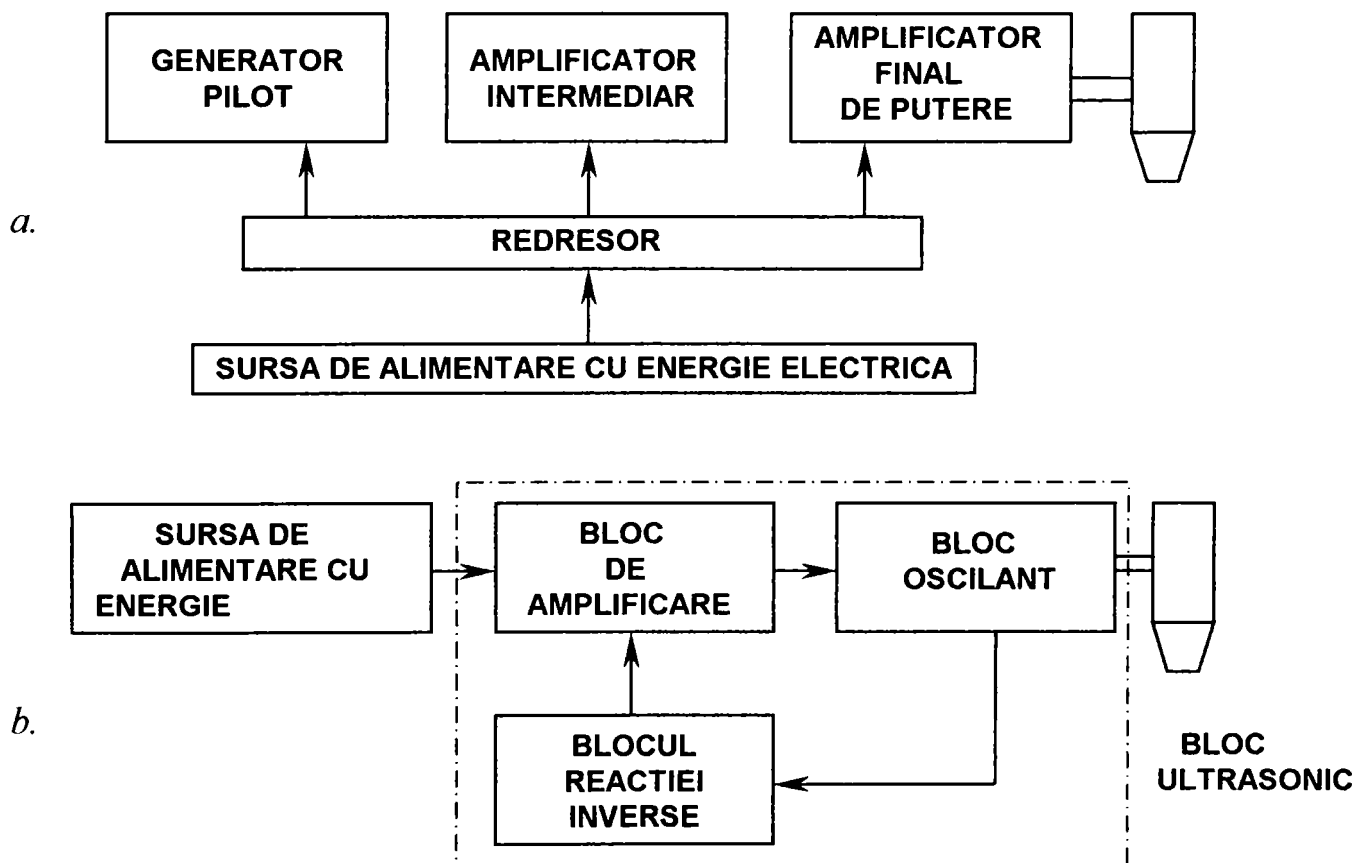


Fig.2.1

Pe plan mondial, puterea generatoarelor de înaltă frecvență parcurge gama de valori nominale: 0,04; 0,1; 0,25; 0,4; 0,63; 1,16; 2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 120; 150 KW.

Necesitatea de a controla cu precizie pe parcursul proceselor tehnologice activate ultrasonic frecvența de lucru și puterea activă debitată în sarcină a impus elaborarea unui generator de U.S. pentru cercetarea proceselor activate cu ultrasunete [89].

Parametrii principali ai acestui generator sunt:

1. frecvența de lucru 18 - 65 kHz, măsurată cu rezoluția de 10 Hz și având stabilitatea relativă de  $\approx 10^{-4}$ ;
2. puterea debitată în sarcină  $P_{max} = 120W$ , cu reglaj fin;
3. gama impedanțelor de ieșire 0,8; 1,4; 3,1; 5,5; 7; 12,5; 22; 28; 50; 112 și  $200\Omega$  reglabilă în trepte;
4. tensiunea de alimentare: curent alternativ 220V la 50 Hz; generatorul este protejat la scurtcircuit în sarcină prin siguranță electronică;
5. generatorul este prevăzut cu circuit de măsurare a puterii active absorbite de sarcină;
6. structură compactă, de dimensiuni mici, ușor transportabil.

Generatoarele de ultrasunete folosite s-au grupat în două categorii:

- omologate - generator ELECTROSON - 01, 15-25 kHz, putere 85 - 350 W (reglabilă) sarcina inductivă (transductori magnetostrictivi din ferită), fabricație Electrotimiș S.A.;
- prototipuri - generator GUS - 200, 18 - 25 kHz, putere 200 W (reglabilă în trepte), sarcina inductivă (transductori din ferită), prototip laborator TCM - Facultatea de Mecanică;
  - generator GUIF, 19 - 24 kHz, putere 280 W (reglabilă în trepte), sarcina inductivă (transductori din ferită). prototip laborator TCM - Facultatea de Mecanică;
  - generator 18 - 27 kHz, putere maximă 500W, sarcina inductivă și capacitivă, prototip laborator TCM - Facultatea de Mecanică.

Generatoarele utilizate în standurile experimentale sunt prezentate în figura 2.2:



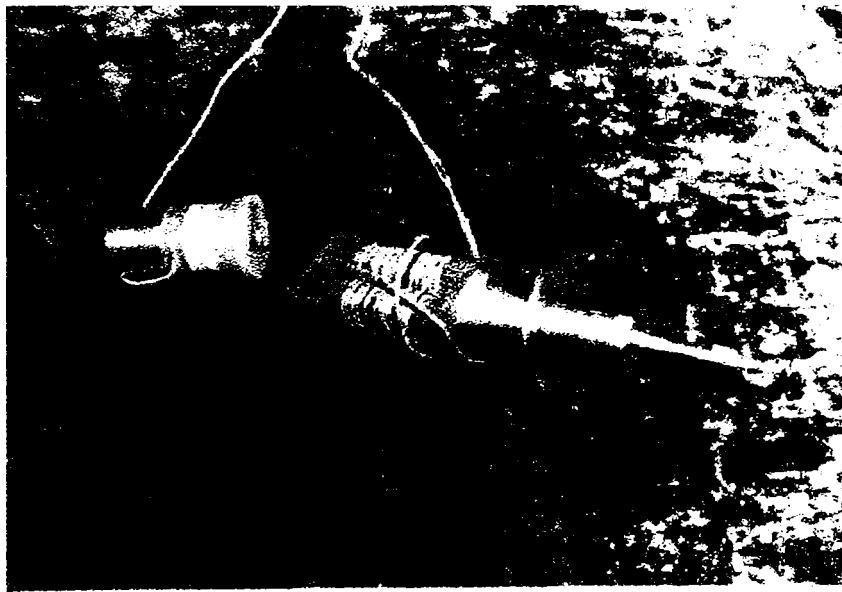
Fig.2.2

*b. Transductorul ultrasonic -  $T_s$  - transformă oscilațiile de frecvență ultrasonoră în oscilații elastice de aceeași frecvență, care apoi sunt transmise, concentrate și focalizate prin intermediul transformatorului acustic (concentrator) -  $C_s$  - în mediul de lucru. În literatura de specialitate [76,78,97] se regăsește sub diferite denumiri: vibrator, rezonator, traductor, plăcuță piezoceramică, pachet magnetostrictiv, ferită, emițător ultrasonic, convertor de energie ultrasonică sau convertor electroacustic.*

*Clasificarea transductoarelor după principalele criterii analizate este următoarea:*

- *după principiul de transformare a energiei, transductoarele electromecanice pot fi: piezoelectrice, electrostrictive, magnetostrictive, electrodinamice, electromagnetice;*
- *după structura sistemului vibrator se împart în două categorii: transductoare simple (tip bară, placă rectangulară, disc, cilindru, sferă, sector curb) și compuse (cu unul sau două elemente pasive, care la rândul lor pot fi simetrice sau asimetrice);*
- *după regimul de funcționare: transductoare electromecanice rezonante și nerezonante.*

*În fotografia din figura 2.3 sunt prezentate un transductor piezoelectric și un transductor din ferită cu concentrator ultrasonic atașat.*



*Fig.2.3*

*Așadar, există o mare varietate de transductoare, realizate în game largi de puteri și frecvențe proprii de rezonanță, adaptate funcționării în conjuncție cu generatoarele electronice și totodată adaptate ca formă, dimensiuni, rezistență la coroziune etc., condițiilor de utilizare impuse de instalația (echipamentul) în care urmează a fi încorporate. Datorită avantajelor pe care le prezintă, cele mai utilizate tipuri de transductoare sunt cele piezoelectrice, magnetostrictive și electrostrictive.*

*În afara proprietății de conversie a energiei, transductorul electroacustic are și proprietatea unui element de cuplaj între două circuite de natură diferită: circuitul electric sau magnetic și circuitul mecanic. Eficacitatea unui traductor ca element de cuplaj se exprimă prin factorul de cuplaj electro- sau magneto-mecanic  $k$ , definit prin relația:*



$$k = \left( \frac{E_m}{E_p} \right)^{1/2} \quad (2.2) \quad [78]$$

în care:  $E_m$  este energia mecanică produsă de transductor;  
 $E_p$  - energia electrică sau magnetică primită.

O altă caracteristică a unui transductor o constituie randamentul, definit ca raport între energia produsă de transductor și energia primită de acesta:

$$\eta = \frac{E_n}{E_p} \quad (2.3)$$

Dacă energia primită este de natură electrică,  $E_p$  se exprimă prin relația:

$$E_p = \frac{1}{2} CU^2 \quad (2.4)$$

în care:  $C$  este capacitatea electrică între electrozii traductorului;  
 $U$  - tensiunea aplicată.

Dacă energia primită este de natură magnetică  $E_p$  se definește astfel:

$$E_p = \frac{1}{2} LI^2 \quad (2.5)$$

unde:  $L$  este inductanța bobinei de excitație;  
 $I$  - intensitatea curentului electric ce străbate bobina.

### **b.1. Transductoare piezoelectrice**

Fenomenul de piezoelectricitate a fost pus în evidență pentru prima dată în 1880 de către soții Curie. Aceștia au observat că la unele cristale, atunci când sunt supuse solicitărilor de compresiune sau întindere, după anumite direcții, apar pe fețele lor opuse sarcini electrice pozitive respectiv negative. Deformarea cristalelor determină variația mărimii și direcției momentelor dipolare concomitent cu apariția unor sarcini electrice la suprafața cristalelor. Acest fenomen de apariție a sarcinilor electrice la suprafața unor cristale supuse forțelor mecanice exterioare constituie efectul piezoelectric direct. În efectul piezoelectric invers aplicarea unui câmp electric produce deformarea materialului (cristalelor).

Rolul fundamental în apariția efectului piezoelectric îl are structura cristalină a substanței. Calitativ, un material piezoelectric este caracterizat de variația relativă a dimensiunilor liniare la aplicarea unui câmp electric. Raportul rezultat din variația relativă a dimensiunilor geometrice ale transductorului și variația relativă a mărimii tensiunii aplicate reprezintă constanta dielectrică.

Diversitatea materialelor piezoelectrice este foarte mare, ele putând fi monocristaline (cuarț, TGS, etc.), policristaline (ceramici piezoelectrice) sau amorfe (lemn). Chiar și unele medii biologice pot fi bioelectrice (mușchi, tendoane, etc.).

Materialul utilizat cel mai frecvent la fabricarea transductoarelor piezoelectrice este zirconatul - titanat de plumb (PTZ), caracterizat prin constantă piezoelectrică ridicată, higroscopicitate redusă, constantă dielectrică mare, rezistență mecanică și electrică relativ mare.

Un material ceramic reprezentativ utilizat la fabricarea transducoarelor ultrasonice este ceramica din titanat de bariu  $BaTiO_3$ , care prezintă următoarele avantaje: posibilitatea de a fi prelucrat sub diferite forme [133]; au un modul piezoelectric ridicat, ceea ce permite utilizarea pentru excitare a unor tensiuni electrice mai scăzute; prin utilizarea unui transductor cu titanat de bariu se pot obține ultrasunete de intensități  $\cong 100 W cm^2$ . Dezavantajele sunt: rezistență mecanică slabă, pierderi mecanice și electrice relativ mari, permitivitate electrică relativ ridicată (sensibilitatea materialului este invers proporțională cu permitivitatea electrică).

Mărimile ce caracterizează comportarea materialului piezoceramic sunt: o serie de constante elastice, piezoelectrice și dielectrice a căror interdependență este redată sub formă matricială [5]; factorul de cuplaj electromecanic ( $k$ ); factorul de calitate mecanic ( $Q_m$ ); factorul de disipare electric (tangenta unghiului de pierderi,  $\tan\delta$ ); variațiile acestor mărimi în funcție de temperatură și câmp [5]; stabilitatea în timp; temperatura Curie.

Factorul de calitate mecanic  $Q_m$  caracterizează materialul piezoceramic din punctul de vedere al comportării în oscilație mecanică și este definit prin relația:

$$Q_m = \frac{\omega_o m}{R_m} \quad (2.6)$$

în care :  $m$  este masa sistemului piezoceramic oscilant;  
 $\omega_o$  - frecvența unghiulară proprie;  
 $R_m$  - rezistența de pierderi mecanice.

Frecvența de rezonanță a transducoarelor ceramice se calculează cu ajutorul relației:

$$f_o = \frac{1}{2d} \left( \frac{M}{\rho} \right)^{1/2} \quad (2.7)$$

în care:  $d$  este grosimea plăcii ceramice;  
 $M$  - modulul de elasticitate al materialului (considerat în direcția aplicării câmpului electric);  
 $\rho$  - densitatea materialului.

Prin utilizarea transducoarelor din materialele ceramice se pot obține ultrasunete cu frecvențe cuprinse între  $\approx 20$  kHz și  $\approx 3$  MHz.

Transducoarele piezoelectrice folosite în instalațiile cu ultrasunete sunt de regulă sisteme rezonante care funcționează pe frecvența de rezonanță de bază sau pe a armonicelor impare. În aplicațiile practice se regăsesc diferite tipuri de transducoare piezoelectrice, grupate în două mari categorii:

1. transducoare piezoelectrice simple
2. transducoare piezoelectrice compuse

Transducoarele piezoelectrice simple se grupează pe mai multe categorii: tip bară (compactă sau secționată, cu secțiunea de vibrație rectangulară sau circulară, cu efect piezoelectric longitudinal sau transversal), tip cilindru (compact sau secționat, cu efect piezoelectric longitudinal sau transversal), tip sferă, tip sector curb (lentilă).

Transducătoarele piezoelectrice se confecționează în jumătate de lungime de undă ( $\lambda/2$ ) (fig.2.4a), în sfert de lungime de undă ( $\lambda/4$ ) (fig.2.4b) și compuse (fig.2.4c):

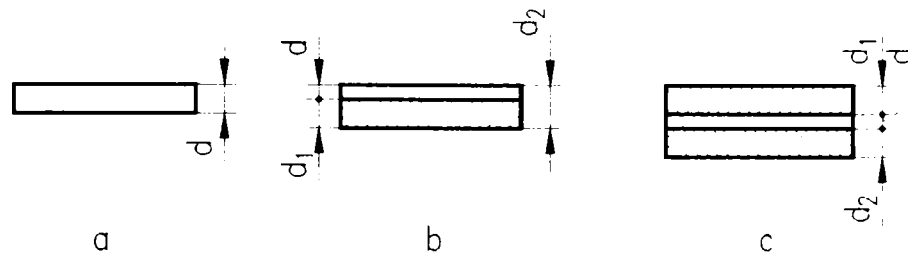


Fig.2.4

Transducătoarele compuse se constituie din trei plăci: o placă piezoceramică (sau două) de grosime  $d$ , fixată între alte două plăci metalice, sub formă de pachet (tip sandwich). În figura 2.5 sunt reprezentate transducătoare piezoceramice cu un element pasiv: a) compacte, cu efect piezoelectric transversal; b) secționate, cu efect piezoelectric transversal; c) compacte cu efect piezoelectric longitudinal; d) secționate, cu efect piezoelectric longitudinal.

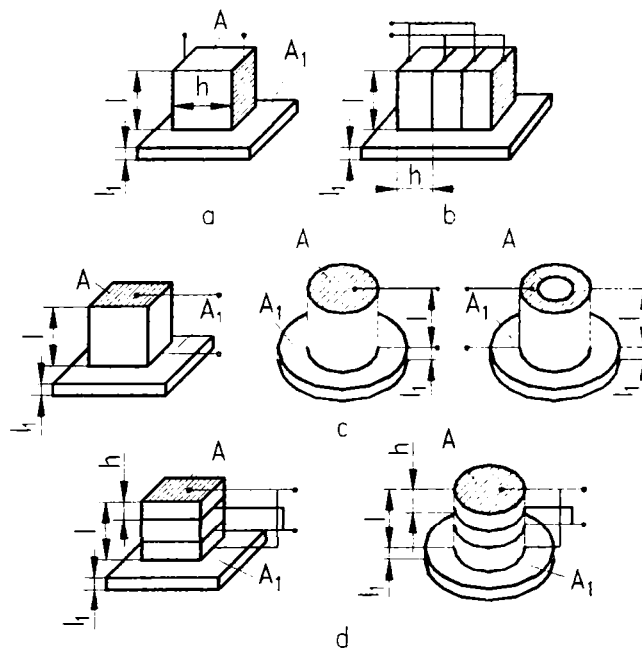


Fig.2.5

Ca material pentru placa de radiație se utilizează duraluminiul (are factorul de atenuare a undei mult mai mic ca la oțel), iar pentru placa de reflexie se folosește oțelul de calitate (OLC 45).

Transducătoarele compuse sunt la ora actuală din ce în ce mai des utilizate, datorită avantajelor pe care le prezintă:

- cost relativ scăzut;
- inerție sporită datorită plăcilor metalice atașate, ceea ce determină posibilitatea de a obține diferite frecvențe de rezonanță (18 - 45 kHz), amplitudini de vibrație și puteri acustice optime pentru aplicațiile tehnologice urmărite;

- *transfer optim de căldură spre exterior.*

*Un factor determinant în funcționarea transducoarelor piezoelectrice este stabilitatea în timp a unor parametri caracteristici: frecvența de rezonanță a materialului piezoelectric, impedența de intrare și puterea radiată.*

*În scopul determinării principalilor parametri de funcționare ai unui transductor piezoelectric se pornește de la premisa cunoașterii parametrilor impuși de condițiile de utilizare a ultrasunetelor și anume: natura transductorului, suprafața  $S$  de radiație a transductorului, frecvența  $f$ , intensitatea medie  $I_m$  a undelor ultrasonice radiate și impedența acustică a mediului,  $Z_s = \rho C$ . Cu ajutorul acestor parametri se determină:*

- *grosimea plăcuței*

$$d = \frac{1}{2f} \left( \frac{m}{\rho} \right)^{1/2} \quad [mm] \quad (2.8) \quad [97]$$

- *amplitudinea vitezei de vibrație a particulelor mediului în care se propagă, unde:*

$$U_o = \left( \frac{2I_m}{\rho C} \right)^{1/2} \quad [m/s] \quad (2.9)$$

- *amplitudinea presiunii acustice:*

$$p_o = (2I_m \rho C)^{1/2} \quad [atm] \quad (2.10)$$

- *puterea acustică debitată de transductor*

$$P_a = I_m S \quad [W] \quad (2.11)$$

- *puterea electrică necesară:*

$$P = P_a / \eta \quad [W] \quad (2.12)$$

*unde:  $\eta$  este randamentul electroacustic al transductorului.*

*Relația de calcul al randamentului electroacustic este următoarea:*

$$\eta \approx 1 - \frac{1}{k_{ef}^2} \frac{Q_{so}}{\sqrt{Q_e Q_s} Q_{mo}} \quad (2.13)$$

*Astfel, se constată că un randament maxim se obține cunoscând valorile optime ale parametrilor săi dinamici: factorii de calitate mecanic și electric,  $Q_m$  și  $Q_e$ , coeficientul de cuplaj electromecanic efectiv -  $k_{ef}$  - și de condițiile de încărcare (la o sarcină acustică mică, factorul de calitate mecanic datorat numai sarcinii acustice -  $Q_{so}$  - este mare și invers).*

*Se definește factorul de încărcare ( $J$ ):*

$$J = R_s / R_m \quad (2.14)$$

*unde:  $R_s$  este rezistența la sarcină;*

*$R_m$  - rezistența dinamică.*

*Din condiția de maxim a randamentului electroacustic se obține valoarea optimă a factorului de încărcare:*

$$J_{opt} = \sqrt{N_{ef} + 1} \quad (2.15)$$

*unde:  $N_{ef}$  este parametrul dinamic cel mai important al transducoarelor, care controlează materialul transductorului, tehnologia de producere și structura mecanică.*

*Valoarea acestui parametru se determină cu relația:*

$$N_{ef} = Q_e Q_m \frac{k_{ef}^2}{1 - k_{ef}^2} \quad (2.16)$$

Cu cât  $N_{ef}$  este mai mare, cu atât eficiența transductorului este mai mare, iar influența sarcinii mai mică, fapt ilustrat și în dependența din figura 2.6:

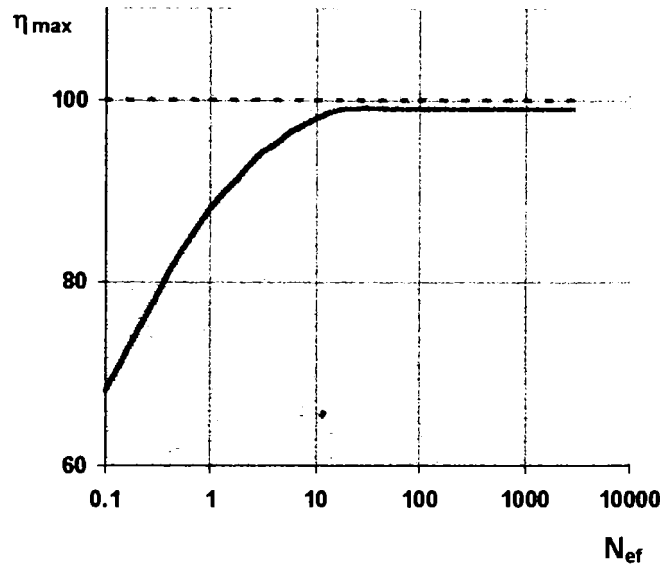


Fig.2.6

În țară, în prezent, există transductoare piezoceramice cu foarte bune caracteristici tehnico – funcționale, fapt pentru care sunt utilizate cu succes în construcția echipamentelor cu ultrasunete.

### **b.2. Transductoare ultrasonice magnetostrictive [5,68,76]**

Principiul de funcționare al transducoarelor magnetostrictive are la bază fenomenul magnetostrictiv direct (efect Joule) care constă din modificarea dimensiunilor unui corp feromagnetic sub acțiunea unui câmp magnetic direct.

În producerea ultrasunetelor se utilizează fenomenul magnetostrictiv liniar, la care deformația are loc liniar (comprimare sau alungire) în direcția aplicării câmpului magnetic (corespunde porțiunii nesaturate a curbei de primă magnetizare).

Pentru aplicarea câmpului magnetic exterior corpului feromagnetic se înfășoară corpul cu o bobină de sârmă, ale cărei capete sunt legate la o sursă electrică.

Aplicând bobinei un curent electric variabil se obține în interiorul acesteia un câmp magnetic variabil. Acesta va fi cu atât mai puternic cu cât intensitatea curentului electric ce străbate spirele bobinei este mai mare.

Deformațiile specifice  $\varepsilon = \Delta l/l$  obținute pe baza efectului magnetostrictiv liniar sunt relativ reduse, de ordinul micronilor și independente de sensul câmpului aplicat.

Dintre materialele cu proprietăți magnetostrictive utilizate la confecționarea transducoarelor fac parte:

- materialele feromagnetice pure: nichel, cobalt, fier;



- aliajè permendur (49% Co, 49% Fe, 2% Va), permalloy - 45 ( 45% Ni, 55% Fe), alfer (13,8 % Al, 86,2%Fe), supermalloy (66%Ni, 3,4%Fe), hipernik (50%Ni, 50%Fe);
- ferite rezultate ca și combinații între oxidul unui metal oarecare și oxidul de fier (exemplu : ferita -  $38 \text{ NiO}_{0,5} \cdot \text{ZnO}_{0,5} \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) [133].

Atât mărimea deformării specifice cât și sensul în care se produce depind în principal de natura materialului, de tratamentul suferit și de intensitatea câmpului magnetic aplicat.

Figura 2.7 ilustrează curbele de variație ale deformării relative (respectiv ale coeficientului static al magnetostricțiunii ) în funcție de intensitatea câmpului magnetic aplicat pentru diferite materiale feromagnetice.

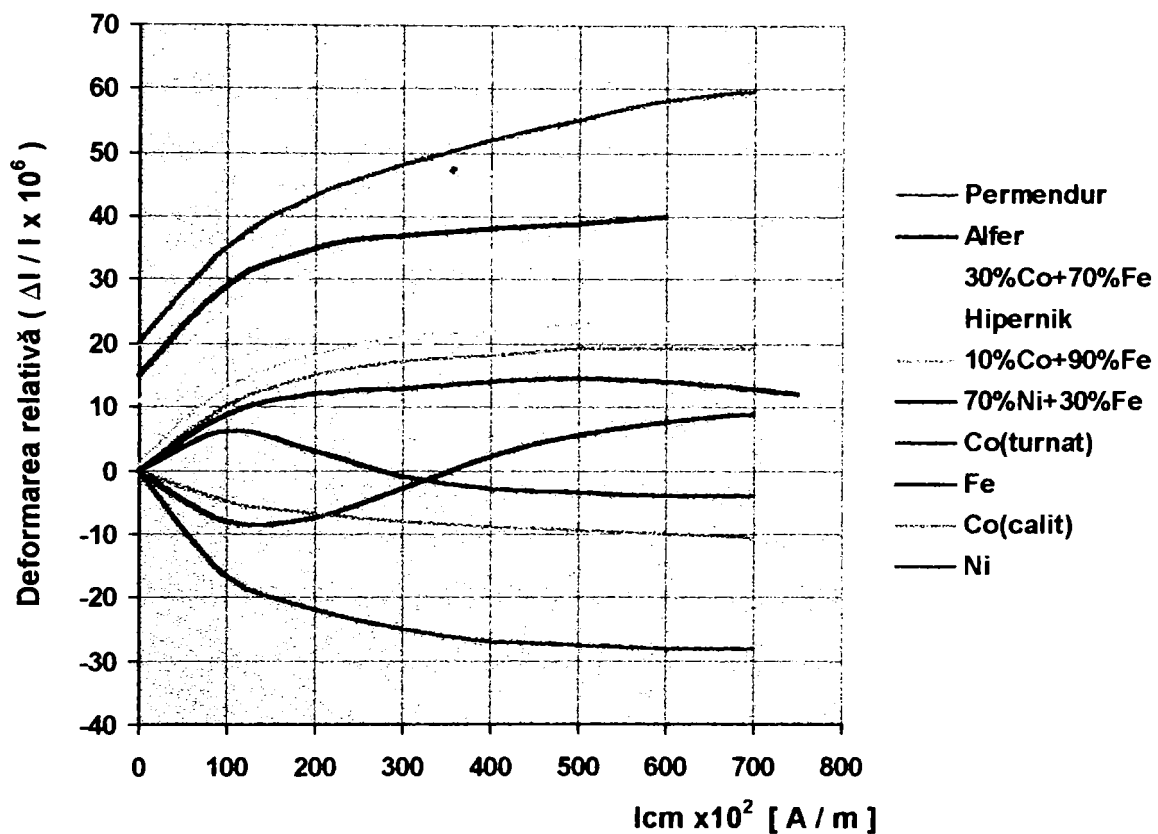


Fig.2.7

Analizând aceste curbe se constată următoarele:

- la Ni și Co călit, indiferent de valoarea intensității câmpului magnetic și de sensul de trecere a curentului prin spirele bobinei, efectul magnetostrictiv este același, o scurtare a barei, care revine la dimensiunea inițială, odată cu întreruperea curentului electric (magnetostricțiune negativă);
- la aliajele permendur, alfer, hipernik, etc, indiferent de intensitatea câmpului magnetic și de sensul de trecere a curentului electric prin înfășurare, magnetostricțiunea este pozitivă (alungirea barei);
- la Fe, Co (turnat) sensul deformării depinde de intensitatea câmpului magnetic aplicat ( la o intensitate mică a curentului electric bara suferă alungiri, iar la curenți electrici relativ puternici bara suferă contractări );
- efectul magnetostrictiv este independent de sensul câmpului magnetic aplicat.

Întocmai ca și în cazul transductoarelor piezoelectrice, și la cele magnetostrictive este necesar să se obțină amplitudini cât mai mari ale vibrațiilor. Aceasta se realizează prin dimensionarea corespunzătoare a barei magnetostrictive astfel încât să vibreze pe frecvența sa de rezonanță. Se poate arăta [68] că frecvența proprie a barei depinde de natura materialului din care este confecționată și de lungimea ei, dar nu și de secțiunea ei.

Astfel, în timp ce emițătoarele piezoelectrice sunt utilizate pentru generarea vibrațiilor ultrasonice de frecvență ridicată și foarte ridicată, emițătoarele magnetostrictive acoperă o gamă de frecvență situată la limita inferioară a domeniului ultraacusticii (între 10 și 40 kHz).

Efectul magnetostrictiv depinde de temperatură în sensul că deformația specifică scade odată cu creșterea temperaturii și dispare la o anumită temperatură, caracteristică fiecărui material, denumită temperatură Curie. Încălzirea transductoarelor magnetostrictive se datorează pierderilor de energie electrică și mecanică care se transformă ireversibil în căldură și care poartă denumirea de pierderi totale. Aceste pierderi apar datorită producerii în traductor a unei duble transformări de energie electromagnetice și magnetomecanice. Astfel, se impune realizarea unor transductoare cu pierderi cât mai reduse și utilizarea unor dispozitive de răcire în vederea asigurării unei temperaturi optime de funcționare.

Transductoarele magnetostrictive metalice, spre deosebire de cele ceramice care au rezistivitate electrică foarte mare, nu se pot confecționa compacte la dimensiunile uzuale, ci numai sub formă de pachet de tole laminate subțiri, izolate electric, pentru micșorarea pierderilor magnetice prin curenți turbionari. După structura sistemului vibrator, transductoarele magnetostrictive, sunt de două feluri: simple și compuse. Din categoria structurilor simple fac parte transductoarele tip bară cu secțiune rectangulară sau circulară și transductoarele cilindrice. Transductoarele compuse sunt în formă de pachet cu una sau mai multe ferestre. Spre deosebire de transductoarele tip țevă, cele tip fereastră și cilindrice prezintă avantajul eliminării pierderilor de flux magnetic și demagnetizare prin închiderea circuitului magnetic, fapt pentru care sunt cele mai utilizate în practică.

În figura 2.8 sunt redate câteva tipuri de transductoare magnetostrictive metalice. Figura 2.8 a, b, c reprezintă transductoare magnetostrictive de tip pachet cu una, două și trei coloane, iar figura 2.8 d reprezintă un transductor magnetostrictiv plan sub formă de pachet de tole.

Figura 2.9 ilustrează o secțiune într-un transductor magnetostrictiv inelar de tip pachet de tole ( 1 – suprafața de rotație; 2 – garnitură de cauciuc).

Pe lângă emițătoarele piezoelectrice și magnetostrictive prezentate anterior, în aplicațiile ultrasunetelor în numeroase domenii se utilizează și alte tipuri de emițătoare de ultrasunete. Din această categorie fac parte, în principal, emițătoarele mecanice (sirene și fluieri ultrasonice) și electromagnetice (cu bobină mobilă și cu o bară de fier vibrantă).

Cu toate că emițătoarele mecanice au fost cele mai vechi emițătoare utilizate pentru producerea ultrasunetelor, totuși acestea se folosesc și în prezent în diferite aplicații industriale datorită simplității în construcție, robusteții pe care o au și faptului că pot genera ultrasunete de puteri mari.

Fluierul ultrasonic ( fluierul lui Galton ) al cărui principiu de funcționare rezultă din figura 2.10 produce ultrasunete cu frecvențe cuprinse în domeniul 10 – 40 kHz.

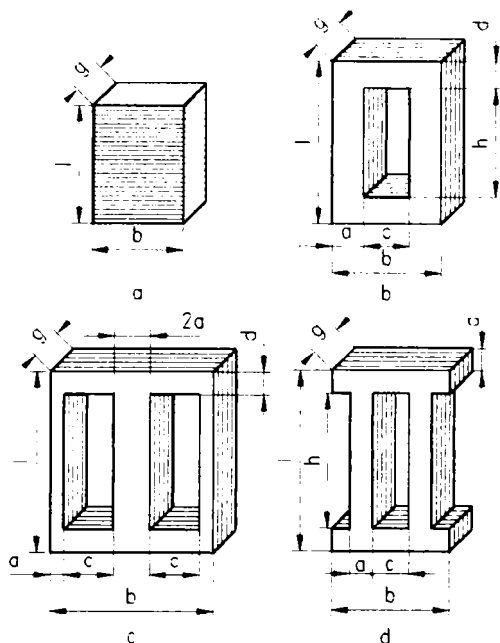


Fig. 2.8

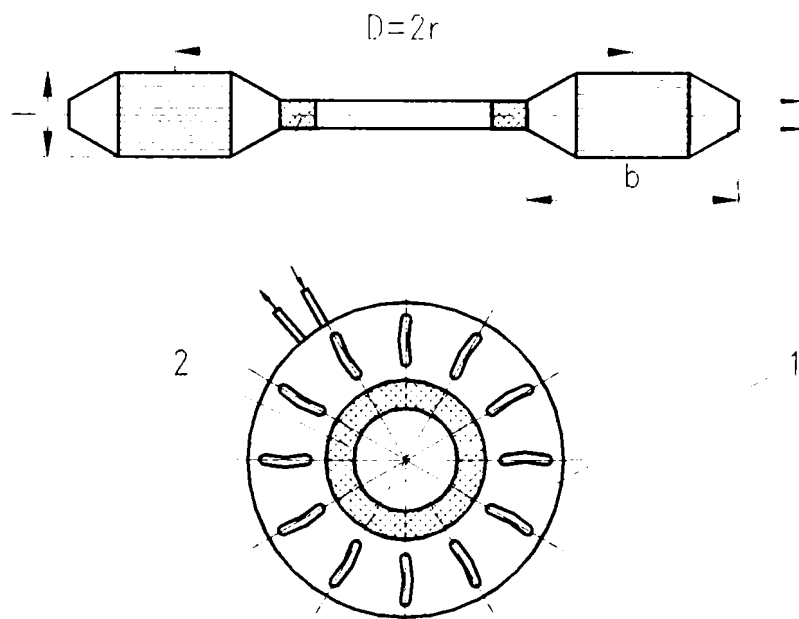


Fig. 2.9

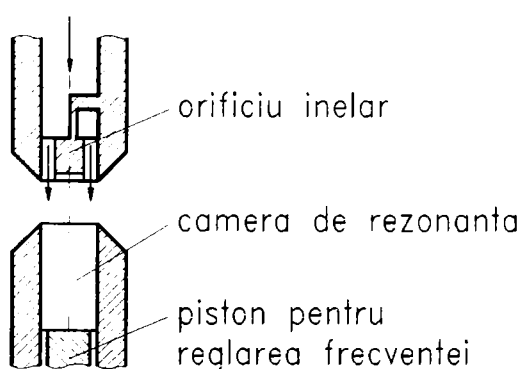


Fig. 2.10

Extinderea domeniului de aplicare a ultrasunetelor a făcut necesară producerea lor și în lichide prin emițătoare hidraulice. Modul de construcție al acestora are la bază fluierul lui Galton, înlocuindu-se jetul de aer cu unul de lichid. Domeniul de frecvență realizat este cuprins între 5 - 30 kHz, iar intensitatea acustică produsă este de 1 - 2 W/cm<sup>2</sup>.

Generatorul constă, principal, dintr-o cameră rezonantă cu adâncime variabilă și un ajutoraj de excitație prevăzut cu o deschidere inelară. Capul care formează partea inelară este demontabil, pentru a putea fi curățat. Întregul dispozitiv este răcit cu ajutorul unei serpentine exterioare. Lichidul ce urmează a fi tratat este injectat în ajutoraj cu ajutorul unei pompe la presiune înaltă care provoacă punerea în rezonanță a coloanei de lichid din cavitate și care generează unde ultrasonore în interiorul camerei închise. Frecvența ultrasunetului produs depinde de adâncimea cavității și este cu atât mai mare cu cât aceasta este mai puțin adâncă.

Asemenea emițătoare își găsesc utilitatea în special la prepararea emulsiilor (în unele aplicații din industria chimică și farmaceutică).

Un alt procedeu constă din trecerea simultană a celor două lichide care urmează a fi emulsionate. Randamentul unui emițător cu jet de lichid este mult mai mare decât cel al emițătoarelor magnetostrictive sau piezoelectrice.

Sirenele ultrasonice generează ultrasunete de frecvență relativ joasă (20 - 200 kHz), însă de intensități mari, ajungând până la 10 W/cm<sup>2</sup> (respectiv puteri de sute de W). Se utilizează în procese de coagulare, de epurare a particulelor în suspensie, procese de uscare a produselor. Din punct de vedere al modului de funcționare acestea pot fi sirene dinamice, la

care elementele de producere a ultrasunetelor sunt mobile și sirene statice, construite numai din elemente fixe.

Emitătoarele electrodinamice și electromagnetice se utilizează numai în domenii de aplicații limitate (la ultrasunări de soluții slabe de acizi sau baze).

Activitatea de cercetare desfășurată până în prezent, legată de producerea și propagarea ultrasunetelor în diferite medii, continuă cu noi descoperiri ce vizează însușirile lor principale, modul în care acționează în diferite procese, posibilitățile și numeroasele aplicații pe care le au în domenii de activitate din ce în ce mai variate.

De mare interes sunt cercetările experimentale care urmăresc producerea ultrasunetelor de intensități mari și în anumite condiții specifice de lucru (temperaturi ridicate, eforturi mari, etc.), cercetări ce conduc la crearea de noi tipuri de emițătoare ultrasonore, la perfecționarea celor cunoscute cât și la obținerea unor dispuneri (aranjamente) optime ale elementelor transductoare în cadrul sistemului ultrasonic utilizat.

În continuare sunt prezentate câteva variante de dispuneri (aranjări) ale transductoarelor ultrasonice, cu aplicații practice în special în domeniul medicinei [45].

O aplicație evidentă în acest sens este amplasarea unui transductor experimental sau a unui tub Sokolov într-o cameră (aparatură de fotografiat) ultrasonică. Se obțin imagini (poze) aproape instantaneu, independente (nedepinzând de problemele de vibrație date de transductorul utilizat). Sensibilitatea sistemului crește simțitor prin utilizarea mai multor elemente transductoare piezoelectrice, direct schimbabile, dispuse într-un anumit mod.

În alte aplicații, această dispunere ia forma unei diagrame polare în cazul în care transductorul are rol de emițător, de receptor sau ambele. În aceste cazuri, fiecare element al aranjamentului este considerat o sursă de radiație sferică, în maniera analizei lui Fresnel privind trecerea unui fascicul printr-o fantă ( fig.2.11 ) [45].

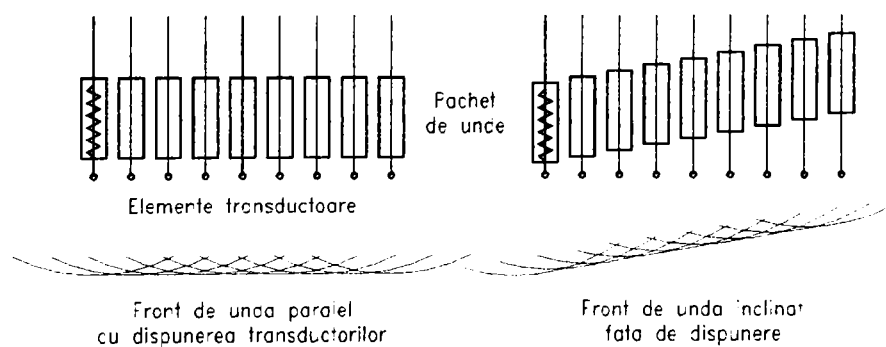


Fig.2.11

Dacă faza și amplitudinea semnalului ce excită fiecare element sunt aceleași, se produce un fascicul de radiație cu fronturi de undă plane, iar obținerea unui unghi de deviație în câmpul creat depinde de fanta realizată prin asocierea tuturor elementelor transductorului. Dacă avansarea fazei maxime se produce în inelul exterior al elementelor și faza se retrage progresiv către centru, aranjamentul se comportă ca un transductor concav ( fig.2.12 ):

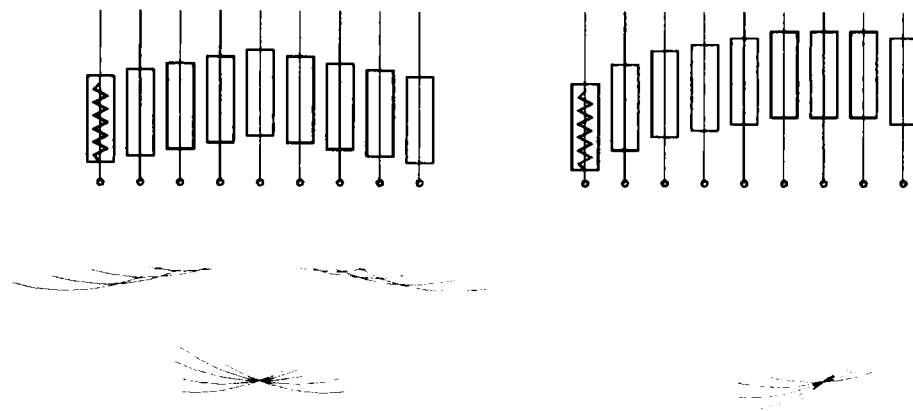


Fig.2.12

În literatura de specialitate [45] sunt descrise diverse aranjamente complexe, unele cuprinzând 2500 elemente cu o frecvență în lucru de 125 kHz , altele sub formă de matrice cu 5776 elemente în care fiecare element piezoelectric este fixat într-o formă (matrită) printr-un material special - plastic sau cauciuc silicon - ceea ce îl transformă într-un element "liber", reducându-i totodată sensibilitatea cu 5%.

Suarez [45] a construit un sistem ultrasonic eficient pentru uz medical, care poate fi totodată utilizat și în alte aplicații bazate pe cercetări non-destructive (fig.2.13).

Această cameră cu ultrasunete iluminează zona de interes printr-un transductor, iar o pereche de lentile din polistiren focalizează imaginea pe o suprafață scanată de o bandă alcătuită din 192 elemente receptoare. Ultrasunetul străbate două prisme din polistiren ce pot fi rotite astfel încât să abată imaginea ultrasunetului prin transductor. Fiecare scanare este compusă din cca. 400 linii împletite, echivalent cu aprox. 80.000 de imagini ( fotografii ).

Fiecare element are un amplificator propriu care poate opera într-un mod liniar sau logaritmic, ultimul fiind adesea solicitat în scopul obținerii informației ultrasonice pe un domeniu dinamic vast. Frecvența ultrasonică este de 2MHz, display-ul îl constituie un monitor TV cu 15 cadre (imagini) pe secundă. Contactul necesar cu pacientul se realizează prin intermediul unor membrane de plastic umplute cu apă, presate pe ambele părți ale corpului (zonei analizate). Calitatea imaginilor obținute este foarte ridicată.

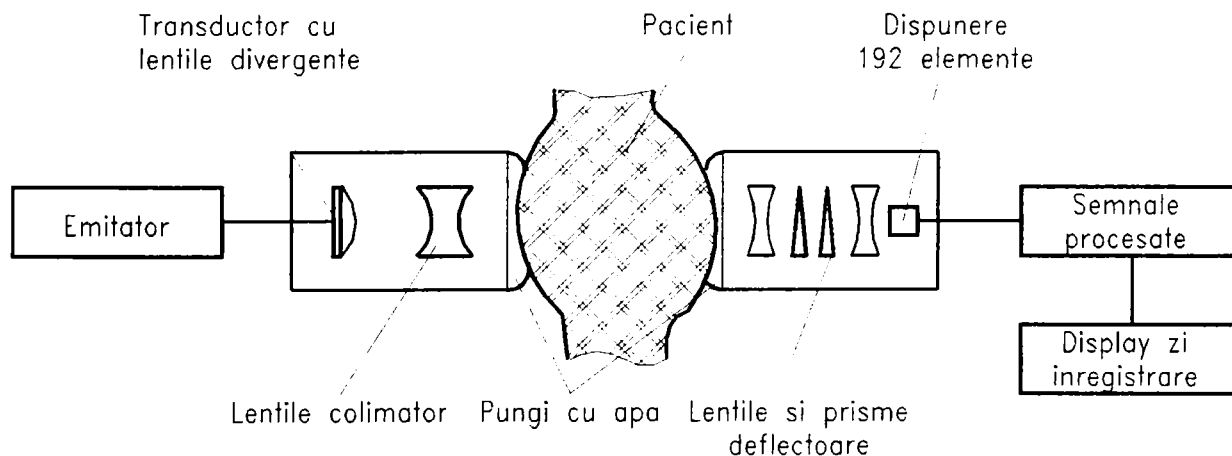


Fig.2.13



### c. Concentratoarele ultrasonice

În numeroase aplicații bazate pe utilizarea ultrasunetelor este necesar să se realizeze într-un volum relativ redus concentrații puternice de energie ultrasonoră. Astfel, în vederea obținerii unor unde ultrasonore cu intensitate acustică ridicată se impune utilizarea unor dispozitive (sisteme) cu ajutorul cărora să se poată concentra energia acustică produsă de transductoarele ultrasonice. Principiul de funcționare al unor asemenea dispozitive se bazează pe focalizarea undelor ultrasonore, respectiv obținerea unui fascicul paralel de unde și pe amplificarea vitezei de oscilație a particulelor mediului. Focalizarea energiei acustice se realizează folosind lentile și reflectori acustici, transductoare curbe, plăci zonate.

Cu ajutorul acestor sisteme se pot obține, chiar la distanțe de câțiva metri de vibrator, intensități de câteva sute de ori mai mari decât la suprafața vibratorului. Totodată mai prezintă avantajul că pot realiza concentrația de energie dorită într-un volum mic aflat în interiorul unui mediu, fără a afecta părțile învecinate ale acestuia.

Eficacitatea unor astfel de sisteme se exprimă prin coeficientul de amplificare al intensității ( $k_a$ ), definit ca raportul dintre intensitatea acustică, în focar,  $I_f$  și intensitatea acustică în fasciculul incident,  $I_o$ .

$$k_a = \frac{I_f}{I_o} \quad (2.17) \quad [29,117]$$

În scopul concentrării energiei acustice și focalizării ultrasunetelor de frecvențe joase se utilizează concentratoarele ultrasonice.

Așadar, concentratorul ultrasonic, regăsit în literatura de specialitate [5,39,77,107,116,133] și sub denumirea de transformator acustic, amplificator acustic, reprezintă o verigă importantă în componența sistemelor tehnologice cu ultrasunete. El face legătura între transductor și obiectul de transfer (scula) cu scopul de a mări amplitudinea de oscilație și de a asigura un acord de impedanță între transductor și sarcina din spațiul de lucru.

Concentratoarele au forma unor bare cu secțiune transversală variabilă prin care se propagă oscilații longitudinale. Baza barei (porțiunea cu secțiune maximă) se fixează rigid pe transductor. Astfel, se obține o creștere (amplificare) a vitezei de oscilație a particulelor. În acest caz, factorul de amplificare  $k_a$  se exprimă prin raportul dintre mărimea vitezei la vârful barei,  $v_L$ , și cea de la baza acesteia,  $v_o$ ,

$$k_a = \frac{v_L}{v_o} \quad (2.18) \quad [133]$$

Considerând o bară cu secțiune variabilă, iar  $S_o$  și  $S_L$  secțiunile de la baza, respectiv vârful barei, între vitezele volumice are loc relația:  $u_o = u_L$  sau  $v_o S_o = v_L S_L$ .

Relația de calcul a factorului de amplificare devine:

$$k_a = \left( \frac{S_o}{S_L} \right)^{1,2} = \frac{D_o}{D_L} \quad (2.19) \quad [133]$$

unde  $D_o$ ,  $D_L$  sunt diametrele la baza, respectiv vârful concentratorului.

Cele mai des întrebuințate forme de variație a secțiunii concentratorului ultrasonic sunt:

➤ forma conică, la care secțiunea variază conform ecuației:

$$S_x = S_o (1 - \alpha x)^2 \quad (2.20)$$

➤ forma exponențială, la care secțiunea variază conform ecuației:

$$S_x = S_o e^{-mx} \quad (2.21)$$

➤ forma cateroidală, la care secțiunea variază conform ecuației:

$$S_x = S_o \operatorname{ch}^2 \gamma (L - x) \quad (2.22)$$

unde: 
$$\gamma = \frac{1}{L} \operatorname{arcch} \frac{D_o}{D_L}$$

$\gamma, m$  sunt constante care caracterizează variația secțiunii.

### c.1. Ecuația diferențială a oscilațiilor concentratoarelor

În calculul concentratoarelor ultrasonice se pornește de la o serie de ipoteze simplificatoare:

- se consideră ipoteza undelor longitudinale plane, la care frontul de undă rămâne plan, iar tensiunea mecanică este uniform distribuită pe secțiune;
- oscilațiile sunt armonice și au aceeași pulsație în fiecare punct al concentratorului;
- cuplajul dintre sursă și concentrator este perfect astfel încât amplitudinea și frecvența de oscilație ale sursei sunt identice cu amplitudinea și frecvența de oscilație a secțiunii de abscisă  $O$ ;
- la ieșirea concentratorului ultrasonic se consideră impedanța mecanică nulă, adică fără sarcină mecanică. Existența unei sarcini la capătul liber al concentratorului ar provoca unde staționare în lungul său;
- punctele din aceeași secțiune perpendiculară pe axa  $Ox$  oscilează cu aceeași frecvență și amplitudine;
- mediul în care se propagă undele ultrasonice este omogen.

Deoarece situația reală a oricărui proces tehnologic nu corespunde cu aceste ipoteze simplificatoare, orice concentrator calculat trebuie corectat cu o serie de factori de corecție.

Se consideră concentratorul cu secțiune variabilă din figura 2.14, din care se decupează un element de volum de masă  $m$  și lungime  $dx$ . Forța rezultantă care acționează asupra elementului de volum atunci când prin concentrator se propagă unde longitudinale este:

$$F_r = F_1 - F_2 = \sigma S - \left( \sigma - \frac{\partial \sigma}{\partial x} dx \right) \left( S - \frac{\partial S}{\partial x} dx \right) \quad (2.23)$$

în care:  $S$  este aria secțiunii transversale a concentratorului în dreptul coordonatei curente  $x$ ;

$\sigma$  - efortul unitar normal sau tensiunea mecanică normală în secțiunea  $S$ .

Operând în relația (2.23) și neglijând infiniții mici de ordin superior ( $dx^2$ ), se obține:

$$F_r = S \frac{\partial \sigma}{\partial x} dx + \sigma \frac{\partial S}{\partial x} dx = d(\sigma S) \quad (2.24)$$

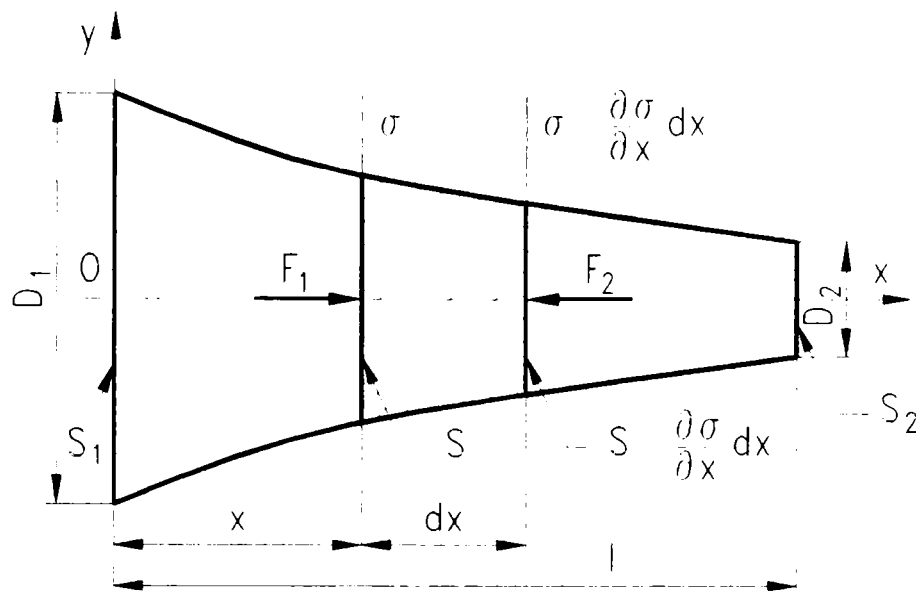


Fig.2.14

Aplicând legea a II-a a dinamicii pentru elementul de volum se obține:

$$d(\sigma S) = m \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (2.25)$$

în care:  $\xi = \xi(x, t)$  este deplasarea elementului de volum a concentratorului în direcția coordonatei  $x$  de propagare a undelor longitudinale ultrasonice.

Pierderile de energie mecanică în concentrator sunt proporționale cu viteza de oscilație, iar tensiunea mecanică se poate exprima prin legea lui Hooke completată cu aceste pierderi astfel:

$$\sigma = E \frac{\partial \xi}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 \xi}{\partial t \partial x} \quad (2.26)$$

în care:  $E$  este modulul de elasticitate longitudinal (modulul lui Young) al materialului concentratorului;

$\mu$  - coeficientul de frecare internă.

Diferențiind relația (2.26) și introducând-o în formula (2.25) se obține ecuația de mișcare a elementului de volum. Înlocuind masa  $m = \rho S dx$ , în care  $\rho$  este densitatea

materialului concentratorului, introducând viteza undelor longitudinale  $c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  și împărțind

relația cu  $ESdx$  se obține:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\mu}{E} \cdot \frac{\partial^3 \xi}{\partial t \partial x^2} + \left( \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\mu}{E} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial t \partial x} \right) \frac{1}{S} \cdot \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{1}{c_L^2} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (2.27)$$

Formula (2.27) reprezintă ecuația diferențială generală de vibrație a concentratoarelor ultrasonice cu secțiune transversală variabilă.

Dacă se neglijează pierderile de energie prin frecări interioare, adică  $\mu = 0$ , ecuația (2.27) se simplifică:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial \xi}{\partial x} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{1}{c_L^2} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (2.28)$$

În condițiile oscilațiilor armonice ale concentratorului ultrasonic și considerând variația deplasării  $\xi(x)$  numai în funcție de coordonata  $x$ , nu și de timp, relația (2.28) devine:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{1}{S} \cdot \frac{\partial S}{\partial x} \cdot \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\omega^2}{c_L^2(1+j\eta)} \cdot \xi = 0 \quad (2.29)$$

în care:  $\omega = 2\pi f$  este pulsația oscilațiilor armonice cu frecvența  $f$ ;  
 $\eta$  - coeficient de pierderi care pentru oțeluri poate fi neglijat;  
 $j = \sqrt{-1}$  este unitatea imaginară.

Notând cu  $k = \frac{\omega}{c_L} = \frac{2\pi f}{\lambda f} = \frac{2\pi}{\lambda}$  numărul de undă,  $\lambda$  fiind lungimea de undă, se obține

relația:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{1}{S} \cdot \frac{\partial S}{\partial x} \cdot \frac{\partial \xi}{\partial x} + k^2 \xi = 0 \quad (2.30)$$

care reprezintă ecuația diferențială a concentratoarelor ultrasonice, utilizată în calculele ingineresti de proiectare.

Relația (2.30) poate fi scrisă în funcție de viteza de oscilație  $v = \frac{\partial \xi}{\partial t}$ :

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{1}{S} \cdot \frac{\partial S}{\partial x} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + k^2 v = 0 \quad (2.31)$$

Ecuațiile diferențiale de ordinul doi (2.30) și (2.31) descriu variația amplitudinii de oscilație  $\xi(x)$ , respectiv a vitezei de oscilație  $v(x)$  în lungul concentratoarelor ultrasonice, când prin acestea se transmit vibrații ultrasonice longitudinale. Aceste ecuații se pot integra doar pentru anumite funcții ale secțiunii transversale  $S = S(x)$ . Dificultatea rezolvării lor constă în determinarea constantelor de integrare din condițiile limită inițiale. De aceea aceste ecuații se vor rezolva pentru următoarele legi de variație a secțiunii transversale a concentratorului: exponențiale, conice, hiperbolice sau catenoidale și cilindrice în trepte. Astfel de forme de concentratoare sunt cele mai utilizate în practică.

### c.2. Factorii perturbatori în funcționarea concentratoarelor

În aplicațiile practice apar o serie de factori care limitează posibilitățile de lucru ale concentratoarelor prin perturbațiile funcționale ce apar în procesul exploatării. Se constată că în concentrator există două unde: o undă care se propagă de la originea concentratorului spre vârful acestuia și alta invers datorată reflexiei ce se produce în acest vârf. De asemenea nu se poate realiza o dimensionare strictă datorită faptului că sarcina în timpul utilizării concentratorului este complexă și variabilă, ceea ce duce la pierderi de putere.

În literatura de specialitate [50,133] se dau diferite soluții pentru dimensionarea concentratoarelor ultrasonice. Studiile asupra acestora s-au efectuat în condițiile propagării de-a lungul barei doar a undelor longitudinale. Pentru a asigura acest fapt este necesar ca

dimensiunile liniare ale secțiunii mari a concentratorului să nu depășească jumătate din lungimea de undă a undei care se propagă prin bară. Dacă aceste dimensiuni depășesc jumătate din lungimea de undă, atunci pe lângă unde longitudinale apar unde complexe, care micșorează eficacitatea concentratorului.

Totodată trebuie avut în vedere că natura undelor care se propagă prin concentrator depinde de valoarea factorului de amplificare. Determinările au arătat că pentru  $k_a = 4,5$  apar unde longitudinale, iar pentru  $k_a = 4,5$  apar unde de torsiune (utilizate îndeosebi la sudarea cu ultrasunete).

Apariția undelor transversale este un alt factor perturbator ce trebuie avut în vedere în exploatare. Datorită faptului că, de obicei, concentratorul este piesa prevăzută cu flanșă de prindere în batiul mașinii, în acest loc apar unde transversale ce produc încălziri ale concentratorului în acea zonă. Încălzirea implică pierderi și vibrații nedorite ale suportului blocului ultrasonic.

În timpul funcționării concentratorului apar tensiuni mecanice apreciabile care sunt variabile de-a lungul barei. Datorită apariției acestor tensiuni de întindere - compresiune, datorită solicitării la oboseală, însoțită de o coroziune accentuată, cât și datorită modului în care lucrează amplificatoarele, se impune ca acestea să fie confecționate din materiale cu rezistență mecanică și chimică ridicată (de exemplu: titan, duraluminu, oțel inoxidabil, alamă, OL austenitic, OL carbon de scule).

De asemenea, viteza maximă obținută în dreptul secțiunii mici trebuie astfel determinată încât oscilațiile din bară să nu provoace o oboseală pronunțată a materialului. În general, dimensiunile amplificatorului trebuie astfel alese încât frecvența de rezonanță să fie egală cu cea a transductorului (în caz contrar se reduce considerabil amplificarea).

Un alt factor perturbator deosebit de important este influența sculei asupra concentratorului. La stabilirea relațiilor de calcul pentru proiectarea concentratoarelor s-a făcut abstracție de faptul că în vârful acestuia se montează o sculă; datorită acesteia sunt modificate într-o măsură destul de mare condițiile de propagare a undelor longitudinale prin faptul că facilitează apariția undelor reflectate de la vârf spre bază. Astfel se modifică parametrii acustici ai concentratorului, adică frecvența de rezonanță și amplitudinea oscilațiilor ultraacustice.

Analizând strânsă legătură concentrator - sculă, trebuie menționată și influența uzurii sculei asupra acestuia. În majoritatea cazurilor uzura liniară a sculei se măsoară în comparație cu lungimea de undă a oscilației folosite sau fracțiuni ale acesteia.

În cazul în care scula are masa comparabilă cu cea a concentratorului sau dimensiuni comparabile cu lungimea de undă se obține o distribuție neuniformă a amplitudinii oscilațiilor pe secțiuni de lungime, care poate duce la o serie de fenomene nedorite: ruperea sculei, a concentratorului, înrăutățirea calității prelucrării, scăderea randamentului instalației.

Pentru a elimina acești factori perturbatori este necesar ca în proiectarea concentratoarelor de diferite forme să se țină cont de posibilele variații de lungime echivalente ( funcție de influența sculei ) astfel încât lungimea generală a ansamblului concentrator - sculă să poată facilita rezonanța maximă.



Unele firme producătoare, în scopul înlăturării acestor neajunsuri au adoptat soluția de a construi concentratoare cu lungime  $L = n \frac{\lambda}{2}$  la care ultima secțiune reprezintă o sculă încorporată (monolit). Soluția este costisitoare însă, deoarece pentru confecționare sunt necesare aliaje speciale destul de scumpe.

### **c.3. Acordarea blocului ultrasonic prin ajustare**

Elementele componente ale blocului ultrasonic pot fi aduse la frecvența dorită prin ajustarea dimensională. Practic se poate pune problema asigurării unei anumite frecvențe, impuse, blocului ultrasonic sau aducerea unuia din elementele componente la frecvența celuilalt. Stabilirea corectă a dimensiunilor concentratorului are influență atât asupra pierderilor de energie în zona de fixare, care trebuie să găsească într-un nod, cât și asupra amplitudinii vibrației la capătul dinspre sculă. Aceste performanțe sunt îndeplinite numai pentru o anumită frecvență. Unele concentratoare sunt compuse din mai multe segmente, unele interschimbabile în scopul înlocuirii lor sau al realizării adaptării acustice odată cu schimbarea sculei. Construirea unui concentrator, a unor segmente sau scule presupune ca operațiune finală acordarea la frecvența de rezonanță impusă. Aceasta se realizează prin ajustarea dimensiunilor care, intrând în alcătuirea unui bloc ultrasonic, să nu modifice frecvența de rezonanță a acestuia.

#### **c.3.1. Acordul feritelor la frecvența de rezonanță a unui concentrator oarecare**

În practică pot apărea două situații de acord ferite - concentratoare:

- a. există un lot de ferite cu o anumită dispersie a parametrilor și trebuie realizat un concentrator care să fie amplasat cu ferite din acest lot;
- b. există un concentrator deja construit care trebuie asamblat cu una sau mai multe ferite.

În ambele cazuri se pune problema aducerii celor două categorii de elemente la aceeași frecvență. Reacordarea unui concentrator este o problemă mult mai dificilă decât cea a acordului unei ferite deoarece trebuiesc îndeplinite simultan două condiții: amplitudine maximă la vârful lui și amplitudine zero în zona de prindere. În această situație se preferă acordul feritei prin unul din următoarele procedee:

1. Măsurarea frecvenței de autorezonanță care constă în determinarea frecvenței de autorezonanță a unei piese martor "a" (fig.2.15) cu ajutorul unui frecvențmetru cifric, piesa fiind cuplată prin intermediul unei îmbinări demontabile. Apoi se cuplează piesa "b" ce urmează a fi acordată în același loc și prin ajustări și măsurări succesive se aduce frecvența de autorezonanță la valoarea celei determinate cu piesa martor.
2. Se vizualizează caracteristica amplitudine - frecvență atât pentru piesa martor cât și pentru cea care trebuie acordată. Egalitatea celor două caracteristici indică terminarea operației de ajustare.

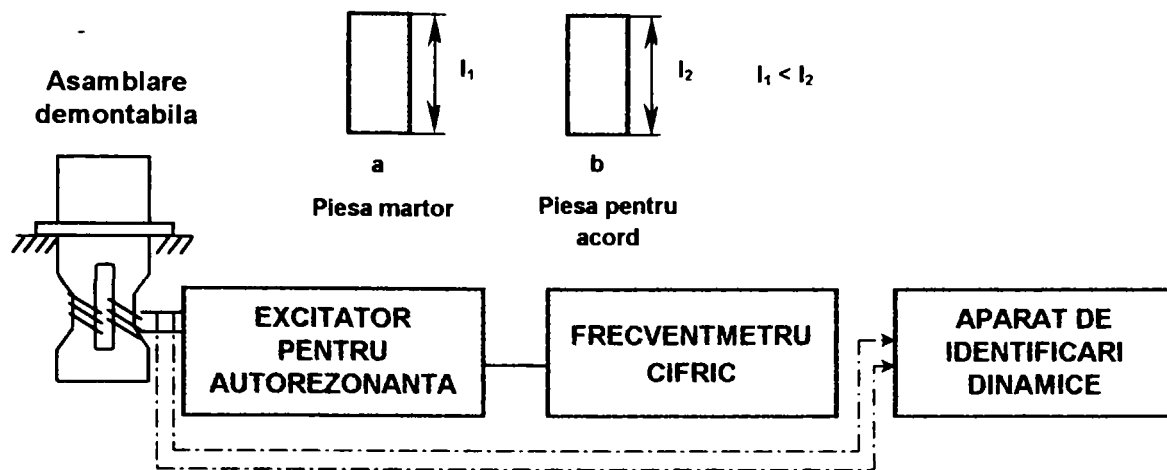


Fig.2.15

Ajustarea finală a acordului feritei se execută când aceasta este lipită de blocul ultrasonic. Organigrama acordului este prezentată în figura 2.16:

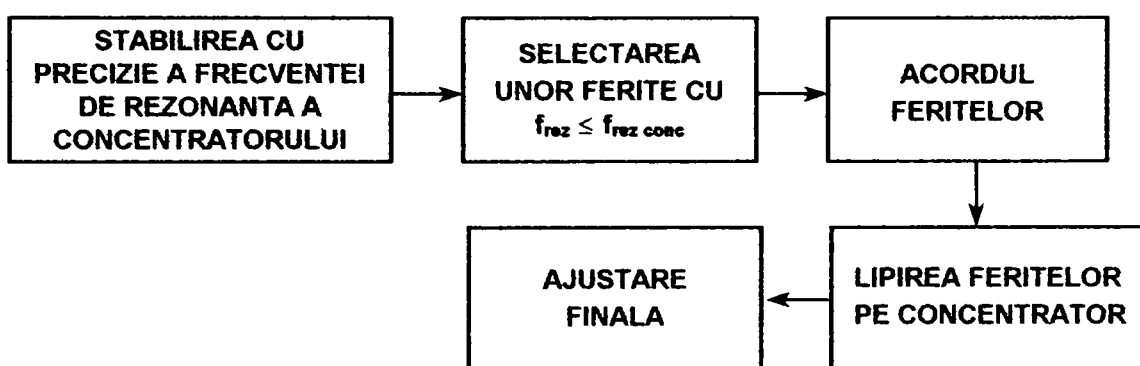


Fig.2.16

### c.3.2. Acordul concentratoarelor la o anumită frecvență de rezonanță

Pentru ca un concentrator să funcționeze în condiții de transfer optim către sculă sau către zona tehnologică este necesar ca acesta să asigure o valoare maximă a amplitudinii la capul dinspre sculă și o valoare minimă a acesteia în sistemul de prindere (fig.2.17):

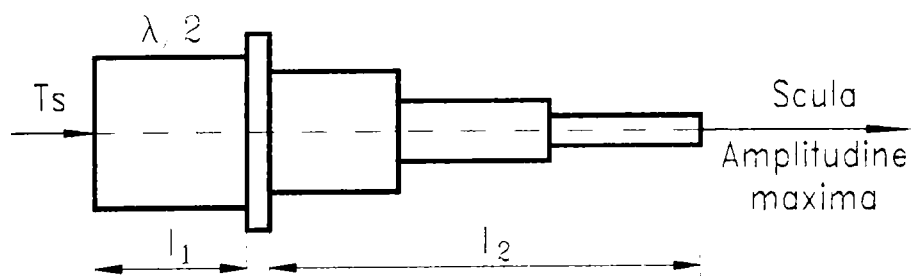


Fig.2.17

Pentru a fi posibilă o ajustare ulterioară este necesar ca lungimile  $l_1$  și  $l_2$  să fie mai mari decât cele rezultate prin proiectare cu 5% - 10% în funcție de corectitudinea proiectării și execuției.

Metoda de acord este descrisă mai jos, pe baza instalației din figura 2.18:

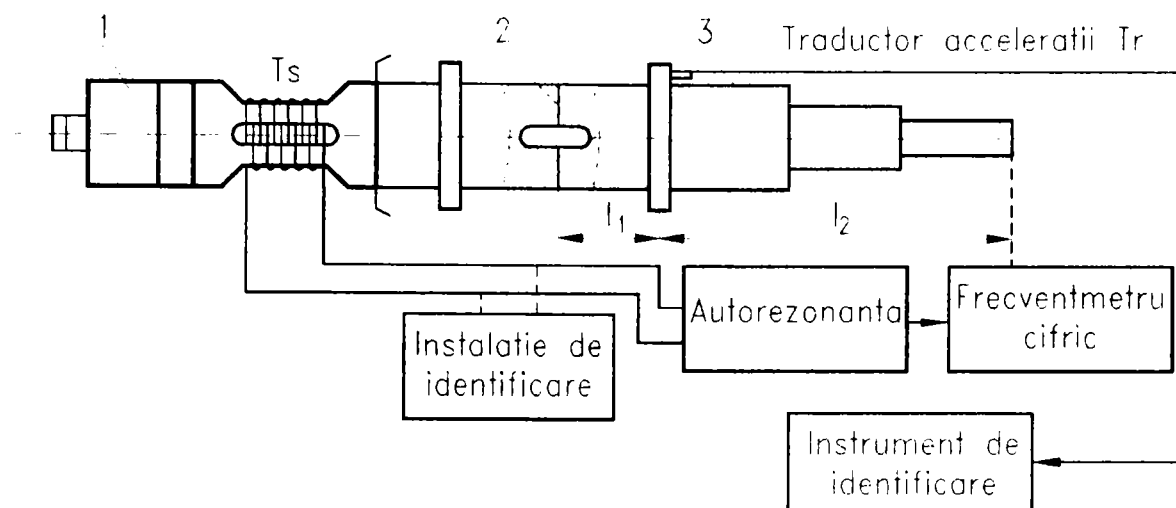


Fig.2.18

Se fixează concentratorul (3) cu sistemul (2) și cu ajutorul masei pasive (1) se aduce frecvența de autorezonanță la valoarea dorită. Dacă lungimea  $l_1$  este corectă transductorul Tr trebuie să indice valoarea zero. Dacă acesta indică o anumită valoare, se demontează concentratorul și se înlătură o anumită cantitate de material din zona dinspre transductorul Ts, micșorându-se  $l_1$  după care se montează, apoi din masa pasivă se reacordează întregul ansamblu la valoarea inițială a frecvenței și așa mai departe, până când valoarea indicației transductorului Tr devine zero.

Pentru stabilirea corectă a lungimii  $l_2$  există două procedee:

- cuplarea capului dinspre sculă către blocul ultrasonic, dacă sistemul de asamblare permite, după care se procedează ca și pentru lungimea  $l_1$ ;
- folosirea unui concentrator martor și aplicarea unuia din procedeele prezentate în subcapitolul c.3.1.

Studiul și proiectarea concentratoarelor [29] are la bază ecuația undelor plane, în care este ignorată mișcarea particulelor perpendicular pe axa concentratorului. În proiectarea și calculul concentratoarelor se consideră ipotezele simplificatoare menționate mai sus (subcapitolul c.1.), fiind necesari următorii parametri:

- factorul de amplificare,  $k_a(N)$ , care se calculează în funcție de tipul concentratorului;
- lungimea concentratorului,  $L$ ;
- profilul concentratorului; în funcție de precizia dorită și de metoda de obținere a profilului se determină diametrul profilului în secțiune transversală din mm în mm sau din 10 mm în 10 mm;
- coordonatele punctelor nodale, ce permit determinarea poziției de prindere și de fixare a concentratorului.

În anexa A1 sunt cuprinse cele mai des întrebuițate tipuri de concentratoare și elementele de calcul necesare.

În componența blocului ultrasonic pot fi utilizate concentratoare combinate, alcătuite din două sau trei secțiuni ale căror profile urmează diferite legi. Acestea pot fi: exponențial - cilindric, catenoidal - cilindric, conic - cilindric, cilindric - exponențial, cilindric - conic, etc. Aceste concentratoare combinate au un coeficient de amplificare mai mare decât cele simple numai exponențiale, catenoidale sau conice. Valoarea maximă a coeficientului de amplificare se poate obține utilizând un concentrator în trepte simetric sau un concentrator alcătuit dintr-o parte conică și o mică porțiune cilindrică (lungimea părții conice  $l_1 \approx v_s \pi f$ ).

Încercările experimentale au pus în evidență efecte favorabile asupra duratei și gradului de emulsionare și omogenizare în cazul utilizării sistemelor de scule-concentratoare de undă prevăzute cu orificiu central de alimentare (fig.2.19). Acestea au fost experimentate în sistemul de circulare forțată prin sistem aspersion - pompă, dirijat direct de operator sau cu posibilitatea stabilirii unor viteze diferite și controlate de curgere la capătul sculei prin variația presiunii statice.

Ținând seama de frecvența de lucru fixă ( $f = 20 \text{ kHz}$ ) a rezonatoarelor magnetostrictive și de necesitatea simplificării constructive și a reducerii prețului de cost a aparatelor cu ultrasunete, soluția echipării cu accesorii specializate este prioritară.

Mai elocvente pentru diverși utilizatori au fost încercările de cuplare a capului ultrasonic într-un sistem de ultrasunare continuă în regim pulsatoriu. S-au confirmat astfel concluziile de ordin practic privind creșterea vitezei de dispersie a particulelor de barit - calcit în apă ca urmare a unei alternări între dispersia mecanică (centrifugare) și cea cavitațională.

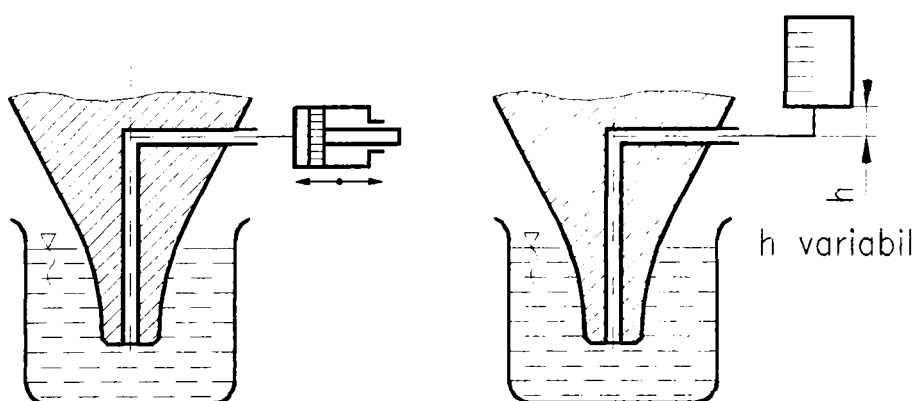


Fig.2.19

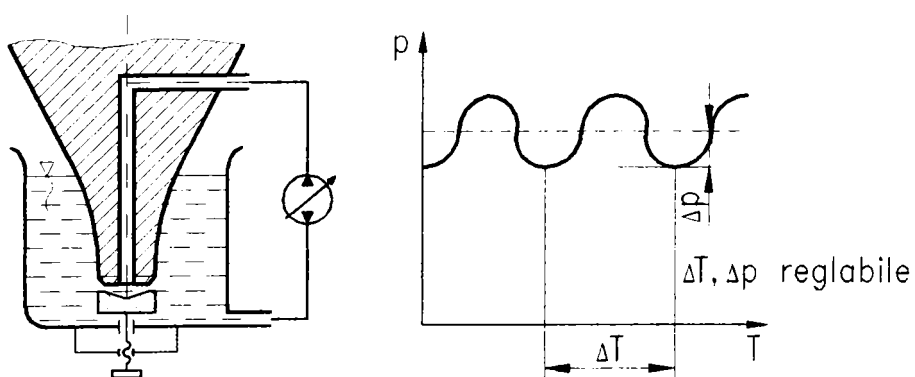


Fig.2.20

În figura 2.20 se prezintă un montaj în care acest efect este obținut prin suprapunerea peste fenomenul cavitațional de intensitate variabilă (ca efect al curgerii forțate prin orificiul concentratorului.-sculă) a pulsațiilor de presiune (reglabile) realizate de o pompă peristaltică reversibil-reglabilă.

Forma conică a vârfului contracentratorului-sculă, cu posibilitatea reglării mărimii interstițiului de curgere, constituie încă un element operativ în adaptarea unei astfel de instalații unor condiții concrete și diferențiate de lucru.

În fotografia din figura 2.21 se prezintă câteva tipuri uzuale de concentratoare ultrasonice, utilizate în încercările experimentale efectuate de autor.

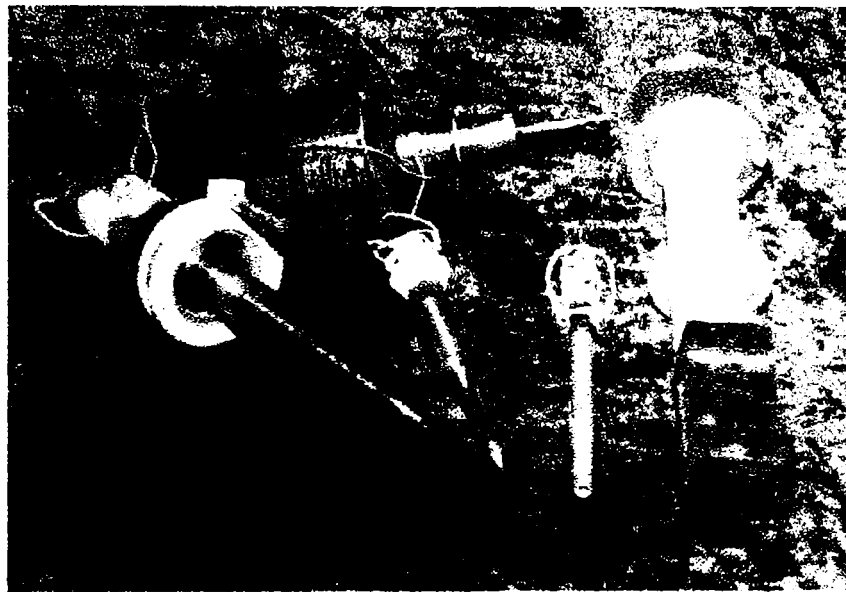


Fig.2.21

#### ❖ Elemente de transfer a energiei acustice și transformatori de undă

Atunci când transductorul nu poate fi amplasat direct în mediul asupra căruia se dorește transmiterea energiei ultrasonice și în același timp nu se urmărește concentrarea sau amplificarea energiei ultrasunetelor, se utilizează elemente simple de transfer constituite din bare cu secțiune constantă circulară sau dreptunghiulară.

Fie o astfel de bară omogenă (fig.2.22), de lungime  $L$  cu secțiune constantă  $S$ , având fețele terminale perfect plane, prin care se propagă fără disipare de energie o undă plană, după direcția  $Ox$ :

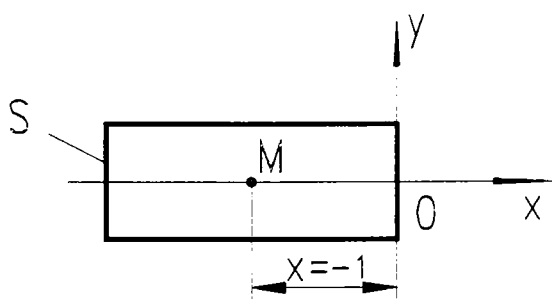


Fig.2.22

În bară iau naștere două unde: o undă progresivă, care se propagă în sensul pozitiv al axei și o undă care se propagă în sens opus, rezultată prin reflexia undei directe pe suprafața de separație la extremitatea barei.

Dacă lungimea tubului se consideră foarte mare în comparație cu lungimea de undă a perturbației care se propagă prin tub, prin bară



va exista doar o undă directă. Pentru a studia fenomenele ce apar în bară este necesar să se determine presiunea acustică și viteza volumică într-un punct situat la distanța  $x$  față de secțiunea  $S_0$  de ieșire a undei din bară.

Considerând conductorul acustic deschis la ambele capete, cazul care permite transmiterea energiei acustice, rezultă:

$$\tilde{Z}_{AO} = \tilde{Z}_{AL} = 0 \quad \text{și} \quad \frac{2\pi}{\lambda} L = n\pi \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (2.32)$$

unde:  $\tilde{Z}_{AO}$  și  $\tilde{Z}_{AL}$  reprezintă impedanțele acustice de intrare, respectiv de ieșire.

Din relația (2.32) rezultă:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad \text{respectiv} \quad f_n = \frac{cn}{2L} \quad (2.33)$$

unde:  $\lambda_n$  și  $f_n$  sunt lungimea de undă, respectiv frecvența de rezonanță a barei deschise la ambele capete, iar  $n$  este ordinul armonice.

Amplitudinea presiunii undei în dreptul secțiunii de ieșire ( $Z_{AO} = 0$ ) are forma:

$$p = 2 P_1 \sin kx \quad (2.34)$$

Dacă extremitatea de ieșire se închide cu un capac confecționat dintr-un material care are aceeași impedanță acustică specifică cu impedanța iterativă a barei,  $\tilde{Z}_{AO} = \tilde{Z}_C$ , atunci rezultă:

$$r = 0, \quad Z_{AL} = Z_C, \quad Z_C = \frac{\rho C}{S} = \text{impedanța iterativă},$$

adică în bară nu apar unde reflectate, iar impedanța acustică a secțiunii de intrare este egală cu impedanța iterativă (caracteristică) a barei. Energia ultrasonică transmisă mediului de către suprafața de ieșire a elementului de transfer este egală cu energia transmisă de traductor prin suprafața de intrare, din care se scad pierderile inevitabile ale energiei prin bară. Lungimea unui element de transfer se determină folosind relația:

$$L = \frac{nc}{2f} \quad (2.35)$$

unde:  $c$  este viteza ultrasunetelor prin materialul din care este confecționată bara;  
 $f$  - frecvența ultrasunetelor;  
 $n$  - raportul dintre lungimea barei și jumătatea lungimii de undă care se formează în bară (lungimea de rezonanță).

Transformatoarele de undă sunt dispozitive cu ajutorul cărora fie că se modifică direcția de propagare a undelor ultrasonice, fie că se transformă un tip de unde în alt tip de unde (exemplu: obținerea undelor de torsiune, de încovoiere sau transversale cu ajutorul undelor longitudinale).

Transformatoarele de undă utilizate pentru schimbarea direcției de propagare reprezintă bare curbate într-un singur plan sau în spațiu, cu secțiune constantă sau variabilă. Curbarea barelor trebuie astfel realizată încât în orice punct unghiul de incidență a undelor să fie mai mare decât al doilea unghi limită  $\hat{i} > \hat{i}_{L2}$ . Transformatoarele de undă îndeplinesc funcția de ghid de unde.

Pentru transformarea undelor longitudinale în unde de torsiune se pot folosi mai multe metode, dintre care cea mai utilizată constă în dirijarea undelor longitudinale produse de un transductor printr-un cilindru gol, pe a cărei suprafață laterală se practică ferestre (degajări) în spirală, al căror început și sfârșit sunt poziționate în nodurile de oscilație ale undelor staționare ( fig.2.23 ). Ferestrele practicate permit transformarea undelor longitudinale în unde de torsiune.

Emitator de ultrasunete      Transformator de unde

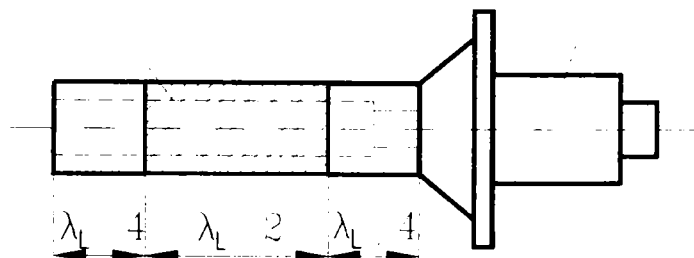


Fig.2.23

• **Elemente de adaptate și cuplaj acustic**

În cadrul oricărui sistem acustic se urmărește ca energia ultrasonoră produsă de transductor să fie transmisă într-o cantitate cât mai mare mediului de lucru. Pentru a obține acest lucru este necesar să se realizeze o cât mai bună adaptare între emițător și mediu. Dacă între transductor și mediu se interpun alte elemente (transformatori, amplificatori, etc) și acestea nu pot îndeplini și rolul de adaptare, atunci se impune realizarea unei adaptări atât între traductor și elementul respectiv, cât și între element și mediu.

Elementele de adaptare se aleg astfel încât la suprafața de contact dintre cele două medii coeficientul de transmisie acustică să fie maxim.

Astfel, pentru adaptarea transductoarelor la diferite medii lichide se utilizează dispozitive de adaptare sub forma unor plăci, ale căror caracteristici optime (formă, dimensiune) se aleg în mod frecvent pe cale experimentală.

În figura 2.24 sunt prezentate plăci de adaptare în cazul transductoarelor magnetostrictive în două cazuri: pentru lipirea directă pe traductor (a) și pentru lipirea de amplificator (b), iar în figura 2.25 sunt ilustrate modurile de prindere a plăcilor de adaptare în cele două situații (a,b).

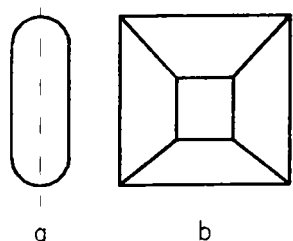


Fig.2.24

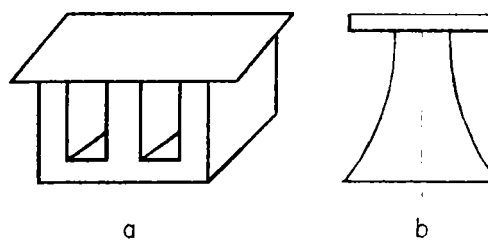


Fig.2.25

În cazul-transmiterii ultrasunetelor de la transductor sau amplificator la un corp solid, stratul de aer ce se interpune între cele două medii solide, chiar dacă grosimea acestuia ar fi foarte mică, de ordinul micronilor, împiedică transferul de energie.

În astfel de situații se pune problema realizării unui cuplaj acustic optim între transductor, respectiv amplificator (concentrator) și corpul solid care trebuie iradiat. Acest lucru se poate realiza prin următoarele procedee:

- scufundarea elementului de radiație ultrasonică și a corpului solid într-un lichid care să permită propagarea eficientă a undelor ultrasonice;
- utilizarea unor traductoare speciale cu pernțe umplute cu lichid;
- interpunerea între elementul de radiație ultrasonică și corpul solid a unui strat subțire de lichid sau pastă.

În general, stratul de cuplaj trebuie să adere bine la suprafața corpurilor solide, să nu aibă acțiune corozivă și să fie sub forma unui film subțire pentru a asigura un cuplaj uniform (un strat gros determină pierderi de energie prin atenuare și interferență). Uzual pentru stratul de cuplaj se folosesc diferite substanțe (glicerina, valvolina, vaselina, plastilina, mercur, miere de albine etc.).

#### ❖ **Sisteme de fixare mecanică și izolare acustică**

Generatorul de ultrasunete, sistemul acustic (format din transductor, concentrator, sculă), sistemul de răcire împreună cu elementele de etanșare, fixare și rigidizare, constituie instalația acustică.

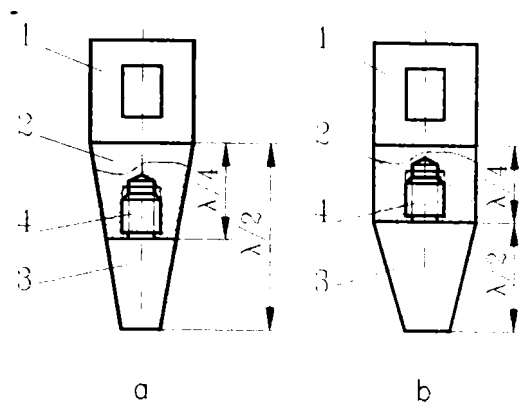
Deosebit de important este modul în care se realizează fixarea mecanică a componentelor sistemului acustic între ele cât și a întregului sistem în structura de rezistență a instalației acustice.

Fixarea componentelor sistemului acustic se poate realiza în două moduri: prin lipire sau prin înșurubare.

Lipirea se realizează folosind aliaj de argint, cositor, nichel, alamă sau rășini speciale. Materialul se distribuie uniform pe întreaga suprafață de contact astfel încât să formeze un strat subțire și compact (se evită golurile sau zone nelipite). O tehnologie de lipire cu rezultate bune constă în distribuirea materialului de lipit pe suprafețele ce vin în contact, lipirea realizându-se prin încălzirea celor două componente prin inducție electrică.

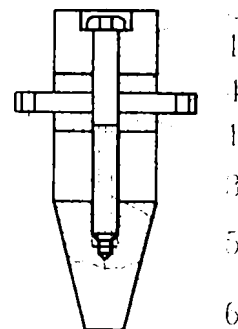
Fixarea prin înșurubare se realizează folosind sisteme de asamblare demontabilă prin filet. Pentru fixarea elementelor componente ale sistemului acustic (ex. concentrator) de transductor, pe fața radiantă a acestuia se lipește o piesă intermediară prevăzută cu filet.

Această piesă poate fi sau partea în  $\lambda/4$  a elementului respectiv (care servește apoi la fixarea celei de-a doua părți, figura 2.26), sau piesă independentă prevăzută cu sistem de înșurubare, a cărei lungime trebuie să fie egală cu  $\lambda/4$  și de care se fixează elementul acustic dorit (figura 2.27). În cazul traductoarelor compuse, concentratorul se fixează cu ajutorul unui șurub de polarizare mecanică.



1-traductor magnetostrictiv  
2-piesa intermediara  
3-concentrator in  $\lambda/2$   
4-îmbinare prin filet

Fig.2.26



1-placi piezoceramice  
2-element reflector  
3-element radiant  
4-electrod si element  
de racire cu aer  
5-surub de polarizare  
mecanica  
6-concentrator

Fig.2.27

În cazul îmbinărilor demontabile trebuie realizat un contact etanș între elementele sistemului deoarece în caz contrar au loc pierderi importante de energie acustică sau chiar distrugerea îmbinării.

Pentru realizarea stabilizării sistemului acustic în timpul exploatării, un rol determinant îl are fixarea (rigidizarea) sistemului în structura de rezistență a instalației. Procedurile și condițiile optime de fixare se stabilesc, de obicei, pe cale experimentală, urmărindu-se ca fixarea sistemului acustic să se facă în punctele nodale.

Figura 2.28, ilustrează câteva moduri uzuale de fixare:

- fixarea în nodul de vibrație al unui transductor magnetostrictiv în  $\lambda/2$  (fig.2.28 a); transductorul se fixează rigid (sistem menghină) în punctul nodal cu ajutorul a două prisme;
- fixarea pe un suport în  $\lambda/4$  (fig.2.28 b); suportul cilindric, cu lungimea egală cu  $\lambda/4$  se fixează la partea superioară a amplificatorului acustic în locul de îmbinare cu transductorul, iar la partea inferioară se fixează rigid de carcasa exterioară;
- fixarea în nodul de vibrație a concentratorului (fig.2.28 c,d); rigiditatea întregului sistem se realizează prin fixarea la structura de rezistență a concentratorului (amplificatorului) în  $\lambda/2$  sau în  $\lambda$ , cu ajutorul unui disc sau inel subțire cu grosimea de 1,5-3 mm, așezat în nodul deplasărilor (la o distanță de  $\lambda/4$  de bază);
- fixarea cu reazem de cauciuc în nodul de deplasare al concentratorului și cu apăsare a sistemului de sus în jos (fig.2.28 e).

În timpul funcționării sistemului acustic apar vibrații ce determină efecte nedorite, atât asupra operatorului, cât și asupra instalației. Pentru a evita aceste efecte, transductorul se izolează față de restul instalației. În acest scop se folosesc garnituri de cauciuc fixate pe suprafața neradiantă a transductorului și totodată se utilizează carcase de izolare acustică a sistemului "căptușite" în interior cu material fono-absorbant.

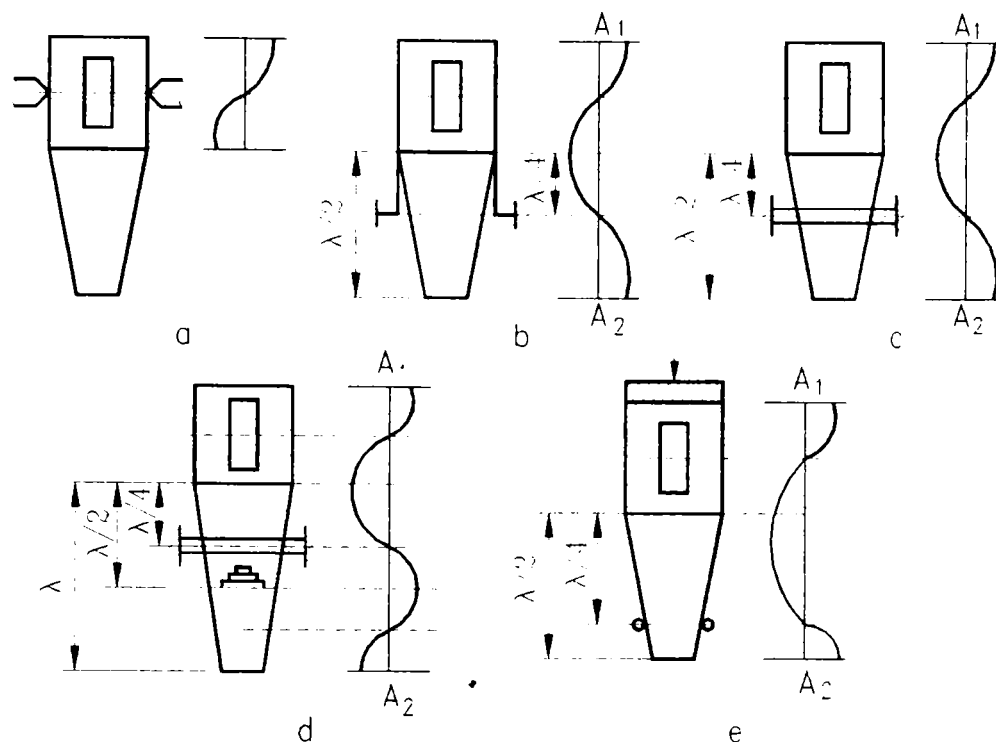


Fig.2.28

### 2.1.2. Echipamente de activare în volum limitat

În cele ce urmează se prezintă câteva soluții constructive ale unor echipamente de activare ultrasonică în volum limitat, utilizate cu precădere în laboratoarele de chimie și biologie, în procesele de emulsionare, omogenizare și sterilizare.

**A. Dezintegratorul ultrasonic SONIFER** (produs de firma Branson) a fost dezvoltat inițial pentru cercetări chimice, găsindu-și însă aplicații și în alte domenii ale științei și cercetării. SONIFER este astăzi o parte componentă a echipamentului standard al laboratoarelor biologice și înrudite, se caracterizează prin faptul că pot fi ușor manipulate, au fiabilitate mare și necesită întreținere minimă. Un alt aspect important este buna capacitate de reglare a energiei sonice emise care permite dezintegrarea numai anumitor părți componente ale soluției, altele - cu puțin mai stabile - rămânând întegre.

Dezintegratorul produce energie electrică de înaltă frecvență, care cu ajutorul unui element piezoelectric e transformată în energie mecanică. Aceste oscilații mecanice, la rândul lor, sunt conduse printr-o sculă de Ti, în substanța ce urmează a fi ultrasonată. Dacă substanța respectivă este un lichid, se produce fenomenul cavitațional. Prin împrăștierea undelor ultrasonice în lichid, bulele minuscule de gaz din acesta sunt alternativ comprimate și descărcate. Odată cu atingerea unei valori critice, dependente de frecvența sonică, bulele se sparg prin implozie. Diferențele locale de presiune rezultate ajung la câteva atmosfere.

În figura 2.29 este redat un astfel de dezintegrator, model B-30 cu următoarele caracteristici funcționale și dimensionale:



- Generatorul:*
- dimensiuni de gabarit: 318 x 450 x 165 [mm];
  - greutate: cca 12 Kg;
  - putere: 350 W;
  - frecvență: 20 kHz;
  - curent: 220 V / 50 Hz; 2,5 A;
- Convertizorul:*
- dimensiuni: 330 x  $\phi$  70 [mm];
  - greutate: cca 1,8 kg;
  - oscilator: Pb - Zirconat Titanat;
- Rezonator:*
- dimensiuni  $\phi$  28,5 -  $\phi$  12,7 [mm];
  - material - aliaj special cu Ti.

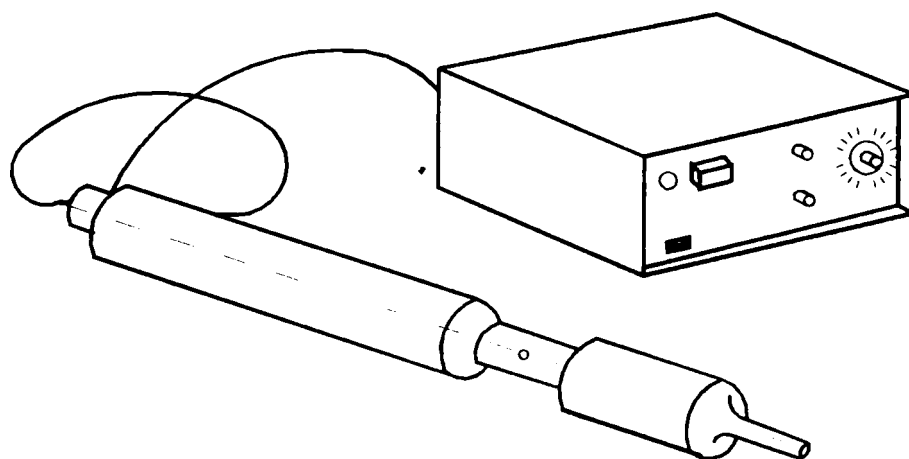


Fig. 2.29

Un alt model de dezintegrator ultrasonic SONIFER este B-12 cu următoarele date tehnice:

- Generator:*
- dimensiuni: 370x305x145 [mm];
  - greutate: cca 9 kg;
  - putere: 150 W;
  - frecvență: 20 kHz;
  - racord: 220 V / 50 Hz; 1,5 A;
- Convertizor:*
- dimensiuni 280 x  $\phi$  64 [mm];
  - greutate: 1,5 kg;
  - oscilator: Pb - Zirconat - Titanat;
- Rezonator:*
- dimensiuni:  $\phi$  28,5 [mm];
  - material: aliaj special cu Ti.

Generatorul dezintegratorului SONIFER este complet tranzistorizat și dispune de o treaptă de oscilator. Circuite speciale mențin constantă frecvența cedată, astfel că la convertizor ajunge de fiecare dată puterea optimă. Aparatul poate fi reglat pentru funcționare permanentă și pentru perioade de la 0 la 15 minute.

Convertizorul trebuie să transfere oscilațiile electrice de înaltă frecvență produse de generator, în oscilații mecanice, elementul piezoelectric activ este Pb - Zirconat - Titanat. Randamentul este de cca 95%.

Rezonatorul se realizează dintr-un aliaj de Ti special cu proprietăți acustice excelente și nu este toxic - un aspect foarte important la ultrasonarea substanțelor biologice sensibile. Acest aliaj este totodată deosebit de rezistent la eroziune, adică erodarea inevitabilă a materialului la vârful rezonatorului, prin efectul oscilațiilor de înaltă frecvență, este redusă la minim.

Rezonatoarele standard pentru SONIFER se livrează fie cu capăt masiv, fie cu un filet pentru înșurubarea unor vârfuri de lucru schimbabile. Microvârfurile de lucru constituie cel mai important accesoriu la SONIFER.

Datorită diametrului final de numai 3 mm al microvârfului standard, intensitatea sa sonică este de 3,5 ori mai mare ca a rezonatorului.

*Aplicații ale dezintegratorului ultrasonic SONIFER:*

- detectarea bacteriilor, sporilor, virusilor, ciupercilor, celulelor, țesuturilor;
- desprinderea substanțelor conținute în țesuturile animale și vegetale;
- realizarea unor emulsii extrafine, chiar și din substanțe greu amestecabile;
- distribuția extrafină a substanțelor insolubile în lichid;
- accelerarea reacțiilor chimice și biologice.

Aplicația cea mai răspândită este, fără îndoială, dezintegrarea celulelor. În cele ce urmează se dă o listă de substanțe care au fost tratate cu SONIFER, fie în timp mai scur decât cu metodele convenționale, fie în mod extrem de simplu: aerobacter aerogenes, azotobacter vinelandii, bacillus globule de sânge, probe de sol, coloranți, țesuturi cerebrale, țesuturi hepatice, mitocondrii, țesuturi musculare, microbacterii, penicilină, virusul poliometitei, vaccinuri, vitamica E, emulsii, roci minerale, etc.

**B. Aparatele SONIMASSE**, realizate de firma Ultrasons Annemasse se bucură de o largă aplicabilitate, funcționând cu frecvențe de 20 kHz, 40 kHz (la cerere cu frecvențe superioare).

Această gamă de aparate permite concentrarea într-un volum mic a unor puteri acustice de până la 600W pe suprafețe de emisie depășind 500 mm<sup>2</sup>. Altfel spus, densitățile de energie ultrasonică sunt cuprinse între 120 și 5000 W/cm<sup>2</sup>.

SONIMASSE se utilizează fie în industrie, pentru tratamentul lichidelor în vederea obținerii unei reacții determinate, fie în laboratoarele de cercetare în vederea studierii reacțiilor provocate de ultrasunete în lichide.

Aparatul standard (fig.2.30) se compune din:

- generator tranzistorizat de mică complexitate cu variație continuă a puterii;
- soclu cu coloană suport pentru convertizor (variante din figură: mâner "revolver");
- convertizor piezoelectric de mare randament;
- sonotrod interschimbabil din Ti adaptat la diverse probleme (Ti a fost ales pentru neutralitatea sa față de principalii agenți chimici, rezistența sa la coroziune, proprietatea sa de a transmite vibrațiile).

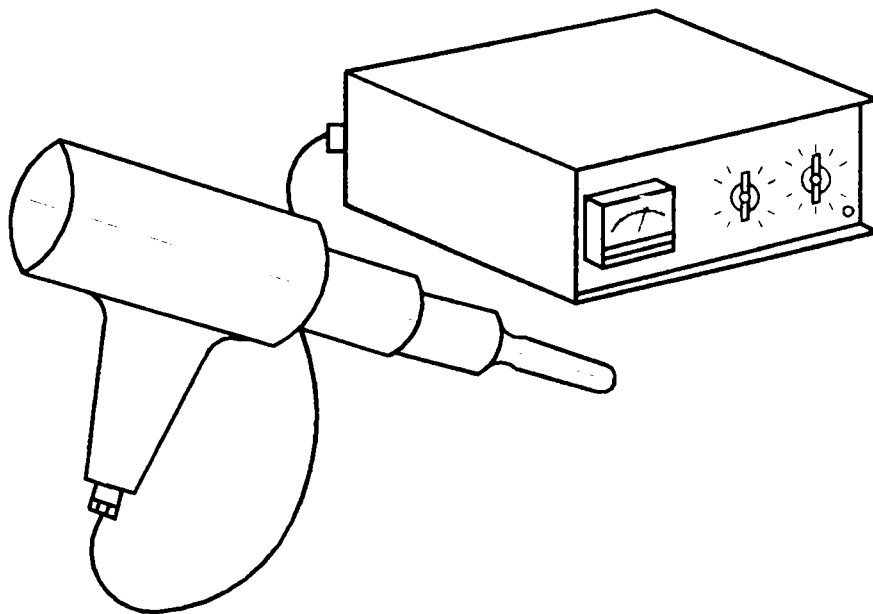


Fig.2.30

Principalele aplicații ale aparatelor Sonimasse:

- emulsionare, obținându-se rezultate foarte bune, imposibil de realizat prin procedee obișnuite. Tabelul 2.1 cuprinde valori ale diametrului particulei de ulei, în cazul emulsiei ulei-apă, pentru diferite valori ale frecvenței ultrasonice.

Tabelul 2.1

Frecvența	20 kHz	40 kHz	100 kHz	1 MHz
Diametrul [ $\mu\text{m}$ ]	44	28	15	3

- decontaminare, în cazul elementelor radioactive;
- dispersii de pigmenți (vopsele), accelerarea reacțiilor chimice;
- omogenizări;
- dislocări, distrugeri, dezintegrări de: globule de sânge; histoplasmă, bacterii, țesuturi, celule; penicilină (dislocarea totală se realizează în 3 minute); streptococi gr.A (dislocare totală în 15 minute, într-o suspensie 20% în 15 ml soluție); miocard (1 g se dezintegrează în 6 minute).

Adesea este necesar a plasa lichidul ce urmează a fi activat într-o incintă termostată pentru eliminarea energiei calorice degajate prin cavitație.

**C. Dispozitivul de activare cu ultrasunete în volum limitat DAU-01** (produs omologat la I.P.T.V.T.) redat în figura 2.31 este destinat activării unor volume mici de medii lichide prin producerea fenomenului de cavitație ultrasonică. Prezintă un larg spectru de utilizare în chimie, biologie, fizică, pentru emulsionări de uleiuri în apă, decontaminări de elemente radioactive, dispersări de pigmenți în vopsele și săruri, omogenizări ale amestecurilor din două lichide, distrugeri sau dezintegrări ale unor substanțe ce conțin componente celulare sau de natură biologică, producerea localizată a cavitației ultrasonice [27,31,65,107].

Părțile componente ale dispozitivului de activare cu ultrasunete DAU-01 se regăsesc în figura 2.31. Capul ultrasonic de lucru cu concentratorul (1) este deplasabil pe verticală prin acționarea corespunzătoare a unei roți de manevră aflată pe partea terminală a coloanei ansamblului suport (2). Sculele (4) se înșurubează ferm la capătul concentratorului capului ultrasonic, după care poziționările necesare în timpul lucrului se pot asigura de la dispozitivul de poziționare în plan vertical (3) al mediului de lucru.

Legătura funcțională a capului ultrasonic cu generatorul de ultrasunete este asigurată printr-un cablu flexibil prevăzut cu mufe de conectare pe extremități. Dispozitivul este prezentat și în fotografia din figura 2.32.

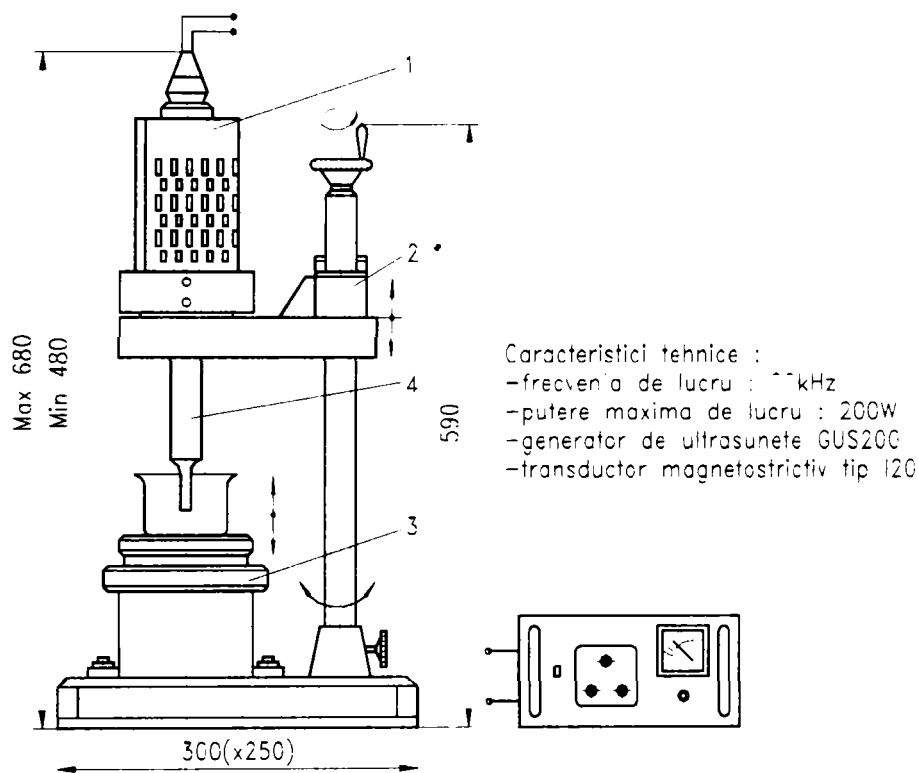


Fig.2.31

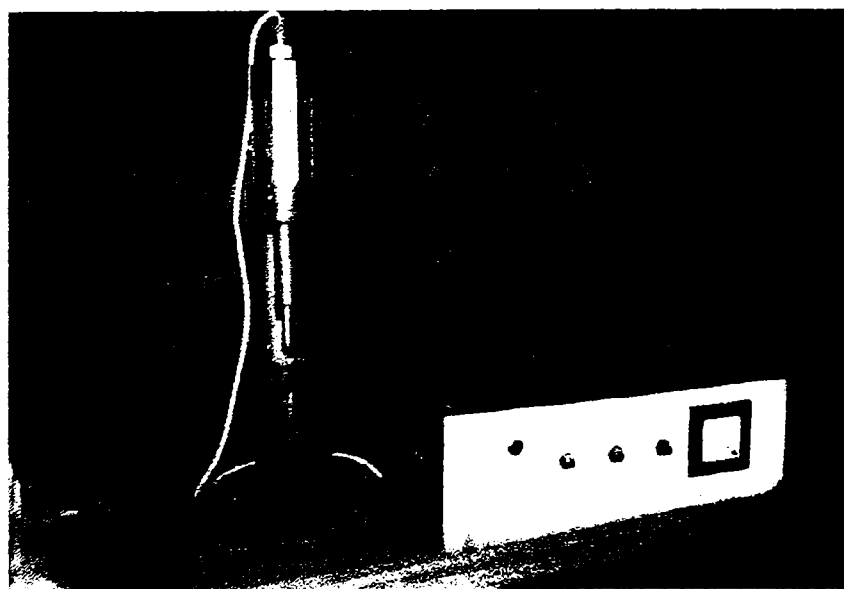


Fig.2.32

#### **D. Criterii de proiectare a celulelor de activare**

În cadrul unui echipament ultrasonic de activare cu ultrasunete de tip dispozitiv DAU-01 elementul activ, de transfer energetic al ultrasunetelor către lichidul de omogenizat, îl constituie așa zisa, celulă de activare. În proiectarea celulei de activare trebuie luate în considerare o serie de restricții și limite care determină forma, dimensiunile și debitul volumic în funcționare în regim continuu:

- sistemele ultrasonice dispersoare nu pot realiza densități de energie specifice celor de la suprafețele rezonante ale transductorilor;
- sistemele ultrasonice convertoare nu pot realiza densități mari în volume mici, indiferent de nivelul de concentrare datorită dimensiunilor convertoarelor;
- structurile mecanice cu densități mari de energie pot vibra în mod “parazit” sau se pot distruge.

În cele ce urmează se prezintă modul de proiectare cu exemplificare pe baza celulelor activate cu ferite magnetostrictive.

##### *a. Celulă de activare cu convertor ultrasonic dispersor.*

*Celula elementară experimentală*

- încărcare specifică pe ferită  $P_s = 4 \text{ W/cm}^2$  (regim continuu);
- dimensiunea suprafeței radiante a feritei  $S_{Fe} = 2,5 \times 5,5 \text{ [cm}^2\text{]}$ ;
- coeficient de cuplare electromecanic  $K_{em} \approx 0,13$ ;
- factor de conversie electroacustic  $\eta_{ea} \approx 0,70$ ;
- cuvă vibrantă  $\phi 100 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ .

Mărimea cuvei vibrante este determinată de următoarele condiții rezultate din încercări experimentale preliminare:

1. necesitatea reproducerii pragului minim de cavitație ultrasonică pentru amorsarea proceselor de omogenizare;
2. compatibilitatea masei vibrante (cuvă + lichid) din punct de vedere al frecvenței de rezonanță al feritei și din punct de vedere al stabilității pe frecvența de rezonanță;
3. asigurarea unui gabarit minim condiționat de montajul feritelor capabile să asigure o putere de 250 W.

##### *b. Celulă de activare cu convertor ultrasonic concentrator.*

*Celulă de activare cu concentrator  $\phi 10$*

*Elementele transductorului din ferită:*

- $P_s = 4 \text{ W/cm}^2$  (regim funcționare continuă);
- $K_{em} \geq 0,13$  (20 luat în calcul);
- $\eta_{ea} \geq 0,70$ ;
- $S_{Fe} = 2,5 \times 5,5 \text{ [cm}^2\text{]}$  (cuplarea a 2 ferite tip I 20 pe concentrator).

Numărul de 2 ferite care alcătuiesc transductorul magnetostrictiv este determinat de dimensiunile radiale maxime ale concentratorului (sub 60 mm) impus de condițiile propagării eficiente a oscilațiilor longitudinale și evitarea vibrării parazite pe direcția transversală.



Concentrator:

- material D16T (oțel OLC 45);
- coeficient exponențial de reducere a secțiunii  $K_l = 50 / 10 = 5$ ;
- coeficient real de amplificare a oscilațiilor  $K_r = 3,8$ ;
- diametrul suprafeței radiante a concentratorului  $\phi 10 \text{ mm}$ .

Turbionarea lichidului conduce la antrenarea volumelor adiacente dar numai în măsura în care volumul de lichid în care se află imersată scula este compatibil cu sistemul rezonant din punct de vedere al impedanței acustice. Experimental acest volum trebuie să fie sub  $20 \text{ cm}^3$  în cazul apei. În cazul mediilor vâscoase de tipul laptelui reconstituit acest volum se apreciază la  $18 \text{ cm}^3$ .

Depășirea acestui volum nu conduce la diminuarea progresivă a densității de putere medie așa cum este de așteptat ci la dereglarea frecvenței sistemului rezonant (practic imposibil acordul).

În cazul celulei de activare cu concentrator și disc radiant  $\phi 25 \text{ mm}$  datele problemei rămân practic aceleași din punct de vedere al bilanțului energetic.

Varianta activării volumice prin intermediul celulelor de activare cu convertor ultrasonic concentrator pare mai favorabilă din punct de vedere al construirii unor celule în flux continuu dispuse în serie sau paralele pentru obținerea unor debite ridicate, dar problemele stabilității pe frecvența de rezonanță a sistemului oscilant devin mai mari impunându-se introducerea între transductor și generator a acordului automat pe frecvența de rezonanță (RAF) combinat eventual cu acordul automat pe putere debitată maximă (RAP).

### 2.1.3. Echipamente de activare în flux continuu

Majoritatea echipamentelor sau dispozitivelor realizate după principiul activării mediilor lichide și vâsco-elastice în flux continuu au o aplicabilitate specializată și constituie tot atâtea soluții tehnice protejate prin brevete de invenție. În continuare se va face o prezentare selectivă a unor soluții tehnice relevante cunoscute.

În figura 2.33 se prezintă un montaj cu celulă de activare în flux continuu termostată, reglabilă și prevăzută cu cameră de menținere constantă a temperaturii mediului de activat, pentru utilizări speciale.

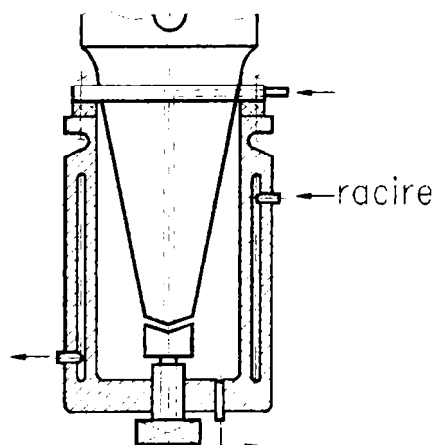


Fig.2.33

### **A. Aparat pentru tratarea eșantioanelor cu ultrasunete în vederea omogenizării**

Brevet Finlanda nr.3562 1974 și Brevet paralel Franța 7538759 1975 al firmei INSI NOORTIOIMISTO INNOTEK OY autori Ilmari Kinonen și Jorma Jolanki (anexa A2).

Invenția se referă la un aparat de omogenizare a eșantioanelor de mediu lichid prin mișcarea și dispersia particulelor grosiere folosindu-se energia ultrasunetelor. Invenția face referiri concrete la omogenizarea particulelor de grăsime din lapte, simultan cu reducerea dimensiunii lor. În cazul invenției cantitatea de lichid ce se cere omogenizată este redusă, sub acțiunea unei suprafețe radiante de dimensiuni reduse, dar timpul necesar omogenizării este și el scurt. Ideea originală a invenției constă în tratarea în două faze a eșantionului de omogenizare prin utilizarea unui singur transductor ultrasonic înzestrat cu concentratoare dispuse pe ambele fețe radiante realizându-se deci un sistem convertor concentrator bilateral. În felul acesta ciclul de omogenizare cuprinde două faze consecutive prin trecerea eșantionului din dreptul unei suprafețe radiante după o primă omogenizare, în dreptul celei de a doua fețe radiante pentru încă o omogenizare. Camerele de eșantionare corespunzătoare suprafeței de radiație a concentratoarelor sunt alcătuite dintr-o contraplacă de grosime redusă care poate primi racordurile conductelor de aducțiune și refulare și delimitează un spațiu redus de omogenizare prin intermediul unui inel de etanșare circular din cauciuc de secțiune cilindrică. În felul acesta camerele propriu-zise de omogenizare constituie de fapt un compromis interesant între celula de activare volumică și cea interstițială.

Descrierea invenției sugerează faptul că ea este utilizabilă nu ca o soluție de uz industrial ci ca una de natură experimentală, de vreme ce însăși revendicarea face referiri la cantități relativ mici de lichid omogenizat. Disponerea mai multor asemenea dispozitive în serie sau paralel ar putea oferi soluții acceptabile și pentru debite mai mari interesante din punct de vedere industrial.

### **B. Aparat pentru omogenizarea lichidelor**

Brevet Marea Britanie nr.2072029 81 al firmei Lucas Industries Limited, autori Arthur Grange, Jack Hollings (anexele A3 și A4).

Invenția constă dintr-un aparat de omogenizare ultrasonică a lichidelor alcătuit după principii constructiv - funcționale specifice celulei de activare. Invenția utilizează o celulă de activare delimitată de două capace dispuse după una din axe, care sunt în același timp și suporturile nodale a două convertoare ultrasonice concentratoare pe bază de transductoare magnetostrictive din nichel sau ferită. Capetele active ale concentratoarelor realizează un interstițiu de mărime reglabilă prin rotirea capacelor, funcție de necesitățile de omogenizare. În interstițiul realizat pătrunde o lamă oscilantă atașată la capătul activ al unui convertor ultrasonic concentrator dispus după o axă perpendiculară pe prima. De partea opusă a lamei, pe axa amintită se găsește orificiul de pătrundere de tip duză a lichidului de omogenizat înspre interstițiul activ.

În condițiile descrise, jetul de lichid ce pătrunde prin duză este dirijat spre interstițiu și fragmentat de lamela vibrantă asigurându-se contactul cu pereții ce vibrează ultrasonic.

Celula de activare este prevăzută și cu un orificiu lateral de deversare a cărui poziție lasă să se înțeleagă că întregul proces de omogenizare are loc în condiții de imersie a elementelor active.

*Dimensiunile reduse ale fețelor active ale convertoarelor ultrasonice realizabile conform condiției de evitare a vibrației la transversale parazite conduce la deducția că debitul volumic realizabil este în general redus.*

### **C. Aparat pentru tratarea sonică a lichidelor**

*Brevet SUA nr. 1437286 74 al firmei DUKANE CORPORATION autor Michael Charles Supitilov (anexele A5, A6 și A7).*

*Invenția este în esență constituită prin amplasarea în traiectul unei conducte de scurgere a unui lichid, în poziția axială sau transversală, a unui convertor ultrasonic concentrator astfel încât fața activă a acestuia să reprezinte o suprafață radiantă paralelă sau frontală cu jetul de lichid. Contactul lichidului în curgere în vecinătatea suprafeței radiante asigură omogenizarea dorită prin tratare sonică.*

*Din punct de vedere constructiv oricare din variantele de realizare ale invenției nu comportă decât modificări și investiții minime, dar experiența practică indică faptul că debitele realizabile nu pot fi prea ridicate fără riscul neasigurării omogenizării.*

*În anexele A8, A9, A10 și A11 sunt prezentate alte soluții constructive brevetate.*

## **2.2. OBIECTIVUL TEZEI DE DOCTORAT**

*Datorită multiplelor efecte determinate de procesul de cavitație în lichidele supuse activării cu ultrasunete, aplicațiile posibile sunt foarte diverse, specifice domeniilor de interdisciplinaritate. Este dovedit faptul că potențialul de dezvoltare al actualelor aplicații și posibilitatea de a găsi noi aplicații este considerabilă. Lucrările dezvoltate până în prezent sunt relativ eterogene, purtând deseori amprenta unor abordări limitate determinate fie de competența și interesul specific al autorului (fizician, chimist, biolog și foarte rar inginer), fie de limitele funcționale ale echipamentului utilizat, în special cu referire la optima adaptare a sistemului ultrasonic rezonant la proces.*

*În acest context s-a formulat ca obiectiv al lucrării de doctorat cu titlul “**Activarea cu ultrasunete a mediilor lichide de lucru**” studiul teoretic și experimental al unui ansamblu de tehnici de activare, în scopul determinării cât mai corecte:*

- a parametrilor fundamentali de proces;*
- a pragurilor energetice optime pentru evitarea denaturării procesului și limitării tendințelor de supradozare cu energie ultrasonică;*
- a interconexiunilor posibile între diferite aplicații;*
- a modalității de adaptare optimă a sistemului ultrasonic rezonant, care să conducă la configurații de echipamente simple, ieftine și eficiente.*

*Pentru realizarea obiectivului s-a prevăzut o strategie de lucru care să urmărească:*

- studii de analiză și sinteză teoretică relativ la procese, tehnologii și echipamente cunoscute;*
- studii experimentale asupra unor aplicații diverse, folosind baza experimentală proprie;*
- optimizarea construcției echipamentelor de activare și în special a celor în flux continuu.*

# CAPITOLUL III

## CERCETĂRI TEORETICE SI EXPERIMENTALE PRIVIND EFECTELE ULTRASUNETELOR ÎN LICHIDE

### 3.1. CERCETĂRI PRIVIND PARTICULARITĂȚILE EFECTULUI CAVITAȚIEI ULTRASONICE

*Eroziunea suprafețelor unor metale prin cavitație ultrasonică este bine cunoscută și a fost utilizată frecvent în ultimii ani ca o metodă rapidă de evaluare a intensității ultrasonice. Greutatea de metal erodată dintr-un bloc de plumb, stabilită prin cântărire înainte și după tratament, poate da indicații asupra activității cavitației. Similar, eroziunea unei folii de metal este utilizată pentru a determina zonele de cavitație, într-un volum de lichid.*

*Utilizând metode sonochimice, o celulă conținând lichidul reactiv trebuie introdusă într-un câmp ultrasonic care activează într-un volum finit de lichid ce trebuie să perturbe câmpul.*

*Măsurarea greutateii ca o indicație a efectului cavitației necesită o procedură laborioasă. Ulterior s-a apelat la utilizarea foliilor de aluminiu ce au fost supuse eroziunii, iar gradul de eroziune s-a măsurat prin determinarea ariei erodate. Când folia de Al este imersată în lichidul activat ultrasonic, se desfășoară diferitele stadii de eroziune, ce se repetă. În primul stadiu se observă o ciuruire a suprafeței foliei, ce ocupă marea parte a suprafeței, găurile ce apar având un diametru de cca  $100\mu\text{m}$  și foarte apropiate (îngrămădite). În al doilea stadiu găurile se măresc, suprafața erodată primind un aspect zdrențuit, cu discontinuități. Al treilea stadiu începe în momentul observării unei posibile coalescențe a găurilor, acestea mărindu-se tot mai mult. În final sunt detașate bucăți de folie din corpul inițial. Pentru o folie de grosime  $0,0004\text{ mm}$  timpul până la apariția celui de-al treilea stadiu este între 15 și 20s.*

*În vederea realizării cercetărilor legate de evidențierea fenomenelor cavitaționale în mediile lichide s-a folosit o microbaie (1) activată ultrasonic (fig.3.1). Capacitatea maximă a băii este de  $190\text{ cm}^3$ .*

*Activarea s-a realizat cu transductor magnetostrictiv din ferită (2) cu frecvența de  $20\text{ kHz}$ , alimentat de la un generator (3) cu puterea electrică reglabilă de la 0 la  $150\text{ W}$ . Pentru evidențierea fenomenului cavitațional s-a introdus în baie rama (5) care încadrează o folie de aluminiu (4), cu grosimea de  $7\mu\text{m}$ . Grosimea foliei fiind redusă, intensitatea fenomenului cavitațional poate fi considerată proporțională cu aria  $S$  a zonei din folie erodate complet. Figura 3.2 ilustrează variația în timp a suprafeței de folie erodate (estimată procentual).*

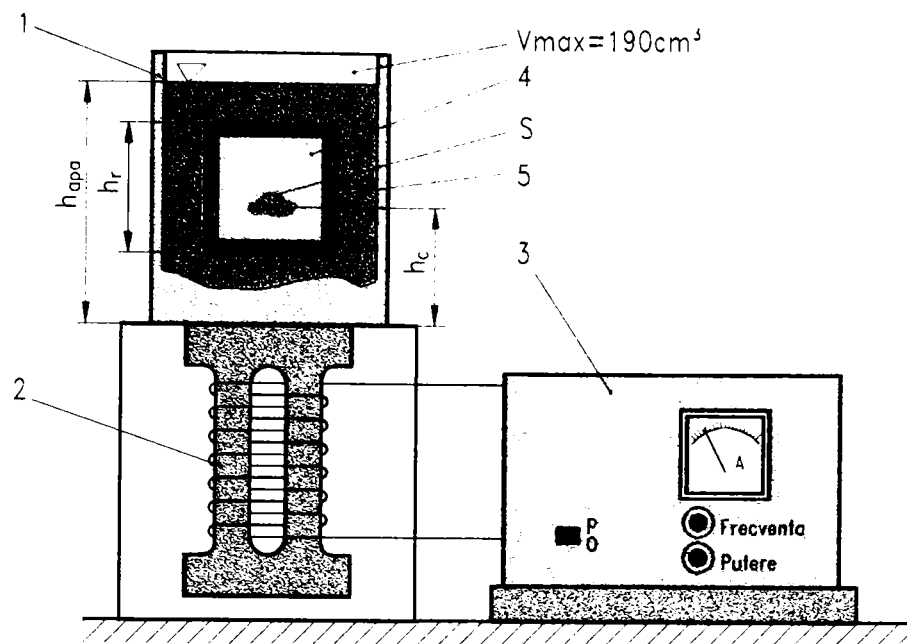


Fig.3.1

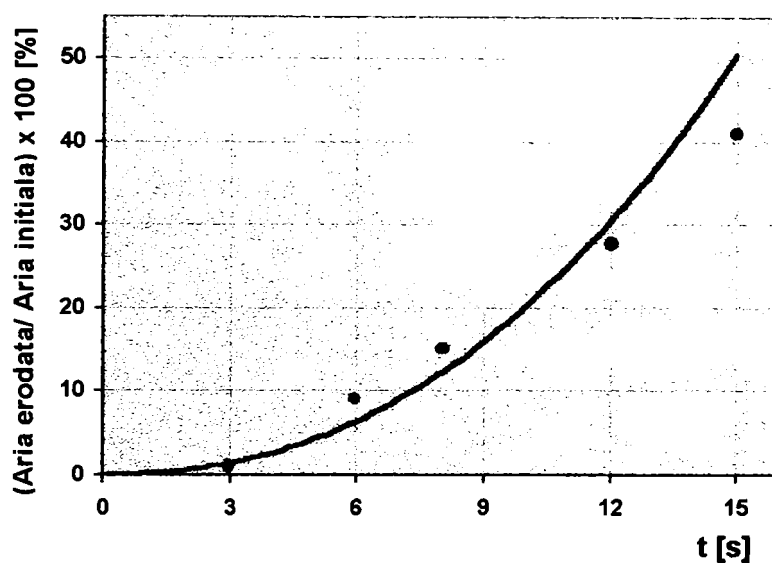


Fig.3.2

Standul realizat și utilizat în încercările întreprinse este prezentat și în fotografia din figura 3.3.

Cercetările au fost efectuate folosind ca mediu apă, iar ca variabile: volumul apei  $V_{ap\grave{a}}$  și corespunzător acestuia înălțimea  $h_{ap\grave{a}}$  a coloanei de apă din baie; poziția centrului de greutate  $h_c$  a suprafeței erodate; puterea de activare.

În figura 3.4 este reprezentată dependența dintre viteza de erodare  $v_e$  și puterea electrică de activare. Se constată o creștere a lui  $v_e$  odată cu creșterea puterii electrice de activare, atingându-se la curentul de 2A valoarea 13,5 mm/s. Pe baza aceluiași rezultate obținute s-a ridicat graficul din figura 3.5 care reprezintă dependența dintre puterea electrică de activare a băii și timpul de erodare a unei folii de Al introduse în baie. Înălțimea coloanei de apă din baie se păstrează constantă la valoarea  $h_{ap\grave{a}} = 35$  mm. Se observă o variație descrescătoare, aproape liniară, a timpului de erodare odată cu creșterea puterii electrice



(deci a intensității curentului). Valoarea maximă a timpului necesar erodării foliei de Al este de 28 s și corespunde valorii intensității de 1A.

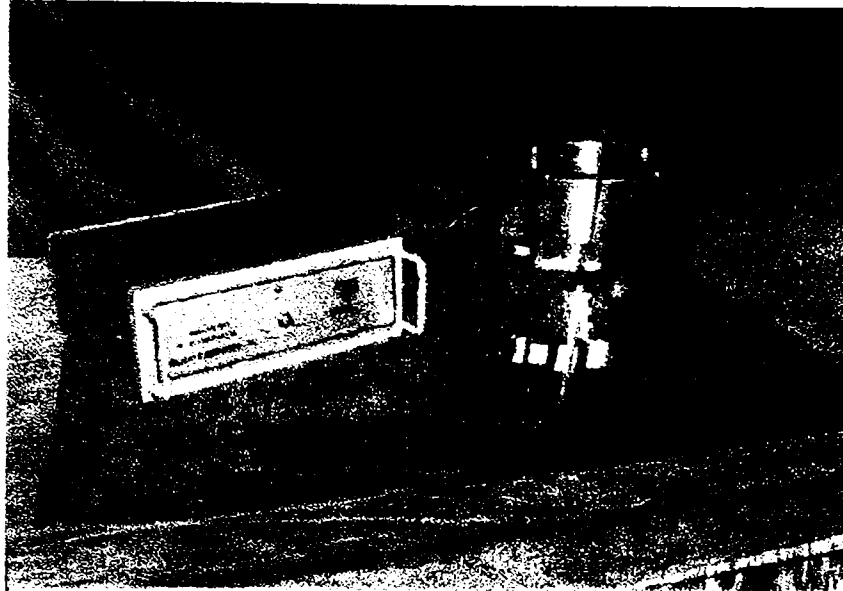


Fig.3.3

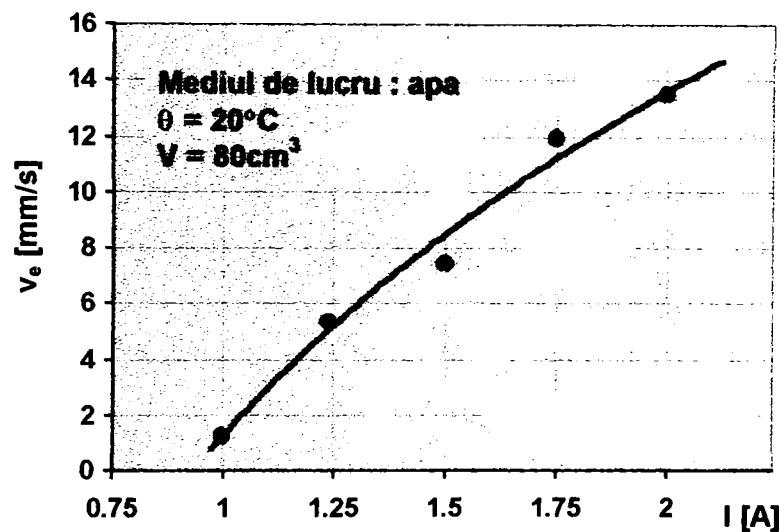


Fig.3.4

Cercetările s-au extins și asupra stabilirii distribuției pe înălțime a câmpului cavitațional în baie [28]. Odată cu creșterea coordonatei centrului suprafeței de erodare, deci cu îndepărtarea de fundul băii, viteza de erodare scade. În condițiile folosirii unui volum de apă în baie de  $120 \text{ cm}^3$  și a unei intensități de activare de  $1,5A$ , viteza de erodare maximă de  $14,16 \text{ mm/s}$  corespunde coordonatei centrului ariei erodate de  $14 \text{ mm}$ , iar pentru coordonata de  $44 \text{ mm}$  valoarea vitezei de erodare este minimă, atingând doar valoarea de  $1,03 \text{ mm/s}$  (fig. 3.6).

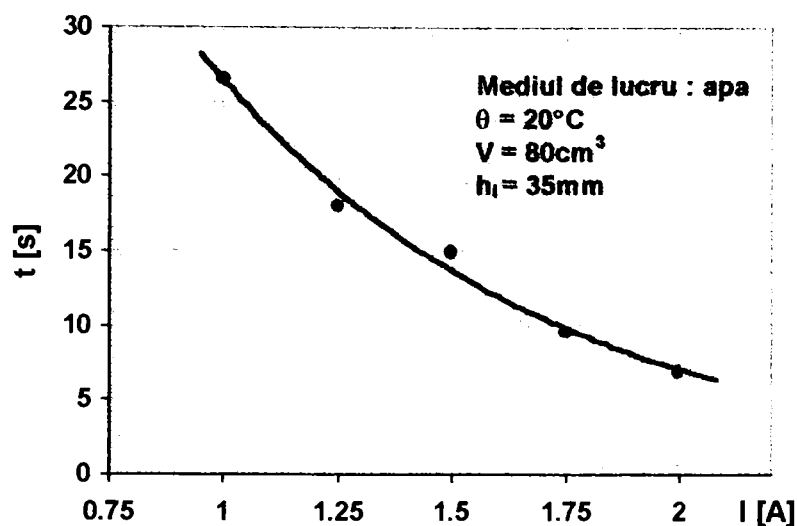


Fig.3.5

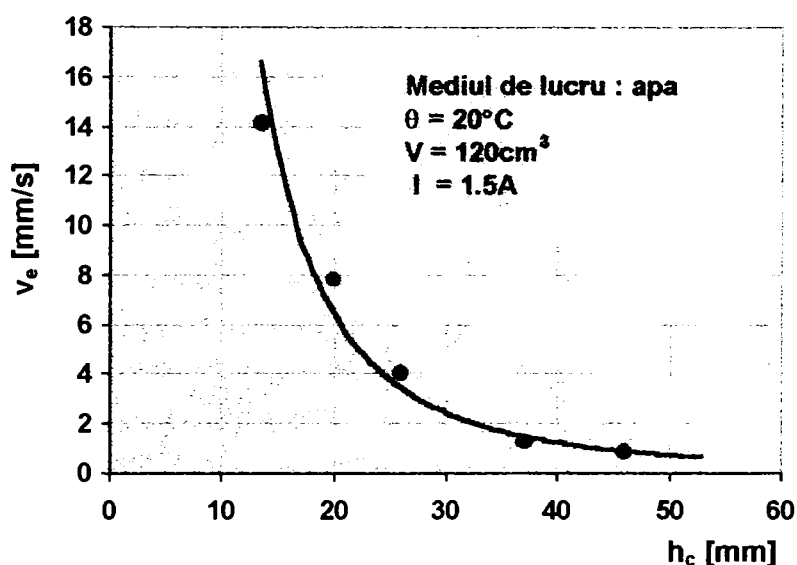


Fig.3.6

În vederea măsurării valorii efective a suprafeței erodate s-a utilizat aparatul de măsurare din figura 3.7, ce folosește ca traductor un fotoelement cu seleniu. Elementele ce intră în componența acestui aparat sunt:

- microampermetrul (1);
- sistemul optic (2) ce are la bază celula de măsurare care utilizează un fotoelement cu seleniu (3);
- sistemul de ghidaje (4) ce permite deplasarea subansamblului și asigură susținerea elementelor componente;
- subansamblul suport ramă - ramă cu folie de Al (5);
- carcasa (6) de protecție.

Pentru montarea foliei se utilizează o ramă simplă cu o deschizătură de formă dreptunghiulară. Pentru posibilitatea de comparare s-a convenit la folosirea relației de legătură:

$$C = \frac{AK}{t} \quad (3.1)$$

în care:  $A$  - este aria erodată ca procentaj din aria inițială a foliei [ $\text{mm}^2$ ];  
 $K$  - constantă ce ține seama de grosimea și tipul foliei;  
 $t$  - timpul de imersare [s];  
 $C$  - unitate a cavitației exprimată în termeni de eroziune.

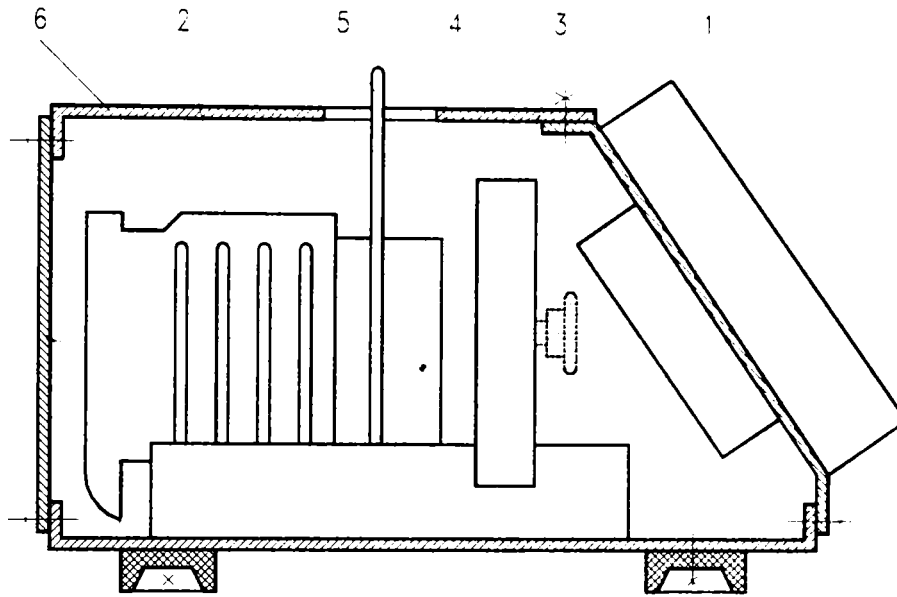


Fig. 3.7

O măsurare corectă și completă a suprafeței erodate se realizează prin două măsurări ale aceluiași probe așezate la  $90^\circ$  una față de cealaltă. Deoarece suprafețele măsurate s-au ales de formă și dimensiuni bine determinate (prin decuparea unei table subțiri) s-a obținut o curbă de etalonare (fig. 3.8). Ca elemente suplimentare folosite pentru măsurători sunt: un aparat MAVO - 35 pentru citirea intensității curentului (domeniul 5mA) și un bec de 100W.

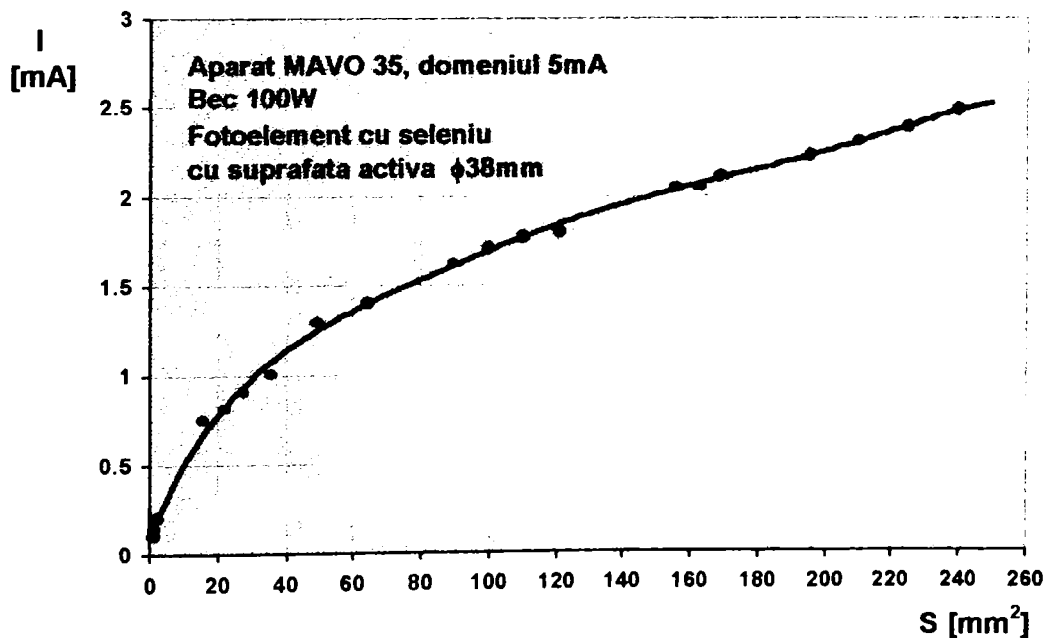


Fig. 3.8

*Aparatul pentru măsurarea cavitației - metoda indirectă - asigură o simplă și rapidă măsurare și comparare, creând totodată posibilitatea de a asigura condiții inițiale constante. Constituie o încercare practică de a rezolva o problemă de bază în curățirea ultrasonică (finalizată printr-un certificat de inovator nr.573-4.08.87, autor Nica Mihaela).*

### 3.2. CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND

#### DISTRIBUȚIA CÂMPULUI ULTRASONIC ÎN BĂILE DE ACTIVARE

*Băile ultrasonice sunt părți componente ale instalațiilor de curățire, omogenizare, emulsionare cu ultrasunete. O astfel de baie cilindrică este redată în figura 3.9. Baia are rolul de a capta undele ultrasonice emise de generatorul de ultrasunete de tip GUS - 200, asigurând regimul vibratoriu de rezonanță. Vibrațiile se transmit prin mediul de lucru elementului activ (piese pentru curățire, componente pentru emulsionări) aflat în cuva băii. Curățirea, omogenizarea, emulsionarea se realizează în urma producerii fenomenului cavitațional.*

*Caracteristicile tehnice și funcționale ale băii ultrasonice sunt:*

- *frecvența de lucru 18 - 25 kHz funcție de frecvența de rezonanță a feritelor folosite;*
- *puterea maximă de activare 200W;*
- *valoarea maximă de încărcare a cuvei 3 litri;*
- *dimensiunile cuvei de spălare : 200 x 120 mm;*
- *dimensiunile de gabarit ale băii: 275 x 320 mm;*
- *masa netă fără soluție a băii: 5 kg.*

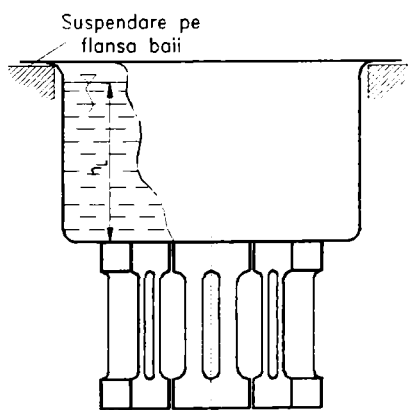


Fig. 3.9

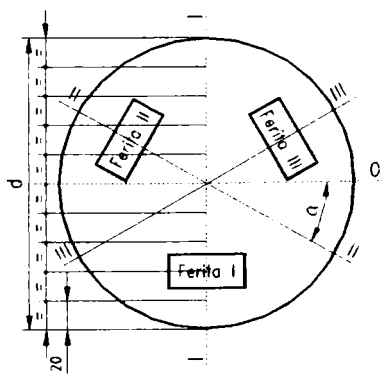


Fig. 3.10

*Elementele băii cilindrice ultrasonice care asigură regimul vibrator sunt transductoarele magnetostrictive: trei ferite de tip I 20 dispuse în stea la 120° una față de cealaltă.*

*Cercetările experimentale realizate au viza evidențierea distribuției câmpului în băile cilindrice activate ultrasonic. Cercetările s-au efectuat în regim de funcționare, fiind concluzionate valoric și grafic. Astfel, s-a utilizat o placă de testare special concepută, constând dintr-o folie de Al de grosime 0,01 mm, fixată într-o ramă de dimensiuni exterioare 50 x 100mm și interioare 23 x 85 mm (egale cu dimensiunile foliei). În acest fel, rezultatele experimentale sunt direct observabile și constau în acțiunea de străpungere a foliei de Al introdusă în baia ultrasonică.*

Parametrii ce intervin în cadrul determinărilor și cuprinși în reprezentările grafice au următoarele semnificații:

$d$  - este distanța de la peretele băii la folia de Al [mm];

$t$  - timpul de expunere a foliei de Al în baie [s];

$I$  - intensitatea curentului produs de generator [A];

$h$  - distanța de la fundul băii la centrul zonei erodate (străpunse) [mm];

$l, L$  - lățimea respectiv lungimea zonei erodate [mm];

$v_d$  - viteza de erodare a zonei de diametru  $d$ , calculată cu formula :

$$v_d = \frac{l}{t} \quad [\text{mm s}] \quad (3.2)$$

Suprafețele hașurate (dreptunghiuri) redată grafic sunt proporționale cu suprafețele erodate, iar centrele acestor suprafețe corespund ventrelor de propagare a undelor ultrasonice în mediul lichid.

Determinările s-au efectuat prin așezarea foliei de Al în trei poziții în raport cu cele trei ferite I 20 (notate Ferită I, Ferită II și Ferită III). Poziția foliei de Al este perpendiculară pe aceste ferite (fig. 3.10).

Testele și determinările efectuate sunt centralizate grafic corespunzător în figurile 3.11 - 3.17.

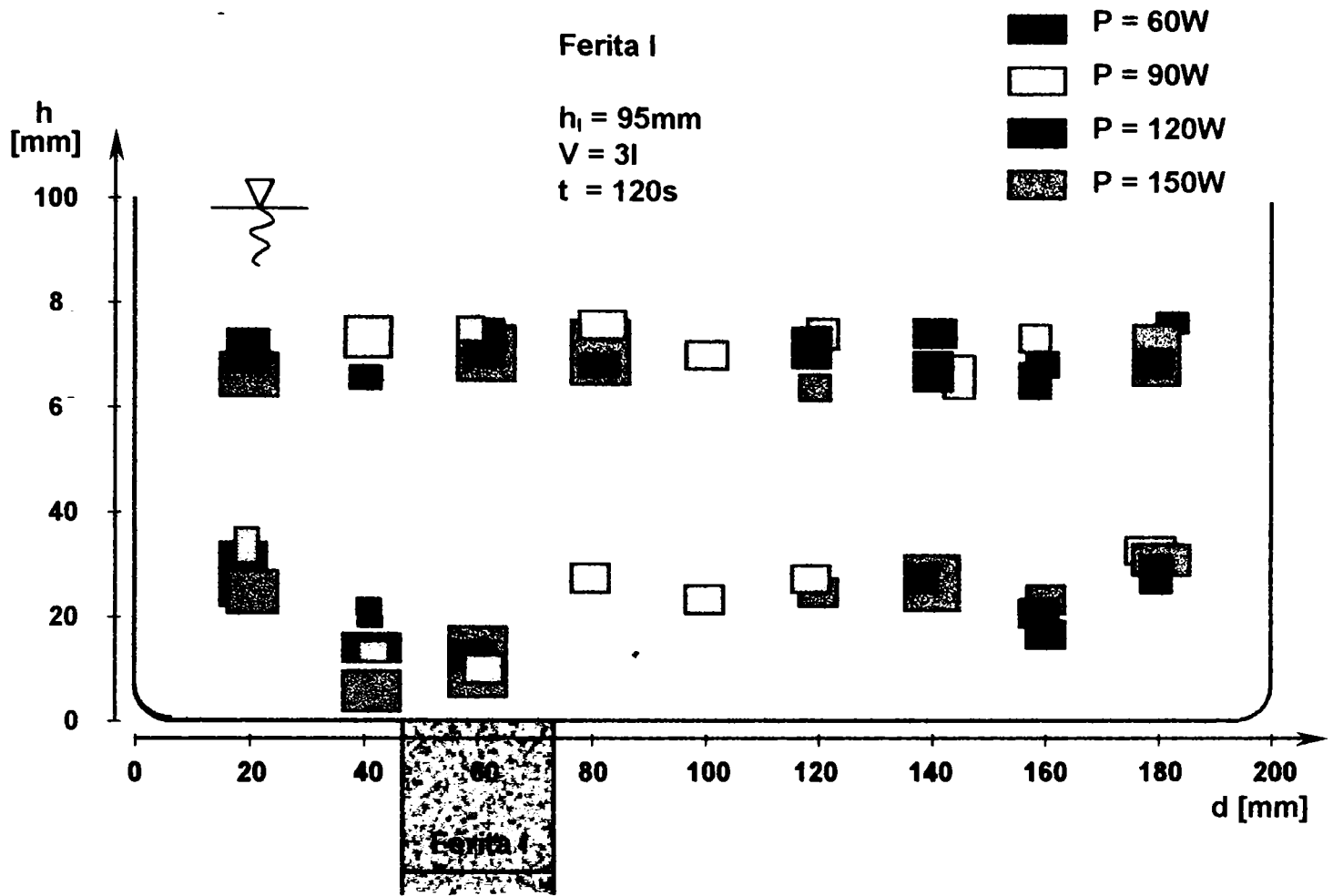
Figurile 3.11, 3.12, 3.13 redau distribuția câmpului în baia activată cu ultrasunete după cele 3 direcții evidențiate în figura 3.10 și corespunzător puterilor de activare de 60W, 90W, 120W și 150W.

Din figurile 3.14, 3.15, 3.16 și 3.17 rezultă dependența vitezei de erodare pe diametru ( $v_d$ ) pentru diferite puteri de activare la două din feritele dispuse pe fundul băii și de aici se remarcă o distribuție neuniformă a câmpului, evidențiată prin viteza de erodare mai mare în apropierea feritelor.

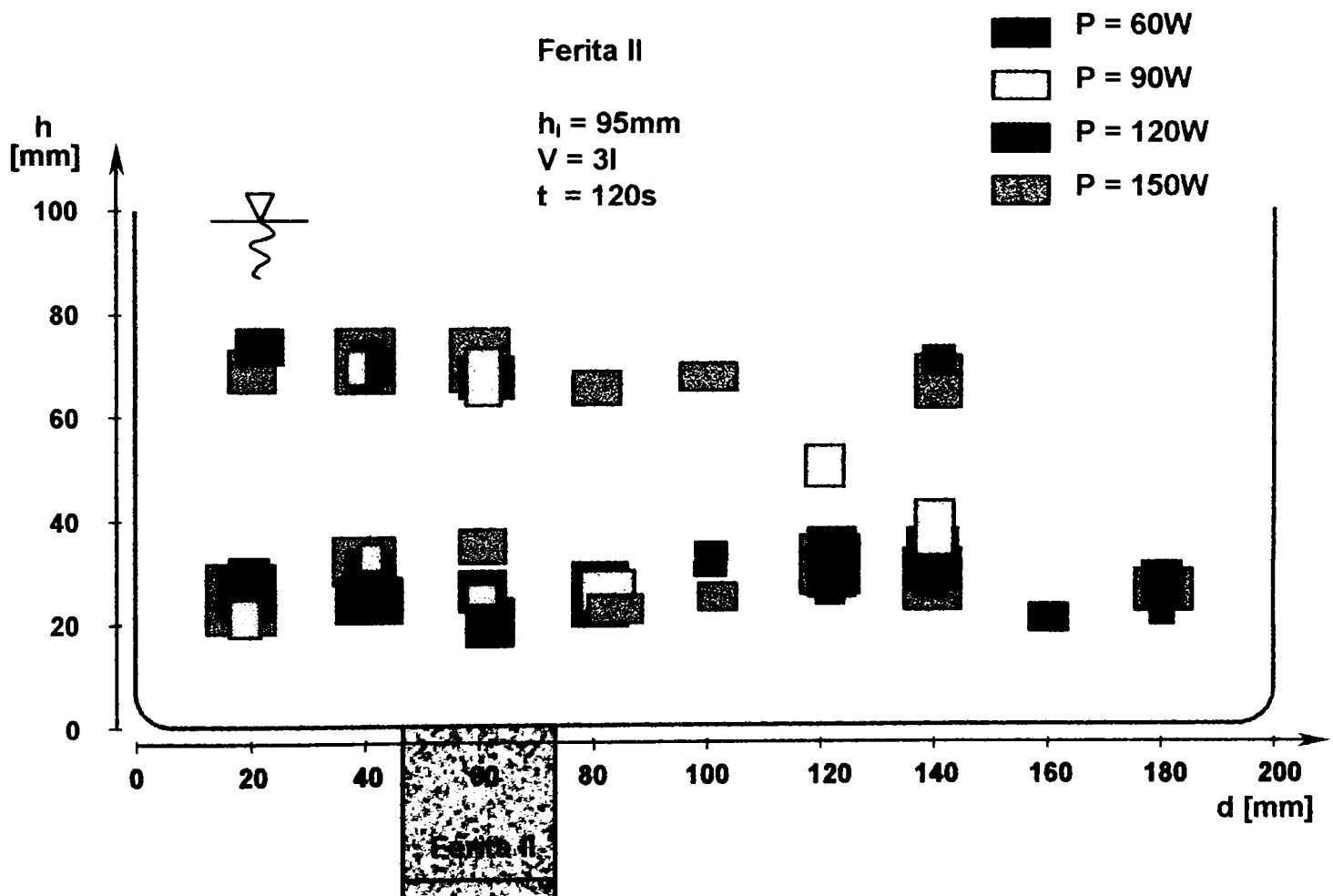
Din analiza acestor rezultate s-au desprins următoarele concluzii:

- Caracteristicile celor trei transductoare magnetostrictive folosite la baie sunt identice, Ferita II asigurând o putere disipată în baie mai mare decât Ferita I și Ferita III.
- Deși feritele au fost dispuse simetric pe aceeași rază, intensitatea câmpului este mai redusă pe bisectoarea unghiului format de două ferite și are nivelul cel mai scăzut în centrul băii.
- Se remarcă faptul că la  $\lambda/2$ , în zona ventrelor, efectul cavitațional este maxim.
- În apropierea feritelor, procesul de eroziune a foliei este mai intens.
- Pentru optimizarea operațiilor de curățire, omogenizare, emulsionare se impune dispunerea elementelor active în planele ventrelor, în apropierea feritelor, iar dacă acest lucru nu este posibil, elementul activ se va mișca într-unul din planele ventrelor, de preferat în cel mai jos, unde intensitatea câmpului este mai mare.
- Dacă elementul activat introdus în baie poate fi divizat în mai multe grupe, atunci se preferă, pentru optimizare, poziționarea acestor grupe în plane succesive dispuse în ventrele băii.





*Fig.3.11*



*Fig.3.12*

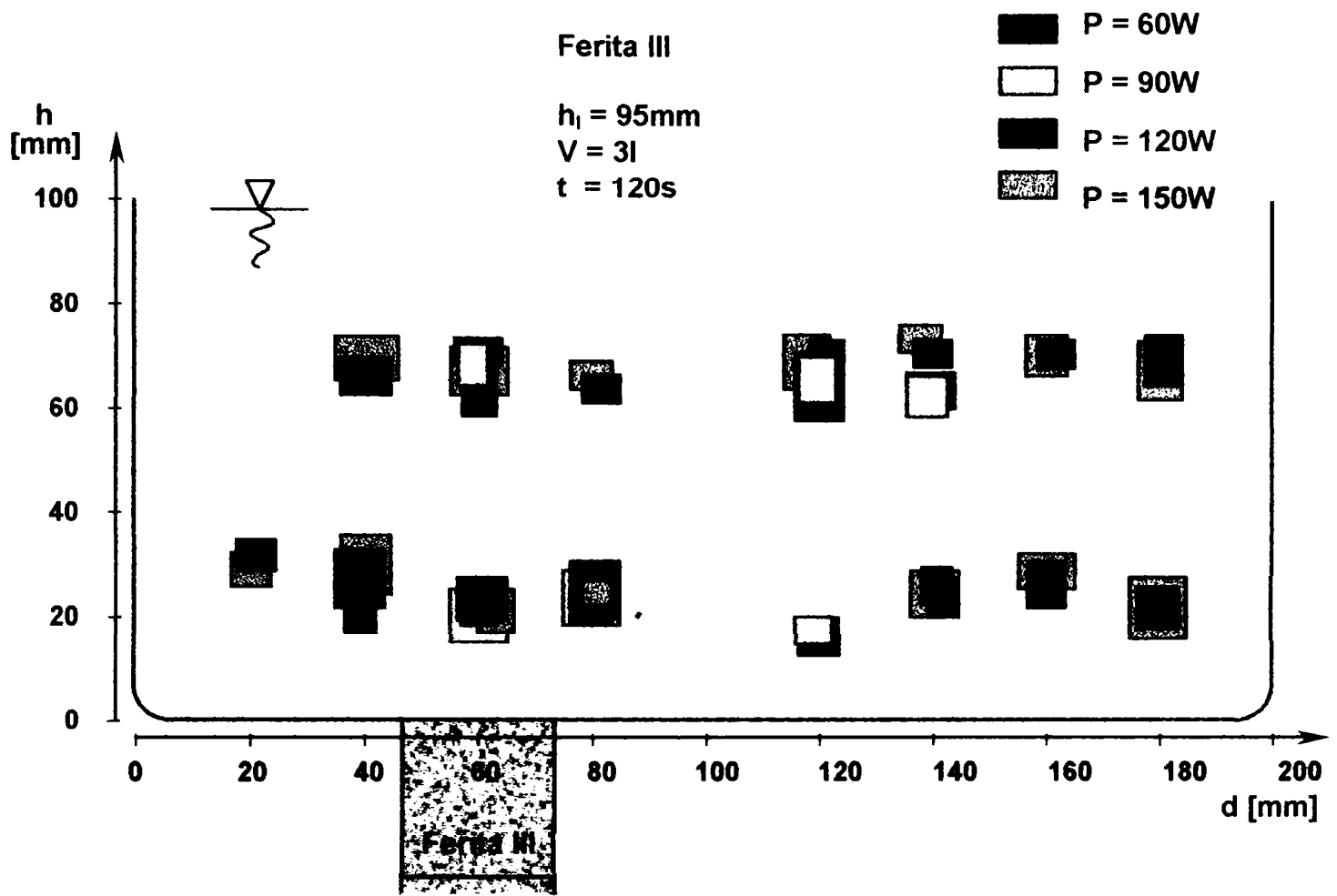


Fig.3.13

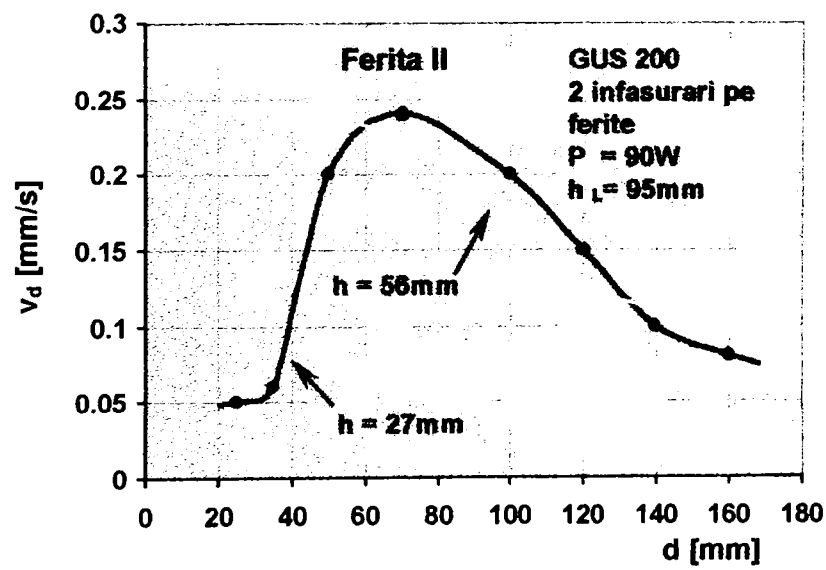


Fig.3.14

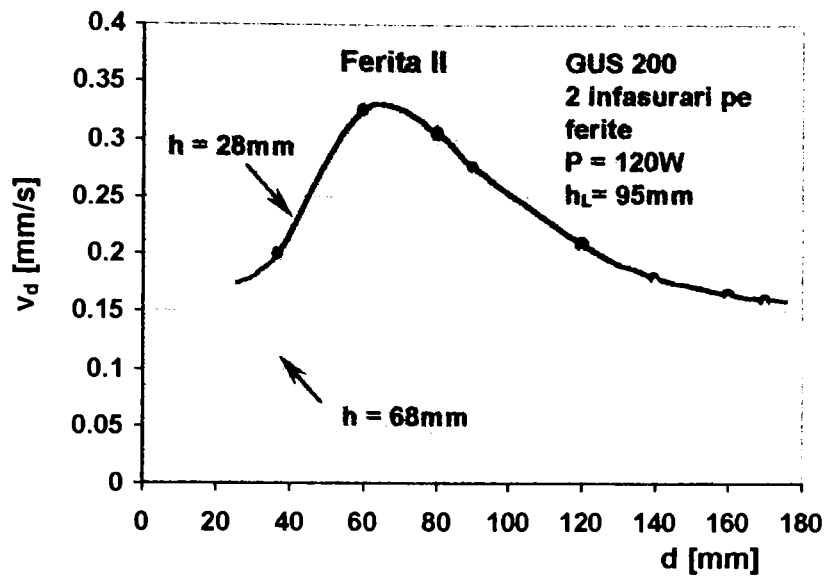


Fig.3.15

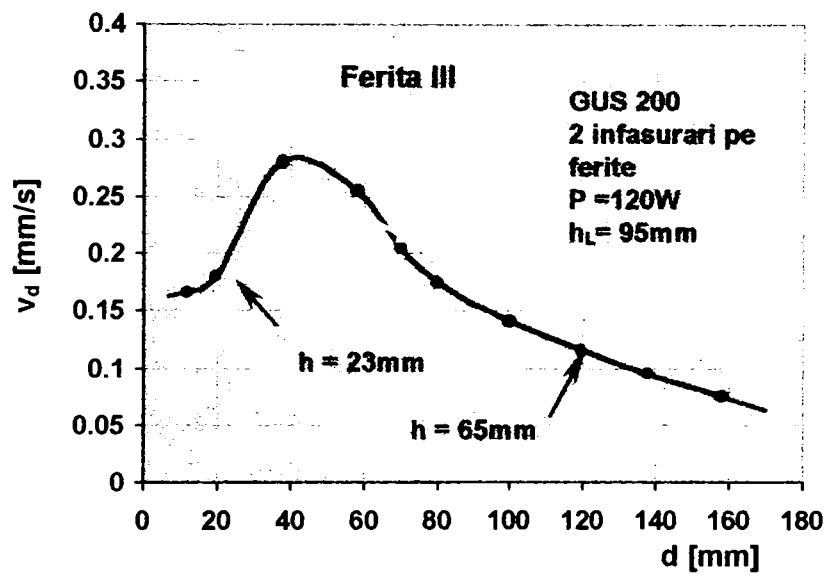


Fig.3.16

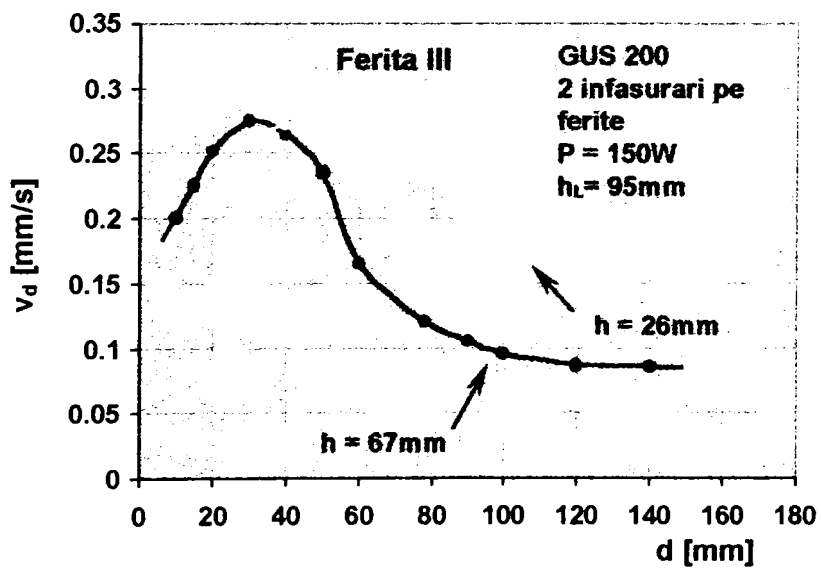


Fig.3.17

### 3.3. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND ACTIVAREA ULTRASONICĂ A PROCESULUI DE CURĂȚIRE

Curățirea cu ajutorul ultrasunetelor [35] este mult mai eficientă decât metodele obișnuite de curățire, atât în ceea ce privește productivitatea ei cât și calitatea procesului. Principiul metodei constă în următoarele: într-un vas umplut cu lichid se scufundă piesele murdare; lichidul ce umple vasul este apoi supus acțiunii ultrasunetelor ce provoacă apariția fenomenului de cavitație în el. Formarea bruscă a bulelor de cavitație este însoțită de șocuri hidraulice puternice care acționează asupra piesei în curs de prelucrare. Datorită slăbirii forțelor moleculare de aderență între particulele de murdărie și ulei și metalul de bază, corpurile străine se desprind de pe piesele supuse curățirii.

Aparatele pentru curățirea cu ajutorul ultrasunetelor se compun din punct de vedere constructiv din următoarele elemente principale (fig.3.18):

- generatorul de ultrasunete GUS (1);
- transductorul (2);
- baia de activare (5);
- dispozitivul ce conține piesele de curățat (coș 4).

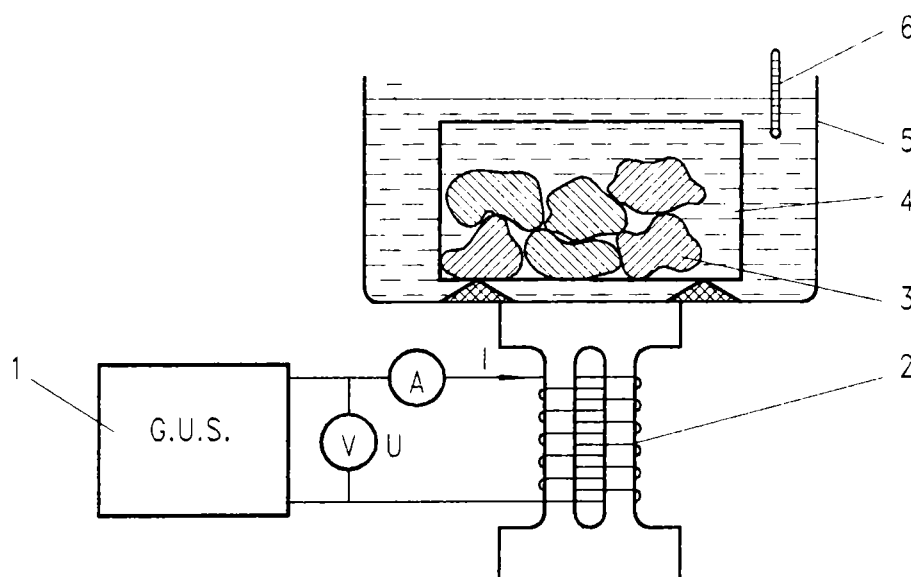


Fig.3.18

Asupra procesului de curățire, în condițiile unor piese date (3), influențează ca principali parametri ai prelucrării cu ultrasunete: frecvența, puterea mecanică specifică disipată în baie și timpul de expunere. Modificarea frecvenței se poate realiza numai prin construcții specifice folosind transductori și băi având o frecvență proprie de oscilație bine definită. Puterea mecanică specifică disipată în baie, rezultată ca raport între puterea mecanică disipată și volumul de încărcare a băii, se poate regla fie prin puterea mecanică disipată, fie prin volumul de încărcare.

Controlul puterii mecanice disipate se realizează prin puterea electrică aparentă folosită la alimentarea transductorului, reglată prin generator.

Dintre metodele de evaluare a puterii mecanice disipate s-a folosit cea bazată pe efectul caloric pornind de la cunoașterea capacității calorice, variația temperaturii evaluată cu termometrul (6) de inerție mică (fig.3.18) într-un timp  $t$  dat.

În graficul din figura 3.19 se prezintă dependența, stabilită după această metodologie, dintre puterea mecanică specifică disipată ( $P_{sd}$ ) și puterea electrică aparentă ( $P_e$ ) definită ca produs dintre  $U$  și  $I$ .

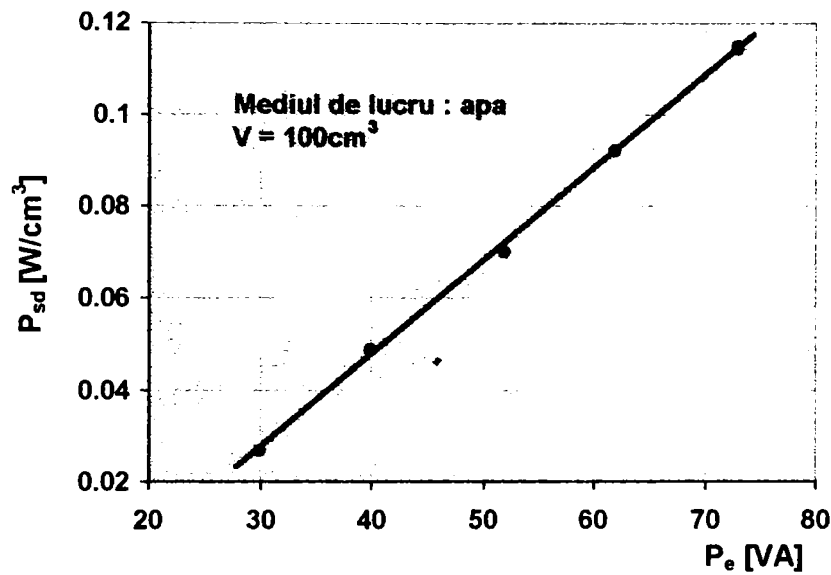


Fig.3.19

Folosind aceste posibilități de reglare, au fost realizate o serie de cercetări vizând optimizarea procesului de curățire. Rezultate deosebite s-au obținut în cazul unor piese de gabarit mic având configurații complexe și, în mod special, orificii adânci cum ar fi: carburatoare auto, carcase ale unor mijloace de măsurare etc.



# CAPITOLUL IV

## CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND ACTIVAREA CU ULTRASUNETE A UNOR MEDII LICHIDE SI VÂSCO- ELASTICE FOLOSITE IN TEHNICI DIVERSE

### 4.1. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND EFECTUL STERILIZANT AL PROPAGĂRII ULTRASUNETELOR PRIN MEDII LICHIDE

#### 4.1.1. Considerații generale privind operația de sterilizare

Sterilizarea este operația prin care se obține distrugerea de pe suprafața obiectelor a tuturor microorganismelor patogene și nepatogene inclusiv a formelor sporulate [3,35,42,96].

Cele mai frecvente metode de sterilizare sunt:

1. Sterilizare cu abur-căldură umedă;
2. Sterilizare cu aer cald - căldură uscată;
3. Sterilizare cu gaz-oxid de etilenă.

1. Cea mai utilizată metodă este cea de sterilizare cu abur-căldură umedă în autoclave cu deschidere la ambele capete. Presiunea și timpul de sterilizare la care se lucrează reprezintă valori de siguranță pentru eficacitatea sterilizării în funcție de varietatea și gradul de uzură a unor aparate. Stabilirea valorilor acestor două mărimi e determinată de gradul de evacuare a aerului din autoclave, de pachetele și trusele supuse sterilizării și de timpul de pătrundere al aerului în încărcătură.

Ținând cont de cele de mai sus, pentru aparatura în uz, în funcție de aparatul utilizat, de încărcătura supusă sterilizării și modul de împachetare se recomandă pentru sterilizarea unei cutii de ace împachetarea în cutii metalice închise și sterilizarea la presiunea de 2 atm și durata de 30 minute. La această durată se mai adaugă timpul necesar efectuării a trei purjări (5 min) ce preced faza de sterilizare și timpul ( $t = 15$  min) pentru efectuarea uscării după sterilizare pentru a elimina eventualele picături de apă. Deci timpul total necesar sterilizării unei cutii de ace ajunge la 60 de minute.

Autoclavele având un volum mare sunt eficiente pentru sterilizarea casolețelor cu material moale și a cutiilor cu instrumente utilizate în sălile de operații.

Această metodă de sterilizare prezintă dezavantajul unui timp îndelungat de funcționare pentru obținerea materialului steril.

2. *Metoda de sterilizare cu aer cald-căldură uscată nu are aceeași eficiență ca cea anterioară. Este recomandată pentru materiale rezistente la temperaturi ridicate (unele uleiuri, vaseline, geluri, pudre, materiale cerate, instrumente, seringi de sticlă, ace). Durata ciclului de sterilizare este următoarea: la temperaturi de 180°C timpul este de 1 h, iar la temperaturi de 10°C este necesar un timp de 2h. Când timpul de sterilizare a atins valoarea maximă se oprește sterilizatorul și se lasă materialul să se răcească în interiorul acestuia cât mai mult posibil (până la cca.80°C).*

3. *Sterilizarea cu gaz-oxid de etilenă se efectuează la temperaturi scăzute, în timp scurt, cu grad mare de penetrație. Se recomandă pentru materiale ce se degradează la temperaturi ridicate (endoscoape, sonde, materiale plastice, cauciuc).*

*Pentru o sterilizare corectă trebuie respectate următoarele condiții: timp și temperatură adecvate, umiditate corespunzătoare, concentrația corectă a gazului.*

*Această metodă prezintă următoarele dezavantaje:*

- *inhalarea gazului irită plămânii și mucoasele;*
- *inflamabilitatea mare - pericol de explozie;*
- *materialele sterilizate necesită aerisire minim 24 h;*
- *valabilitatea materialului sterilizat este de 24 h.*

#### **4.1.2. Efectul sterilizant al ultrasunetelor cu aplicații în medicină**

*Cercetările experimentale desfășurate în cadrul laboratorului de Tehnologii Neconvenționale al Facultății de Mecanică din Timișoara au avut ca scop aplicarea ultrasunetelor în procesul de sterilizare, urmărind prin aceasta eliminarea dezavantajelor procedeele de sterilizare convenționale amintite mai sus, în principal obținerea unui timp de sterilizare mai mic. De asemenea, s-a urmărit evidențierea efectului de sterilizare și ca acțiune auxiliară în cadrul unor operații cu specific domeniului alimentar și medical. S-au conceput și realizat echipamente experimentale specializate, în concordanță cu operațiile aplicate.*

*În cercetările experimentale efectuate s-au folosit probe de urină infectate cu floră bacteriană, respectiv colibacili, probe aparținând unor bolnavi internați la Spitalul Clinic Județean nr.1 din Timișoara.*

##### **□ Sistemul experimental utilizat**

*Instalația experimentală concepută (fig.4.1) se compune dintr-un generator de ultrasunete (2) ce alimentează o baie metalică (3).*

*Baia este alcătuită dintr-un transductor (7) din ferită de care este fixată prin lipire o cuvă metalică (6) conținând proba ce urmează a fi sterilizată (de exemplu ace de seringă). Ferita este fixată pe o placă de bază, montată la rândul ei pe o masă (1). Baia metalică este acoperită cu un capac circular (4), prevăzut cu un orificiu dreptunghiular ce permite accesul la cuva metalică. Cuvă se acoperă în timpul activării cu un capac de plexiglass (5).*

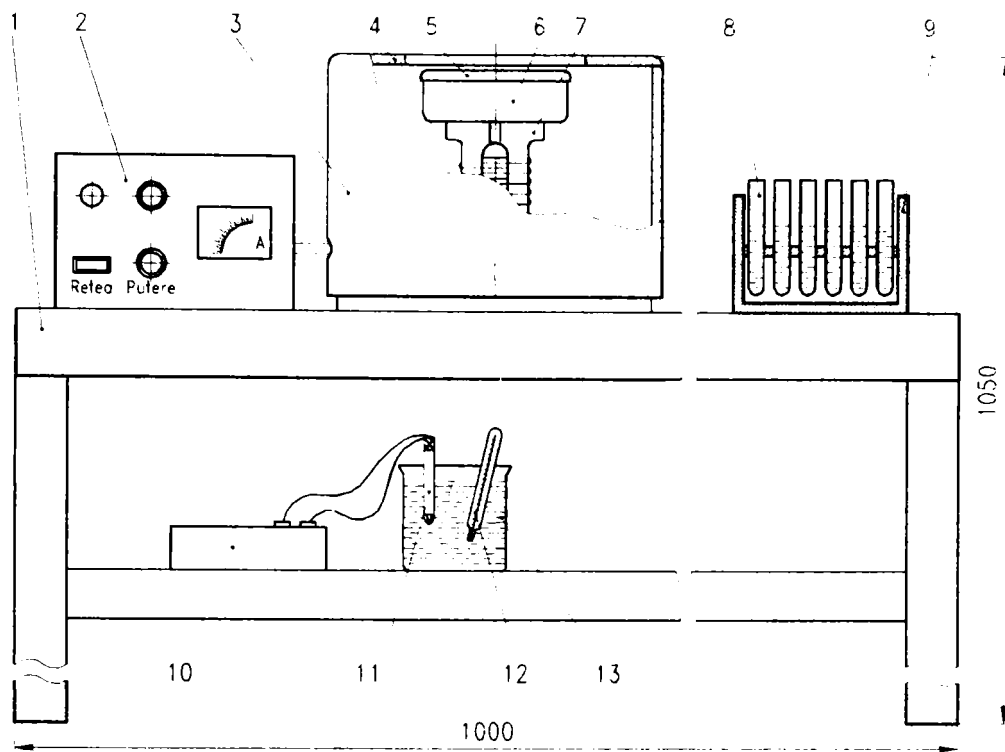


Fig.4.1

În figura 4.2 este reprezentată detaliat baia de activare. Transductorul (11) este așezat pe un suport (3). În timpul funcționării instalației, între ferită și suportul tip U se introduce un tampon (6) din cauciuc. Ferita este fixată lateral printr-un știft filetat (10) asamblat într-o lamelă (7) prinsă pe suportul tip U cu patru șuruburi (8). În partea laterală opusă știftului ferita este susținută de o piesă conică (9) sudată de lamela metalică (7). Suportul (3) la rândul lui este fixat printr-o asamblare demontabilă cu filet de o placă de bază (1) circulară. Sub acest suport se află un ventilator (2) care are rolul de a răci transductorul din ferită.

De placa de bază este prinsă, prin intermediul unor plăcuțe de fixare tip L(4) și a șuruburilor o carcasă cilindrică (5) din tablă subțire (oțel inoxidabil). Carcasa este prevăzută pe suprafața laterală cu un orificiu prin care se introduc firele transductorului, care fac legătura cu generatorul ultrasonic. Pentru realizarea sterilizării cu ajutorul acestei instalații se impun câteva condiții ce trebuie respectate la construcția și montarea instalației și în timpul desfășurării procesului de activare:

- asigurarea unei bune fixări a feritei pe suportul tip U;
- elementele de fixare ale feritei nu trebuie să atingă firele de legătură ale acesteia cu generatorul;
- între ferită și suportul tip U este necesară interpunerea unui suport de cauciuc pentru amortizarea vibrațiilor;
- la lipirea cutiei de ferită trebuie urmărit ca suprafețele acestora să nu prezinte abateri de la planeitate sau să prezinte urme de reziduuri;
- capacul cilindric trebuie să se afle în poziția de perpendicularitate față de pereții laterali ai cuvei și ai carcasei cilindrice;
- executarea pieselor componente ale instalației cu respectarea dimensiunilor, toleranțelor, rugozităților și tratamentelor termice înscrise în desenele de execuție;

- realizarea activării la parametri stabili pentru operația de sterilizare.

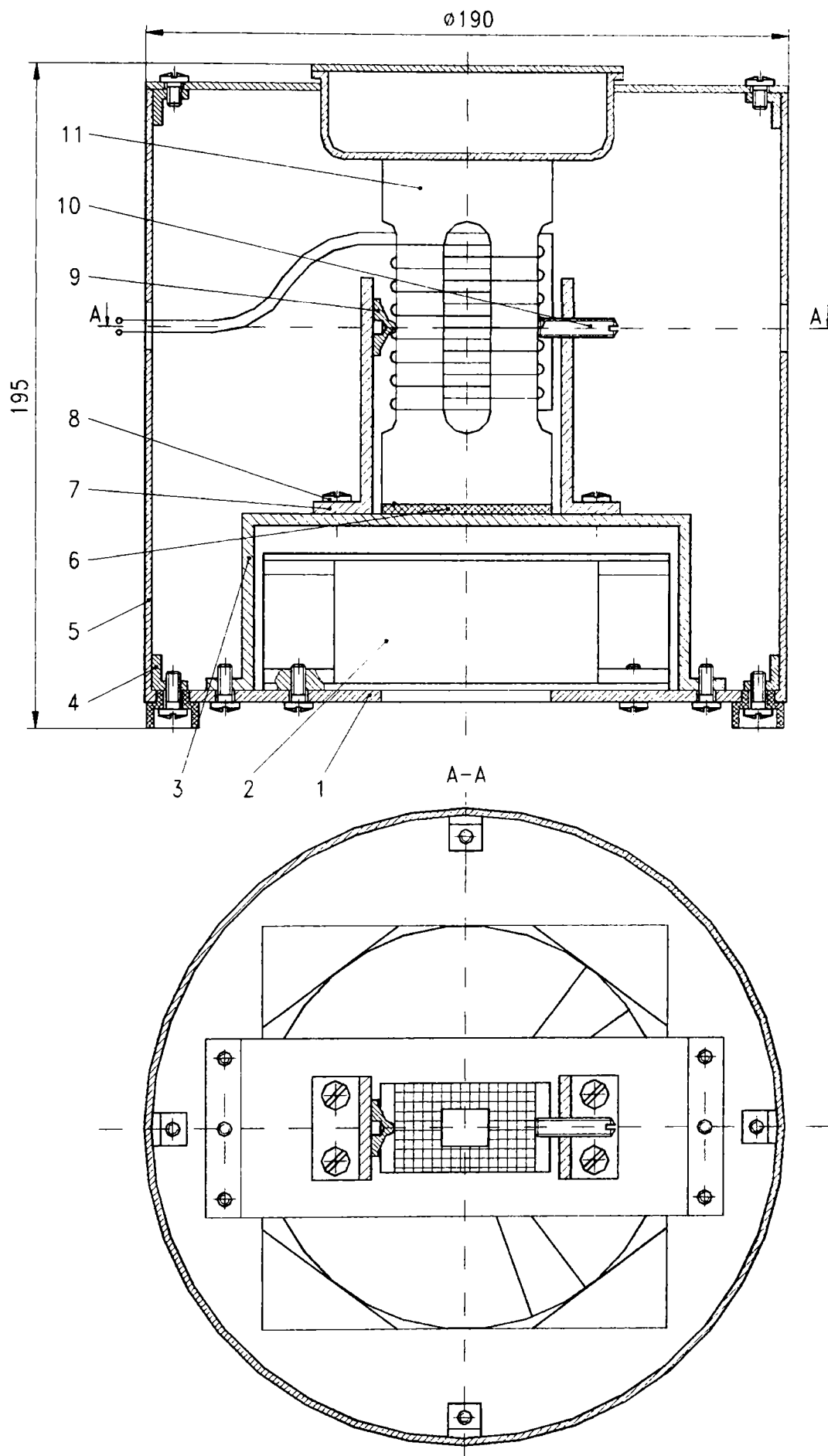


Fig. 4.2

Standul experimental conceput și realizat se regăsește în fotografia din figura 4.3.

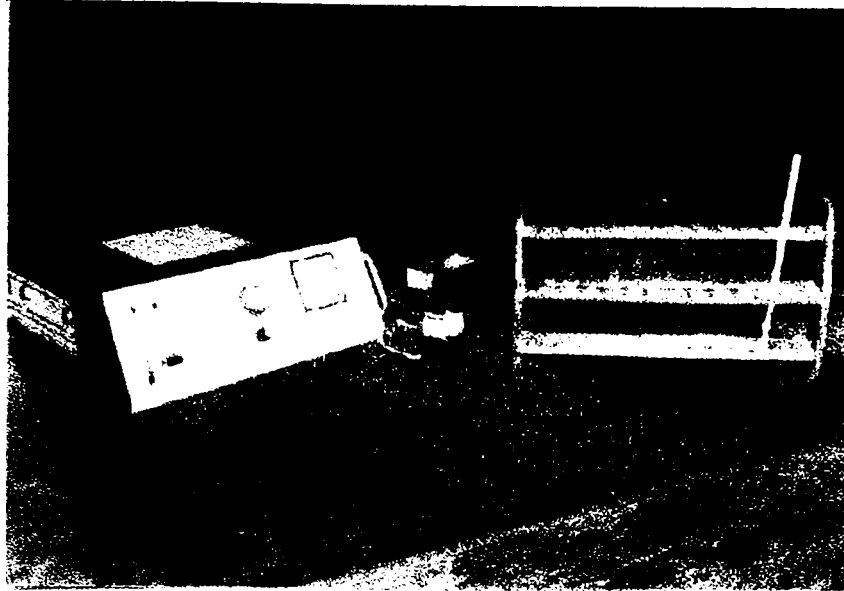


Fig.4.3

#### □ Metodologia utilizată în cercetările experimentale

Prin cercetările experimentale efectuate în cadrul procesului de sterilizare s-a urmărit gradul de distrugere al microorganismelor în funcție de timp, într-o probă de urină infectată introdusă în baia metalică și activată cu ultrasunete. Controlul microorganismelor rămase în urină după anumiți timpi de activare s-a efectuat prin citirea probelor la microscop.

Cercetările s-au desfășurat în laboratorul de Tehnologii Neconvenționale din cadrul Facultății de Mecanică din Timișoara, iar citirea probelor s-a efectuat în laboratorul Spitalului Clinic Județean nr.1, de unde provine și urina infectată, utilizată pentru încercări.

Mijloacele de investigație necesare cercetării experimentale sunt:

- instalația experimentală , descrisă mai sus;
- eprubete din sticlă ;
- pâlnii din material plastic ;
- un termistor etalonat la  $R = 34 \text{ k}\Omega$  corespunzător temperaturii  $T = 19^\circ\text{C}$  ;
- pahar Berzellius ;
- termometru și multimetru electronic ;
- plăcuțe de sticlă ;
- microscop de laborator.

Variabilele ce intervin în procesul de sterilizare pot fi împărțite în trei categorii:

- a. variabile independente a căror variație este controlată: intensitatea curentului asigurat de generator și timpul de funcționare a generatorului;
- b. factori menținuți constanți la un anumit nivel în cadrul programului experimental:
  - puterea generatorului  $P = 70\text{W}$  ;
  - frecvența generatorului  $f = 20 \text{ kHz}$  ;
  - viteza ultrasunetului în transductorul din ferită ( $c = 57900 \text{ m/s}$ ).
- c. variabile dependente:



- temperatura  $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] variază în funcție de timpul și intensitatea de activare;
- cantitatea de microorganisme rămasă în urina activată variază cu timpul și intensitatea de activare;
- cantitatea de urină ce rămâne în baie după activare variază cu timpul de expunere și cu intensitatea de activare.

*Pregătirea probelor în vederea expunerii la ultrasunete s-a realizat astfel :*

*După citirea probelor de examen urinar din cadrul laboratorului spitalului s-au ales acelea cu un grad mai mare de infecție; au fost transportate (închise ermetic) în laboratorul de Tehnologii Neconvenționale unde s-a efectuat activarea ultrasonică, precedată de introducerea în baia metalică cu ajutorul unei seringi sterile din plastic a 10 ml de urină și cuplarea băii la generatorul de ultrasunete reglat la puterea de 70W și frecvența de 20 kHz.*

*După procesul de activare probele au fost turnate prin intermediul unor pâlnii din material plastic în eprubete din sticlă, ambele sterile. Eprubetele, numerotate, închise etanș cu dopuri sterile au fost transportate la laboratorul spitalului unde s-au efectuat citirile la microscop, determinându-se numărul de microorganisme rămase prin comparație cu proba martor. S-a urmărit stabilirea cantității de floră distrusă în funcție de timpul de activare și de intensitatea generatorului de ultrasunete. În acest scop s-a utilizat strategia clasică prin variația succesivă a variabilelor independente :*

- *în prima etapă a cercetării experimentale s-a menținut constantă intensitatea curentului generatorului și s-a mărit treptat, în mod controlat, timpul de activare. Astfel, s-a introdus în cuvă cantitatea de 10 ml urină infectată, s-a reglat generatorul la intensitatea de 2A și s-a activat un anumit timp minim. După întreruperea activării proba a fost introdusă direct sau prin intermediul unei pâlnii în eprubeta sterilă pregătită anterior, s-a închis etanș și s-a trecut la activarea următoarei probe în aceleași condiții ( $I = 2A$ ,  $m = 10$  ml), prelungindu-se timpul de activare ;*

- *în a doua etapă s-au activat ultrasonic cantități egale de urină un timp constant  $t = 2$  min pentru fiecare încercare, variindu-se treptat (crescător) intensitatea:  $I = 1; 1,25; 1,5; 2A$ .*

*Probele , așezate într-un suport în ordinea numerotării de pe eprubete, au fost transmise laboratorului de examen urinar unde, prin intermediul microscopului, s-a stabilit numărul de bacterii distruse (procentual) față de proba martor.*

*Valorile citite s-au centralizat tabelar (s-au înregistrat : numărul probei, parametrii utilizați și corespunzător acestora cantitatea de floră distrusă, respectiv cantitatea de floră rămasă [%] față de proba martor). De interes au fost valorile timpului și intensității corespunzător cărora flora bacteriană a fost distrusă într-un procent cât mai mare sau chiar inexistentă. Parametrii astfel stabiliți reprezintă valorile optime pentru realizarea sterilizării cu ultrasunete.*

#### **□ Rezultatele cercetărilor experimentale**

*Încercările experimentale efectuate în condiții de laborator prin aplicarea ultrasunetelor în procesul de sterilizare sunt grupate în patru cazuri distincte, iar rezultatele obținute s-au materializat prin prelucrarea valorilor ( înregistrate tabelar) sub formă grafică.*

I. În primul caz s-a utilizat o probă infectată cu floră bacteriană aparținând unui bolnav internat la secția de Urologie a spitalului. S-au realizat patru încercări din această probă în următoarele condiții de activare:

- parametri menținuți constanți : puterea  $P = 70W$ , frecvența  $f = 20 Kz$ , intensitatea  $I = 2A$  și cantitatea de urină activată  $m = 10ml$ ;
- variabila : timpul de activare, utilizându-se următoarele valori: 30 sec, 1,2,4 [min].

Analizând graficul ridicat în figura 4.4 se remarcă creșterea procentului de floră bacteriană distrusă odată cu creșterea timpului, respectiv a intensității de activare. Totodată se observă că după un timp de activare de 4 minute în probă mai rămân prezente microorganisme în proporție de 20% față de proba martor.

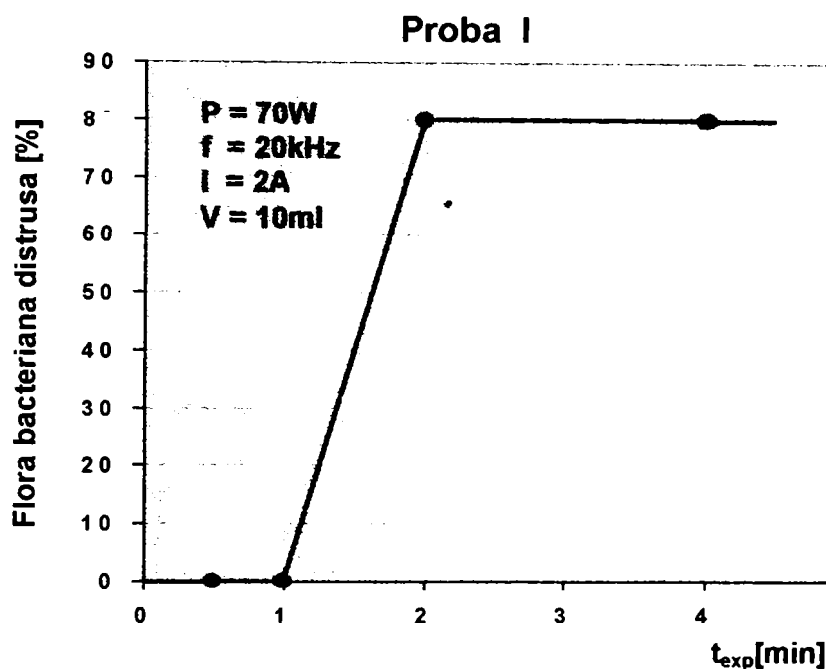


Fig.4.4

II. În acest caz s-a experimentat activarea cu ultrasunete a unei probe de urină infectată cu floră bacteriană aparținând unui bolnav internat la secția de Anestezie Terapie Intensivă.

Încercările s-au realizat variind succesiv intensitatea și timpul de activare, ceilalți parametri menținându-se constanți ca și în primul caz. Turnarea în eprubete s-a efectuat prin pâlnii confecționate din material plastic.

Din graficele ridicate în urma prelucrării datelor experimentale (fig.4.5 a,b) se observă că pentru timpul de activare de 2 minute și intensitatea 2A urina este sterilizată, flora bacteriană fiind distrusă în proporție de 100%.

III. Această etapă s-a desfășurat utilizând o probă de urină infectată cu colibacili, aparținând unui bolnav internat la secția de Nutriție a spitalului.

Colibacilii prezintă o rezistență mult mai mare decât flora bacteriană anterior analizată, chiar și la acțiunea unor antibiotice. Din acest motiv se impune folosirea unui timp mai îndelungat de activare.

Proba s-a introdus în eprubete cu o seringă din plastic sterilă. S-au realizat 9 încercări, prin variația succesivă a timpului și intensității, ceilalți parametri menținându-se

constanți ca și în cazurile precedente.

Din graficele ridicate (fig.4.6 a,b) se constată că este necesar un timp de activare mai îndelungat pentru obținerea unor rezultate satisfăcătoare.

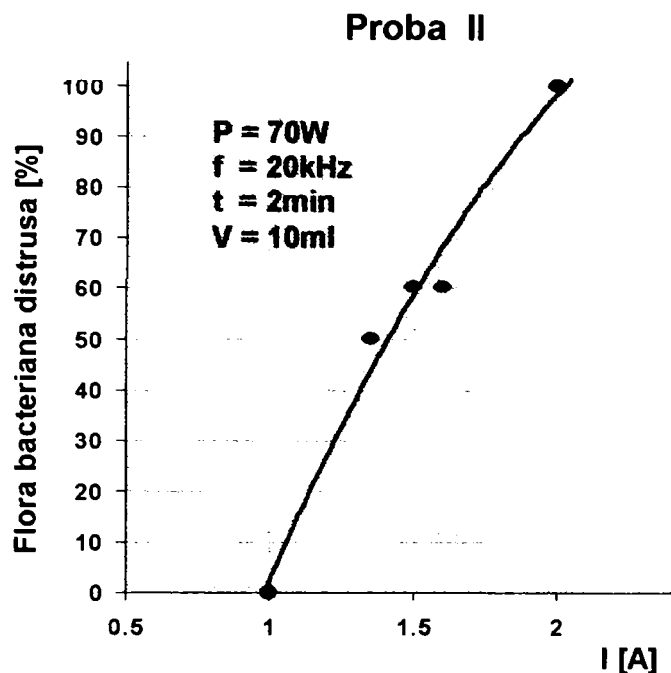


Fig.4.5 a

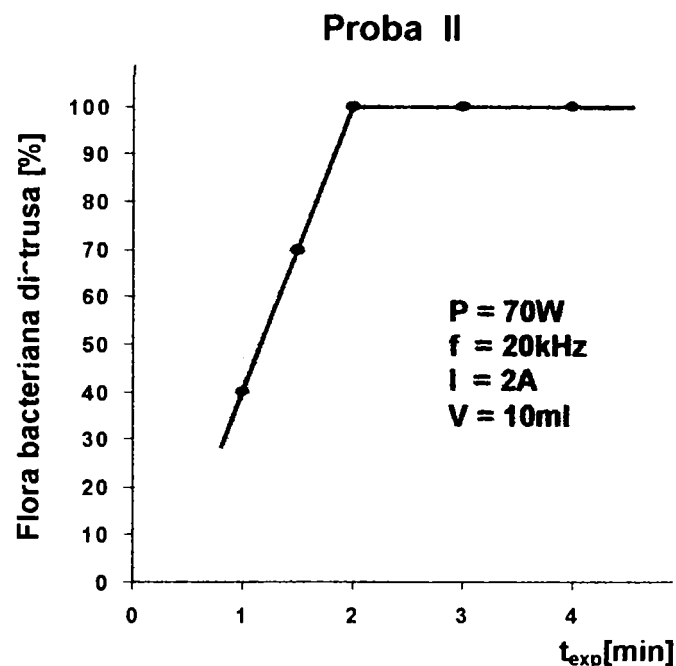


Fig.4.5 b

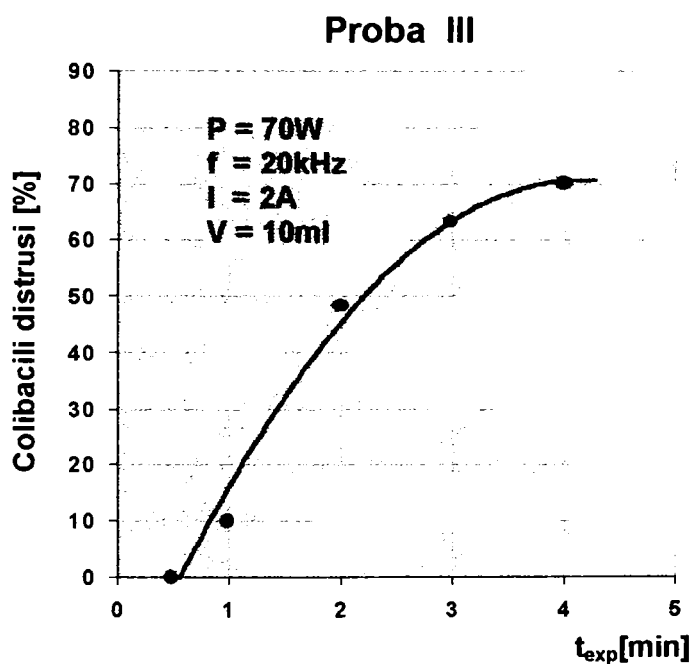


Fig.4.6 a

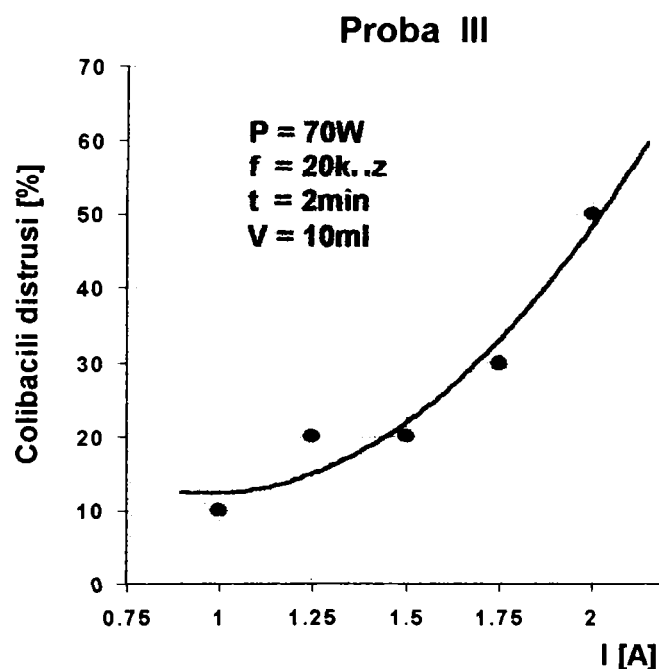


Fig.4.6 b

IV. Și în acest caz s-a utilizat o probă de urină infectată cu colibacili, însă aparținând unui bolnav de pe Secția Medicală a spitalului. S-au realizat 4 încercări, utilizând ca variabilă timpul de activare, intensitatea păstrându-se constantă  $I = 2 A$  pe parcursul încercărilor. Proba activată a fost turnată în eprubete direct din baie, fără a mai folosi pălării.

Timpul de activare necesar obținerii unor rezultate performante este, ca și în cazul anterior, mai îndelungat datorită rezistenței deosebite a colibacililor existenți în proba activată.

În graficul din figura 4.7 se observă că după timpul de activare de 10 minute mai rămân microorganisme nedistruse în proporție de 10% față de proba martor. Prin extrapolare se determină din grafic timpul de activare corespunzător căruia cantitatea de colibacili distruși este de 100%. Această valoare obținută de 11 minute este cea optimă pentru care se realizează sterilizarea.

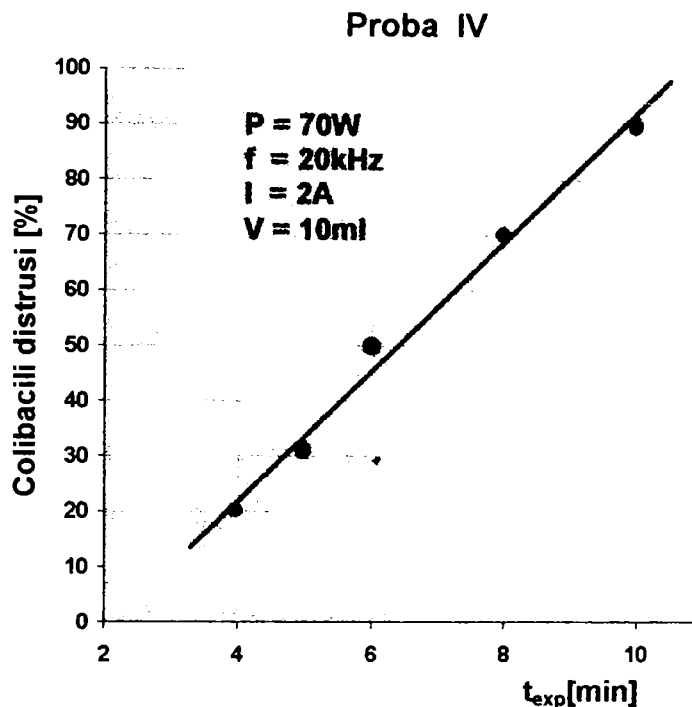


Fig.4.7

Pentru a determina variația temperaturii cu timpul de activare, respectiv cu intensitatea curentului, se trasează curba de etalonare a temperaturii. În urma prelucrării datelor experimentale obținute se ridică graficele  $T = f(t)$  pentru o valoare constantă a intensității de 2A (fig.4.8), respectiv  $T = f(I)$  pentru un timp de activare constant de 2 minute (fig.4.9).

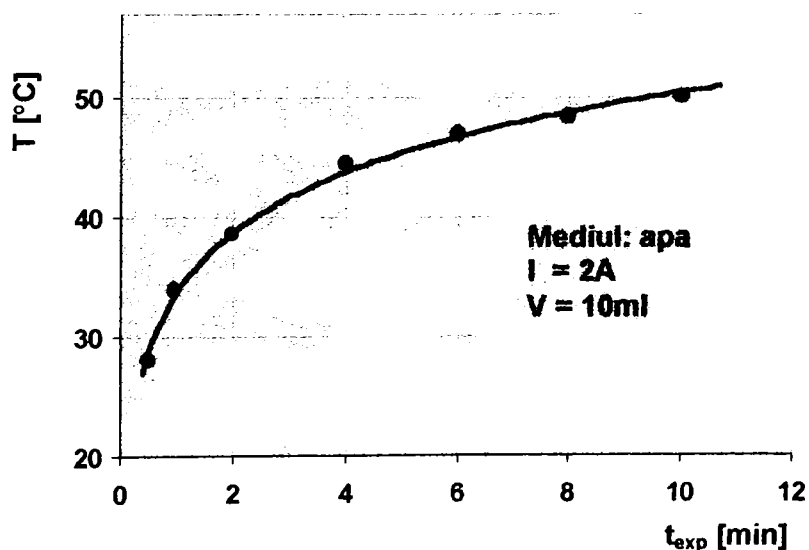


Fig.4.8

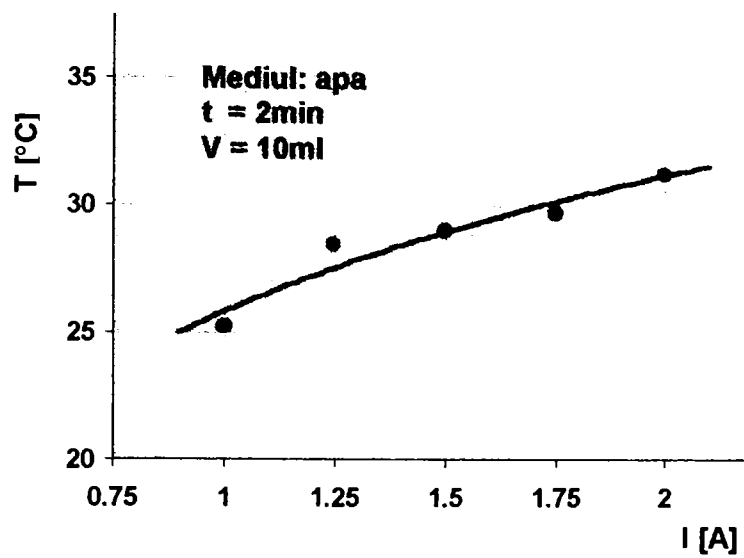


Fig. 4.9

Se observă o creștere a temperaturii odată cu creșterea timpului de expunere la ultrasunete, respectiv cu creșterea intensității curentului, fapt ce poate influența rezultatele obținute în urma procesului de sterilizare cu ultrasunete.

Concluziile finale ce rezultă sunt următoarele:

- cantitatea de microorganisme prezente inițial în proba de urină scade odată cu creșterea intensității curentului, ea devenind foarte redusă, chiar inexistentă, pentru  $I = 2A$ ;
- cantitatea de microorganisme din proba infectată scade odată cu creșterea timpului de activare, valoarea timpului pentru care se obțin rezultate deosebite este cuprinsă între 4 și 10 minute, funcție de tipul florei microbiene existente în proba supusă activării;
- odată cu creșterea intensității și timpului de activare crește și temperatura lichidului din baia metalică.

Utilizând procedeul de sterilizare prezentat, în mod analog se poate obține sterilizarea acelor de seringă. Se procedează astfel: în baia metalică se introduc 10 ml apă și totodată acele nesterile cu ajutorul unei pensete. Se acoperă baia cu un capac din material plastic transparent pentru a împiedica pulverizarea apei din baie. Se reglează generatorul la puterea de 70W, frecvența de 20 kHz și intensitatea de 2A și se începe activarea. După expirarea timpului de activare de 11 minute se oprește procesul și cu o pensă sterilă se extrag acele de seringă, sterilizate.

#### 4.1.3. Efectul sterilizant al ultrasunetelor cu aplicații în industria alimentară.

##### Tratarea laptelui cu ultrasunete

###### □ Considerații generale

În ultimii ani s-au întreprins cercetări privind distrugerea cu ultrasunete a florei bacteriene și sterilizarea, pasteurizarea laptelui [3, 11, 41, 64, 69, 156].



Ca în orice mediu și în lapte se găsesc impurități și microorganisme. Toate prezintă dimensiuni microscopice care le fac invizibile cu ochiul liber, organizarea lor este în general unicelulară și structura internă relativ simplă. În lapte sunt prezente bacterii, drojdii și mușcăiuri. Unele dintre acestea joacă un rol pozitiv în fabricarea produselor lactate (acidifierea laptelui, aromatizarea lui, fermentarea brânzeturilor, producerea kefirului și cumisului), altele au acțiuni dăunătoare (imprimă gust neplăcut, amăreală, produc gaze).

Cantitatea și calitatea microflorei în lapte depinde de temperatură, durata de păstrare și respectarea normelor de igienă. De asemenea, anumite tratamente mecanice și temperatura, în special la transportul până la fabrică, durata și felul în care s-a realizat transportul, pot duce la înmulțirea microorganismelor din lapte. Astfel se impune o tehnologie de prelucrare corespunzătoare a laptelui destinat consumului și fabricării produselor lactate, având în vedere că acest mediu este propice transmiterii unor boli (tuberculoză, mastită, febră aftoasă, dizenterie, tifos). Este deci necesar ca în procesul de prelucrare a laptelui să se parcurgă câteva etape importante: curățirea de impurități mecanice (praf, gunoaie), pasteurizarea și sterilizarea.

#### □ Sistem experimental utilizat

Cercetările desfășurate au urmărit sterilizarea laptelui prin tratarea acestuia cu ultrasunete. Au fost concepute sisteme experimentale proprii acestui tip de prelucrare neconvențională [41,154,156]. În figura 4.10 este reprezentată schematic instalația experimentală utilizată:

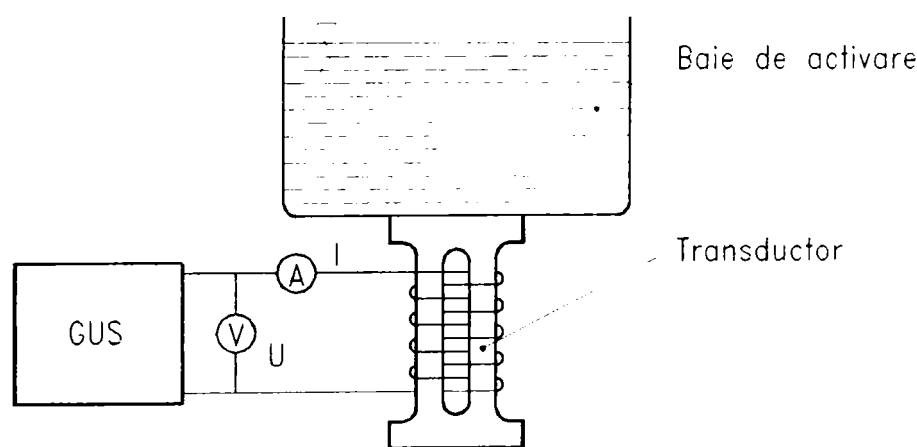


Fig.4.10

S-au folosit două tipuri de băi de activare (cilindrică și paralelipipedică) și două tipuri de generatoare (GUS 100 și GUS 120). S-a urmărit evoluția parametrilor: frecvență, putere, timp de expunere, energie disipată la transductor, efectuându-se apoi analiza microbiologică a efectelor ultrasunetelor asupra probelor prelucrate (diferite eșantioane de lapte). Probele au fost supuse ultrasonării în următoarele condiții:

- volum constant  $V = 30$  ml, timp de activare variabil  $t = 20, 40, 80, 160$  s;
- timp de activare constant  $t = 40$  s, volum variabil  $V = 30, 50, 75$  ml.

□ **Prelucrarea rezultatelor cercetărilor experimentale**

Rezultatele obținute au fost concentrate în tabele, iar prelucrarea lor s-a făcut pe cale grafică. S-au efectuat analize microbiologice specializate (în cadrul Institutului de Igienă) în vederea stabilirii efectului tratării cu ultrasunete a laptelui de consum. În urma analizelor s-a stabilit numărul total de germeni (NTG) și numărul de bacterii coliforme (BC) per 1 ml de lapte. Prelucrarea rezultatelor a dus la următoarele concluzii:

Pentru volume constante de probe (30 ml) expuse ultrasonării în condiții de timp variabil a rezultat o scădere considerabilă, atât a numărului total de germeni, cât și a bacteriilor coliforme odată cu creșterea energiei disipate în sistem (figurile 4.11 și 4.12).

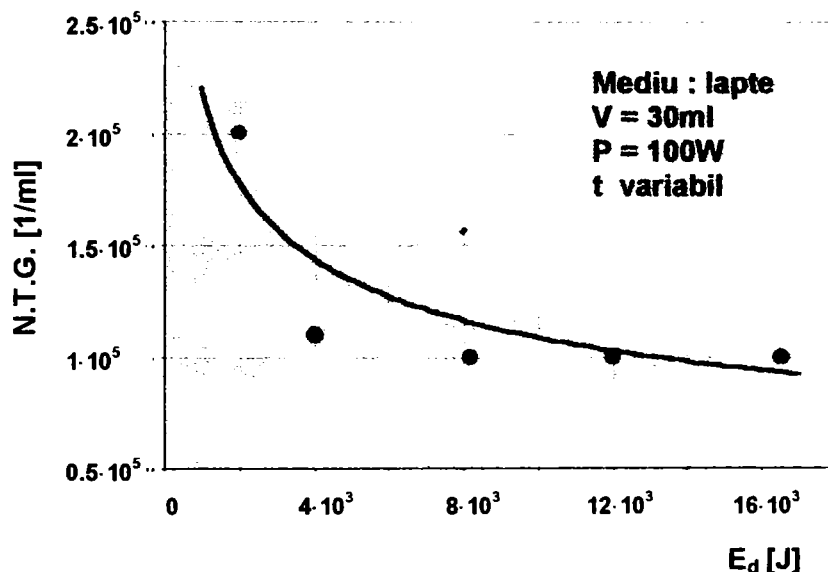


Fig.4.11

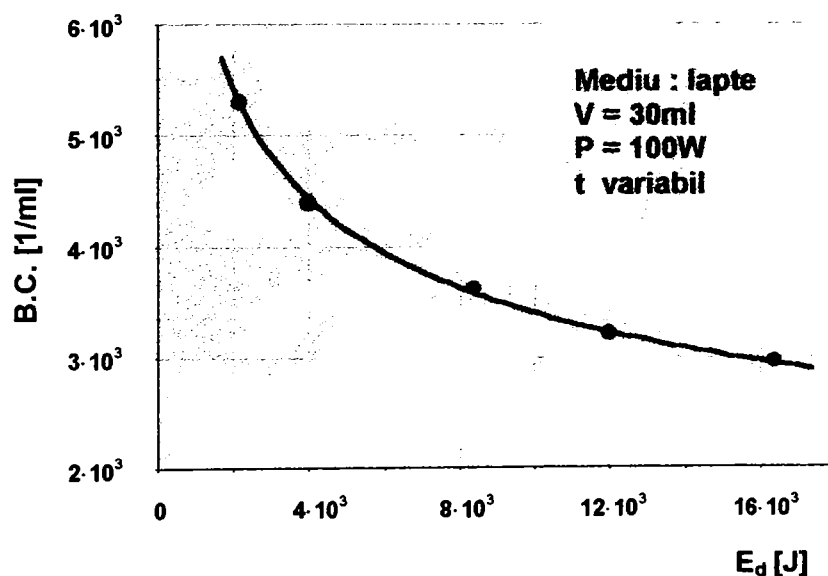


Fig.4.12

În condițiile menținerii unui timp de activare constant  $t=40$  s și variind puterea de activare (prin variația intensității curentului la generator) se obține dependența  $N.T.G. = f(E_d)$  din figura 4.13.

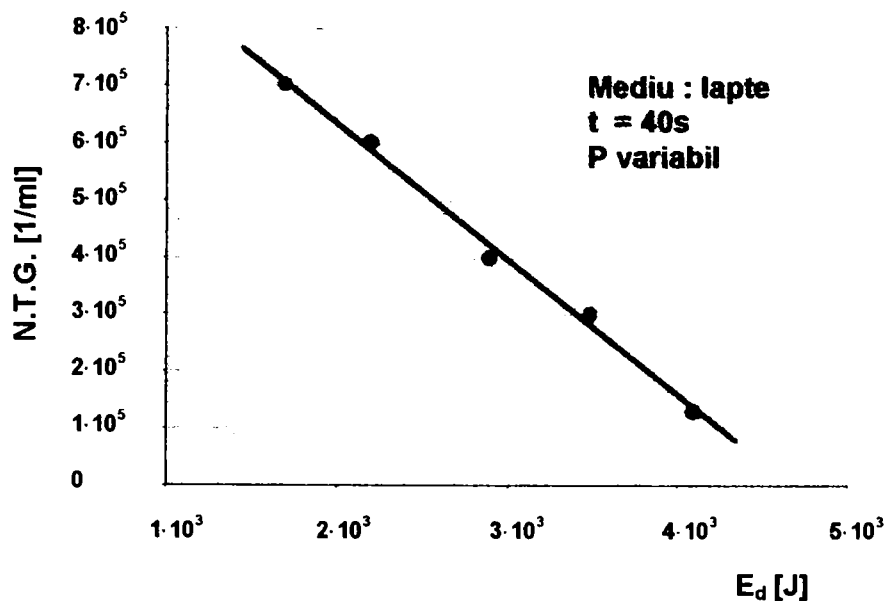


Fig.4.13

Astfel se constată că sporirea energiei disipate  $E_d$ , atât prin creșterea duratei de expunere, cât și prin creșterea puterii de activare, duc la scăderea N.T.G. În ceea ce privește numărul de B.C., valoarea maximă a energiei  $E_d$  disipate în timpul prelucrării nu a fost suficientă pentru atingerea valorii limită admisă a bacteriilor de 10 / ml.

În concluzie tratarea cu ultrasunete a laptelui de consum s-a dovedit a fi un procedeu eficient de sterilizare, în special în ceea ce privește scăderea numărului total de germeni, având în vedere că limita maximă a acestora în laptele acceptat la consum este de 300.000/ml.

#### 4.1.4. Tratarea berii cu ultrasunete

##### □ Considerații generale

Principalele însușiri ale berii sunt: culoarea, gustul, mirosul, limpiditatea și spumozitatea.

După tragerea la sticle sau în butoaie, berea trebuie să-și păstreze proprietățile sale caracteristice, conform termenelor prescrise pe ambalaje.

Culoarea berii este influențată de tipul malțului, de compoziția chimică a mustului, de cantitatea de hamei, de felul apei, de procedeul de obținere a mustului, de procedeul de fermentație etc.

Culoarea berii nu se schimbă decât atunci când suferă o fermentație lactică accentuată, acest fenomen apărând rar.

Gustul și mirosul berii depind de compoziția chimică a mustului și natura coloidului. Gustul "plin" al berii este mai pronunțat la berea brună, care conține o cantitate mai mare de extract, fiind mai aspru și mai amărui decât la berea blondă.

Caracterul răcoritor al berii este determinat de cantitatea de dioxid de carbon.

Calitatea materiei prime și condițiile de fabricare pot duce la alterarea gustului caracteristic al berii.

Cel mai important defect pe care-l poate avea berea este turbureala. Aceasta se produce datorită modificării echilibrului coloidal al berii, de către unele procese fizico-

chimice și de activitatea unor microorganisme. În prezența aerului, bacteriile acetice oxidează alcoolul, ceea ce are drept rezultat o turbureală rapidă.

Testându-se efectele ultrasunetelor asupra berii nefiltrate, s-au obținut rezultatele prezentate în cele ce urmează.

#### □ Sistem experimental. Metodologie

Cercetările experimentale desfășurate au vizat efectele ultrasunetelor asupra berii nefiltrate, urmărindu-se totodată posibilele modificări ale proprietăților caracteristice descrise mai sus. Instalația experimentală utilizată este cea prezentată în fotografia din figura 4.14, având în componența sa un generator de ultrasunete GUS 100, ce alimentează un transductor din ferită. Pe transductor este fixată o baie de activare cilindrică de capacitate 1 litru.

Condițiile de lucru au fost următoarele: în prima fază s-au activat cu ultrasunete diferite volume de bere (30, 50, 100 ml) un timp constant  $t = 80s$ , iar apoi asupra unei probe de volume identice (50 ml) s-a acționat cu timpi diferiți de expunere: 20, 40, 80s și cu intensitatea curentului la generator  $I = I_{max}$ .

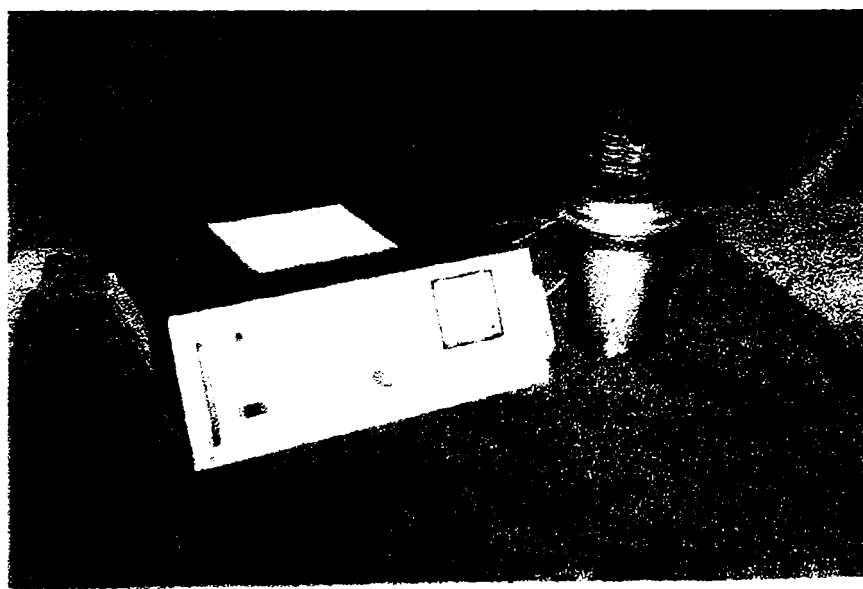


Fig.4.14

#### □ Prelucrarea rezultatelor

Rezultatele obținute au fost înregistrate tabelar, iar prelucrarea lor s-a realizat pe cale grafică. S-au ridicat următoarele dependențe:

$$\left. \begin{array}{l} I = f(t) \\ U = f(t) \end{array} \right\} \text{ pentru volume diferite de bere (30, 50, 10 ml);}$$
$$\left. \begin{array}{l} I = f(v) \\ U = f(v) \end{array} \right\} \text{ pentru timpul de activare de 80 s ;}$$
$$E = f(t) \text{ pentru volumul de 50 ml bere ;}$$
$$E = f(v) \text{ pentru timpul de activare de 80 s.}$$

Concluziile rezultate sunt următoarele:

- odată cu creșterea volumului de bere tratat cu ultrasunete crește și intensitatea curentului electric la transductor ;
- tensiunea electrică la transductor,  $U$  , crește până la 40 secunde de activare, după care scade încet; odată cu creșterea volumului de bere tratat cu ultrasunete se remarcă o scădere a tensiunii, atunci când timpul de activare este de 80 s;
- din analiza comparativă a variației energiei disipate la transductor,  $E_d$  , în funcție de timp, respectiv de volumul de bere activat, se constată variații liniare în ambele cazuri, dar ascendentă în cazul  $E = f(t)$  și descendentă în cazul  $E = f(V)$  ( fig.4.15 și fig.4.16).

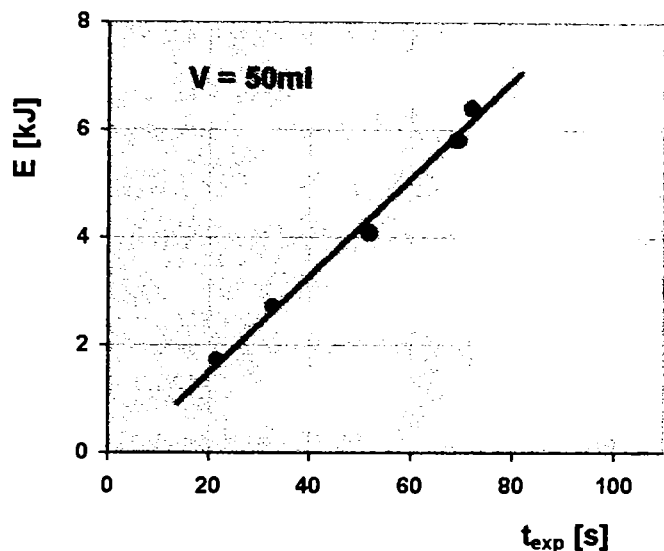


Fig.4.15

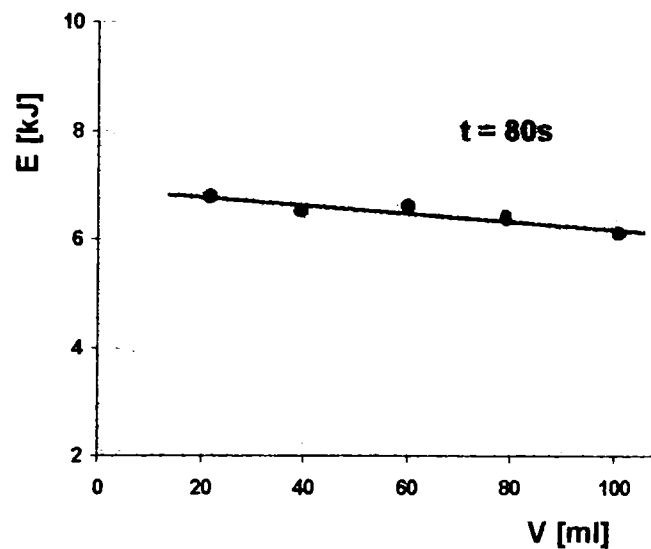


Fig.4.16

Deci, energia disipată la transductor va crește cu creșterea timpului de activare, la volum constant de bere (50 ml) și va scădea în raport cu creșterea volumului de bere, la timp constant de expunere la ultrasunete (80s).

Din punct de vedere organoleptic s-a constatat o depreciere mai rapidă a berii activate cu ultrasunete un timp îndelungat, datorită producerii unei agitații în masa lichidului ce declanșează eliminarea dioxidului de carbon, care este un antiseptic. Deoarece în bere nu se pot adăuga substanțe antiseptice, trebuie ales regimul optim de prelucrare cu ultrasunete cu un timp de expunere cât mai mic, astfel încât să se mențină cantitatea necesară de dioxid de carbon din bere, cantitatea de drojdii, alcoolemia etc.

O soluție de optimizare a acestei operații o constituie tratarea berii într-o incintă închisă, care să nu permită degajarea dioxidului de carbon, prin efectele dovedite de sterilizare a mediilor lichide.

## 4.2. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND OBȚINEREA EMULSIILOR PRIN ACTIVARE ULTRASONICĂ

### 4.2.1. Considerații generale privind emulsionarea

[11,31,87,120]

Posibilitatea de dispersare a particulelor unui lichid în alt lichid cu ajutorul ultrasunetelor a permis să se elaboreze o metodă ultrasonică pentru prepararea emulsiilor. Prin folosirea unei asemenea metode se poate obține o emulsie stabilă, cu o dispersie fină, caracteristici de o deosebită importanță în multe ramuri industriale. În general, prin folosirea ultrasunetelor de intensități mari se obțin emulsii mult mai stabile și mai omogene decât prin utilizarea metodelor mecanice obișnuite.

Metoda ultrasonică de preparare a emulsiilor dă posibilitatea efectuării operației într-un interval de timp mai scurt. Cu toate că se poate forma emulsia în mod simplu activând cu ultrasunete cele două lichide aflate într-un recipient, totuși acțiunea devine mai rapidă dacă în prealabil s-a produs amestecarea (operație manuală sau electromecanică) celor două lichide care vor constitui emulsia.

Un alt avantaj pe care-l prezintă metoda ultrasonică de preparare a emulsiilor este economisirea stabilizatorilor. Utilizând o instalație mecanică obișnuită s-a preparat o emulsie de parafină și apă într-un interval de 2 – 3 ore și cu toate că s-au introdus pentru 100 g parafină 150 g stabilizator (săpun de stearină), totuși emulsia s-a stratificat destul de repede. O aceeași emulsie preparată cu ajutorul ultrasunetelor s-a efectuat în 10 – 20 min și nu a necesitat decât un sfert din cantitatea de stabilizator utilizată în cazul precedent. Emulsia a fost de această dată mai stabilă.

Economia de timp și de stabilizatori realizată face ca prețul de cost al unei emulsii preparate cu ajutorul metodei ultrasonice să fie mai redus decât prețul de cost al unei emulsii realizate cu instalațiile obișnuite.

Pe baza studiilor efectuate cu privire la procesul de formare a emulsiilor sub acțiunea ultrasunetelor s-au putut stabili o serie de parametri care influențează acest proces. Unii parametri depind de câmpul acustic (intensitatea și frecvența ultrasunetelor, caracterul câmpului acustic, durata activării cu ultrasunete), alți parametri se referă la condițiile fizice în care se efectuează operația (temperatura și presiunea hidrostatică) și în fine, alți parametri țin seama de natura componentelor emulsiei și a substanței stabilizatoare întrebuințate:

**a. Intensitatea ultrasunetului.** Prepararea unei emulsii în general implică întrebuințarea de ultrasunete de o anumită intensitate a cărei valoare trebuie să depășească o intensitate limită, diferită cu tipul emulsiei. Valoarea intensității limită depinde de o serie de cauze, printre care un rol predominant îl joacă starea fizică a suprafețelor de separare (tensiune superficială etc.), precum și natura componentelor emulsiei. Odată cu creșterea intensității acustice peste valoarea limită are loc o intensificare a formării fazei disperse și viteza de formare a emulsiei crește.

**b. Frecvența ultrasunetului** influențează procesul de emulsionare în sensul că ea poate determina tipul de emulsie produsă și poate modifica în special cantitatea și mai puțin calitatea emulsiei.



În general ultrasunetele de frecvență înaltă s-au dovedit a fi mai puțin eficiente decât cele de frecvență joasă. Unii autori recomandă pentru prepararea emulsiilor folosirea de ultrasunete având frecvențe cuprinse în intervalul 25 - 400 kHz, iar în cazul existenței unor emițătoare cu posibilități de focalizare a energiei ultrasonice, domeniul de frecvențe este 400 - 500 kHz. Valoarea frecvenței necesară a fi aleasă mai depinde și de vâscozitatea uleiurilor care intră în compoziția emulsiilor. Dacă vâscozitatea este mai mare trebuie să se folosească ultrasunete de frecvențe coborâte.

**c. Caracterul câmpului acustic** influențează emulsionarea în sensul că prin aplicarea unor unde ultrasonice progresive se mărește eficacitatea procesului, față de aplicarea unor unde staționare (într-un câmp de unde staționare predomină un proces contrar dispersării, anume coagularea). Cercetările întreprinse până în prezent arată că tipul de emulsie format nu depinde de caracterul câmpului acustic.

**d. Durata de aplicare a ultrasunetelor** influențează gradul de dispersie și omogenitatea emulsiei. Există o anumită durată optimă de aplicare a câmpului ultrasonic, specifică fiecărui tip de emulsie.

**e. Temperatura** la care se găsesc componentele unei emulsii are mare influență asupra procesului de formare a unei emulsii. Creșterea temperaturii până la aproximativ 350°C favorizează formarea fazei disperse datorită micșorării vâscozității și a tensiunii superficiale. Ridicarea în continuare a temperaturii până la aproximativ 50°C nu contribuie la îmbunătățirea emulsiei, în timp ce o temperatură superioară acestei valori produce o scădere a calității emulsiei. Această particularitate s-ar datora dependenței de temperatură a fenomenului de cavitație, care stă la baza formării emulsiei. Există o temperatură optimă caracteristică fiecărei perechi de componente ale emulsiei care este legată de valoarea temperaturii la care fenomenul de cavitație se produce cu maxim de intensitate.

**f. Presiunea hidrostatică** este un alt factor fizic de care depinde formarea emulsiilor de tipul apă - ulei, existând o anumită presiune optimă care favorizează producerea procesului de emulsionare.

#### 4.2.2. Cercetări experimentale privind emulsia ulei-apă

Cercetările au urmărit să evidențieze posibilitățile și regimul de realizare a emulsiei ulei - apă, precum și stabilitatea emulsiei realizate în timp. În acest sens s-au ales ca variabile independente puterea sistemului ultrasonic de activare, proporția de ulei - apă și volumul total emulsionat.

Studiile efectuate cu privire la procesul de formare a emulsiilor sub acțiunea ultrasunetelor au permis stabilirea parametrilor care influențează acest proces:

- intensitatea ultrasunetelor;
- frecvența ultrasunetelor;
- caracterul câmpului acustic;
- durata de aplicare a ultrasunetelor;
- temperaturile componentelor emulsiei;
- presiunea hidrostatică.

Aplicând metoda neconvențională s-au realizat emulsionări în condiții de laborator, cu desfășurarea procesului atât în volum limitat cât și în flux continuu. Echipamentele experimentale utilizate în cadrul încercărilor sunt DAU-01 și EAU-01, prezentate în capitolul V. Cercetările experimentale au vizat obținerea emulsiei ulei-apă și au urmărit evidențierea fenomenului cavitațional în medii lichide, stabilirea distribuției câmpului ultrasonic în aceste medii, stabilirea parametrilor optimi ai regimului de activare, stabilirea volumelor optime ce pot fi emulsionate în cadrul sistemului tehnologic folosit, determinarea debitelor pe care le pot asigura sistemele de pompare utilizate și stabilitatea în timp a emulsiilor realizate.

Cele două medii s-au introdus în baie în succesiunea ulei - apă, abordându-se succesiv volumele totale de  $40 \text{ cm}^3$ ,  $60 \text{ cm}^3$ ,  $80 \text{ cm}^3$ .

S-au trasat diferite dependențe: timp de emulsionare funcție de proporția de ulei în apă, pentru volum total activat constant; timp de emulsionare funcție de volumul total emulsionat ( $40, 60, 80 \text{ cm}^3$ ) corespunzător intensităților curentului de alimentare de  $1,5$  și  $2 \text{ A}$ , în condițiile menținerii constante a proporției de ulei în apă ( $5,26\%$ ) pentru fiecare din cele trei volume emulsionate.

Dependența din figura 4.17 reprezintă variația proporției ulei - apă emulsionate în funcție de timpul de tratare cu ultrasunete. Timpul necesar emulsionării crește odată cu proporția de ulei în apă, însă scade odată cu creșterea puterii electrice de activare. Diagrama din figura 4.18 dă indicații asupra stabilității în timp a emulsiei ulei - apă. Emulsiile realizate au o bună stabilitate în timp.

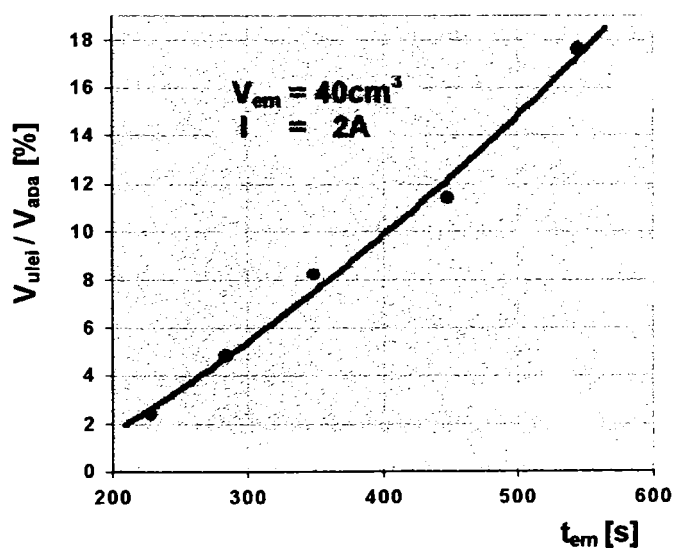


Fig.4.17

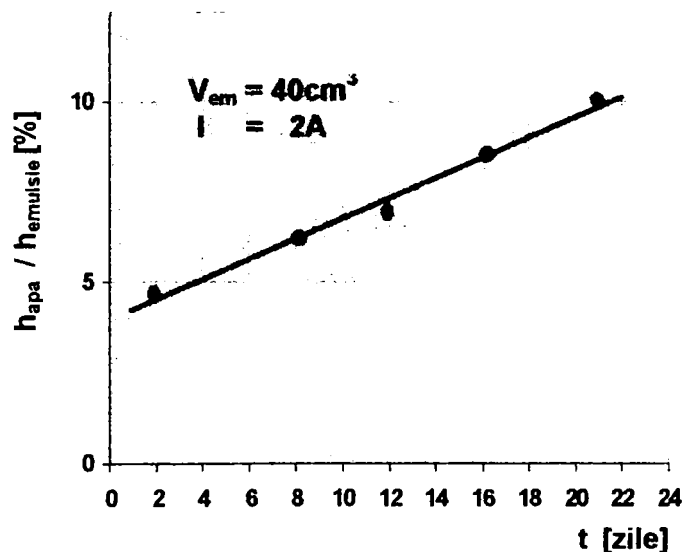


Fig.4.18

În concluzie, în condițiile folosirii băii pentru emulsionare este avantajoasă emulsionarea unor volume mai mari care asigură debite ridicate de emulsie, motiv pentru care baia activată cu o singură ferită utilizând puterea maximă de  $150 \text{ W}$  va necesita o capacitate de  $80 \text{ cm}^3$  pentru care corespunde un diametru de  $54 \text{ mm}$  și înălțimea de  $35 \text{ mm}$ .

*Pentru a asigura debite mari de emulsie se indică folosirea puterii maxime de 150W. Emulsiile realizate s-au dovedit stabile în timp, cele două componente neseperându-se nici după 20 de zile.*

### **4.3. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND ACTIVAREA CU ULTRASUNETE A MEDIILOR LICHIDE ȘI VÂSCO-ELASTICE URMĂRIND EFECTE DE OMOGENIZARE**

#### **4.3.1. Omogenizarea ultrasonică în flux continuu a laptelui provenit din lapte praf**

##### **□ Caracterizarea generală a laptelui**

*Laptele este un sistem dispers eterogen în care sărurile minerale și lactoza formează soluții adevărate, substanțele proteice se găsesc în stare coloidală, iar grăsimea sub formă de emulsie.*

*Principalele componente ale laptelui sunt:*

- *apa: reprezintă în medie 87,5% și constituie mediul în care sunt dispersate uniform restul componentelor ;*
- *grăsimea: variază din punct de vedere cantitativ și calitativ; ea se găsește sub formă de globule sferice sau eliptice cu diametrul de 2 - 10 microni ;*
- *substanțe azotate proteice: reprezintă în medie 3,4% din lapte; constituenții proteici ai laptelui sunt caseina și proteinele solubile în lactoser, care se împart în 4 grupe: albumine, imunoglobuline, proteoze - peptone și proteine minore ;*
- *substanțele azotate neproteice care constituie 5% din azotul total al laptelui și constau în: uree, acid uric, amoniac, creatina și creatinina ;*
- *lactoza reprezintă în medie 4,6% ;*
- *substanțele minerale: în proporție de 0,75% sunt reprezentate în principal de fosfat de calciu, clorurile alcaline (clorura de potasiu în special) și diferiți carbonați; o parte din substanțele minerale din lapte se află sub formă de combinații organice cu caseina ;*
- *vitamine, enzime, anticorpi.*

*Culoarea albă - ușor gălbuie a laptelui se datorează grăsimilor.*

*Din punct de vedere microbiologic apa din lapte are o semnificație deosebită, fiind o condiție necesară multiplicării microorganismelor.*

*Grăsimea din lapte, deși nu reprezintă o substanță necesară multiplicării microorganismelor, ea poate fi totuși atacată și descompusă sau modificată de unele enzime produse de anumite microorganisme prezente în lapte.*

*Ca urmare, prin compoziția lui conținând elemente esențiale necesare dezvoltării microorganismelor, laptele constituie un mediu de cultură complet, și foarte favorabil pentru numeroase microorganisme, un mediu nutritiv foarte bun de supraviețuire a altor microorganisme care nu se pot multiplica în lapte, dar îl pot polua. Din această cauză laptele este folosit ca atare în laboratoarele de bacteriologie și în plus, modificările lui de pe urma înmulțirii unor microorganisme sunt caracteristice și ajută la identificarea acestora.*

Grăsimile din lapte este un amestec de gliceride cu punct de topire în jurul a 36°C. Diametrul particulelor de grăsime variază de la 0,1 - 10 μm, depinzând în general de rasă, perioada de lactație, mediul și hrana animalelor. Mărimea medie a particulelor este cuprinsă între 2 și 4 μm, iar numărul particulelor dintr-un cm<sup>3</sup> este de ordinul 2 x 10<sup>12</sup> - 2 x 10<sup>14</sup>.

Literatura de specialitate [49,52,119,142] arată că există o legătură între gradul de dispersie al particulelor de grăsime din lapte și cantitatea de proteine conținută în globulele de grăsime.

Este cunoscut faptul că în jurul particulelor de grăsime din lapte există un înveliș din straturi de molecule de proteine orientate, de tip caseina. Determinările arată că 21 - 30% din caseina din lapte este absorbită de globulele de grăsime.

În urma omogenizării laptelui, prin diferite metode, se reduce considerabil diametrul particulelor și apar particule cu diametre de grăsime care cresc de peste 1000 ori și implicit crește de peste 100 de ori și suprafața interfacială. Creșterea suprafeței interfaciale implică o absorbție mărită a proteinelor din lapte de către particulele de grăsime, iar această absorbție, a caseinei în special, produce schimbări remarcabile ale unor proprietăți fizice ale laptelui omogenizat.

Efectul omogenizării produce și alte schimbări în proprietățile fizico-chimice ale laptelui, astfel:

- crește vâscozitatea laptelui crud prin modificarea absorbției de caseină și scade vâscozitatea laptelui pasteurizat ;
- scade tensiunea superficială a laptelui crud și a laptelui pasteurizat ;
- crește stabilitatea laptelui din punct de vedere al reținerii cantității de grăsime;
- crește sensibilitatea față de lumină (se descompune vitamina C) ;
- se modifică transparența (devine un alb intens și mult mai opac) ;
- crește digestibilitatea laptelui ;
- crește solubilitatea laptelui ;
- se modifică gustul și devine caracteristic unui lapte cu (1-2)% mai multă grăsime.

Din cele prezentate rezultă importanța omogenizării laptelui reconstituit și realizarea unor metode obiective de determinare a unor parametri fizico-chimici și biologici ai produsului expus. Testarea efectelor ultrasunetelor de diferite frecvențe (20 - 40 kHz) s-a realizat prin determinarea:

- a. solubilității prafului de lapte;
- b. diametrului particulelor de grăsime, prin două metode :
  - metoda directă (micrometoda);
  - metoda indirectă (tensiunea superficială).
- c. densității relative a amestecului;
- d. numărului total de germeni (efecte biologice)

#### ❑ **Sisteme experimentale utilizate**

Cercetarea, proiectarea și execuția unui echipament experimental de omogenizare ultrasonică în flux continuu a laptelui provenit din lapte praf a constituit tema contractului de cercetare nr.120/24.04.1989, încheiat între Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara



(executant) și Institutul de Chimie Alimentară București (beneficiar), cu colaborarea Institutului de Medicină Timișoara.

Având în vedere rezultatele determinărilor preliminare [156] s-a pus problema realizării unei instalații de laborator pentru omogenizare în flux continuu.

În cadrul instalației de omogenizare cu ultrasunete a laptelui reconstituit, partea propriu-zisă de omogenizare ultrasonică se constituie sub forma unui subansamblu funcțional separat. Elementul activ, de transfer energetic al ultrasunetelor către lichidul de omogenizat, îl constituie așa zisa celulă de activare.

În proiectarea celulei de activare s-au luat în considerare o serie de restricții și limite care determină forma, dimensiunile și debitul volumic în funcționare în regim continuu. S-au realizat și testat două instalații de laborator pentru omogenizare în flux continuu:

- a. instalația cu celulă de activare volumică I.C.A.V. ;
- b. instalația cu celulă de activare interstițială I.C.A.I.

**a. Instalația cu celulă de activare ultrasonică volumică** este realizată prin montajul în tandem pe un suport izolator acustic comun a două semiincinte radiante prevăzute fiecare cu un ansamblu de trei rezonatori magnetostrictivi I20 din ferită. Prin selectare și ajustare succesivă, celula de activare construită din montajul celor două semiincinte asigură un ansamblu de rezonatori de practic aceeași frecvență care permite astfel racordarea lor la două generatoare de ultrasunete tip Electroson - 01 care pot funcționa la puterea de 500W în două variante:

- alimentare și pilotaj de frecvență independent;
- alimentare și pilotaj de frecvență unic.

În mod concret instalația este alcătuită (anexa A12 I.C.A.V. -01-00) dintr-un suport tip tijă (19) dispus pe un platou de susținere pe care se montează pereți rigizi pentru susținerea celulei propriu-zise. Celula propriu-zisă (11) este prevăzută în zona centrală de atașare cu racordări de intrare (7) și ieșire a lichidului pentru omogenizare. Componentele ce urmează a fi omogenizate se introduc în rezervorul (1) susținut de manșonul (2) fixat pe suportul (19), cu posibilitatea de reglare a poziției pe verticală prin intermediul rozetei (20).

**b. Instalația cu celulă de activare ultrasonică interstițială I.C.A.I. - 01-00 (anexa A13)** se compune din două ansambluri convertoare ultrasonice concentratoare cu orificii tehnologice care permit realizarea unui circuit de activare în flux continuu de tip întrepătruns cu posibilitatea reglării axiale a mărimii interstițiului de activare. Cele două ansambluri sunt dispuse într-o celulă volumică colectoare prevăzută cu o degajare și orificiu. Degajarea permite funcționarea ansamblului în condiții de totală imersie în lichidul activat a zonei interstițiale (capetele concentratoarelor). Existența pe partea opusă a degajării unui orificiu tehnologic permite asigurarea a două funcționalități. Prima se referă la modul de activare prin imersia totală, când orificiul permite prin jet de aer comprimat recircularea forțată înaintea deversării. A doua posibilitate se referă la utilizarea orificiului ca orificiu de scurgere într-o celulă colectoare.

*Instalația este alcătuită în modul următor:*

- un convertor ultrasonic concentrator cu canal de aducțiune alcătuit din concentratorul (5) (material D 16T) și activat cu doi rezonatori din ferită tip I 20. Prin racordul (1) se asigură comunicarea canalului central de aducțiune cu tubul flexibil de alimentare de la un rezervor de lapte reconstituit preomogenizat.

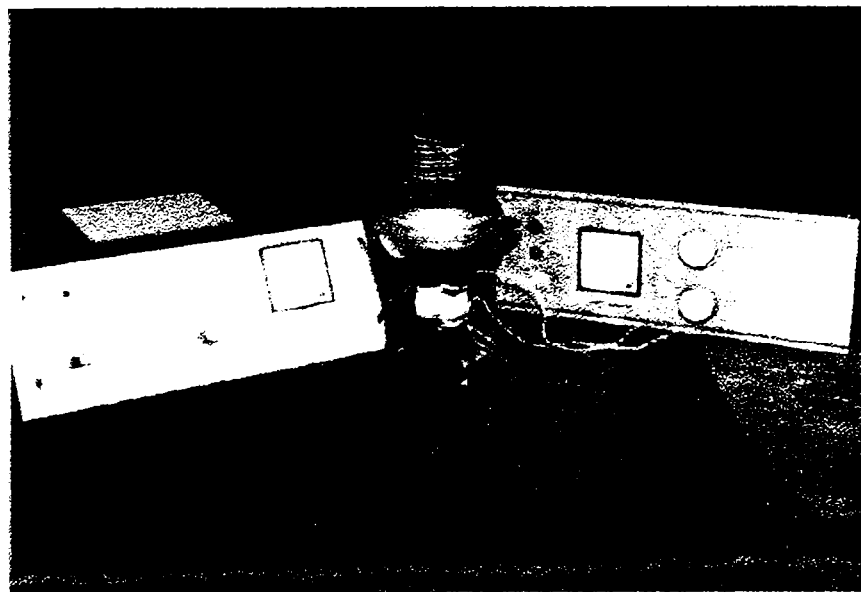
*Alimentarea se poate asigura la viteze diferite de curgere obținute gravimetric sau utilizându-se un sistem de pompare.*

- un convertor ultrasonic concentrator (12) cu locaș pentru realizarea interstițiului de activare de tip labirint în raport cu concentratorul (5);
- un convertor ultrasonic difuzor cu placă radiantă alcătuit dintr-un mozaic de trei rezonatori tip I 20 aflați în poziție de lucru într-un suport reglabil construit din reperatele (14) și (15) dispuse pe celula de activare. Celula de activare propriu-zisă (9) este prevăzută cu un orificiu pentru alimentare cu aer comprimat prin reperatele (17), (18), (19), cu capace laterale (11) și inele de fixare (20); asigurarea unor izolări acustice este realizată de garniturile (3) și (4).

*Instalația astfel constituită poate să funcționeze în următoarele regimuri:*

- a. activare unilaterală pe unul din convertoarele concentratoare cuplate la generatoare de ultrasunete tip Electroson 01 cu puteri variabile de maxim 200W ;*
- b. activare bilaterală pe ambele convertoare concentratoare cuplate simultan la generatoare de ultrasunete tip Electroson 01. Puterea totală maximă injectată poate fi de 400W.*
- c. activare globală care include pe lângă activarea bilaterală și cuplarea plăcii radiante 3 x I 20 la un generator de ultrasunete independent tip GUS – 200 (U.P.T. - S.P.M.).*

*Unul din standurile utilizate în cadrul încercărilor experimentale este redat în fotografia din figura 4.19.*



*Fig.4.19*



□ **Determinarea unor parametri fizico-chimici și biologici ai laptelui reconstituit din lapte praf în urma tratării cu ultrasunete**

În urma tratării laptelui reconstituit cu ultrasunete în diferite condiții și a determinării modificărilor induse s-au obținut următoarele rezultate:

**a. Solubilitatea laptelui praf**

- solubilitatea depinde de tipul produsului utilizat ;
- gradul de solubilitate crește în urma expunerii la ultrasunete la toate probele, efectul maxim constatându-se la 40 kHz și o expunere de 40s ;
- în toate cazurile metoda utilizată a avut o reproductibilitate bună.

Efectul maxim la 40 kHz se explică prin faptul că energia ultrasunetelor este injectată prin contact cu suprafața lichidului, realizând astfel un jet cu intensitate acustică mare pe unitate de volum. La această frecvență predomină accelerația particulelor sub acțiunea ultrasunetelor, având o eficiență mai mare la disocierea particulelor de grăsime.

**b. Modificarea diametrului particulelor de grăsime în urma expunerii la ultrasunete**

În urma activării, chiar după primele 10 secunde de la ultrasonare se produce o modificare semnificativă privind fragmentarea particulelor, iar fenomenul este dependent de frecvență; la  $f = 40$  kHz și timpul de expunere 40s numărul particulelor cu diametrul de cca 2  $\mu$ m crește cu 50%.

**c. Determinarea densității relative a amestecului de lapte reconstituit**

Determinările spectrofotometrice în domeniul vizibil arată o modificare a opacității mediului expus. Dacă timpul de expunere depășește un anumit prag (40s), modificările sunt mai puțin evidente.

**d. Determinările microbiologice - metoda reductazei**

Urmărind decolorarea laptelui reconstituit după un anumit timp datorită acțiunii oxido-reducătoare a microorganismelor, se constată că primele modificări semnificative apar numai după 4 ore de la incubare. Acțiunea ultrasunetelor este evidentă la  $f = 40$  kHz pentru care decolorarea nu se produce nici după 24 de ore. Dar la acest fapt contribuie și modul de reconstituire a laptelui utilizând apa de cca 80°C care are un efect de pasteurizare suplimentară.

Examenul microbiologic trebuie să stabilească prezența sau absența nocivității microbiene a produselor cercetate și capacitatea lor de conservare în condițiile date. Bacteriile aflate în soluția de lapte se înmulțesc și absorb oxigenul existent în soluție, ceea ce provoacă o scădere a tensiunii oxigenului și determină decolorarea. Cu cât numărul microorganismelor existente în lapte este mai mare și cu cât activitatea lor este mai intensă, cu atât scade mai repede cantitatea de oxigen.

□ **Prelucrarea rezultatelor. Concluzii**

Reconstituirea laptelui din lapte praf s-a efectuat conform normelor indicate de producător:

S-a preparat o soluție concentrată de 12,5% la temperatura de 40°C, masa omogenă fiind adusă la concentrația sus menționată cu apă distilată la 60°C. S-a ales această temperatură în vederea determinărilor microbiologice. La temperaturi mai mari (80°C)

utilizate la reconstituire pentru consum se produce o pasteurizare suplimentară. După omogenizare produsul a fost răcit la 20°C și supus investigațiilor.

Materialul reconstituit s-a împărțit în următoarele loturi:

- un lot martor, neultrasonat ;
- un lot supus acțiunii ultrasunetelor la cca 20 kHz ;
- un lot ultrasonat la cca 40 kHz.

Frecvențele utilizate au fost dependente de tipul aparatului pus la dispoziție de beneficiar sau de executant.

Parametrii generatorilor utilizați de executant și modul de expunere sunt următoarele:

1. US ( 20-I.M.T.)

$P_e = 80W$  puterea electrică ;

$S = 80 \text{ cm}^2$  suprafața vasului utilizat pentru expunere ;

$f = 20 \text{ kHz}$  frecvența ultrasunetelor ;

$\phi = 10 \text{ cm}$  diametrul vasului expus la ultrasunete ;

generator tip GUS - 100 40 Eļectrotimiș ;

$M_e =$  modul de expunere : vas cilindric excitat.

2. US ( 40-I.M.T.)

$P_e = 80W$  ;

$f = 40 \text{ kHz}$  ;

generator construit de executant, în curs de brevetare ;

$M_e =$  concentratorul cufundat în mediul biologic ;

$\phi = 4 \text{ cm}$  diametrul vasului cilindric expus ultrasunării.

În toate cazurile s-a controlat temperatura camerei și modificarea ei după expunere. Determinările au fost efectuate după ce temperatura probelor a devenit egală cu temperatura mediului.

În urma tratării laptelui reconstituit cu ultrasunete în diferite condiții și a determinării modificărilor induse s-au obținut următoarele rezultate:

a. Solubilitatea prafului în lapte

➤ solubilitatea depinde de tipul produsului utilizat (lapte praf integral normalizat, lapte praf smântânit, lapte praf pentru furaj);

➤ gradul de solubilitate crește în urma expunerii la ultrasunete la toate probele, efectul maxim constatându-se la 40 kHz și pentru un timp de expunere de 40s; efectul maxim obținut la frecvența de 40 kHz se explică prin faptul că energia ultrasunetelor este introdusă prin contact cu suprafața lichidului, realizând astfel un jet cu intensitate acustică mare pe unitatea de volum.

Dacă expunerea se face în vase cu suprafață mare prezența undelor staționare îngreunează dispersarea particulelor.

b. Modificarea diametrului particulelor de grăsime în urma expunerii la ultrasunete

În scopul acestei determinări s-a utilizat ca mediu laptele praf integral normalizat tip 20 (Lp- int - 20), întrucât celelalte medii (lapte praf smântânit Lp - sm, și lapte praf pentru furaj Lp - fr) prezintă modificări nesemnificative din cauza concentrațiilor foarte mici de

grăsimi (0,7% față de  $L_p$  - int 26%). Determinările efectuate cu microscopul optic (ocular 1+, obiectiv 20) arată că diametrul mediu pentru 100 de particule numărate este  $3,8 \mu\text{m}$  pentru proba martor. În urma expunerii la ultrasunete, chiar după primele secunde de ultrasonare se produce o modificare semnificativă privind fragmentarea particulelor, iar fenomenul este dependent de frecvență. La 40 kHz și timpul de expunere 40s, numărul particulelor cu diametrul de cca.  $2 \mu\text{m}$  crește cu 50%.

c. În vederea stabilirii tensiunii superficiale determinările au fost efectuate prin două metode:

- stalagometrică (tensiune superficială dinamică) ;
- metoda ascensiunii în tuburi capilare (diametrul tubului capilar este de  $0,01 \text{ mm}$ ).

Estimarea rezultatelor s-a făcut sub forma unui raport, respectiv  $\sigma/\sigma_M$  în care:

$\sigma$  este o mărime proporțională cu ascensiunea în tubul capilar ( $h$ ), determinată pentru proba supusă ultrasonării ;

$\sigma_M$  - mărime similară, determinată pentru proba martor.

S-a ales acest mod de estimare a rezultatelor deoarece raportul  $\sigma/\sigma_M$  nu depinde de constanta aparatului și de condițiile de lucru. La interpretarea rezultatelor s-a ținut seama de faptul că efectul produs de energia ultrasonoră este invers proporțional cu valoarea raportului.

Rezultatele obținute (fig.4.20) arată o modificare semnificativă a raportului  $\sigma/\sigma_M$  în urma ultrasonării. Acest efect este evident la  $f = 40 \text{ kHz}$  și dacă timpul de expunere nu depășește 40 - 45s.

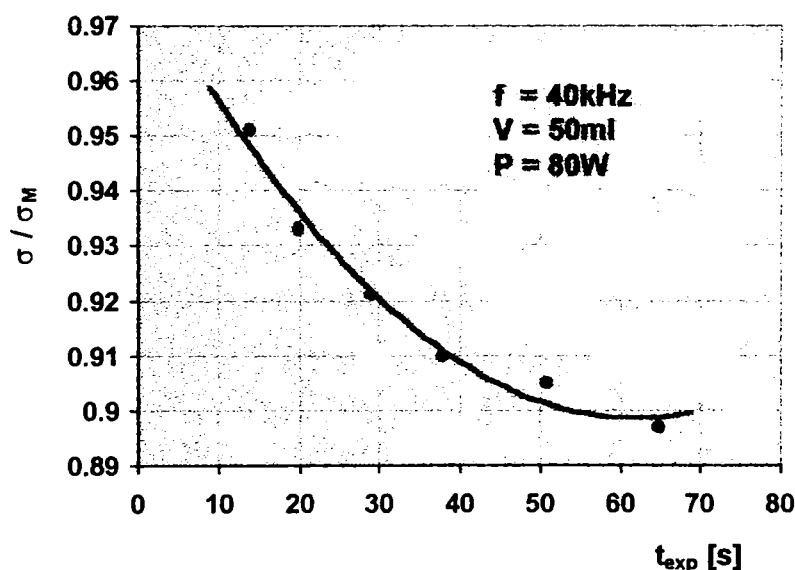


Fig. 4.20

Modificarea este mai puțin semnificativă la  $f = 20 \text{ kHz}$  (fig.4.21), prin faptul că există un prag la care apare o modificare în sens opus, prin aglomerarea particulelor care au tendința de a se ridica la suprafața laptelui, producând o spumă intensă și o aglomerare a grăsimii (fig.4.22). Acest efect este nedorit și trebuie evitat.

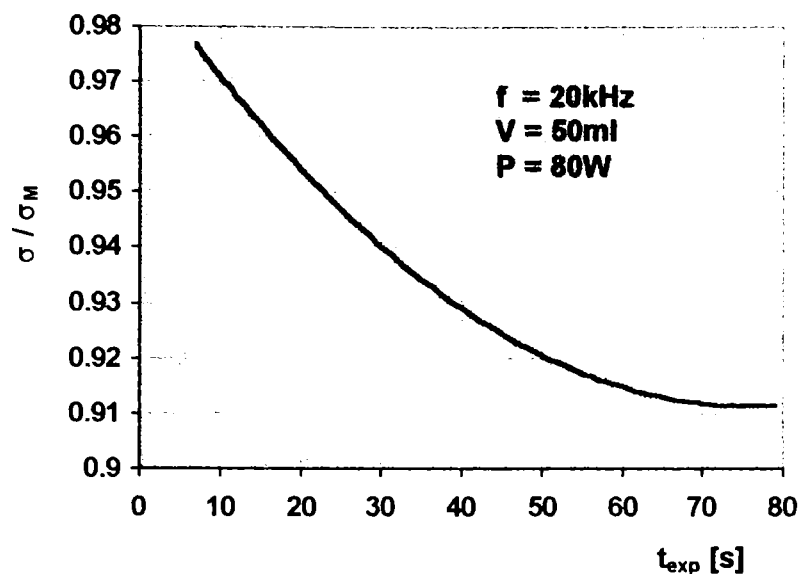


Fig. 4.21

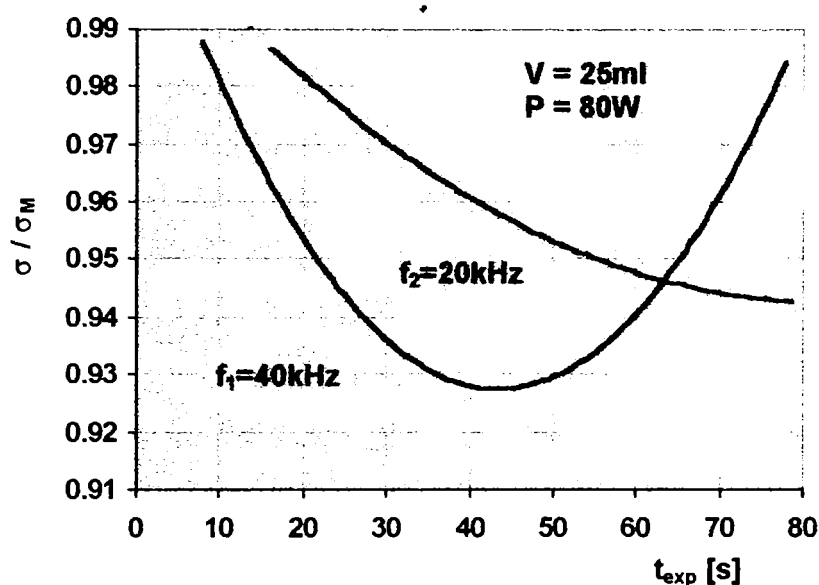


Fig. 4.22

*d. Determinarea densității relative a amestecului de lapte reconstituit*

Determinările spectrofotometrice în domeniul vizibil ( $7500\text{Å}$ ) arată o modificare a opacității mediului expus. Această mărime nu prezintă o dependență evidentă de frecvență, în schimb, timpul de expunere pentru o probă dată este un parametru util. Dacă acest timp depășește un anumit prag (40s) modificările sunt mai puțin evidente.

*e. Determinările microbiologice - metoda reductazei*

Urmărind decolorarea laptelui reconstituit după un anumit timp datorită acțiunii oxido-reducătoare a microorganismelor, se constată că primele modificări semnificative apar numai după 4 ore de la incubare. Acțiunea ultrasunetelor este evidentă la  $f = 40\text{kHz}$  pentru care decolorarea nu se produce nici după 24 de ore. Dar la acest fapt, se pare, contribuie și modul de reconstituire a laptelui utilizând apa de cca.  $80^\circ\text{C}$  care are un efect de pasteurizare suplimentară. S-a urmărit o corelație între puterea electrică de excitație  $P_{max} = 80\text{W}$  și

modificarea raportului  $\sigma / \sigma_M$ ; expunerea s-a realizat la puterea 100%, respectiv 50% și 25% din  $P_{max}$ .

#### □ Concluzii

Rezultatele obținute în urma cercetărilor legate de omogenizarea ultrasonică în flux continuu a laptelui provenit din lapte praf au condus la următoarele concluzii:

- efectul ultrasunetelor depinde de modul de expunere dacă se menține puterea electrică aplicată, frecvența de lucru și timpul de expunere constant. Efectul maxim s-a obținut în următoarele situații:

$$f = 40 \text{ kHz}$$

$$t = 40s$$

$$P_e = 80W$$

$$V_e = 25 \text{ ml}$$

Expunere de tip US (40-I.M.T.)

În toate cazurile concentratorul era în contact cu suprafața lichidului. Se menționează că efectul maxim s-a apreciat prin modificarea diametrelor particulelor de grăsime determinate pe două căi:

➤ direct, cu microscopul optic ;

➤ indirect, prin modificarea tensiunii superficiale.

- Prin depășirea timpului optim (40s) se constată efectul invers, aglomerarea particulelor care produce modificări în calitatea laptelui reconstituit;

- Efectul de omogenizare se realizează și în cazul expunerii de tip US (19-IPT) și US(30 – I.P.T.) însă modificările sunt mai puțin evidente comparativ cu expunerea în coloană US (40 - IMT);

- Modelele neconvenționale utilizate (modificarea tensiunii superficiale, determinarea luminii difuze) la stabilirea gradului de omogenizare pot constitui principii în automatizarea procesului de prelucrare a laptelui ;

- Testul reductazei indică o activitate biologică moderată după ultrasonare, îndeosebi la  $f = 40 \text{ kHz}$  ;

- Debitul realizabil, fie prin cantități secvențiale obținute, fie prin curgere în flux continuu, este strâns legat de un prag de activare energetic care se poate realiza în mod diferit în celule de tip volumic, respectiv secvențial. Celulele volumice oferă debite reduse, dar sunt stabile în funcționare, cele interstițiale sunt mai eficiente, dar mai instabile. Debitul minim informativ corelat cu pragul de activare energetic este definit prin timpul minim necesar activării, care se înscrie la celula volumică la cca. 20s. Rezultă în acest caz debite volumice pe celulă nesemnificative din punct de vedere industrial, ceea ce face necesară acceptarea funcționării în paralel a mai multor celule. În cazul concret al realizării unor instalații de tip industrial care, după cum reiese, necesită racordarea în paralel a mai multor celule de activare, se pune problema rentabilității, datorită costului ridicat al echipamentului.



### 4.3.2. Omogenizarea și condensarea materialelor dentare vâsco-elastice activate cu ultrasunete

Cercetările experimentale realizate și prezentate în cele ce urmează vizează aplicațiile ultrasunetelor în domeniul stomatologic și urmăresc să scoată în evidență comportarea mediilor vâsco-elastice utilizate ca materiale dentare în urma activării cu ultrasunete.

#### □ **Materiale utilizate**

În stomatologie se utilizează pentru obturații o varietate mare de materiale, fie sub formă de cimenturi, fie sub formă de amalgamuri.

Obturația are rolul de a reface morfologia dintelui și restabilirea funcțiilor pierdute, în primul rând a celor masticatorii și fiziologice. Prin prezența ei obturația trebuie să împiedice progresiunea leziunii carioase în țesuturile sănătoase din vecinătate, materialul de obturație fiind inserat într-un țesut care este sediul schimburilor metabolice (biocompatibilitatea cu pulpa este un imperativ absolut). Criteriile de alegere ale materialului de obturație se situează în domeniul biologic, mecanic și estetic.

După poziția dintelui pe arcadă, se preferă în cazul dinților frontali materiale fiziologice (culoare și transluciditate cât mai apropiate de ale dinților pe care-i restabilesc) dar mai puțin rezistente, iar pentru obturarea dinților laterali se aleg materiale metalice nefiziologice, dar mult mai rezistente.

În cadrul cercetărilor efectuate de autori s-au ales patru materiale dentare și anume:

- silicat
- amalgam de Ag
- amalgam NON GAMMA2
- amalcap

Cum aceste materiale au o cunoaștere deplină doar în domeniul stomatologic, în continuare se vor face referiri în ceea ce privește compoziția, proporțiile componentelor utilizate, modul de preparare și condensare al acestora.

#### **Cimenturile silicat**

Cimenturile silicat fac parte din clasa materialelor utilizate la obturații coronare de durată, fiind cunoscute și sub denumirea de silicate. Aceste materiale se prezintă sub formă de sistem biocomponent pulbere / lichid.

Compoziția acestor cimenturi în ceea ce privește pulberea și lichidul este:

▪ pulberea - cuarț ( $\text{SiO}_2$ )	(31,5 - 41,6)%
▪ alumină ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	(27,2 - 29,1)%
▪ CaO	(7,7 - 9)%
▪ fluoruri	(13,3 - 22)%
▪ pentoxid de P ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )	(3 - 5,3)%
▪ oxid de zinc ( $\text{ZnO}$ )	(0,1 - 2,9)%
▪ lichidul - acid fosforic ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )	(48,8 - 55,5)%
▪ aluminiu (Al)	(1,5 - 2)%
▪ zinc (Zn)	(4,2 - 9,1)%



*În cursul prizei materialului au loc următoarele procese:*

*a. descompunerea suprafeței particulelor de pulbere de către lichid ;*

*b. reacția dintre pulberea amfoterică și acid ;*

*c. suprafața particulelor din pulbere este atacată de acidul fosforic.*

*Timpul de priză depinde în mare măsură de compoziția materialelor și în special de dimensiunea particulelor de pulbere. Cu cât particulele sunt mai mici, cu atât timpul de priză este mai scurt. În general priza are loc după 3- 5 minute. Timpul de priză poate fi prelungit, la aceasta participând următorii factori: temperatura scăzută, raportul pulbere lichid scăzut, timp de preparare prelungit.*

*Cimenturile silicat au proprietăți anticariogene datorită fluorurilor din compoziția lor. Sunt materiale mai rezistente la compresiune decât alte cimenturi clasice, dar sunt mult mai puțin rezistente decât amalgamurile. Au un coeficient mic de dilatare termică și o conductivitate termică scăzută. Unul din dezavantajele majore ale acestor materiale este acela că ele se dizolvă în mediul bucal.*

*Pentru a obține un ciment silicat cu proprietăți optime trebuie urmărite două obiective: materialul să se prepare rapid și să fie cât mai vâscos.*

*Modalitățile de preparare utilizate sunt:*

*➤ prepararea manuală a cimentului silicat ;*

*➤ prepararea mecanică a cimentului silicat.*

*În cazul preparării manuale se urmărește în primul rând respectarea dozării componentelor. Raportul pulbere-lichid este foarte important. Un amestec prea vâscos va genera o masă sfărâmicioasă deoarece nu toate particulele de pulbere pot fi umectate de lichid. Un amestec cu mult lichid are un timp de priză mai prelungit, după priză materialul fiind mai fragil, mai solubil și cu o culoare instabilă în timp. Raportul ideal pulbere lichid este 1,6g 0,4 ml.*

*Pulberea trebuie încorporată în lichid cât mai repede posibil, timpul să nu depășească un minut. Toate particulele de pulbere trebuie să fie în contact cu lichidul. Cimentul silicat este ideal când suprafața amestecului și-a pierdut luciul, iar la tendința de ridicare a spatulei de pe placă materialul să se rupă.*

*La prepararea mecanică cantitățile predozate de pulbere și lichid sunt separate în capsulă printr-o diafragmă (membrană). Prin exercitarea unei presiuni asupra capsulei membrana se rupe, cele două componente venind în contact. Urmează mixajul, operație a cărei durată variază de la un produs la altul. De obicei durata este de 10 până la 20s, după care cimentul silicat se scoate din capsulă. În timpul preparării mecanice, pe lângă energia calorică eliberată în cursul reacției exoterme dintre pulbere și lichid se mai degajă o cantitate suplimentară de căldură datorată frecărilor din cursul mixajelor. Această căldură accelerează priza și reduce timpul de lucru.*

### **Amalgamul de argint**

*Este cel mai utilizat dintre toate materialele de obturație permanentă, cca. 75% din obturațiile permanente sunt efectuate cu acest material. În general amalgamele dentare reprezintă aliaje ale mercurului cu argint, staniu, cupru și uneori zinc. În principal, compoziția aliajului pentru amalgam include argint-staniu. În cantități mult mai mici pot*

participa cupru, zinc, aur și mercur. Se recomandă următoarea compoziție a aliajelor: argint 65%; staniu 24%; cupru 6%; zinc 2%; mercur 3%.

Aliajele pentru amalgam se pot prezenta sub formă de pilitură, particule sferice, sau amestec de pilitură și particule sferice.

Mercurul trebuie să prezinte o suprafață curată, reflectorizantă. Existența lui în compoziția aliajelor determină o producere mai ușoară a amalgamării, datorită proprietăților pe care le prezintă:

- este singurul metal care se găsește în stare lichidă la temperatura ambiantă. Punctul de solidificare este de  $38,87^{\circ}\text{C}$  ;
- se combină ușor cu multe metale (Au, Ag, Cu, Sn, Zn) formând amalgame ;
- fierbe la temperatura de  $356,9^{\circ}\text{C}$  ;
- picăturile căzute pe suprafețe netede își păstrează forma sferică datorită valorii ridicate a tensiunii superficiale care este de 6,5 ori mai mare decât a apei.

Fenomenul de priză al amalgamelor este foarte complex, el parcurgând trei stadii succesive: dizolvare, amalgamare și cristalizare, dizolvarea fiind precedată de o difuziune intergranulară a mercurului. Timpul de priză variază în funcție de mai mulți factori:

- a. după faza aliajului Ag-Sn: faza corespunde unor amalgame cu priză lentă, în timp ce faza  $\beta + \gamma$  dă amalgame cu priză rapidă care se întăresc în mai puțin de un minut. Celelalte faze dau amalgame cu timp de priză de la 3 minute la câteva ore ;
- b. raportul pulbere - mercur: proporția normală se consideră 5/8 în procente de greutate, respectiv 61,5% Hg în amestec inițial, după condensare raportul devenind 5/5. Dacă priza amalgamului este normală, întreaga cantitate de mercur este în reacție în decurs de 24 de ore ;
- c. dimensiunea particulelor: cu cât particulele sunt mai mici, cu atât suprafețele de contact sunt mai mari, deci timpul de priză va fi mai redus ;
- d. durata preparării: un timp de preparare insuficient sau excesiv modifică timpul de priză ;
- e. presiunea de condensare: presiunea ridicată determină eliminarea unei cantități mai mari de mercur cu reducerea consecutivă a timpului de priză.

Proprietățile amalgamelor se referă atât la variațiile dimensionale cât și la rezistența acestor materiale la diferite solicitări. Amalgamul suferă inițial o contracție datorită absorbției mercurului, apoi foarte rapid urmează o dilatare. În cele din urmă rezultă o contracție lejeră urmată de un platou de stabilizare.

Coeficientul de dilatare termică al amalgamelor este de aproape două ori mai mare decât cel al țesuturilor dentare. Diferența de expansiune termică determină apariția de spații fine de-a lungul obturației când amalgamul este răcit.

Rezistența la compresiune depinde de următorii factori: compoziția aliajului Ag-Sn, dimensiunea și forma particulelor, timpul de preparare și condensare.

Rezistența la tracțiune este mult mai redusă decât rezistența la compresiune.

Fluajul reprezintă consecința proprietăților vâsco-elastice ale amalgamului. La temperatura cavității bucale fluajul este de două ori mai rapid decât la temperatura ambiantă. Valorile fluajului nu trebuie să depășească 3%.

*Amalgamele sunt materiale bune conducătoare de căldură.*

*Defectele prin lipsă de substanță în masa obturației se pot manifesta sub diferite forme: bule, pori la suprafața obturației, micropori în masa obturației.*

*Prepararea amalgamelor are drept rezultat eliminarea filonului de oxid care se găsește la suprafața aliajului, permițând astfel mercurului să reacționeze cu particulele de aliaj. Prepararea se execută manual, clasic, cu ajutorul mojarului și pistilului. Proporțiile corecte de aliaj și mercur sunt așezate în mojar, ulterior se antrenează pistilul într-o mișcare de rotație până la obținerea unui amalgam neted și omogen. Amalgamatoarele mecanice simplifică mult procesul de preparare, aliajul și mercurul găsindu-se în capsule predozate.*

*Inserția amalgamului în cavitate se face cu ajutorul port-amalgamelor care se prezintă fie sub forma unor instrumente cu o extremitate prevăzută cu striații care asigură aderența amalgamului, fie sub forma unor seringi-pistoale a căror utilizare este mai comodă.*

*Condensarea asigură adaptarea completă a amalgamului la pereții cavității și controlul asupra proporției de mercur. Se condensează porțiuni mici și cu mișcări cât mai energice. Condensarea se realizează fie manual, fie mecanic. Instrumentele folosite la condensarea manuală se numesc fuloare și au forme și dimensiuni variate. În general se admite un fuloar cu o suprafață circulară activă de 2 până la 3 mm diametru. Este important ca amalgamul să fie condensat imediat după preparare, între cele două operații netrebuind să fie un timp mai mare de 3 minute.*

***Amalcapul** este tot un amalgam al mercurului cu alte metale. De obicei are în componența sa Ag, Sn și o cantitate mai mare de Cu, care îi conferă o rezistență anticorozivă. Este un aliaj ternar. Denumirea provine de la faptul că se prezintă în capsule predozate în care se află cantitatea de pulbere și mercur necesare unei probe. Prepararea acestui amestec se face în mod deosebit, prin utilizarea unui vibrator de tip SILAMAT VIVADENT ce realizează vibrarea timp de 5 minute și funcționează la următorii parametri: tensiunea de 220V, frecvența de aproximativ 50 kHz și puterea de 110W. În ceea ce privește compoziția elementară a amalgamului, forma sub care se poate prezenta, timpul de priză, prepararea și condensarea materialului, acestea se regăsesc în prezentarea amalgamului de argint, amalcapul fiind un constituent al acestuia. Referiri despre celelalte materiale dentare se regăsesc în [22].*

#### **□ Sisteme experimentale folosite**

*În vederea obținerii preparării și condensării prin activare cu ultrasunete a materialelor pentru obturațiile dentare, au fost concepute sisteme experimentale în concordanță cu cerințele impuse de acest domeniu de cercetare și adaptate corespunzător procedurii neconvențional aplicat.*

*Cercetările experimentale realizate s-au desfășurat în cadrul laboratorului de Tehnologii Neconvenționale al Facultății de Mecanică. Ele au urmărit realizarea procedurilor de preparare și condensare a materialelor dentare prin activarea cu ultrasunete a acestor medii vâsco-elastice, studiindu-se ulterior comportarea la uzură și forfecare a probelor obținute. Cele două operații s-au realizat cu ajutorul instrumentelor utilizate curent în cabinetele stomatologice, însă adaptate corespunzător procedurii neconvențional aplicat.*

În funcție de tipul materialului de preparat s-au realizat și utilizat diferite sisteme experimentale. Astfel, la prepararea silicatului s-a utilizat sistemul experimental prezentat în figura 4.23 a alcătuit dintr-un generator de ultrasunete (5) în legătură cu transductorul din ferită (3) de care s-a fixat prin lipire o placă de sticlă (1) pe suprafața căreia s-a realizat prepararea. Pentru amestecarea manuală s-a folosit o spatulă.

În cazul amalgamelor, pentru preparare s-a utilizat un mojar confecționat din oțel inoxidabil, fixat la rândul său pe un transductor din ferită prin intermediul unui adeziv (figura 4.23 b și fotografia din figura 4.24).

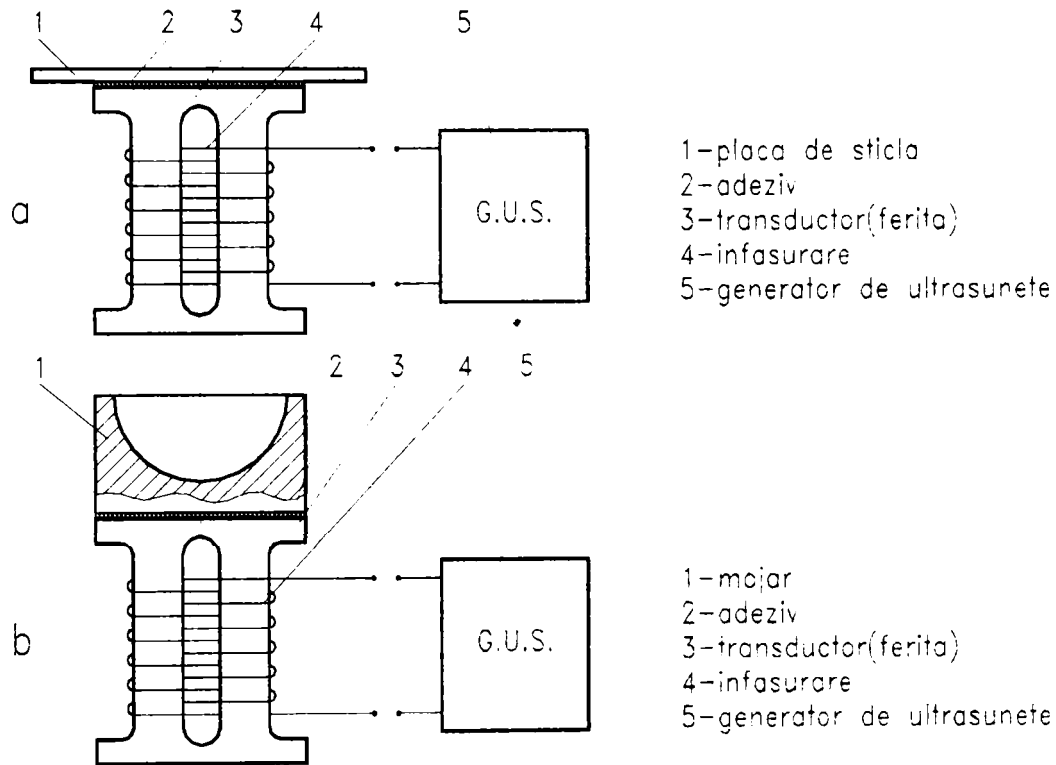


Fig.4.23

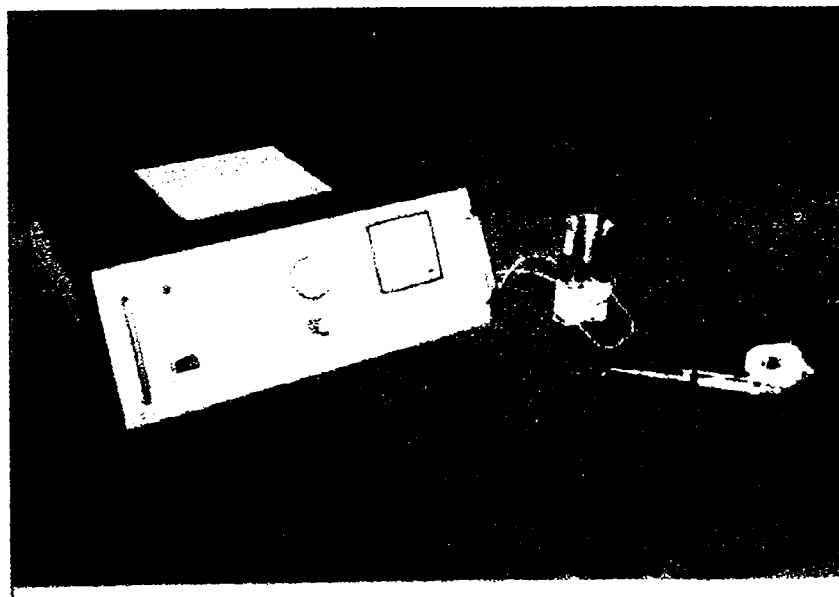


Fig.4.24



Pentru amestecarea componentelor amalgamului s-a utilizat un pistil de sticlă, folosit frecvent în stomatologie.

La prepararea normală, în cazul silicaturii componentele au fost așezate pe placa de sticlă și amestecate manual cu ajutorul spatulei, iar în cazul amalgamului componentele au fost introduse în mojar și apoi amestecate manual cu ajutorul pistilului până la o omogenizare completă.

La prepararea neconvențională, în cazul ambelor materiale s-a efectuat inițial o amestecare manuală, după care s-au conectat spirele transductorului la generatorul de ultrasunete, definitivându-se omogenizarea. Această amestecare manuală prealabilă a fost necesară deoarece, în primul rând, s-a urmărit activarea mediilor păstoase, ori în faza inițială componentele au fost complet separate, iar în al doilea rând, prin activarea inițială a celor două componente, acestea au rămas separate, fiind imposibilă omogenizarea lor.

După preparare s-a trecut la condensare, obținându-se probele ce ulterior au fost supuse încercărilor la uzură și forfecare. Pentru această operație cavitatea dentară a fost materializată printr-un orificiu practicat într-un material metalic. S-a urmărit ca dimensiunile acestui orificiu să fie cât mai apropiate de dimensiunile reale ale cavității dentare pentru a putea simula introducerea probelor.

Pentru fiecare procedeu de prelucrare și condensare s-au realizat două seturi de probe, primul utilizat pentru încercările de rezistență la uzură, iar al doilea pentru încercările de rezistență la forfecare. Pentru obținerea probelor încercate ulterior la uzură s-a utilizat dispozitivul din figura 4.25 care constă dintr-o plăcuță metalică de dimensiuni 5x20x50mm în care au fost practicate patru orificii identice cu diametrul de 3 mm, pentru a satisface necesarul de combinații între tipurile de preparări și condensări realizate. Aceste patru variante sunt: prepararea normală și condensare normală (PN-CN); preparare normală și condensare activată (PN+CA); preparare activată și condensare normală (PA-CN); preparare și condensare activate (PA+CA).

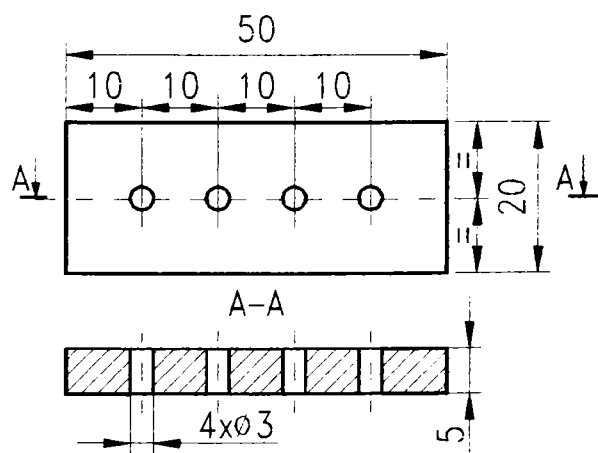


Fig.4.25

Pentru realizarea probelor încercate ulterior la forfecare s-a utilizat dispozitivul special executat prezentat în figura 4.26. Dispozitivul este format din două plăci ce pot fi fixate una peste cealaltă prin strângere cu ajutorul unui mecanism șurub - piuliță (1) și (9) și al unui arc (8). Placa inferioară (2) este simplă, având practicat central doar orificiul de trecere a șurubului, iar placa superioară (5) mai are practicate patru orificii identice de diametru 6mm. Între cele două plăci se vor fixa 8 plăcuțe identice (6) de dimensiuni 2,5 x 10 x 25 mm

(fig.4.27), fiecare din aceste plăcuțe fiind prevăzută cu câte două orificii, unul cu diametru de 3,2 mm în care se introduce material pentru realizarea probei și unul cu diametrul de 3 mm ce servește la fixarea plăcuțelor în dispozitivul pentru încercarea rezistenței la forfecare.

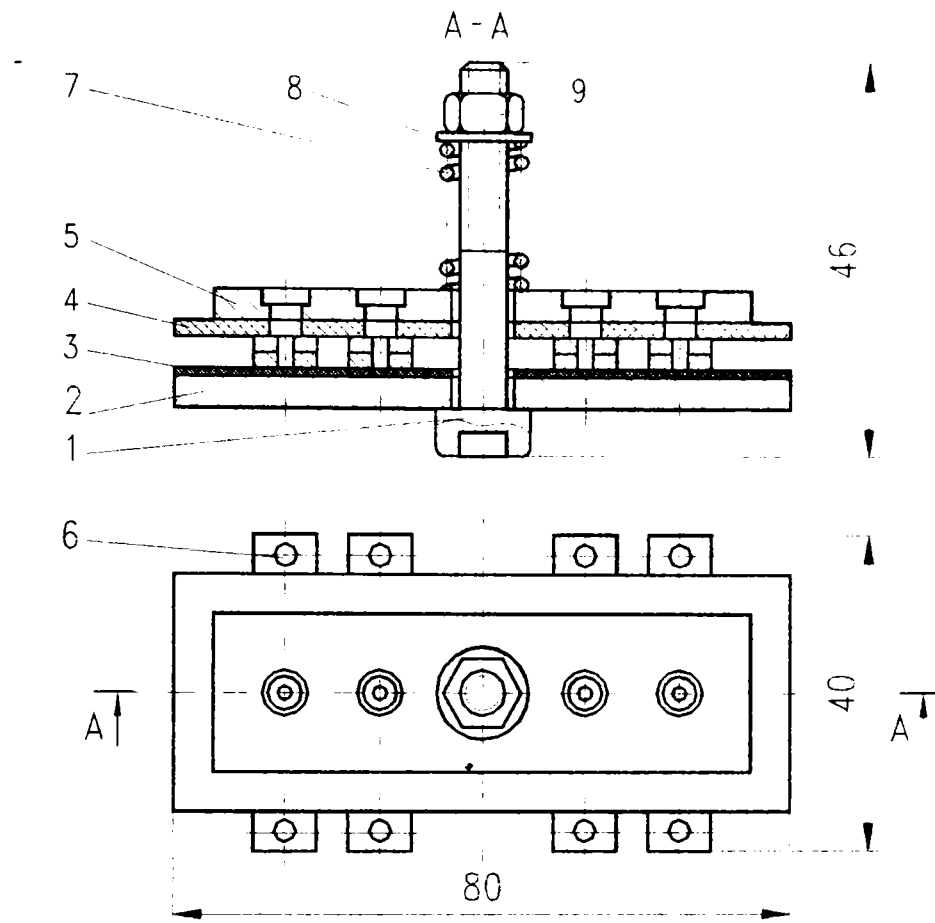


Fig.4.26

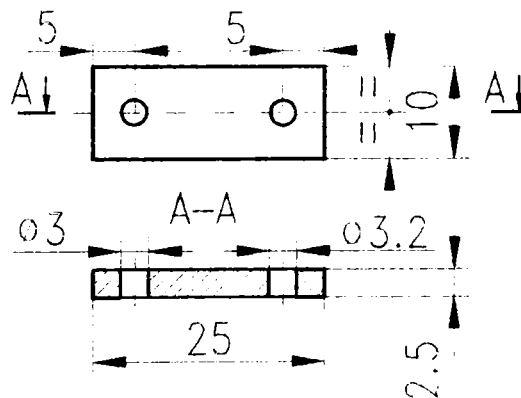


Fig.4.27

Cele 8 plăcuțe se suprapun două câte două, rezultând un orificiu comun cu diametrul de 3,2 mm și înălțimea de 5 mm și se introduc în dispozitiv astfel încât orificiile lor să corespundă cu cele din placa superioară a acestuia. Între cele 8 plăcuțe și plăcile superioare și inferioare se intercalează un suport de cauciuc (4) respectiv carton (3) prevăzute la rândul lor cu orificii de trecere coaxiale cu ale plăcuțelor cu scopul de a înlesni extragerea probelor din dispozitiv și de a împiedica aderența acestora la suprafața metalică cu care vin în contact.

Pornind de la sistemele experimentale utilizate în cadrul cercetărilor s-a realizat o instalație care să permită atât prepararea cât și condensarea, activate, a materialelor dentare (fig.4.28).



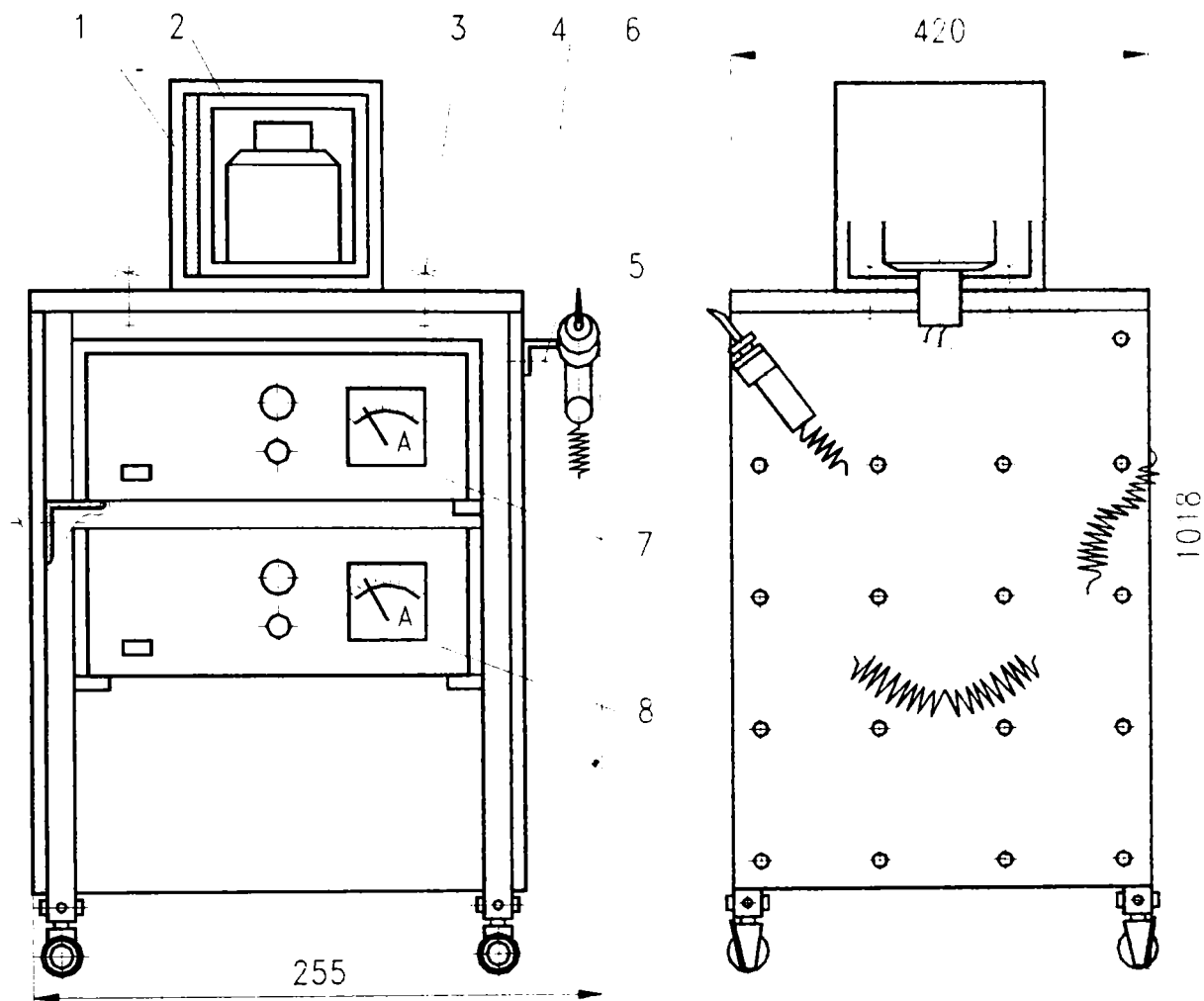


Fig. 4.28

Având în vedere condițiile de lucru din cabinetul stomatologic, unde prepararea este realizată de către asistent, iar condensarea de către medicul stomatolog, instalația va fi amplasată pe o masă prevăzută cu roțile, pentru a putea fi deplasată după necesități. Masa este realizată din cornier și plăci de lemn. Instalația dispune de două generatoare de ultrasunete (7) și (8), unul folosit la prepararea activată și celălalt la condensarea activată, pentru a evita apariția timpului suplimentar necesar decuplării de la generator a unei scule și cuplării la același generator a celeilalte scule. Generatoarele sunt așezate pe suporturi cornier prinse de părțile laterale ale mesei cu șuruburi și piulițe.

Pe placa superioară a mesei, prin intermediul a 8 șuruburi cu cap înecat (3) este fixată incinta (1) în care se realizează prepararea, cu rol de protecție fonică. Incinta este confecționată din lemn, are formă paralelipipedică și este prevăzută cu o ușă (2) pentru accesul în spațiul de lucru. Lateral, în dreapta mesei, este montat suportul (4) pentru susținerea sculei de condensat (5), fixat în poziție înclinată prin intermediul unui șurub (6) cu cap hexagonal M6 și a unei piulițe.

Forma, dimensiunile și componenta sculei utilizată la prepararea activată, în cele două variante, este redată în figurile 4.29 și 4.30. Pe transductorul din ferită (5) al acestor scule este realizată înfășurarea de alimentare (6) ale cărei capete sunt aduse la generatorul de ultrasunete printr-un orificiu al capacului inferior. Transductorul se află închis într-o carcasă de Al (3). În zonele de contact carcasă - transductor și capac - transductor sunt

intercalate elemente elastice (4,7) pentru a evita transmiterea diminuată a undelor ultrasonice. Fixarea capacului (8) de carcasă se face cu patru șuruburi cu cap înecat M4 (9). În capac se montează o priză (10) pentru introducerea, în timpul preparării, a ștecherului de alimentare.

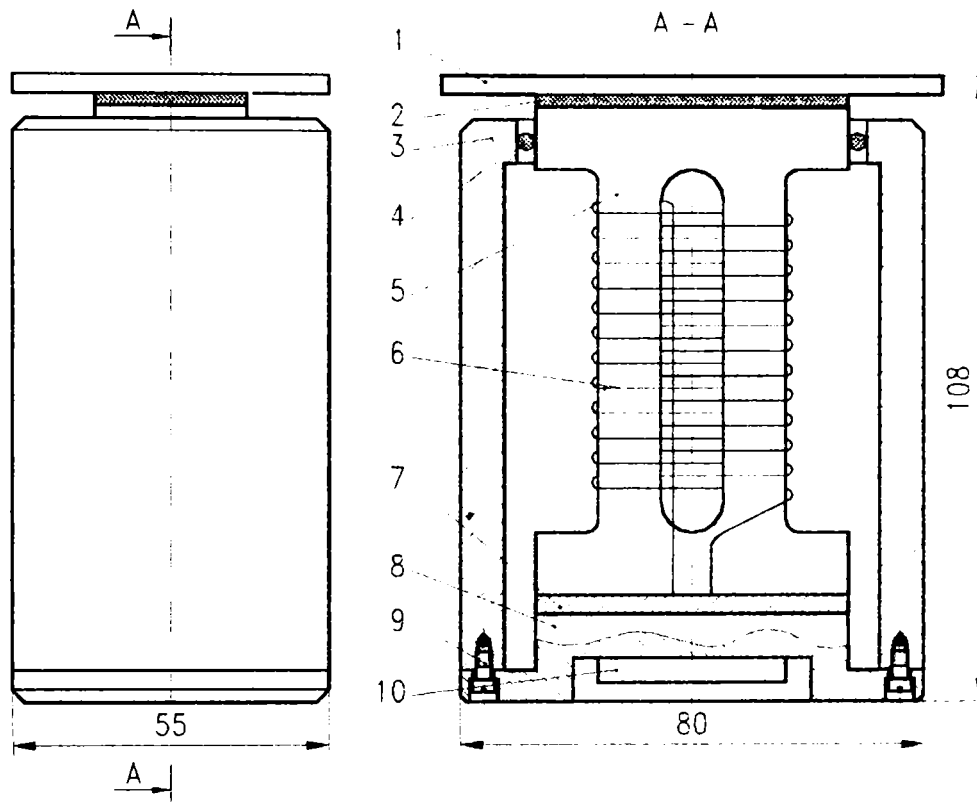


Fig. 4.29

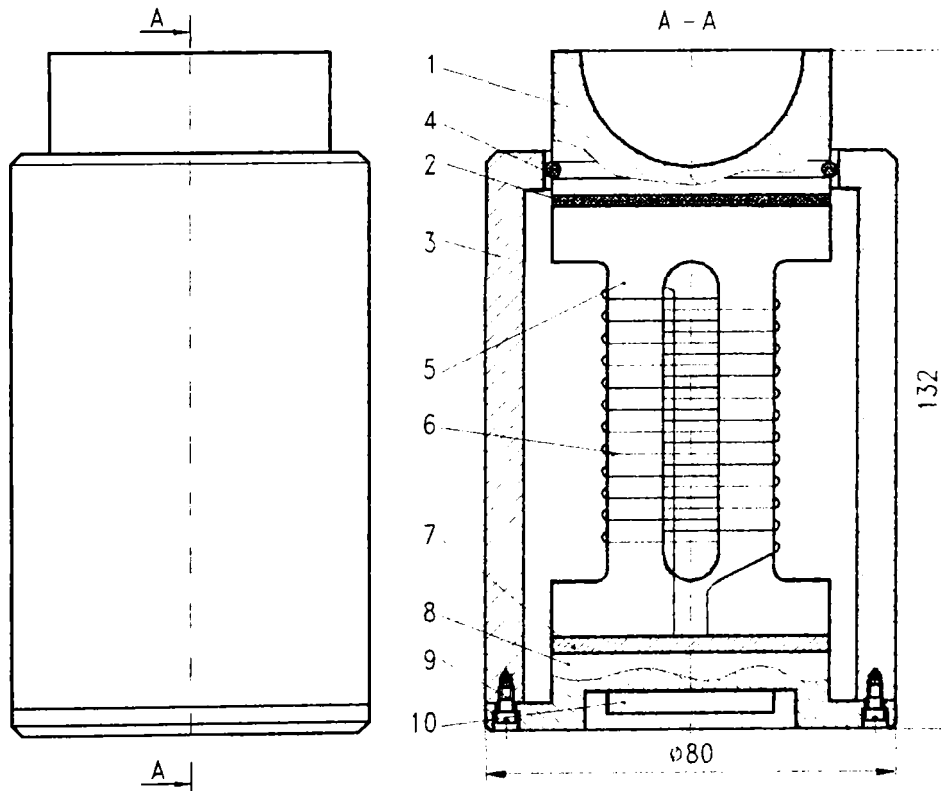


Fig. 4.30

Scula utilizată la condensarea activată este redată în figura 4.31. Partea activă (fularul 1) este montată prin înșurubare în suportul (2). Prin intermediul acestuia se transmit părții active undele ultrasonice. Suportul este fixat de transductorul din Ni (7) prin lipire cu un adeziv special. Pe transductor se realizează înfășurarea (8) ale cărei capete sunt legate la cordonul de alimentare. Din aceleași considerente prezentate anterior între suport și transductor, precum și între transductor și carcasa (5) în care este închis acesta se intercalează elemente elastice (4,9).

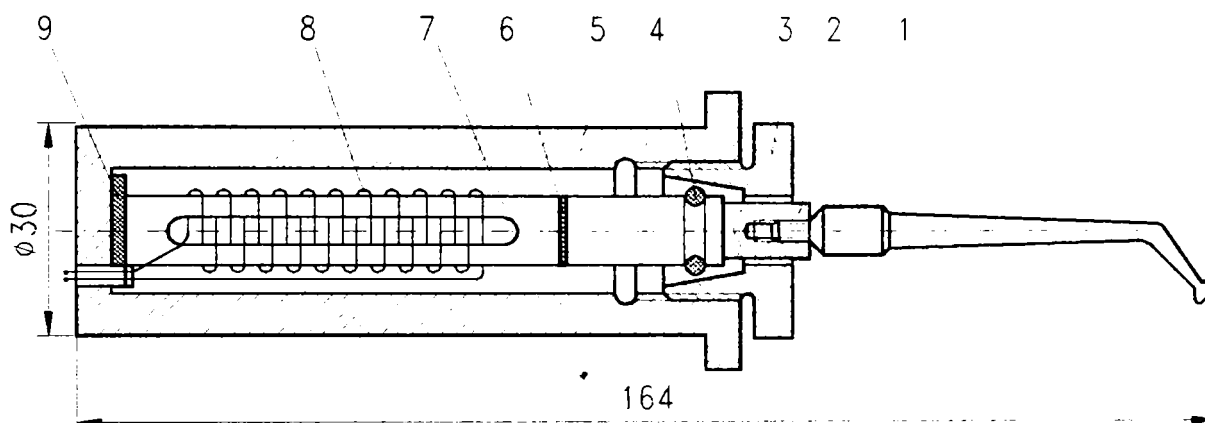


Fig.4.31

Funcționarea instalației este simplă. În prima fază se așează (introduc) pe (în) scula pentru preparare componentele necesare. Se realizează o amestecare manuală până la încorporarea pulberii respectiv piliturii în lichid, respectiv mercur. Scula pentru preparare, cu amestecul realizat, se introduce în incinta de lucru, se închide ușa acestuia și se cuplează generatorul de ultrasunete corespunzător.

După omogenizarea completă se deschide ușa, se scoate scula pentru preparare și din amestec, cu scule adecvate, se introduce în cantitatea necesară în cavitatea dentară. Se cuplează scula pentru condensare la generatorul de ultrasunete și se realizează condensarea activată. După terminarea operației scula este așezată în suportul său.

#### □ Metodologia utilizată în cercetările experimentale

După cum s-a precizat în subcapitolele anterioare, activitatea de cercetare experimentală s-a axat pe studiul comportării la uzură și forfecare a unor probe realizate din materiale dentare vâsco-elastice uzuale prin activare cu ultrasunete. Ca materiale s-au utilizat silicatul din grupa cimenturilor silicat și amalgam de argint (Ag Hg), amalgam NON GAMMA 2, amalcap din grupa amalgamelor.

După alegerea materialelor s-a trecut la realizarea efectivă a probelor. Despre proporția de participare a componentelor la amestec, precum și despre componența lor, s-a vorbit în subcapitolul 4.3.2.

Probele realizate diferă una de cealaltă în primul rând din punct de vedere al materialului ce le constituie și în al doilea rând din punct de vedere al procedurii utilizat pentru prepararea, respectiv condensarea materialelor. S-a utilizat atât procedeul

convențional (manual) cât și cel neconvențional (activat). Astfel, combinând aceste procedee, s-au obținut patru moduri de realizare a probelor, după cum urmează:

- preparare normală și condensare normală (PN · CN) ;
- preparare normală și condensare activată (PN · CA) ;
- preparare activată și condensare normală (PA · CN) ;
- preparare activată și condensare activată (PA · CA).

Se menționează că notațiile din paranteze vor fi utilizate în continuare în reprezentările grafice.

Deoarece în cercetările experimentale operatorul are o influență importantă asupra rezultatelor obținute, s-a urmărit ca prepararea și condensarea probelor să fie făcută de unul și același operator, acesta fiind medicul stomatolog implicat în aceste cercetări. Încercările de rezistență la uzură și forfecare au fost de asemenea realizate de un singur operator.

S-au realizat câte opt probe din fiecare material, patru dintre ele au fost supuse încercărilor de rezistență la uzură, iar celelalte patru încercărilor de rezistență la forfecare.

Inițial, probele de silicat au fost realizate fără o cântărire prealabilă, dozarea componentelor făcându-se după experiența medicului stomatolog. În urma rezultatelor obținute s-a ajuns la concluzia că este necesară o cântărire prealabilă a componentelor utilizate, respectând proporțiile componentelor indicate în prospecte, pentru a obține materiale dentare cât mai apropiate de cele optime. Cântărirea s-a realizat cu ajutorul unei balanțe analitice cu valoarea diviziunii de 0,1mg.

Atât prepararea cât și condensarea au fost cronometrate ca durată de realizare. La prepararea sau condensarea normală, s-a înregistrat un singur timp, pe când la prepararea sau condensarea activate s-au înregistrat câte doi timpi și anume: cel prealabil de realizare manuală și cel de realizare activată. Datele culese au fost înregistrate în tabele, iar apoi prelucrate, finalizându-se prin reprezentări grafice. Ca element de constanță în aceste tabele s-a trecut diametrul orificiilor în care s-au condensat probele ( $d = 3 \text{ mm}$  în cazul probelor utilizate pentru încercările la uzură,  $d = 3,2 \text{ mm}$  pentru probele încercate la forfecare).

După cântărirea componentelor s-a trecut la realizarea probelor după metoda prezentată anterior. Din cantitatea cântărită s-a realizat o preparare normală, înregistrând timpul efectiv. Cu materialul astfel obținut s-a efectuat condensarea manuală și condensarea activată pentru fiecare din cele două seturi de probe. S-a realizat o nouă preparare, de această dată activată, după care s-a trecut la condensarea manuală și activată a celor două seturi de probe. După solidificarea probelor astfel realizate s-a trecut la efectuarea încercărilor.

#### ❖ **Încercarea de rezistență la uzură**

Prima etapă a fost extragerea probelor din orificiile în care au fost condensate. Pentru a asigura o extragere mai ușoară, evitând totodată distrugerea probelor, orificiile au fost prevăzute, prin prelucrare, cu o ușoară conicitate. Proba a fost supusă încercărilor la uzură cu extremitatea în care s-a realizat condensarea.

După extragere, proba s-a introdus într-o bucsă specială (1) din capul dispozitivului conceput pentru realizarea încercărilor de rezistență la uzură, fixându-se apoi prin intermediul unui știft (8) astfel încât să rămână în afară un capăt liber suficient pentru

efectuarea a șase încercări (trei încercări în condiții de presiune de apăsare medie constantă și număr de curse duble variabil, trei încercări cu număr de curse duble constant și presiune variabilă).

În cazul tuturor probelor, după montarea în bușă s-a făcut o pregătire inițială a suprafeței active în vederea asigurării unei stabilități a valorii acestei suprafețe supusă uzurii (obținerea unei secțiuni transversale aproximativ constante și a unei planeități a suprafeței active).

Dispozitivul conceput, realizat și utilizat în cadrul încercărilor de rezistență la uzură are forma constructivă și componenta redată în figura 4.32. În orificiul cilindric al corpului (2) se introduce un arc (3) și bușă (1). Arcul se sprijină în partea inferioară pe capul șurubului (4) filetat în bușă, iar în partea superioară pe suprafața frontală a șurubului de reglare (5). Acest șurub este prevăzut cu un indicator (6) prin care se ține evidența numărului de rotații realizate de șurub în vederea avansării sale (realizarea tensionării corespunzătoare). Pentru controlul forței de apăsare, și implicit, a presiunii de contact exercitate s-a convenit ca la o rotație completă a șurubului să corespundă o deplasare de 1,75 mm. În partea inferioară, corpul este prevăzut cu un guler prin intermediul căruia se sprijină pe placa de ghidare (7) a suportului de bază al dispozitivului. Această sprijinire este necesară pentru a menține constantă valoarea săgeții arcului și deci pentru a asigura aceeași forță de apăsare în cadrul unei încercări.

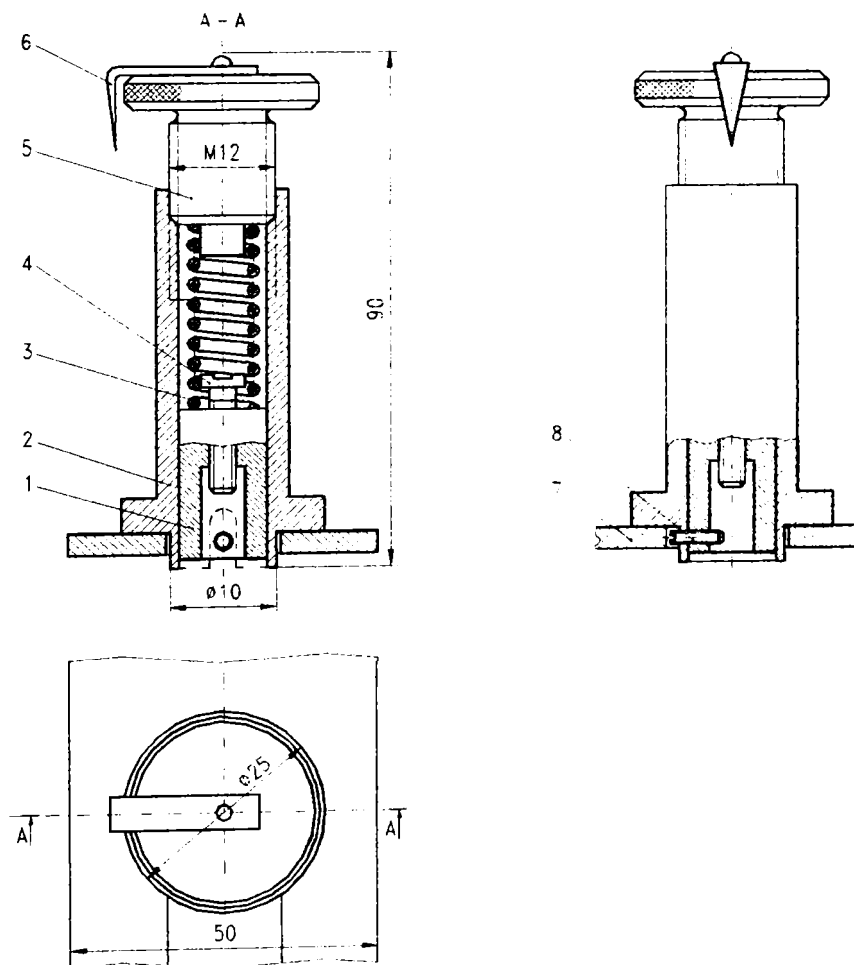


Fig. 4.32

Uzarea efectivă a probelor s-a realizat (fig.4.33) prin tocirea lor pe o hârtie abrazivă (2) cu granulația de  $200\ \mu\text{m}$ , fixată între placa de ghidare (3) și suportul de bază al dispozitivului (1). În placa de ghidare a fost practicat un canal a cărui lățime este corelată cu diametrul părții inferioare a corpului dispozitivului, iar lungimea corespunde lungimii de cursă de 82mm.

Imobilizarea plăcii de ghidare și deci, fixarea hârtiei abrazive între aceasta și suportul de bază s-a realizat cu un șurub (5) și șaibă Grower (4).

Dispozitivele descrise mai sus se regăsesc și în fotografia din figura 4.34.

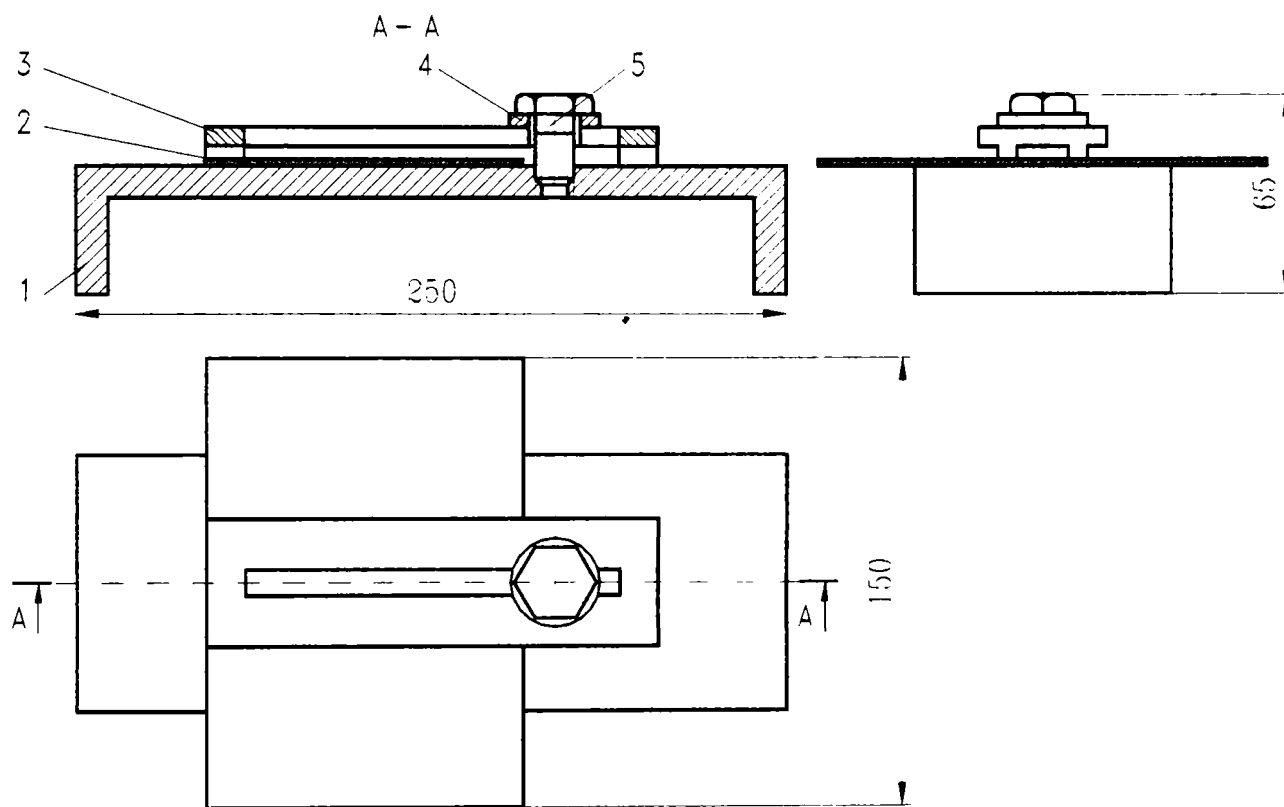


Fig.4.33



Fig.4.34



a. În cadrul încercărilor de rezistență la uzură în condiții de **presiune medie constantă și număr de curse duble variabil** s-a procedat astfel:

Proba împreună cu bucșa s-au cântărit cu balanța analitică, reținându-se această valoare ca masă inițială, apoi s-au introdus și fixat în dispozitiv. S-a stabilit o tensionare a arcului cu săgeată de 7 mm, efectuându-se pentru aceasta patru rotații complete (stabilite cu ajutorul indicatorului) ale șurubului echivalând cu o forță de apăsare de 5N. S-a trecut la uzura probei prin frecarea ei pe suprafața hârtiei abrazive, realizându-se patru curse duble echivalente unui drum total de 656 mm. S-au extras bucșa cu proba și prin cântărire s-a determinat masa finală, din care s-a scăzut masa inițială, obținându-se variația  $\Delta m$  de masă și implicit uzura probei analizate. S-a procedat analog la stabilirea uzurii celorlalte probe, modificând succesiv fie numărul de curse duble efectuate (6 respectiv 10), fie presiunea exercitată asupra probelor.

Pentru a calcula presiunea cunoscând forța dezvoltată de arc, s-a împărțit această forță la suprafața activă efectivă a probei evaluată după fiecare încercare. Pentru a aprecia cât mai exact această suprafață s-a măsurat diametrul inițial (2 valori măsurate pe două direcții perpendiculare) și cel final (analog celui inițial) stabilindu-se un diametru mediu.

$$d_m = \frac{d_{i1} + d_{i2} + d_{f1} + d_{f2}}{4} \quad [\text{mm}] \quad (4.1)$$

Acest diametru mediu intră în calculul suprafeței active:

$$S_a = \frac{\pi d_m^2}{4} \quad [\text{mm}^2] \quad (4.2)$$

Cunoscând suprafața și forța de apăsare se poate calcula presiunea:

$$p = \frac{F}{S_a} \quad [\text{N mm}^2] \quad (4.3)$$

Masa finală rezultată după o încercare devine masă inițială pentru următoarea încercare, analog pentru diametrele probelor.

b. În cazul încercărilor de rezistență la uzură în condiții de **număr de curse duble constant și presiune variabilă** se procedează analog, cu diferența că se efectuează același număr de curse duble  $N_{cd} = 10$  pentru toate probele, iar presiunea variază corespunzător unor forțe de apăsare de 4,5 și 7,2 N (echivalent cu realizarea succesivă a 3,5 respectiv 6 rotații ale șurubului de reglare).

Încercările s-au realizat în același mod atât pentru silicat cât și pentru amalgam, tabelele fiind întocmite pe tipuri de materiale.

#### ❖ Încercarea de rezistență la forfecare

După solidificarea probelor prelucrate prin procedee convenționale și neconvenționale, s-au extras din dispozitivul special descris mai sus (fig.4.26), cele 8 plăcuțe prinse două câte două prin intermediul probelor. Fiecare pereche de plăcuțe s-a fixat pe rând pe masa unui dinamometru anterior etalonat (utilizabil până la o valoare a forței de 100 N). Asupra plăcuțelor s-a exercitat o forță de tracțiune realizată prin deplasarea mesei transversale a dispozitivului. Dispozitivul fiind legat la o punte tensometrică, în momentul în care a avut loc ruperea probei, aceasta cedând la forfecare, s-au citit diviziunile înregistrate pe scala punții.

Din curba de etalonare s-a extras valoarea forței corespunzător căreia proba s-a rupt prin forfecare. Aceste valori au fost înregistrate într-un tabel ce mai cuprinde tipul de realizare a probelor și diametrul acestora ( $d = ct = 3,2 \text{ mm}$ ).

Dispozitivul utilizat pentru încercări, redat schematic în figura 4.35, este alcătuit dintr-un suport de bază (1) prevăzut cu o manetă (M1), pe care se află o sanie transversală (2), și aceasta fiind prevăzută cu o manetă (M2). Deasupra saniei transversale se află o sanie longitudinală (3). Cele două sănii au rolul de a permite o poziționare corespunzătoare a probelor în vederea realizării încercărilor. De suportul de bază este prins un alt suport metalic (6) pe care se află fixat un cadru metalic (4) prevăzut cu un timbru tensometric prin care se realizează legătura dinamometrului cu puntea tensometrică (P.T.).

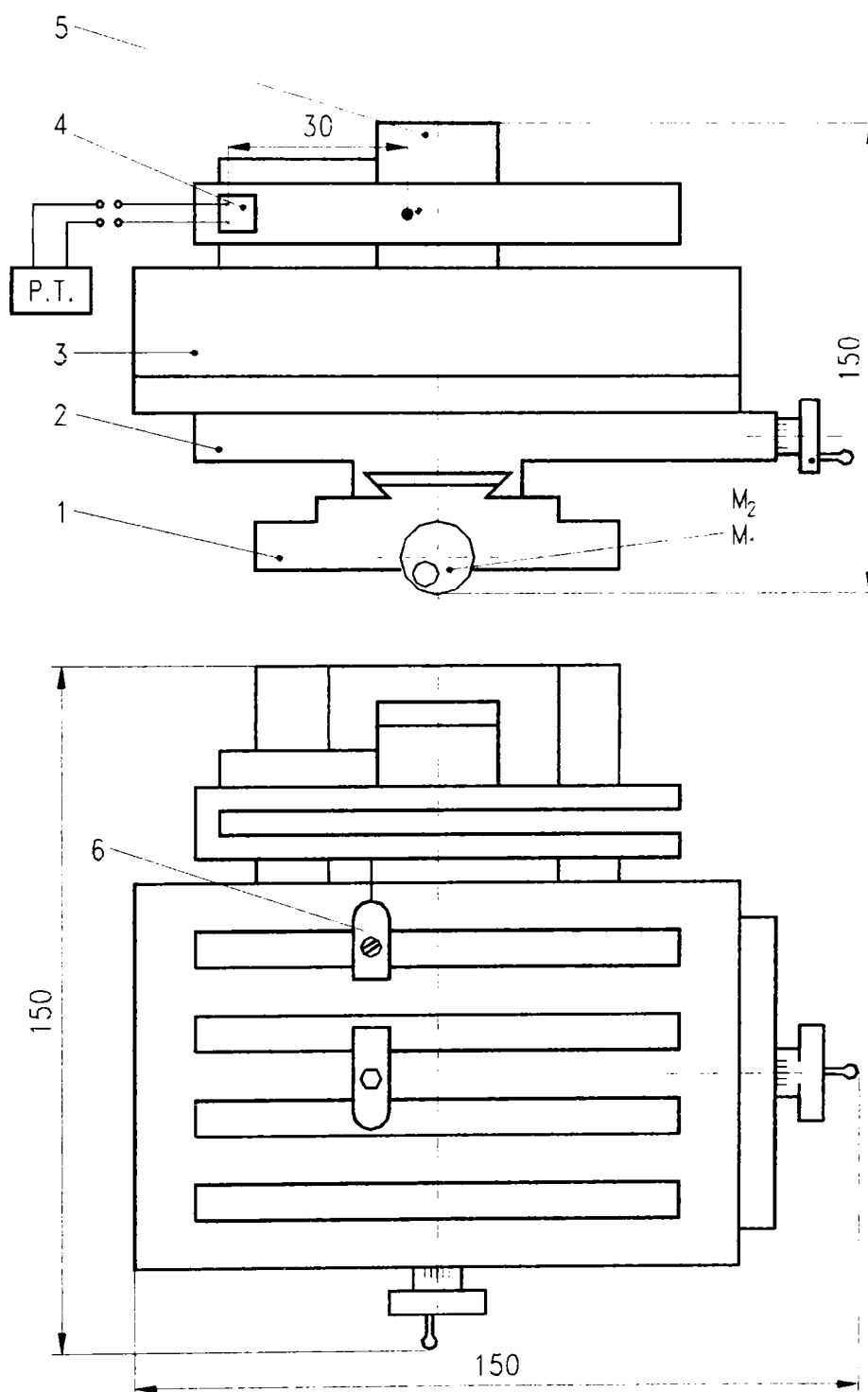


Fig. 4.35

Prinderea plăcuțelor ce conțin probele se realizează cu două perechi de cleme (fig.4.36) între care acestea se fixează prin intermediul șuruburilor. Clemele sunt fixate pe sania longitudinală printr-un șurub special introdus într-unul din canalele T ale saniei.

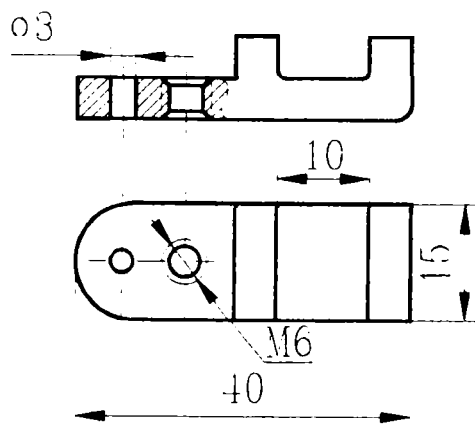


Fig.4.36

În fotografia din figura 4.37 este redat standul experimental.

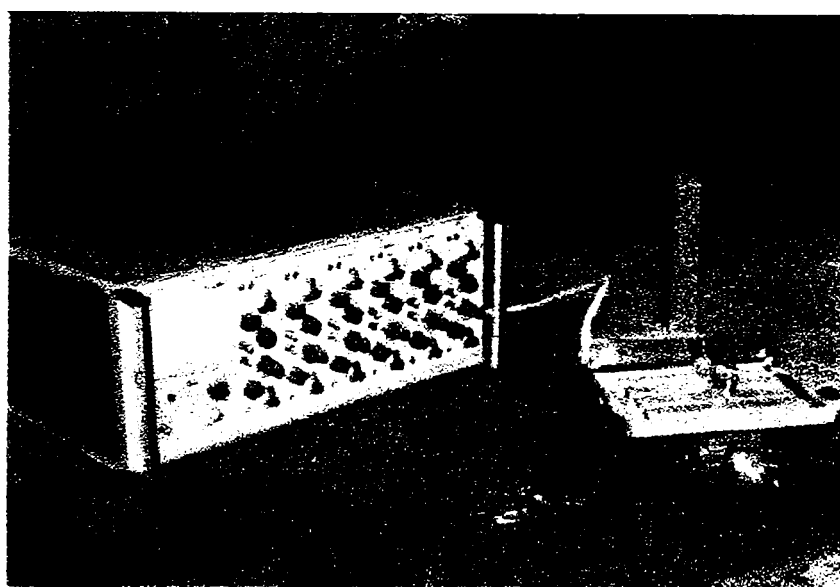


Fig.4.37

- **Prelucrarea rezultatelor cercetărilor experimentale privind activarea cu ultrasunete a operațiilor de omogenizare și condensare a materialelor pentru obturații dentare.**

Cercetările experimentale s-au efectuat parcurgând etapele descrise mai sus, reluate pentru fiecare material în parte, rezultatele obținute fiind înregistrate în tabele întocmite pe tipuri de materiale. Pentru prelucrarea datelor s-a ales metoda grafică.

Pentru fiecare material în parte au fost abordate două posibilități de realizare: activat și neactivat, atât în ce privește prepararea cât și condensarea lor. Combinând aceste procedee, s-au obținut cele patru moduri de realizare a probelor, precizate anterior în cadrul metodologiei utilizate.

Efectele favorabile ale aplicării ultrasunetelor în procedeele de preparare și condensare au fost evidențiate prin evaluarea celor două caracteristici: rezistența la uzură și la forfecare a probelor.

În cadrul încercărilor de rezistență la uzură s-a realizat uzura probelor în două etape:

- în condiții de presiune medie constantă și număr de curse duble variabil ;
- în condiții de număr de curse duble constant și presiune medie variabile.

Probele s-au cântărit înainte și după ce au fost supuse uzurii lor pe suprafața abrazivă, obținându-se în final variațiile masice ( $\Delta m_i$ ) ale acestora, valori ce dau indicații asupra rezistenței la uzură a probelor.

Cercetările experimentale s-au efectuat parcurgând etapele descrise mai sus, reluate pentru fiecare material în parte. Pentru prelucrarea datelor s-a ales metoda grafică. Graficele ridicate sunt cuprinse în două grupe distincte:

- variația masică  $\Delta m$  obținută prin uzura probei funcție de numărul de curse duble realizat în timpul încercării în condiții de presiune medie și lungime de cursă constante;
- variația masică  $\Delta m$  obținută prin uzura probei funcție de presiune, în condiții de număr de curse duble și lungime de cursă constante.

Pentru fiecare material și pentru fiecare mod de realizare a probelor s-au trasat câte două grafice reprezentând cele două dependente amintite. Astfel se disting următoarele cazuri:

**I. Probe realizate din silicat încercate la uzură în condiții de presiune și lungime de cursă constante și număr de curse duble variabil**

Pe baza rezultatelor obținute experimental s-au ridicat patru dependente  $\Delta m = f(Ncd)$  corespunzătoare celor patru moduri de realizare a probelor: PN+CN; PN+CA; PA+CN; PA+CA. Aceste dependente sunt liniare,  $\Delta m$  crescând odată cu creșterea numărului de curse duble.

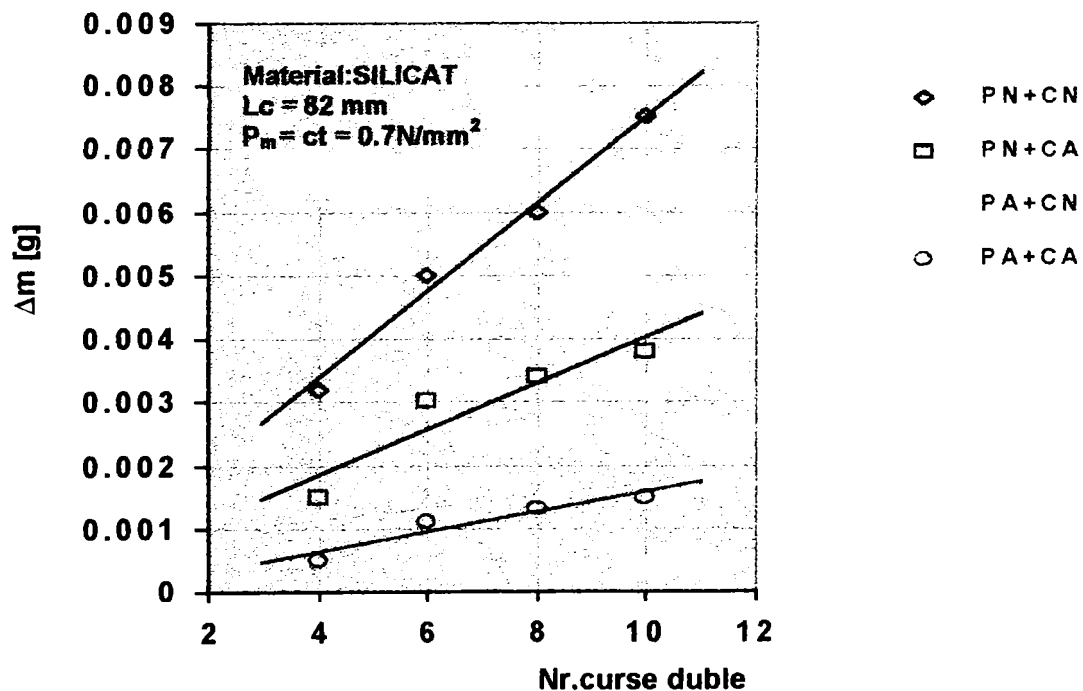


Fig. 4.38

Graficul ridicat în figura 4.38 reprezintă o sinteză și cuprinde patru dependențe obținute. Analizând graficul se pot trage următoarele concluzii:

- în cazul în care cel puțin una din componentele realizării este activată se obține o variație a lui  $\Delta m$  în limite restrânse, deci sporește rezistența la uzură a materialului;
- cea mai mică valoare a lui  $\Delta m$  se obține în cazul PA+CA corespunzător unui număr de curse duble egal cu 4.

Deci prin prepararea și condensarea activate se obține un material cu o rezistență la uzură mult mai ridicată.

## II. Probe realizate din silicat încercate la uzură în condiții de număr de curse duble constant și presiune medie variabilă

Din graficul de sinteză reprezentat în figura 4.39 rezultă aceleași concluzii favorabile ca și în cazul precedent. Deci se poate afirma că este indicată realizarea plombelor dentare din silicat prin procedee activate, ceea ce le conferă o rezistență la uzură mai mare decât în cazul obținerii lor prin procedee convenționale.

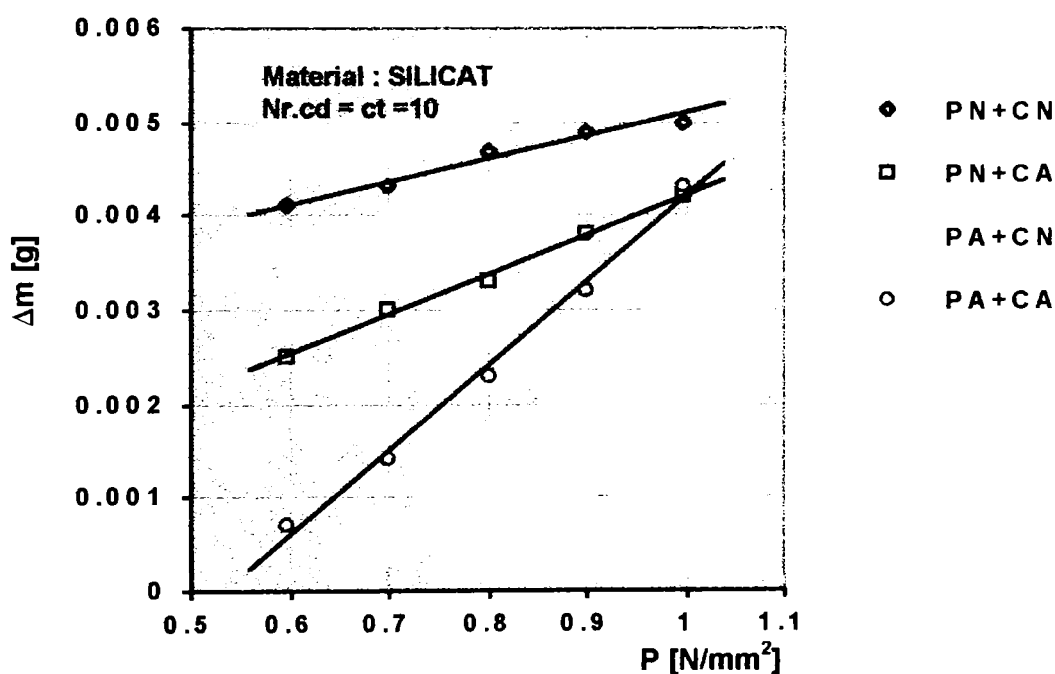


Fig. 4.39

## III. Probe realizate din amalgam (Ag+Hg), încercate la uzură în condiții de presiune și lungime de cursă constante și număr de curse duble variabil

Reprezentarea sintetică a rezultatelor obținute este oglindită în graficul din figura 4.40. Se constată că în cazul realizării unei condensări activate, indiferent dacă prepararea este normală sau activată, rezultatele obținute sunt bune. Deci materialul va dobândi o rezistență la uzură ușor îmbunătățită în cazul preparării sale activate și o rezistență la uzură mult sporită prin condensare activată.

## IV. Probe realizate din amalgam (Ag+Hg), încercate la uzură în condiții de presiune variabilă și număr de curse duble constant

Procedând analog cazurilor anterioare se trasează dependențele din figura 4.41.

Se conturează aceeași concluzie și anume: rezistența la uzură a materialului crește simțitor prin condensarea activată a acestuia.

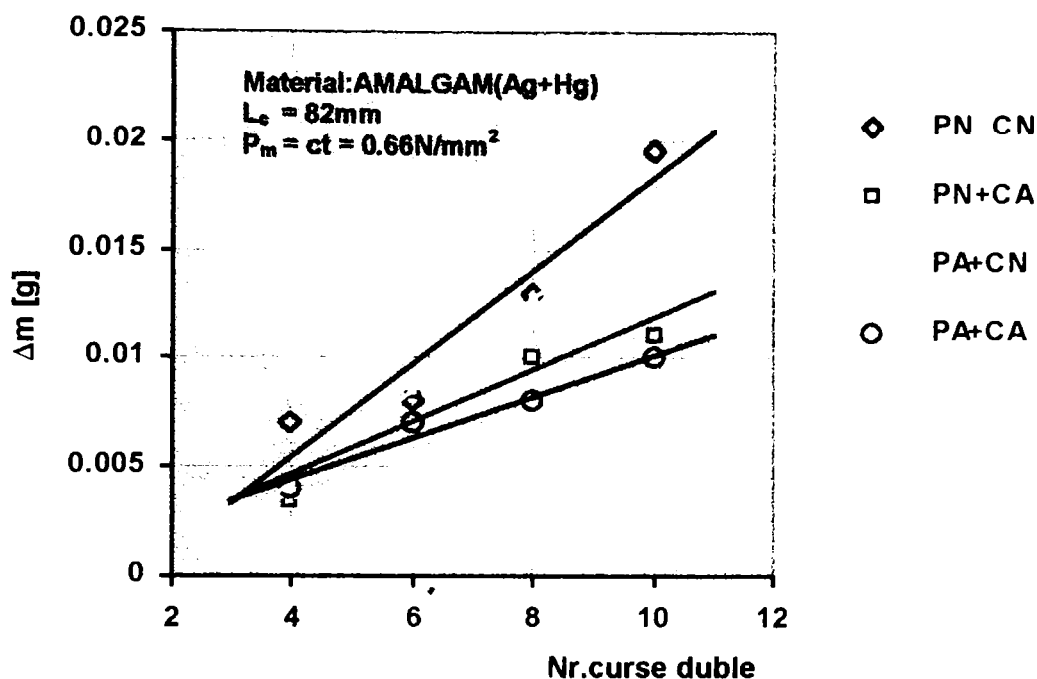


Fig. 4.40

#### V. Probe realizate din AMALCAP.

Analizând cele două grafice de sinteză ilustrate în figurile 4.42 și 4.43, se observă că rezultatele obținute sunt cele dorite, în sensul că se obține o creștere semnificativă a rezistenței la uzură a amalcapului prin aplicarea procedurii neconvențional (preparare și condensare activate).

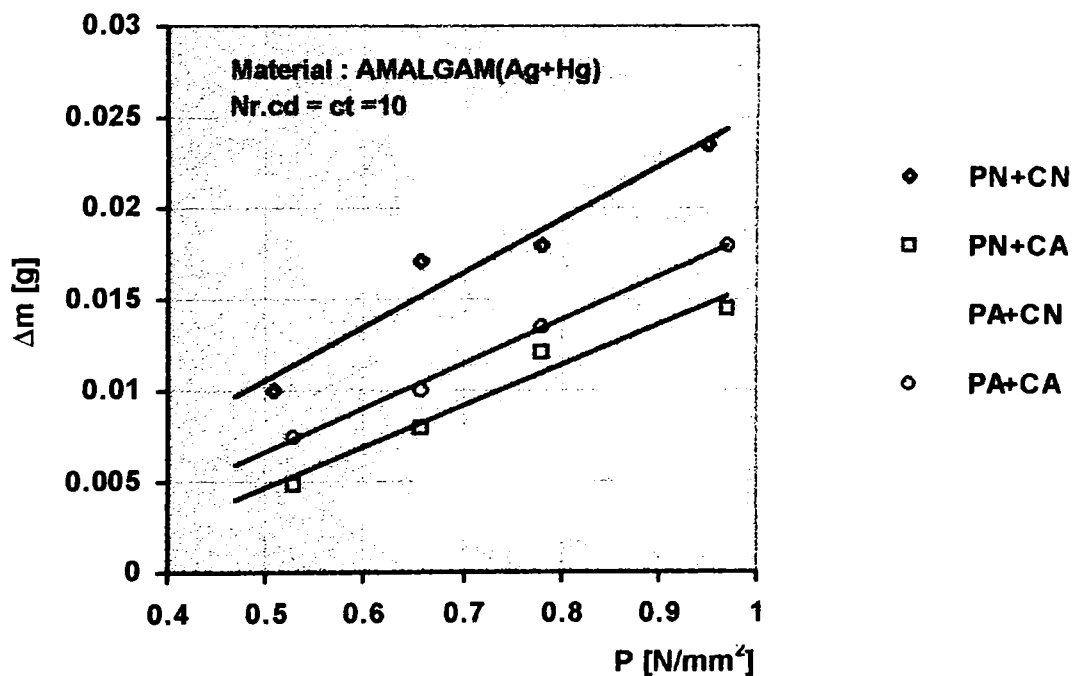


Fig. 4.41



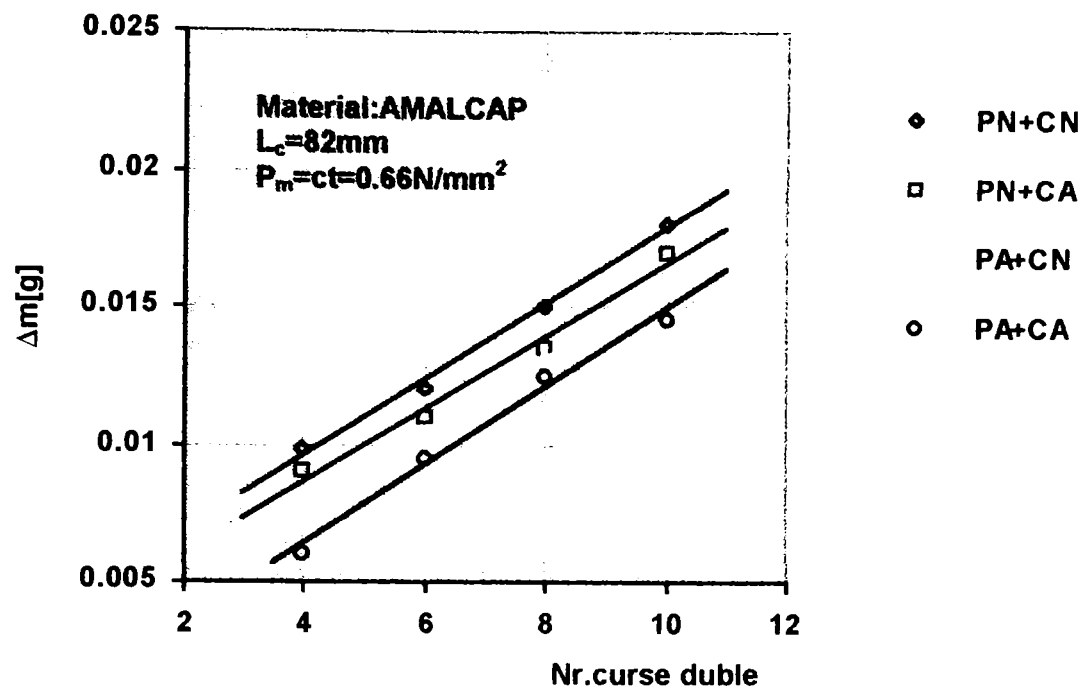


Fig. 4.42

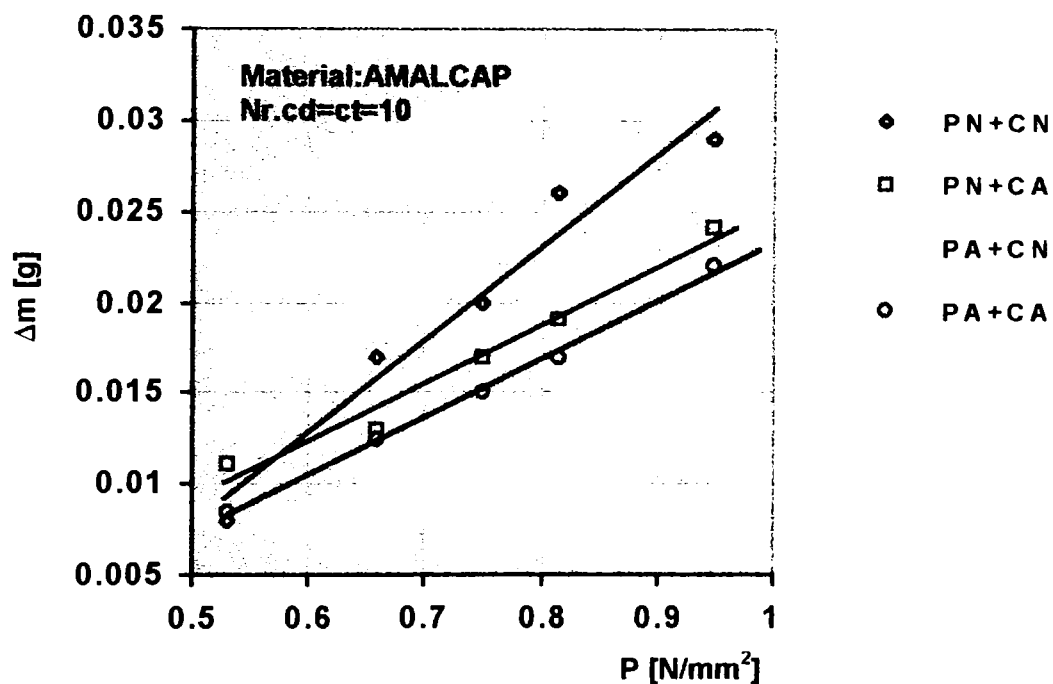


Fig. 4.43

În cazul probelor realizate din amalgam NON GAMMA 2, rezultatele obținute sunt nesatisfăcătoare, rezultând că activarea cu ultrasunete în operațiile de preparare și condensare nu aduce un spor calitativ în utilizarea plombelor dentare confecționate din amalcap.

În cadrul încercărilor de rezistență la forfecare s-a procedat astfel: Probele realizate, după solidificarea completă (24h), s-au montat pe rând în dispozitivul special conceput în acest scop, descris mai sus.

Prin prelucrarea valorilor înregistrate s-au ridicat histograme. S-au trasat două tipuri de histograme:

a.  $F = f(\text{tipul realizării})$ ;

b.  $F = f(\text{material})$ .

a. În cazul silicatului cea mai bună rezistență de forfecare o prezintă proba realizată prin preparare activată și condensare normală.

Dintre probele realizate din amalgam de Ag, doar cele prelucrate prin PN+CN și PA+CA au rezistat încercărilor, celelalte cedând mult prea repede. Din histograma prezentată în figura 4.44, reiese faptul că proba realizată prin prelucrare și condensare activate este mult mai rezistentă la forfecare decât cea realizată prin procedee convenționale.

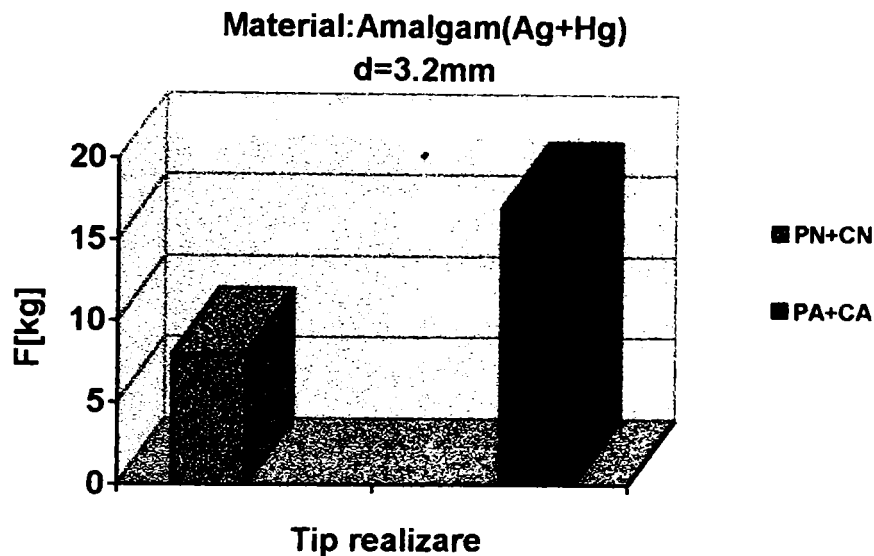


Fig.4.44

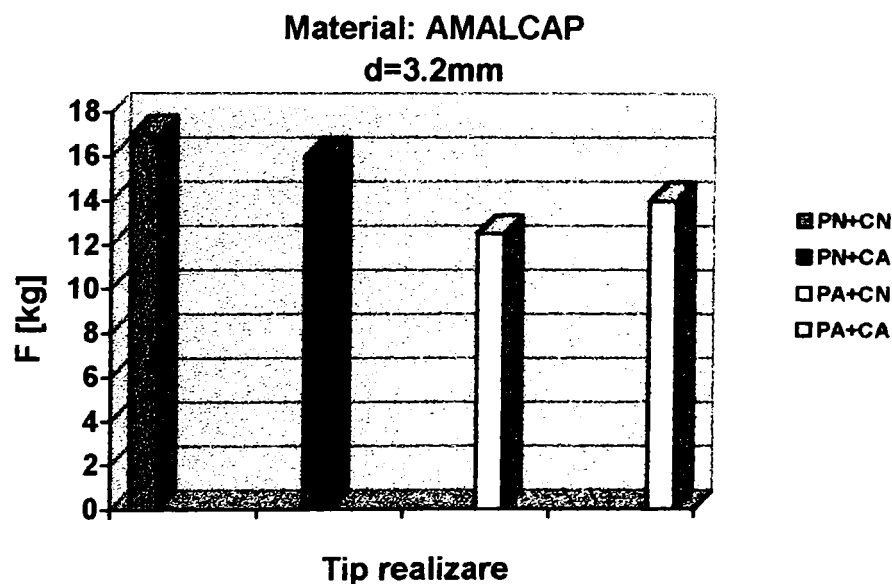


Fig.4.45

În cazul AMALCAP-ului situația se schimbă (fig.4.45). Astfel, se constată că cea mai rezistentă este proba obținută prin procedeele convenționale (PN+CN).

b. În studiul acestei dependențe elementul de constanță este tipul prelucrării. Având în vedere că prelucrarea prin procedeele neconvenționale stă la baza tuturor cercetărilor experimentale efectuate, cazul luat în discuție se referă la acest tip de prelucrare. Astfel s-a ridicat histograma din figura 4.46 ce dă indicații asupra eficienței aplicării activării cu ultrasunete în cazul celor trei materiale analizate.

În concluzie, se recomandă utilizarea plombelor din amalgam (Ag+Hg) realizate prin preparare și condensare activate, acestea prezentând o rezistență ridicată la forfecare.

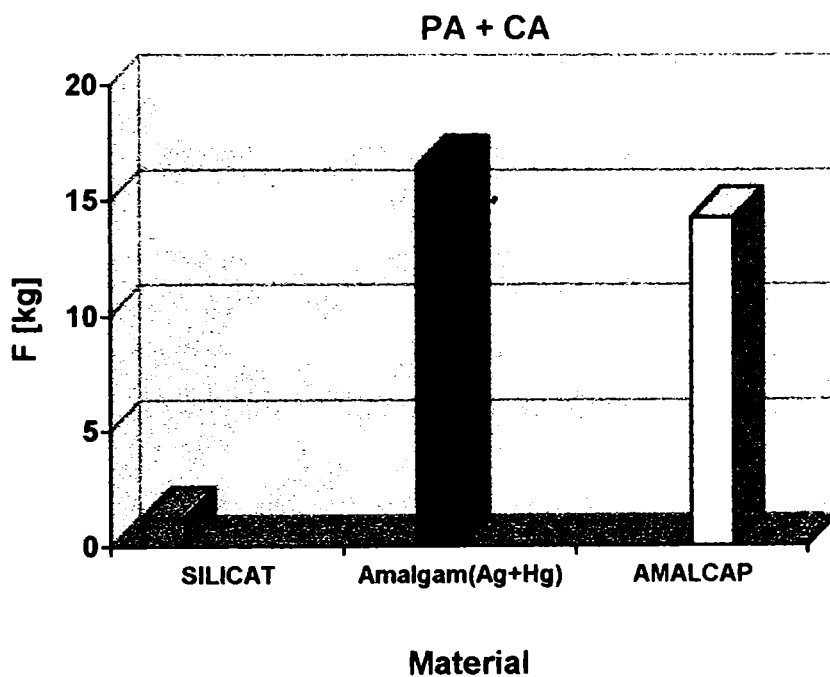


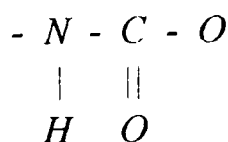
Fig.4.46

#### 4.4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INFLUENȚA TIMPULUI ȘI PUTERII DE ACTIVARE ÎN PROCESUL DE SINTEZĂ AL POLIURETANULUI RIGID

Procesul de formare al poliuretanului prin utilizarea activării cu ultrasunete stă la baza cercetărilor experimentale desfășurate și prezentate în cele ce urmează.

##### □ Considerații generale

Poliuretanii sunt polimeri care conțin în principal în lanțul macromolecular - gruparea metan:



alături de alte tipuri de grupări ca : eter, ester, biuret, alafanat, amine etc. Obținerea poliuretanilor are la bază, în principal, procedeul de poliadiție a cărui bază a fost pusă prin

lucrările lui O.Bayer. Principalele materii prime pentru obținerea poliuretanilor sunt di - și poliizocianații, precum și combinațiile di - și polihidroxicice [23].

Câteva caracteristici principale ale spumelor poliuretanică sunt prezentate în cele ce urmează.

Spumele poliuretanică se fabrică obișnuit cu o densitate variind între 15 și 50 kg m<sup>3</sup>, spumele extra-ușoare cu o densitate mai mică de 15 kg m<sup>3</sup>. Densitatea influențează asupra proprietăților fizico-mecanice ale spumei. Cu cât densitatea este mai mare, rezistențele la compresie, alungire și sfâșiere sunt mai mari, iar deformarea remanentă după comprimare scade.

Rezistența la rupere este influențată foarte mult de gradul de reticulare al spumei și anume, cu cât spumele au o structură mai reticulată vor avea o rezistență la rupere și sfâșiere mai mare (gradul de reticulare crește cu creșterea indicelui de izocianat).

Rezistența la comprimare este o caracteristică importantă a spumelor poliuretanică flexibile utilizate în special pentru mobilă, saltele, scaune de automobile.

Un avantaj al spumelor poliuretanică flexibile îl constituie rezistența bună la îmbătrânire, atât în mediu uscat cât și în mediu umed.

Toate tipurile de spume poliuretanică devin rigide la temperaturi foarte joase.

În cadrul lucrărilor experimentale s-au realizat probe din spume poliuretanică rigide în special, dar și din spume poliuretanică flexibile, utilizând atât procedeul convențional cât și cel neconvențional (prin activarea ultrasonică a sintezei). Procedeul neconvențional presupune activarea procesului de sinteză folosind o sursă de energie externă și anume a ultrasunetelor, în diferite faze ale acestuia, la diferiți parametri de putere ultrasonică.

#### □ **Sisteme experimentale folosite**

La concepția și realizarea sistemelor experimentale ce se prezintă în continuare s-au avut în vedere atât proprietățile și utilizările spumelor poliuretanică, cât și programul experimental desfășurat, ce a urmărit evidențierea influenței principalilor factori (timp de activare, putere de activare, proporția de participare a componentelor, grosimea stratului activat, etc.) asupra unor caracteristici de bază ale acestui material.

În vederea desfășurării corespunzătoare a cercetărilor experimentale s-au realizat dispozitive și instalații experimentale pentru obținerea spumei poliuretanică prin activare cu ultrasunete în condiții de laborator, pentru realizarea de probe (epruvete) din materialul obținut și standuri utilizate pentru studiul comportării acestora la încovoiere, comprimare, absorbție și greutate relativă.

❖ Sistem experimental utilizat la prepararea prin activare cu ultrasunete a poliuretanilor

Cele două componente ce alcătuiesc spuma poliuretanică (componenta A = izocianat, componenta B = polioliol formulat) sunt lichide atât în momentul pregătirii cât și în momentul inițial al sintezei.

În vederea preparării amestecului s-au parcurs următoarele etape, utilizându-se corespunzător acestora dispozitivele și instalațiile concepute în acest scop:

- cântărirea componentelor utilizate la sinteză: s-a dispus de o balanță analitică cu valoarea diviziunii de 0,1 mg, avându-se în vedere cantitățile mici de componente folosite ;
- dozarea componentelor, utilizându-se vase gradate din sticlă ;
- omogenizarea prealabilă a amestecului , cu ajutorul unui agitator electromecanic ( fig.4.47) ;
- prepararea propriu-zisă a spumei poliuretanică prin activare cu ultrasunete, folosindu-se instalația experimentală prezentată schematic în figura 4.48 și în fotografia din figura 4.49.

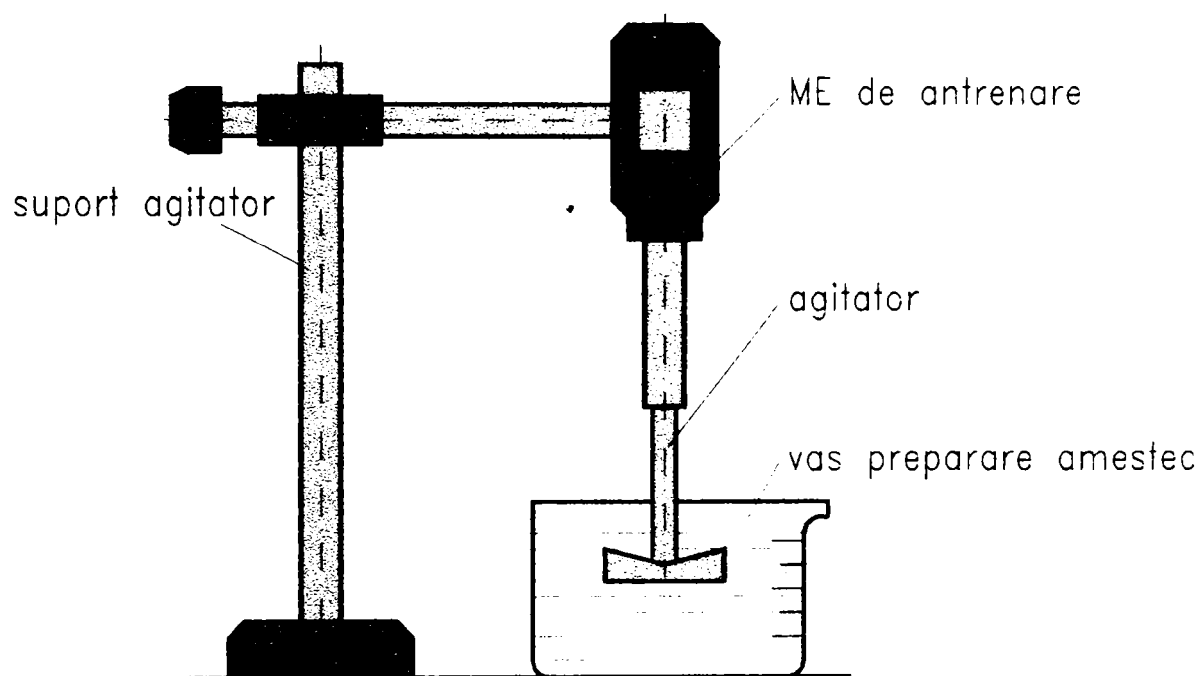


Fig.4.47

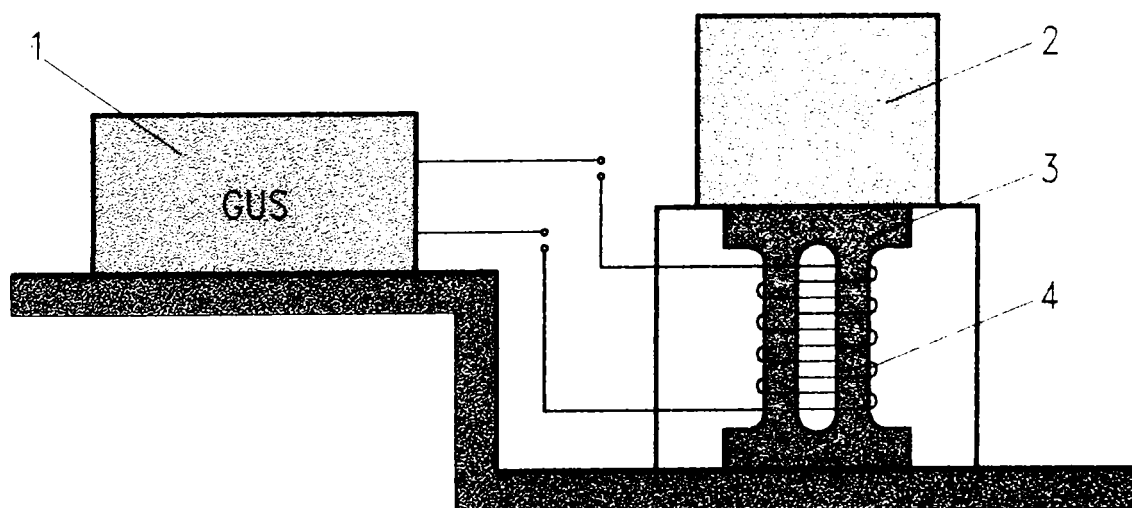


Fig.4.48

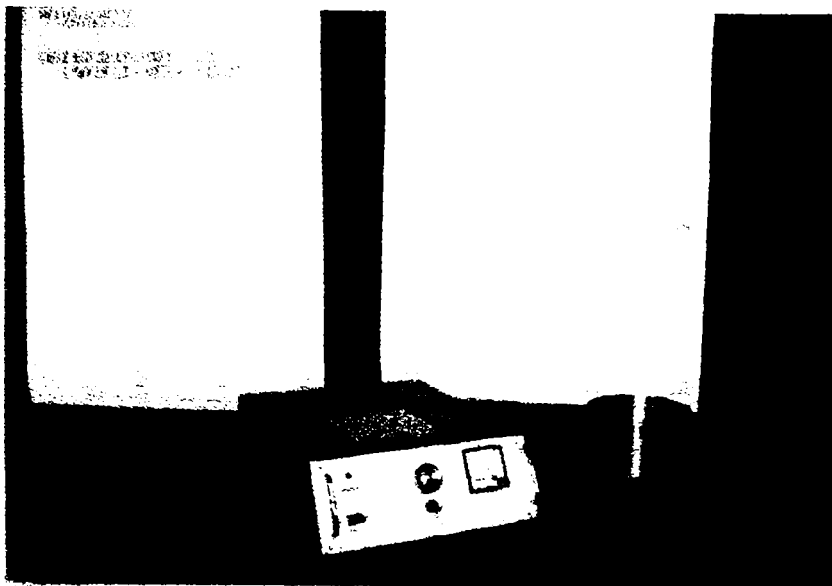


Fig. 4.49

Generatorul de ultrasunete (1) GUS -, 100 are puterea maximă de 100W și frecvența reglabilă în domeniul 18 - 25 kHz.

Scula propriu-zisă utilizată la prepararea activată a amestecului este alcătuită dintr-un transductor (3) din ferită, având frecvența de rezonanță de 20 kHz, a cărui înfășurare (4) este cuplată la GUS, obținându-se activarea procesului. Pe transductor este fixată cu ajutorul unui adeziv special o cuvă (2) din tablă de oțel inoxidabil, de formă cilindrică. În interiorul cuvei se introduce cutia de turnare, care ia forma și dimensiunile interioare ale cuvei. În cutia de turnare s-au realizat probele din poliuretan, deoarece în timpul procesului de sinteză s-a constatat aderarea materialului la pereții cuvei, dezlipirea nemaifiind posibilă fără distrugerea probei. S-au utilizat următoarele dimensiuni de cuve:  $\phi 54 \times 86$  și  $\phi 170 \times 100$  [mm].

Cutiile de turnare au fost confecționate din diferite materiale (hârtie, folie de Al) de diverse grosimi, cele mai adecvate fiind cele din folie de Al, deoarece asigură un coeficient de amortizare a ultrasunetelor în cuvă cât mai mic. Dispozitivul de ultrasonare pregătit pentru turnare (cu cutia montată) este prezentat în figura 4.50.

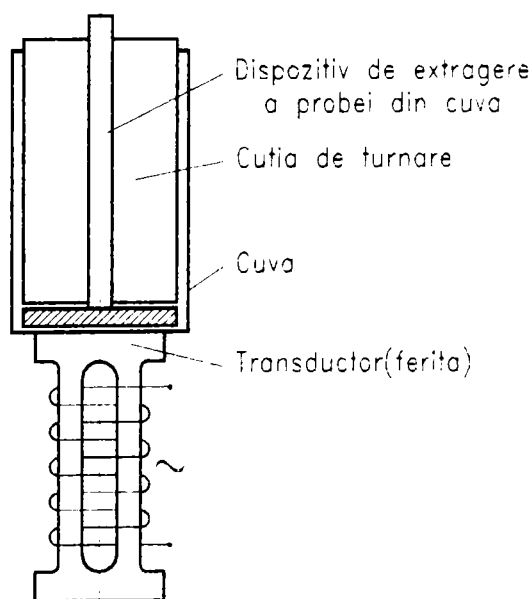


Fig. 4.50



Concomitent cu turnarea amestecului în cuva de ultrasonare se pornește sau nu generatorul de ultrasunete, funcție de regimul de lucru prestabilit, în vederea efectuării încercărilor. Timpul de spumare a amestecului este de  $90 \div 120$ s, observat în timpul încercărilor anterioare, când se parcurge terminarea vizibilă a creșterii spumei, astfel că în acest interval de timp trebuie ultrasonat amestecul. S-au efectuat trei probe în următoarele condiții:  $P = 25$  W,  $I = 0,5$  A,  $f = 20$  kHz:

Proba 1:	30s PN	PN – proces neactivat
	30s PA	PA – proces activat
	9 min PN	
Proba 2:	60s PN	
	30s PA	
	8,5 min PN	
Proba 3:	90s PN	
	30s PA	
	8 min PN	

După realizarea spumei poliuretanică, aceasta este lăsată 10 - 15 min în aer liber în vederea unei totale solidificări. În urma întăririi spuma dobândește proprietăți fizico-mecanice corespunzătoare pentru prelevarea de probe.

Epruvetele prelevate au fost obținute prin tăiere. Tăierea a fost realizată în două moduri: neactivată și activată (prin sudarea unei pânze metalice pe concentratorul ultrasonic).

❖ *Dispozitiv pentru încercarea la încovoiere statică a probelor*

Epruvetele utilizate pentru determinarea tensiunii la încovoiere au fost prelevate sub formă de bară, cu secțiunea dreaptă rectangulară, având următoarele dimensiuni:

- ◆ lungimea  $l$ :  $120 \pm 1,2$  mm
- ◆ lățimea  $b$ :  $25 \pm 0,25$  mm
- ◆ grosimea  $h$ :  $20 \pm 0,20$  mm

Epruveta astfel obținută s-a așezat pe reazemele (3) ale dispozitivului pentru încercarea la încovoiere redat schematic în figura 4.51.

Prin intermediul poansonului (1) s-a aplicat sarcina, fără șoc, asupra epruvetei (așezată astfel încât grosimea  $h$  să fie în sensul solicitării), la mijlocul distanței dintre reazeme. Viteza de deplasare a poansonului este de 10 mm/min, acesta deplasându-se pe o distanță de  $20 \pm 0,2$ mm. Sarcina în momentul ruperii epruvetei, precum și săgeata la rupere sunt înregistrate automat pe o diagramă prin intermediul aparatului specializat pentru analize fizico-mecanice ale epruvetelor. Acest aparat numit TIRA TEST 2161 și utilizat pentru încercările materialelor la comprimare, încovoiere și tracțiune se află în dotarea laboratoarelor din cadrul Intreprinderii Spumotim Timișoara. Permite vizualizarea forțelor din proces, afișate numeric pe un panou electronic și trasarea diagramelor cu ajutorul unei imprimante conectate la aparat.

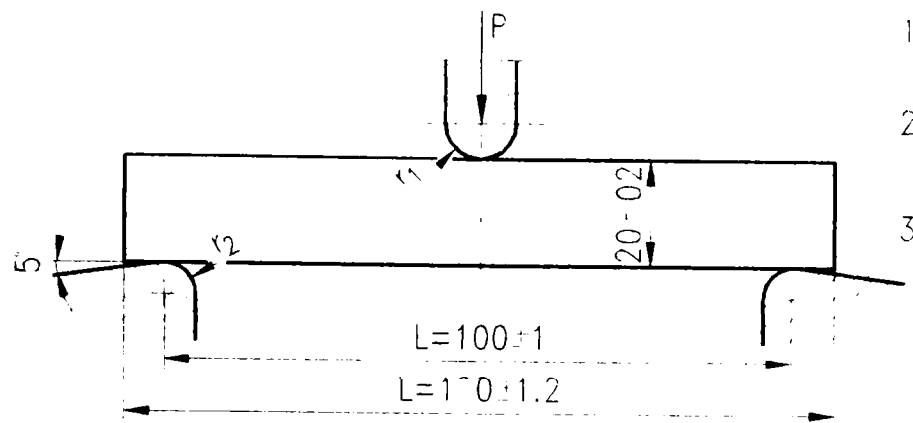


Fig. 4.51

❖ *Dispozitiv pentru încercarea la compresiune a probelor*

În vederea determinării caracteristicilor de compresiune ale spumelor poliuretanică obținute prin activare cu ultrasunete epruvetele au fost prelevate sub formă de prismă dreaptă, cu baza pătrată cu aria suprafeței bazei de minimum  $25 \text{ cm}^2$  și de maximum  $230 \text{ cm}^2$ .

Dispozitivul utilizat pentru încercarea la compresiune este redat principial în figura 4.52.

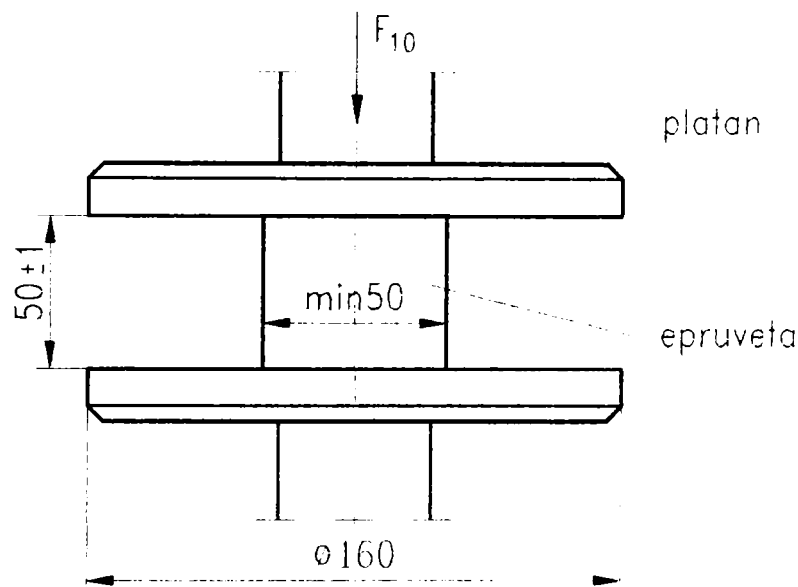


Fig. 4.52

□ *Prelucrarea rezultatelor cercetărilor experimentale privind influența timpului și puterii de activare în procesul de sinteză al poliuretanului rigid*

**A. Influența puterii de activare cu ultrasunete asupra procesului de sinteză**

*Metodologie:*

*Încercările experimentale efectuate au parcurs următoarele etape principale:*

- cântărirea (dozarea) componentelor A și B ;
- prepararea (convențională sau neconvențională) a amestecului ;
- scoaterea probelor din dispozitiv după completa solidificare ;

- confecționarea de epruvete (diferite forme și dimensiuni, funcție de încercările la care au fost supuse) ;
- încercări de rezistență la rigiditate ;
- încercări de rezistență la încovoiere ;
- încercări la absorbție ;
- încercări la tăierea probelor ;
- culegerea rezultatelor cercetărilor experimentale sub formă tabelară ;
- prelucrarea grafică a rezultatelor.

În vederea realizării acestor etape s-au conceput și realizat diferite dispozitive și instalații experimentale [37,38]. Activarea cu ultrasunete a fost realizată pe tot parcursul procesului cât și intermitent, din 30 în 30 de secunde.

Pentru determinări, din fiecare probă s-au prelevat trei epruvete, probele fiind diferențiate prin variația curentului electric, ca măsură a puterii de activare. Astfel, s-au utilizat patru moduri de realizare a probelor:

1. preparare normală ;
2. preparare activată,  $I = 1 A$  ;
3. preparare activată,  $I = 1,5A$  ;
4. preparare activată,  $I = 2A$ .

În cazul preparării activate generatorul de ultrasunete a fost reglat la frecvența constantă de 20 kHz, iar timpul de activare a fost de  $t = ct = 5$  minute. Dimensiunile cuvei în care s-au realizat probele sunt  $\phi 170 \times 100$  mm.

După solidificarea probelor s-a trecut la efectuarea încercărilor.

#### **Încercarea de rezistență la rigiditate**

Au fost realizate epruvetele (câte 3 din fiecare probă) aproximativ la aceleași dimensiuni, s-a stabilit densitatea acestora, după care au fost supuse comprimării, determinându-se forța și tensiunea de comprimare.

În urma prelucrării datelor obținute s-au ridicat două grafice:

- variația densității epruvetei funcție de intensitatea curentului electric (fig.4.53);
- variația tensiunii de comprimare funcție de intensitatea curentului electric (fig.4.54).

Din figura 4.54 se observă că densitatea epruvetei prezintă un minim pentru  $I = 1A$ , după care ea crește ajungând pentru  $I=2A$  să depășească densitatea epruvetelor obținute prin procedeul convențional. Astfel, dacă se dorește obținerea unei densități mai mici se va realiza activarea procesului la  $I=1A$  în aceleași condiții descrise mai sus.

Deoarece spuma poliuretanică obținută poate fi utilizată și la izolarea conductelor (la îmbinări) această tensiune de comprimare interesează în mod deosebit în acest caz. Valori mari ale tensiunii de comprimare duc la o fiabilitate mai mare a izolației. Această tensiune mare trebuie corelată și cu o bună rezistență la încovoiere și o capacitate mică de absorbție.

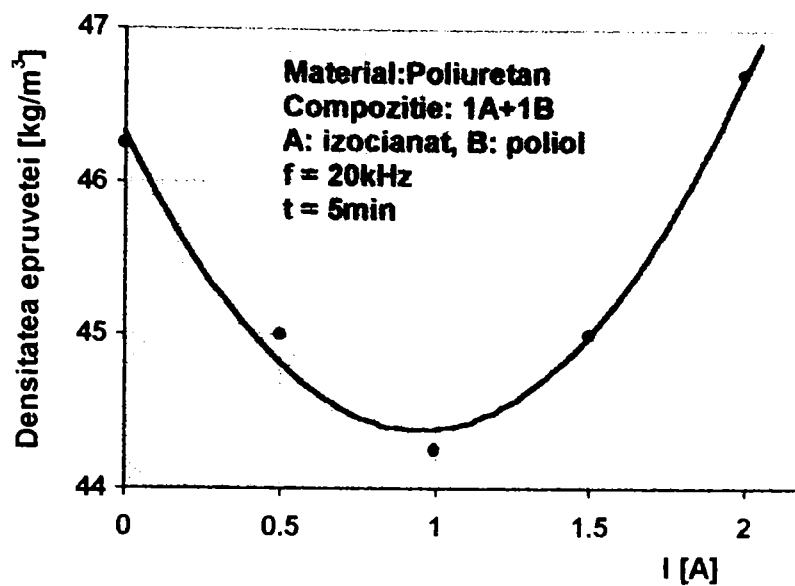


Fig. 4.53

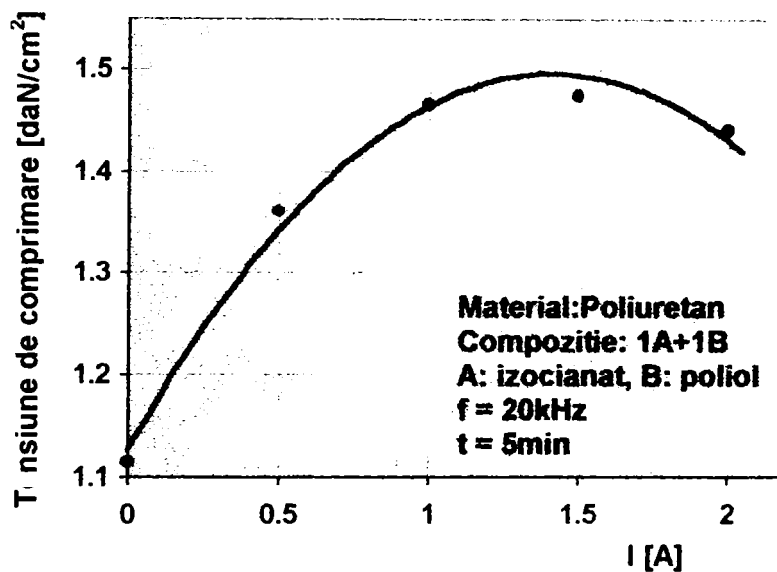


Fig. 4.54

### Încercarea de rezistență la încovoiere

Modul de realizare a încercării și dispozitivul utilizat în acest scop se regăsesc în lucrările [37,38]. Și în acest caz s-a urmărit prelevarea de epruvete de dimensiuni aproximativ constante (25x22x12mm).

Graficul ridicat în urma prelucrării rezultatelor reprezintă variația tensiunii de încovoiere la rupere a epruvetelor funcție de intensitatea curentului, respectiv puterea de activare ( fig.4.55). Analizând graficul se observă o creștere a rezistenței la rupere prin încovoiere pentru epruvetele realizate prin procedeul neconvențional, urmând o scădere chiar sub valoarea rezistenței probei realizate neactivat. Punctul de maxim corespunde intensității de 1A. Acest aspect corelat cu cel obținut la tensiunea de comprimare conduce la o valoare optimă a intensității în jurul valorii de 1,25A.

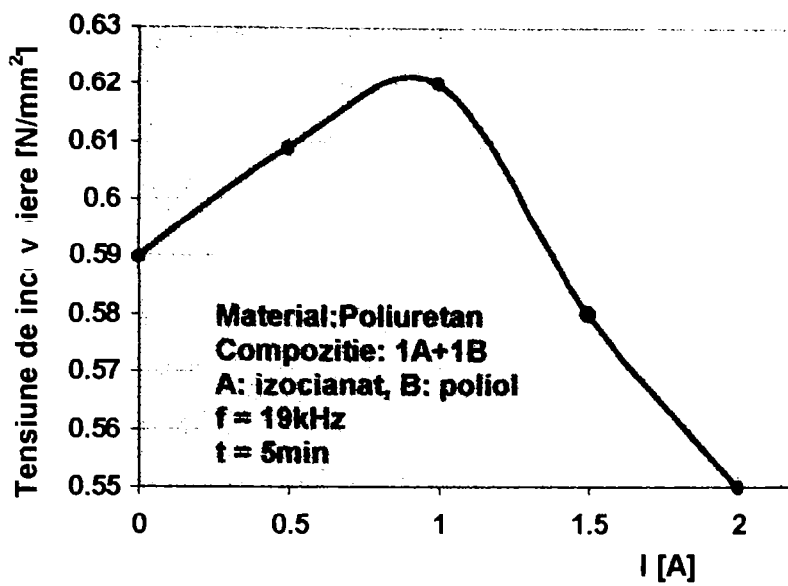


Fig.4.55

### Încercarea la absorbție

În acest caz, după realizarea epruvetelor la dimensiunile 52x53x13 mm și cântărirea lor, acestea s-au imersat în apă la 23°C, menținându-se timp de 24 de ore, după care s-au extras și s-au cântărit din nou, urmând a se determina absorbția de apă la volum [g/100cm<sup>3</sup>] și greutatea relativă ( $\Delta G/G \times 100[\%]$ ).

Dependențele ridicate sunt următoarele:

- greutatea epruvetei după absorbție 24h în apă funcție de intensitatea curentului (figura 4.56) ;
- absorbția de apă la volum funcție de intensitatea curentului (figura 4.57) ;
- greutatea relativă funcție de intensitatea curentului (figura 4.58).

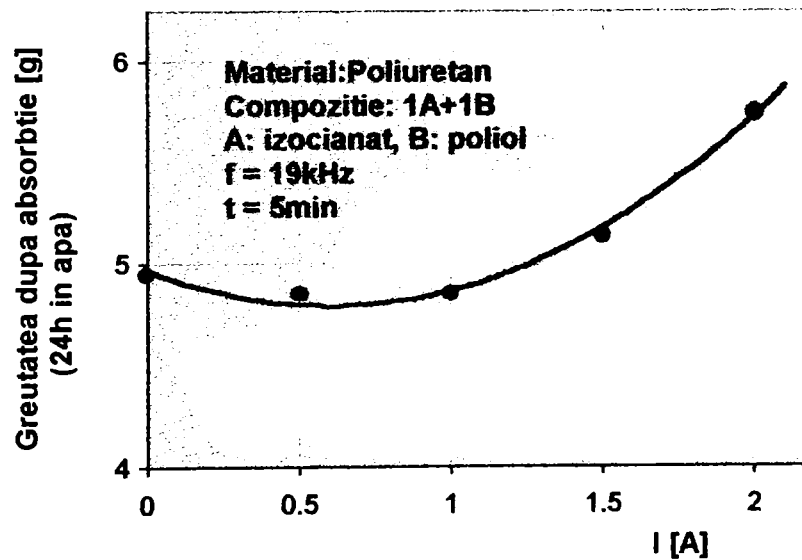


Fig.4.56

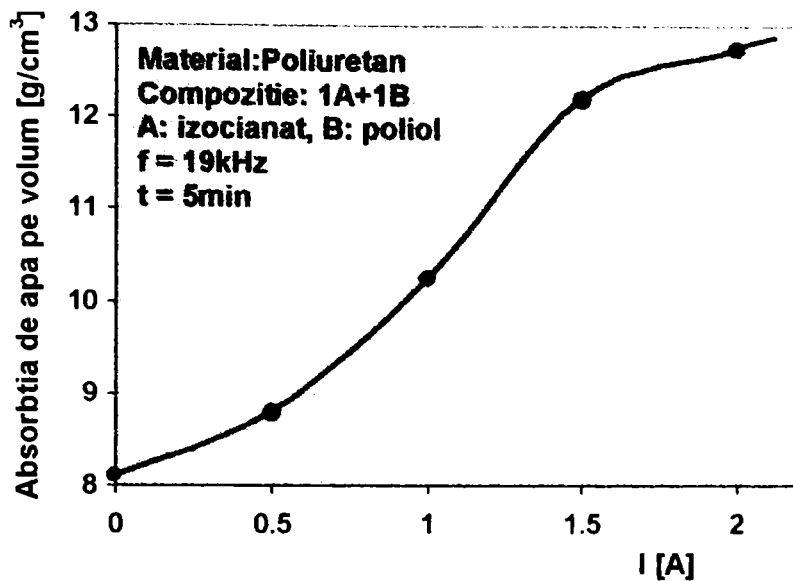


Fig.4.57

În încercările efectuate s-a urmărit obținerea unei absorbții cât mai mici. Analizând graficul din figura 4.56 se observă că greutatea după absorbție are valoarea cea mai mică în cazul probei activate la o intensitate a curentului de 1A.

În cazul absorbției de apă pe volum, minimul se obține în cazul probei neactivate, după care se înregistrează o creștere datorită sporirii intensității curentului prin activarea procesului.

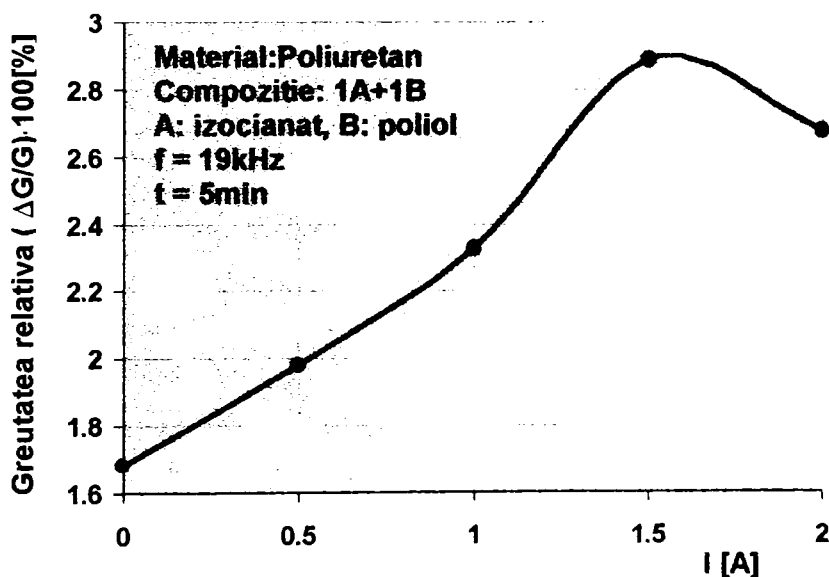


Fig.4.58

Din graficul ilustrat în figura 4.58 reiese că greutatea relativă prezintă o variație asemănătoare variației absorbției de apă la volum, ceea ce conduce la concluzia că probele neactivate au o comportare mai bună decât cele activate în cazul utilizării acestora în medii foarte sau relativ umede.

În concluzie, realizarea buretelui de izolație pentru conducte subterane, prin activare cu ultrasunete, este avantajoasă în cazul în care se necesită rezistențe la încovoiere și



comprimare mari, iar mediul în care se realizează izolarea este cât mai puțin umed. Favorabil este și cazul în care se dorește economie de material, realizată prin obținerea unei densități mici.

### **Încercări la tăierea probelor**

Tăierea probelor a fost realizată prin cele două procedee: convențional și activat. Prin procedeul convențional tăierea s-a efectuat cu ajutorul unei pânze metalice continue care se rotește pe niște tamburi. Procedeul neconvențional de tăiere s-a realizat folosind un bloc ultrasonic pe al cărui concentrator s-a aplicat o pânză metalică de lungime 6 cm.

### **B. Influența timpului de activare cu ultrasunete asupra procesului de sinteză**

Cercetările experimentale s-au axat pe studiul comportării la încovoiere, comprimare și absorbție a probelor obținute utilizând activarea cu ultrasunete, comparându-se apoi cu probele "etalon" obținute prin procedeul convențional. S-au utilizat dispozitivele experimentale descrise anterior :

- balanță pentru cântărirea componentelor utilizate la sinteză (balanță analitică cu valoarea diviziunii de 0,1 mg) ;
- vase gradate din sticlă utilizate la dozarea materialelor și la omogenizarea amestecului ;
- dispozitivul electromecanic pentru omogenizarea prealabilă a amestecului ;
- generator de ultrasunete GUS - 100 cu  $P_{max} = 100 W$  și frecvența reglabilă în domeniul 18 - 25 kHz ;
- instalația de activare cu ultrasunete a materialelor ;
- aparat pentru încercarea epruvetelor TIRA TEST 2161, utilizat pentru încercări la comprimare, încovoiere și tracțiune.

#### **□ Metodologia utilizată în cercetările experimentale**

Itinerariul operațiilor din cadrul cercetărilor experimentale a cuprins următoarele etape:

- cântărirea (dozarea) componentelor utilizate, realizată cu ajutorul balanței analitice și a vaselor gradate ;
- reglarea generatorului de ultrasunete utilizat la parametri stabiliți ( $P = 25W$ ,  $f=20 kHz$ ,  $I = 0,5 A$ ) și pregătirea cuvei în care se introduc componentele în vederea obținerii amestecului final. S-au utilizat cuve cilindrice din oțel inoxidabil cu următoarele dimensiuni:  $\phi 54 \times 86 \times 0,5$  și  $\phi 170 \times 100 \times 0,5$  [mm];
- prepararea amestecului: s-au turnat cele două componente concomitent într-un vas de sticlă, realizându-se agitarea amestecului obținut timp de cca. 10 sec. cu ajutorul unui agitator electromecanic cu turatie ridicată (până la 4500 rot min.);
- turnarea amestecului în cuvă și ultrasonarea acestuia timp de 30s în diferite momente ale procesului ;
- menținerea probei în dispozitiv după încetarea activării până la întărirea acestuia și extragerea din dispozitiv ;

- prelevarea de epruvete la dimensiuni corespunzătoare, în concordanță cu tipurile de încercări la care urmează a fi supuse.

### **Determinarea tensiunii de încovoiere**

Epruveta în formă de bară are dimensiunile de cca, 120x25x20 mm și este rezemată la capete. Este supusă acțiunii unei sarcini aplicate cu viteză constantă, perpendicular pe axa epruvetei, la mijlocul distanței dintre reazeme (figura 4.51).

Tensiunea de încovoiere la un moment dat al încercării -  $\sigma$  [N mm<sup>2</sup>]- reprezintă tensiunea maximă din secțiunea în care se aplică sarcina. Pentru determinarea tensiunii de încovoiere s-a utilizat un aparat de încercare la încovoiere statică. Epruvetele s-au așezat pe reazeme centrat față de planul median al poansonului astfel încât grosimea să fie în sensul solicitării. Sarcina s-a aplicat fără șoc la mijlocul distanței dintre reazeme, poansonul deplasându-se cu viteza constatată de 10 mm/min pe o distanță de 20±0,2 mm.

Calculul tensiunii de încovoiere la un moment dat al încercării se face conform relației:

$$\sigma_1 = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad [\text{N mm}^2] \quad (4.4)$$

în care:  $P$  este sarcina [N];  
 $L$  - distanța între reazeme,  $L = 100$  [mm];  
 $b$  - lățimea epruvetei [mm];  
 $h$  - grosimea epruvetei [mm].

### **Determinarea caracteristicilor de compresiune**

Epruvetele utilizate sunt în formă de prismă dreaptă, cu baza pătrată având suprafața de minim 25 cm<sup>2</sup> și maxim 230 cm<sup>2</sup>. Grosimea unei epruvete este de 50±1. Tensiunea de compresiune este raportul dintre forța de compresiune și aria secțiunii drepte inițiale a epruvetei în orice moment al încercării și se exprimă în kilopascali.

Principiul metodei utilizate la determinări constă în aplicarea pe fețele epruvetei, pe direcție axială, cu viteză constantă, a unui efort de compresiune. Aparatul de încercare la compresiune (figura 4.52) este echipat cu două platane paralele, plane, polizate, nedeformabile, circulare, ale căror diametre sunt de 160 mm. Unul dintre platane este fix (1), iar celălalt mobil (2), cu o viteză de deplasare constantă. Aparatul mai dispune de un dispozitiv de măsurare a deplasării ( $x$ ) și unul de măsurare a forței ( $F$ ) produsă în timpul determinării.

Calculul tensiunii de compresiune corespunzătoare unei deformații relative de 10% se face conform relației:

$$\sigma_{10} = 10^3 \frac{F_{10}}{S_0} \quad [\text{kPa}] \quad (4.5)$$

în care:  $F_{10}$  este forța aplicată epruvetei în momentul producerii deformații relative de 10% [N];  
 $S_0$  - aria secțiunii drepte inițiale a epruvetei [m<sup>2</sup>]

### Determinarea absorbției de apă pe volum

Principiul metodei constă în imersarea epruvetei în apă la o temperatură și pe o durată de timp determinate. Se cântărește epruveta înainte și după imersare în apă, stabilindu-se masa de apă absorbită de aceasta. Aparatura utilizată constă dintr-o etuvă cu termostatare ( $50 \pm 2$  °C) și un șubler pentru măsurarea epruvetelor. Epruvetele scoase din etuvă se introduc în recipientul cu apă distilată. După 24 de ore de imersie epruvetele se usucă prin ștergere cu o bucată de hârtie de filtru și se cântăresc după maxim un minut de la scoaterea lor din apă.

Absorbția de apă, exprimată în  $\text{g}/100 \text{ cm}^3$ , se calculează cu formula:

$$A_{\text{apă}} = \frac{m_2 - m_1}{l \cdot b \cdot h} \quad [\text{g}/\text{cm}^3] \quad (4.6)$$

în care:

$m_1$  este masa inițială a epruvetei [g];

$m_2$  - masa epruvetei după imersie [g];

$l, b, h$  - dimensiunile inițiale ale epruvetei.

Rezultatele obținute în urma încercărilor desfășurate au fost înregistrate tabelar, iar prelucrarea lor s-a realizat sub formă grafică (histogramele 4.59, 4.60, 4.61, 4.62).

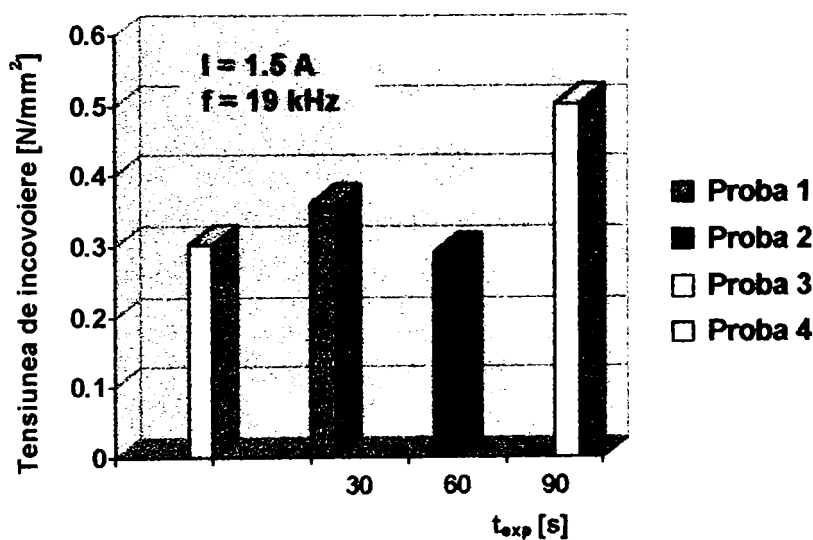


Fig.4.59

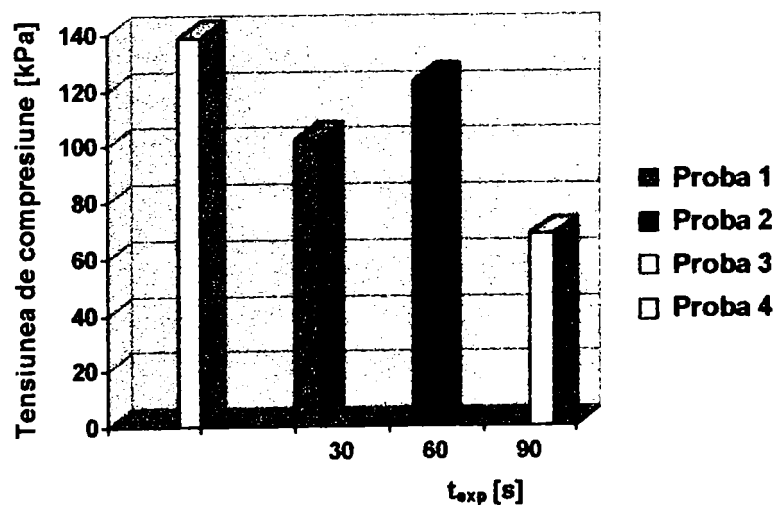


Fig.4.60

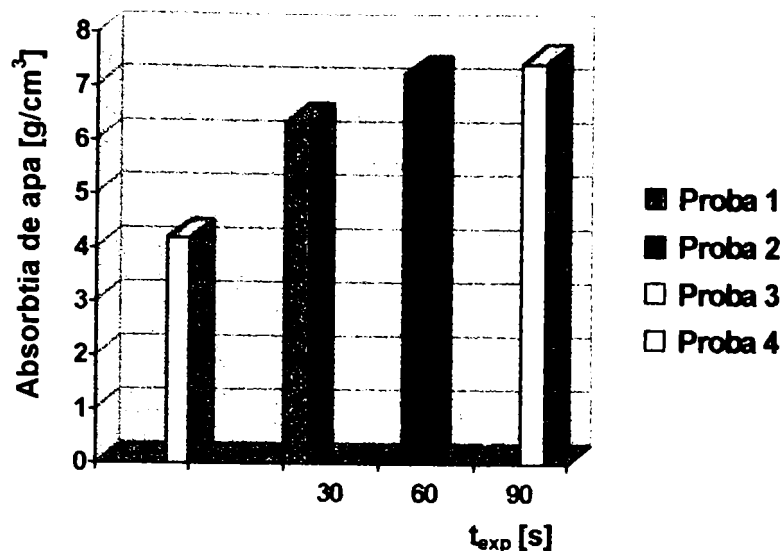


Fig.4.61

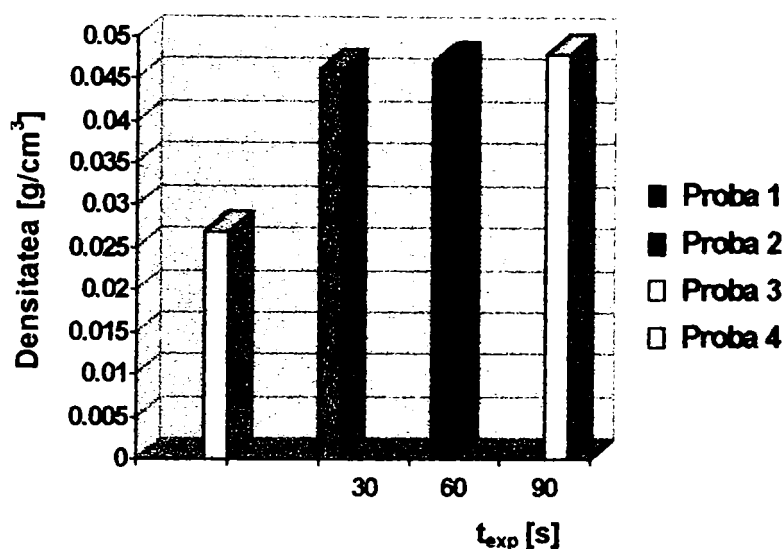


Fig.4.62

Din analiza prelucrărilor grafice rezultă următoarele concluzii:

- la variația timpului de activare, în sensul creșterii lui, se obține un minim pentru tensiunea de încovoiere la o expunere a probei 2 ( $t = 60s$ ), iar pentru o expunere de 90s (proba 3) se realizează un spor al tensiunii de încovoiere de 66%.
- durata de expunere a probelor la ultrasunete influențează caracteristica de compresiune, în opoziție cu tensiunea la încovoiere. Astfel, la o expunere de 60s se obține rezistență la compresiune maximă, însă inferioară celei obținute prin procedeul convențional (proba 4). Tensiunea de compresiune minimă s-a obținut pentru o expunere de 90s, reprezentând 50% în raport cu proba netratată.
- tratarea cu ultrasunete a probelor influențează și asupra caracteristicii "absorbția de apă". Datorită spargerii celulelor ce reprezintă incluziuni de aer în masa de material, permițând infiltrarea apei în cantități mai mari, caracteristica "absorbție de apă" este crescătoare.

#### **4.5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ÎN VEDEREA OBTINERII DE ADITIVI ALIMENTARI CU PROPRIETĂȚI PROTECTIVE, ANTIOXIDANTE ȘI ANTIMICROBIENE DIN REZIDUURI FORESTIERE**

*Influența ultrasunetelor asupra extracției solid-lichid are la bază efecte termice, mecanice și structurale ale cavitației. Procesul este influențat de parametrii ce caracterizează undele sonore. Valorile optime ale acestor parametri se stabilesc experimental.*

*Deoarece în industria alimentară se extrag diferite componente alimentare din țesuturile vegetale, în general intensificarea procesului are la bază creșterea coeficientului de difuziune datorită creșterii temperaturii în câmp ultrasonic (producerea plasmolizei celulei vegetale, formarea microcurenților, modificarea permeabilității peretelui celular etc).*

*Prin tratarea cu ultrasunete a sistemului solid-lichid crește randamentul extracției, se reduce durata de extracție și se obțin produse de extracție de calitate superioară. Există o serie de rezultate experimentale [41,42154] care pun în evidență eficiența aplicării ultrasunetelor la extracție (extracția enzimelor, vitaminelor, coloranților, compuși cu capacități antioxidante, zaharuri, uleiuri vegetale, substanțe amare din hamei, etc.).*

*În continuare sunt prezentate cercetările experimentale desfășurate de autor în vederea obținerii de aditivi alimentari, cu proprietăți protective, antioxidante și antimicrobiene din reziduuri forestiere.*

##### **□ Materiale utilizate**

*În componența lemnului compușii fenolici sunt condensați în structurile polimerice ale ligninelor naturale, demonstrându-se în prezent că prin biosinteza lor se realizează cea mai importantă stocare a energiei solare, aptă a fi disponibilizată rapid prin cedare de hidrogen activ și electroni liberi.*

*Cele mai recente studii demonstrează capacitatea fenolicelor de blocare a formării peroxizilor liberi, de participare activă ca inhibitori ai îmbătrânirii și de protecție antitumorală. Este evidentă importanța lor în alimentația umană, precum și posibilitatea extracției lor din surse reziduale practic nelimitate. În structura lemnului ligninele se găsesc în proporție de 18 - 28% în funcție de specie și proveniență.*

*Efortul investițional în scopul cercetării extracției acestor compuși, precum și producerea lor cu utilaje și tehnologie posibil de realizat în țară se va circumscrie în aria celor mai actuale preocupări de realizare a unei nutriții echilibrate în factori alimentari de primă importanță. Ca element de noutate și interes, extracția nedistructivă prin intermediul ultrasunetelor reprezintă o modalitate de obținere a unor componenți cu o capacitate antioxidantă corespunzătoare, realizată și prezentată în cele ce urmează.*

##### **□ Sistem experimental utilizat**

*Cercetările experimentale desfășurate au urmărit procesarea cu ultrasunete a rezidurilor lingocelulozice - talaj de fag și rumeguș de conifere - în vederea facilitării*



extracției la temperaturi scăzute a componentilor aromatici cu potențial antioxidant. A fost concepută și realizată o instalație experimentală corespunzătoare prelucrării cu ultrasunete.

Probele ce au fost supuse procesării provin din fracțiunile lichide introduse în fermentatoare de obținere a drojdiilor furajere, precum și din apele reziduale epuizate ale Societății "CELOHART" S.A. Zărnești, județul Brașov.

Probele constituite din substraturi lingocelulozice forestiere de tipul talajului de fag și rumegușului de conifere (câte 5 probe din fiecare tip) au fost supuse prelucrării cu ultrasunete. Ultrasonarea s-a efectuat pe instalația experimentală prezentată mai sus, adaptată pentru două băi de activare: o baie cilindrică cu capacitatea de 1 l și una dreptunghiulară cu capacitatea de 100 ml. S-au evaluat variante comparative de ultrasonare cu transductor piezoelectric de 38,38 kHz și cu transductor magnetostrictiv la 20 kHz, cu durate de expunere variabile (între 10 - 30 min).

#### □ **Prelucrarea rezultatelor cercetărilor experimentale**

Evaluarea rezultatelor, respectiv a creșterii nivelului componentilor solubilizați prin ultrasonare, s-a efectuat prin estimarea nivelului absorbantei în U.V. (ultraviolet) la 230 și 280 nanometri a fracțiunilor lichide rezultate în urma separării reziduurilor insolubile prin filtrare cu vid.

Pentru substraturile lingocelulozice s-au obținut două niveluri de absorbantă (230 și 280 nm) diferențiate net în funcție de natura substratului.

Astfel, pentru substratul talaj de fag, pentru nivelul absorbantei de 230 nm, media creșterii absorbantei la probele experimentale față de probele martor a fost de 15%, iar la 280 nm de 24,7%.

Pentru substratul rumeguș de conifere absorbanta la 230 nm a reprezentat față de probele martor o creștere de 2,8%, iar la 280 nm de 6,3%. Rezultatele corespund unui timp de expunere de 10 minute. Au fost supuse ultrasonării câte 5 probe din fiecare tip de substrat.

Din determinările efectuate pe aceste substraturi la durate prelungite de expunere, respectiv 20 și 30 min de ultrasonare, a rezultat o creștere a nivelului solubilizării mai mică decât în primele 10 minute.

Rezultatele obținute au fost înregistrate tabelar și prelucrate în diferite moduri. În figura 4.63 este redată histograma ce înglobează rezultatele obținute în cazul substratului talaj de fag, iar în figura 4.64 se evidențiază creșterea randamentului de zaharificare al celulozei (deci implicit mărirea nivelului de solubilizare a ligninelor) în cazul celor două substraturi utilizate, prin aplicarea ultrasunetelor.

Rezultatele obținute sunt satisfăcătoare în cazul substratului rumeguș de conifere și foarte bune în cazul substratului talaj de fag, pentru care s-a înregistrat prin ultrasonare, comparativ cu probele martor, o creștere a conținutului în componente cu caracter antioxidant cu minim 25%.



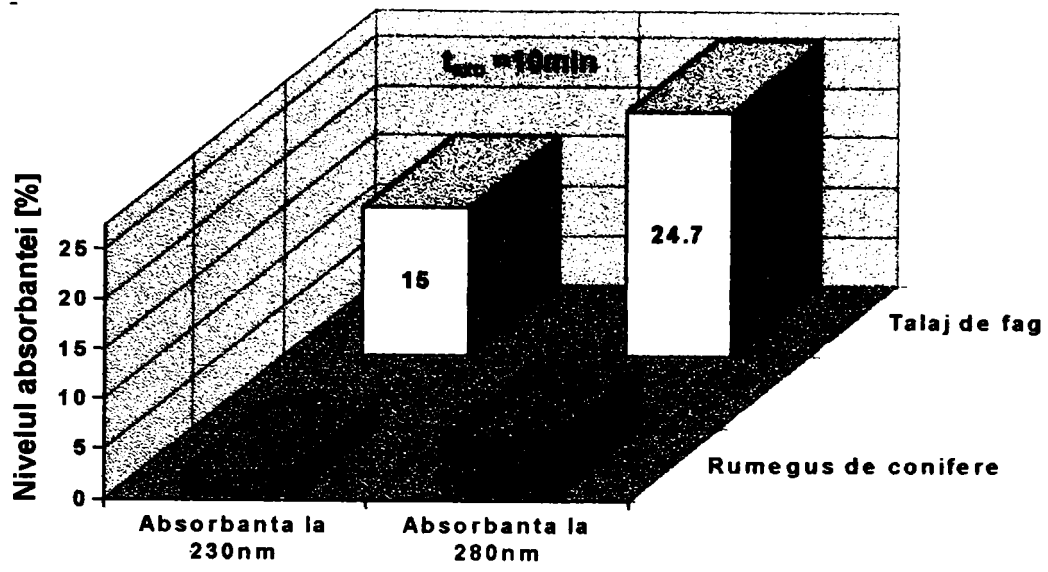


Fig.4.63

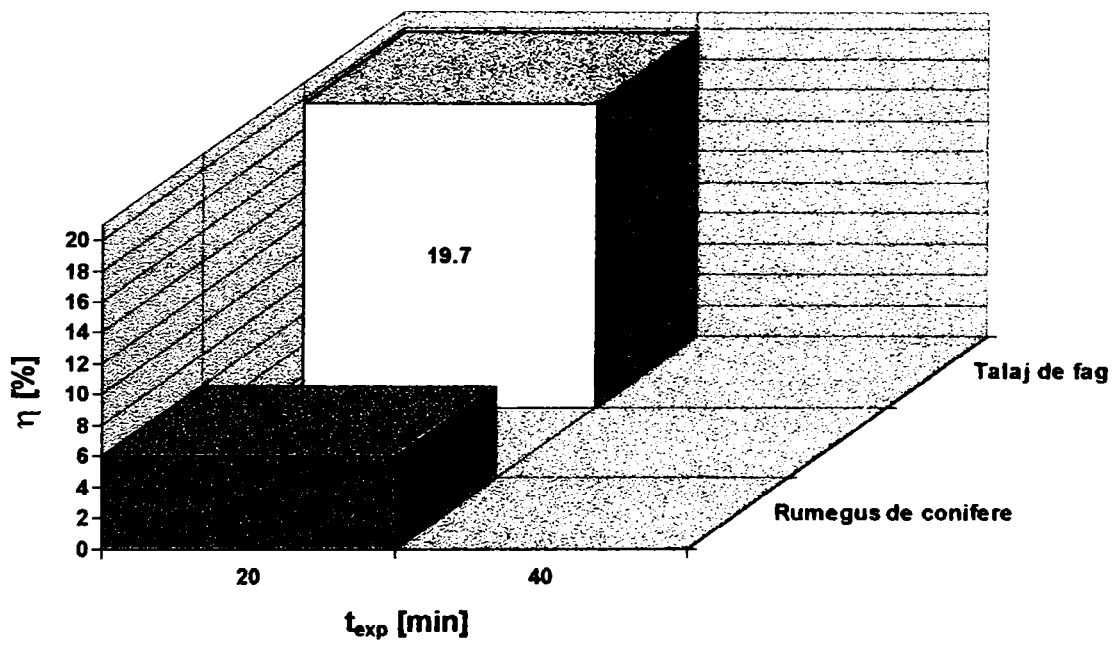


Fig.4.64

# CAPITOLUL V

## CONTRIBUTII LA CONCEPTIA ECHIPAMENTELOR DE ACTIVARE

### 5.1. OPTIMIZAREA PROIECTĂRII CONCENTRATOARELOR

#### ADAPTOARE DE UNDĂ

Studiul și proiectarea concentratoarelor are la bază ecuația undelor plane (vezi subcapitolul 2.1.1.c1) în care este ignorată mișcarea particulelor perpendicular pe axa concentratorului. Ecuația diferențială (2.31) ce definește viteza particulei se poate aplica pentru orice tip de profil al vârfului, ceea ce dovedește că diametrul maxim al concentratoarelor este mic în comparație cu lungimea de undă a vibrațiilor și, totodată, că variația diametrului concentratorului nu depășește o anumită valoare critică.

În cele ce urmează se prezintă proiectarea a trei tipuri de concentratoare adaptoare de undă întâlnite frecvent în practica industrială.

#### 5.1.1. Proiectarea concentratorului cilindric în trepte

Concentratoarele cilindrice în trepte prezintă avantajul simplității în proiectare și execuție, dar prezintă pierderi și tensiuni mecanice considerabile la transmiterea și concentrarea energiilor mari.

În proiectarea concentratorului se parcurg următoarele etape:

##### 1. Precizarea materialului concentratorului

Se recomandă pentru încercări utilizarea aliajelor de aluminiu, iar pentru lucru titanul și în al doilea rând OLC 45. Cum atașarea sculelor din oțel se face prin înșurubare, utilizarea aliajului din aluminiu D 16T devine neindicată în pofida calităților acustice remarcabile.

##### 2. Determinarea coeficientului teoretic de amplificare

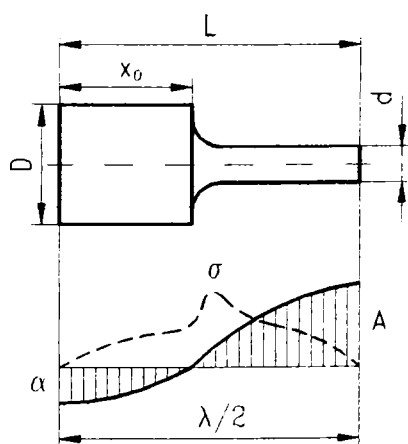


Fig.5.1

La concentratoarele în semiundă cilindrice în trepte (fig.5.1), amplificarea teoretică a oscilațiilor este:

$$K_t = \left(\frac{D}{d}\right)^2 = N^2 \quad (5.1)$$

în care:

$$N = \frac{D}{d} \text{ - factorul de reducere al secțiunii.}$$

### 3. Determinarea lungimii de rezonanță $L$

La concentratorul în semiundă,  $L$  se determină cu relația:

$$L = \frac{c}{2 \cdot f \cdot 10^2} = \frac{\lambda}{2} \quad [\text{mm}] \quad (5.2)$$

în care:  $c$  este viteza sunetului în material [ $\text{cm} \cdot \text{s}$ ];  
 $f$  - frecvența de rezonanță [kHz].

### 4. Plasarea nodului oscilațiilor $x_0$

Cota  $x_0$  indicând nodul oscilațiilor este necesară pentru precizarea poziției flanșei de montaj și susținere mecanică a concentratorului:

$$x_0 = \frac{L}{2} = \frac{c}{4 \cdot f \cdot 10^2} \quad [\text{mm}] \quad (5.3)$$

### 5. Determinarea eficienței corectate a transductorului " $a_r$ "

Transductorul în vibrație liberă are o valoare maximă a amplitudinii " $a$ " a feței radiante. Cuplarea prin lipire mecanică a unor concentratoare cu coeficient de amplificare teoretic ( $K_t$ ) diferit duce la diminuarea diferențiată a acestei valori. Nomograma experimentală din anexa A14 a permis evaluarea eficienței reale a transductorului exprimată prin " $a_r$ " (amplitudinea reală de oscilație).

### 6. Determinarea coeficientului efectiv de amplificare

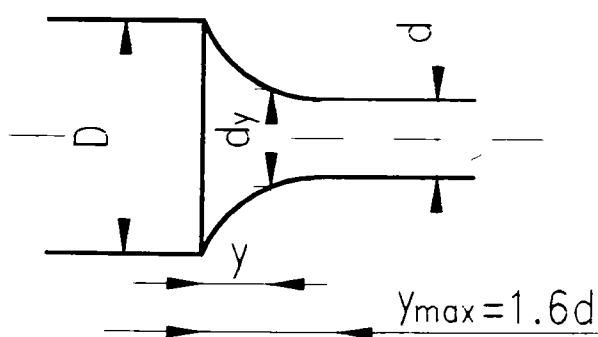


Fig.5.2

Determinările practice au arătat că sistemele rezonante oferă o amplificare efectivă  $K_{ef}$  cu atât mai diminuată cu cât  $K_t$  crește. Nomograma din anexa A14, permite evaluarea coeficientului efectiv de amplificare  $K_{ef}$ .

### 7. Precizarea racordărilor de trecere

Pentru asigurarea unor tensiuni minime în zona de trecere, zona de maximă solicitare a concentratorului, racordările se vor alege conform tabelului 5.1 (figura 5.2).

Tabelul 5.1

$y/d$	0	0,005	0,01	0,04	0,1	0,2	0,5	1	1,6
$d_y/d$	1,636	1,591	1,572	1,483	1,374	1,260	1,096	1,019	1

#### 5.1.2. Proiectarea concentratorului exponențial

Concentratoarele exponențiale oferă cea mai eficientă transmitere a energiei ultrasunetelor, cu pierderi și tensiuni mecanice minime chiar la concentrarea și transmiterea energiilor mari. Sunt mai pretențioase din punct de vedere al confecționării.

Se disting două variante:

- cu variație exterioară a secțiunii (5.3a);
- cu variație interioară a secțiunii, așa zise concentratoare de contur (fig.5.3b).

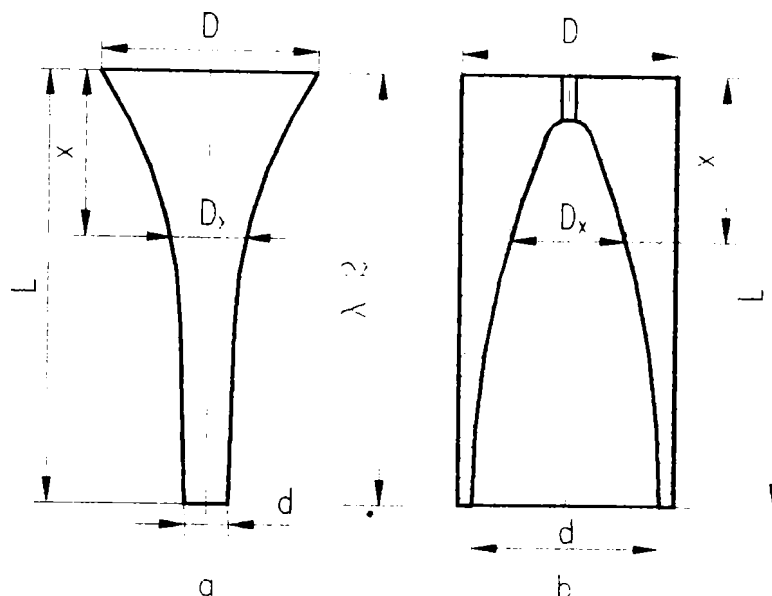


Fig.5.3

În proiectarea concentratorului se parcurg următoarele etape:

1. Precizarea materialului concentratorului
2. Determinarea coeficientului teoretic de amplificare  $K_t$

$$K_t = \frac{D}{d} \text{ în cazul concentratoarelor cu variație exterioară a secțiunii (fig.5.3a)}$$

$$K_t = \sqrt{\frac{D^2}{D^2 - d^2}} \text{ în cazul concentratoarelor cu variație interioară a secțiunii (fig.5.3b)}$$

3. Determinarea lungimii de rezonanță  $L$

Lungimea de rezonanță în ambele cazuri se stabilește astfel:

$$L = \frac{c}{2 \cdot f \cdot 10^2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\ln K_t}{\pi}\right)^2} \quad [\text{mm}] \quad (5.4)$$

$c, f, K_t$  având semnificațiile cunoscute.

4. Determinarea profilului de variație a secțiunii

În cazul concentratoarelor exponențiale de profil exterior se definește relația de calcul:

$$D_x = D \cdot e^{-mx} \quad [\text{mm}] \quad (5.5)$$

în care:  $m = \frac{\ln K_t}{L}$  este coeficient de reducere a secțiunii (5.6)

Rezultă deci un tabel de valori de tipul celui de mai jos în care pentru exactitate se recomandă pentru  $x$  o creștere din 5 în 5 mm.

$x$	$m$	$e^{-mx}$	$D_x = D \cdot e^{-mx}$

În cazul concentratoarelor exponențiale de profil interior relația de calcul a profilului este:

$$D_x = D\sqrt{1 - e^{-mx}} \quad [mm] \quad (5.7)$$

Rezultă un tabel de valori de timpul celui de mai jos:

$x$	$m$	$e^{-mx}$	$D_x = D\sqrt{1 - e^{-mx}}$

### 5. Plasarea nodului de oscilație

Poziția nodului de oscilație este dată prin relația:

$$x_o = \frac{L}{\pi} \cdot \text{arctg} \left( \frac{L}{\pi} \cdot \ln K_t \right) \quad [mm] \quad (5.8)$$

### 6. Determinarea coeficientului efectiv de amplificare

În cazul concentratoarelor exponențiale nu apar diminuări diferențiate ale amplitudinii oscilațiilor transducoarelor. Pentru evaluarea coeficientului efectiv de amplificare  $K_{ef}$  se utilizează nomograma din anexa A14.

#### 5.1.3. Proiectarea concentratorului conic

Concentratoarele de tip conic, deși prezintă simplitate în proiectare și execuție, au dezavantajul unei comportări acustice mediocre. Ele nu pot depăși  $K_t = 5,5$ .

Se rezolvă următoarele:

1. Precizarea materialului concentratorului
2. Determinarea coeficientului teoretic de amplificare  $K_t$

$$K_t = \sqrt{1 + \left( \frac{2\pi\rho}{\lambda} \right)^2} \quad (5.9)$$

3. Determinarea lungimii de rezonanță  $L$

Se utilizează nomograma din anexa A14.

4. Plasarea nodului de oscilație

Se utilizează relația (5.8).

#### 5.1.4. Proiectarea asistată de calculator a profilelor optime

##### ale concentratoarelor ultrasonice

Calcululele legate de stabilirea profilului optim al concentratoarelor ultrasonice prezentate în lucrările de specialitate [29,39,116,117] sunt deosebit de complicate datorită, pe de o parte, modului dificil folosit la rezolvarea ecuațiilor diferențiale care exprimă propagarea undelor în concentrator, iar pe de altă parte, datorită faptului că după cum s-a văzut în metodele prezentate anterior, determinarea constantelor de integrare se face prin punerea unor condiții inițiale ce nu corespund întocmai începutului procesului de prelucrare.

Din această cauză se aplică o serie de corecții, îndeosebi în ceea ce privește parametrii acustici și forma constructivă a concentratorului. Folosind rezultatele experimentale obținute pe concentratoare tip Fourier și exponențiale, s-au întreprins studii teoretice finalizate în programe de calculator care au permis executarea unor concentratoare eficiente în mărirea amplitudinii de oscilație și rezistențe în funcționare.

Programele de calculator elaborate permit construirea unei game largi de concentratoare care pot fi utilizate la diferite procedee de prelucrare cu ultrasunete cum ar fi: găurirea, ștanțarea, tragerea, extruziunea, etc. De asemenea, programele de calculator permit determinarea tensiunilor din fiecare profil de concentrator precum și a deplasărilor pentru a cunoaște punctele de viteză nulă de-a lungul concentratorului. Acest lucru servește la fixarea sistemului acustic pe instalația mecanică cu pierderi minime de energie ultrasonică.

Au fost realizate programe în limbaj PASCAL, pentru proiectarea unui concentrator exponențial (anexa A15), unui concentrator catenoidal (anexa A16), a unui concentrator conic (anexa A17) și a unui concentrator cilindric în trepte, având ca bază de calcul ecuațiile stabilite de profesorul Marcov și sintetizate în tabele. Aceste programe realizează și reprezentarea grafică a profilului concentratorului, a variației amplitudinii de vibrație și a tensiunii mecanice prin concentrator. La încărcare programul necesită următoarele date de plecare (vezi schema logică din anexa A18):

- a. frecvența de rezonanță  $f$  (determinată experimental);
- b. diametrul inițial  $D_0$  care este egal cu cel al transductorului dacă acesta este de tip piezoelectric, sau circumscris suprafeței radiante dreptunghiulare în cazul unui transductor de tip magnetostrictiv;
- c. diametrul vârfului concentratorului,  $d$ ;
- d. viteza sunetului prin materialul concentratorului (se determină experimental sau din tabel),  $v_s$ ;
- e. modulul de elasticitate al materialului concentratorului,  $E$ ;
- f. pasul de calcul, pas;
- g. legea de variație a secțiunii concentratorului cu particularitățile caracteristice fiecărui tip de suprafață, introduse ca subprograme.

## **5.2. SOLUȚII CONSTRUCTIVE SPECIALIZATE ALE**

### **ECHIPAMENTELOR DE ACTIVARE**

În cadrul cercetărilor teoretice și experimentale desfășurate privind utilizarea ultrasunetelor în multiple aplicații industriale, alegerea echipamentului ultrasonic adecvat este determinantă.

Echipamentele de activare în volum limitat, în flux continuu sau interstițial prezintă atât în această lucrare, cât și pe plan mondial o mare diversitate constructivă. Rezultă o "eterogenitate" din punct de vedere constructiv care, în raport cu modul de propagare și focalizare a energiei ultrasonice, conduce la particularizări în producerea efectelor de omogenizare, emulsionare și sterilizare și, deci, la dispersia rezultatelor experimentale.

În diagrama rezumativă prezentată în anexa A19 este redată influența densității de



*putere volumică în raport cu timpul de activare la metoda activării în volum limitat, folosindu-se două variante de lucru:*

- *varianta A, cu ansamblu transductor - concentrator de tip cuvă;*
- *varianta B, cu ansamblu transductor - concentrator imersat în cuvă.*

*Efectele de omogenizare și sterilizare au fost cuantificate prin evaluare indirectă, folosindu-se raportul dintre efectul mecanic eroziv al cavitației și gradul de omogenizare sau sterilizare corespunzător.*

*Curbele de variație prezentate corespund celor două tehnici, omogenizare și sterilizare, în cele două variante de lucru A și B, pentru efecte de activare apreciate la nivel mediu de 80%.*

*S-au urmărit cu precădere valorile corespunzătoare situațiilor extreme (combinații de minim și maxim) a parametrilor principali, precum și cele mediane caracterizate de obicei prin combinația considerată optimă de utilizatori. Aceste rezultate permit de altfel o mai rapidă optimizare pe baza planului de exprimare factorial.*

*În cazul activării în flux continuu, diagrama rezumativă din anexa A20 prezintă dependența puterii efective de activare în raport cu viteza de curgere a lichidului, respectiv cu debitul acestuia. Pentru coerența determinărilor se pot accepta diametre maxime ale conductei în zona de activare de 10 mm. În caz contrar există riscul unei neuniformități în intensitatea câmpului acustic, mai ales la puteri reduse sub 300 W, ceea ce poate face inefficient sistemul. În cazul activării interstițiale, acest lucru nu se evidențiază, mărimea interstițiului, de obicei variabilă, devenind un parametru important al procesului.*

*Valorile marcate în cele două diagrame, ca medii ale valorilor constatate în încercările experimentale cu grad ridicat de similaritate, pot fi fundamental modificate în sens pozitiv sau negativ de atașarea unor elemente de tip sculă (lame, discuri, tuburi, vârfuri, etc.) la capătul activ al concentratorului, așa cum rezultă din numeroasele perfecționări pe care utilizatorii le aduc instalațiilor, majoritatea pe baza unor observații empirice ale proceselor.*

*În continuare sunt prezentate soluțiile constructive ale echipamentelor de activare concepute, realizate și utilizate de autor în cercetările experimentale desfășurate și cuprinse în teză.*

### **5.2.1. Echipamente de activare în volum limitat**

*Dispozitivul de activare în volum limitat tip DAU-01 derivat din construcția asimilată a acestui gen de echipament, atât la universitate, cât și la S.C. Electrotimiș S.A. Timișoara este ameliorat funcțional privind prevederea unei incinte de protecție acustică și prin adaptarea unor facilități tehnice suplimentare (vezi contract 5004/1996 tema 374).*

*Dispozitivul a fost conceput mai ales pentru lucrări de laborator, deci cu durate de funcționare scurte. Se caracterizează prin faptul că poate fi ușor manipulat, are o fiabilitate ridicată și necesită întreținere minimă.*

*Principalele părți componente ale dispozitivului de activare cu ultrasunete se regăsesc în figura 2.31 (capitolul II).*

*Schema de principiu a dispozitivului DAU 01 reechipat este redată în figura 5.4.*

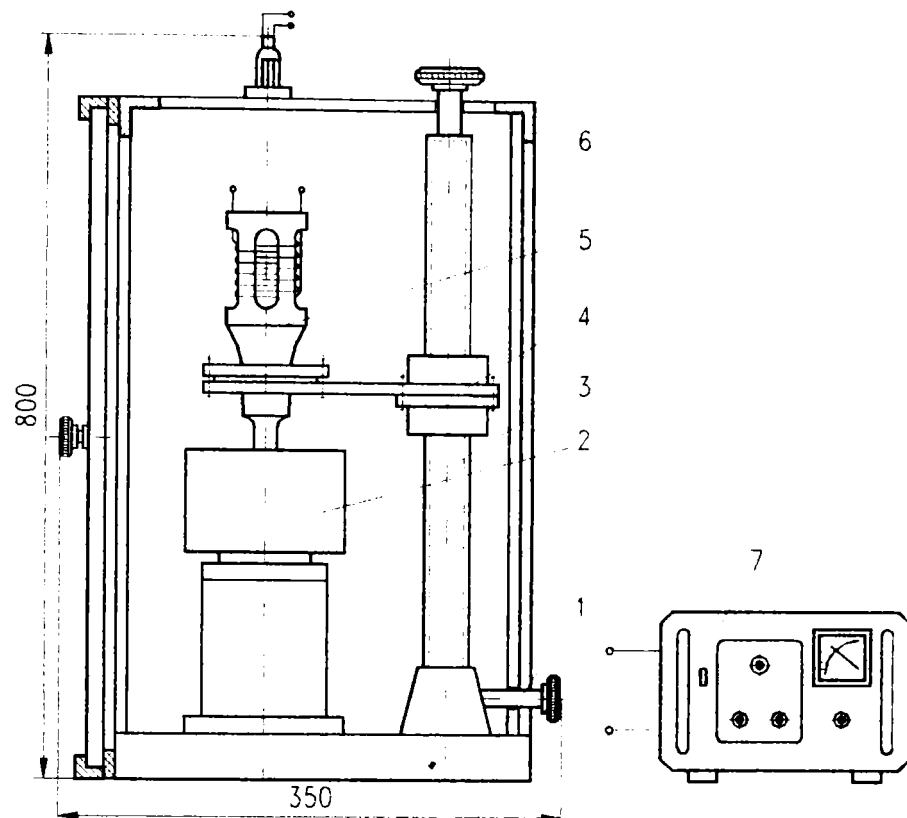


Fig.5.4

Pe placa de bază (1) este fixat, prin sudare, suportul coloanei, prevăzut cu un șurub cu rozetă pentru fixarea coloanei. Coloana (3) are practicată un canal frezat, în care se deplasează o traversă, fiind acționată printr-un șurub conducător, aflat în interiorul coloanei. Rotirea acestuia se face cu o rozetă aflată la partea superioară a dispozitivului.

Traversa (4) se fixează prin șuruburi de un manșon ghidat pe suprafața exterioară a coloanei, formând cu ea un ajustaj cu joc. Manșonul, împreună cu brațul orizontal, formează ansamblul suport al capului ultrasonic (5).

Capul ultrasonic, alcătuit din transductor magnetistrictiv din ferite, concentrator și sculă, este fixat pe braț prin intermediul a două inele izolatoare din cauciuc și a unei flanșe prevăzută cu patru șuruburi.

Incinta acustică (6) este realizată din tablă, căptușită cu polistiren pentru izolație fonică. Ea are prevăzut un vizor din plexiglas, pentru vizionarea procesului din exterior.

Pentru o funcționare cât mai adecvată a dispozitivului, atât ansamblul capului ultrasonic, cât și ansamblul masă suport - incintă de lucru au fost prevăzute cu posibilitatea de deplasare pe verticală, adică poziția reciprocă sculă-obiect de lucru este modificabilă. Totodată, incinta de lucru se află pe o masă rotativă (2).

Caracteristicile tehnice principale ale dispozitivului sunt următoarele :

- generator de ultrasunete GUS – 200 ;
- putere maximă de lucru : 200 W ;
- frecvență de lucru : 20kHz ;
- capul ultrasonic de lucru:
  - transductor magnetostrictiv din ferită tip I 20;
  - concentrator conic din OLC 45;

- cursa de poziționare pe verticală a capului de lucru: 50 mm;
- dimensiunile plăcii de bază: 295 x 210 x 35 mm.

### 5.2.2. Echipamente de activare în flux continuu

Echipamentele de activare cu ultrasunete în flux continuu reprezintă alternativa cea mai interesantă din punct de vedere al posibilităților aplicații industriale. Principiul lor de funcționare se bazează pe optimizarea cuplului constituit din doi parametri:

- putere ultrasonică de activare;
- debit de lichid ultrasonat.

Funcționarea în aceste condiții duce în fapt la realizarea acestor echipamente sub forma constructivă a unor "celule de activare" dispuse în serie sau paralel în circuitele fluxurilor de lichide activate.

□ **Dispozitivul de activare cu ultrasunete în flux continuu DAU-02** prezintă o soluție tehnică derivată din dispozitivul DAU-01, prin implicarea unei celule multifuncționale ce poate fi conectată și la lichide de natură diferită sau de temperaturi diferite.

Dispozitivul este conceput pentru un larg domeniu de utilizare în chimie, medicină, biologie și fizică, pentru emulsionări de uleiuri în apă, dispersări de pigmenți în vopsele și săruri, omogenizări de amestecuri din două lichide, dezintegrări sau distrugerii a unor substanțe ce conțin componente celulare sau de natură biologică, producerea localizată a cavitației ultrasonice, accelerarea unor reacții chimice și altele.

Părțile componente ale dispozitivului de activare DAU-02 sunt prezentate schematic în figura 5.5.

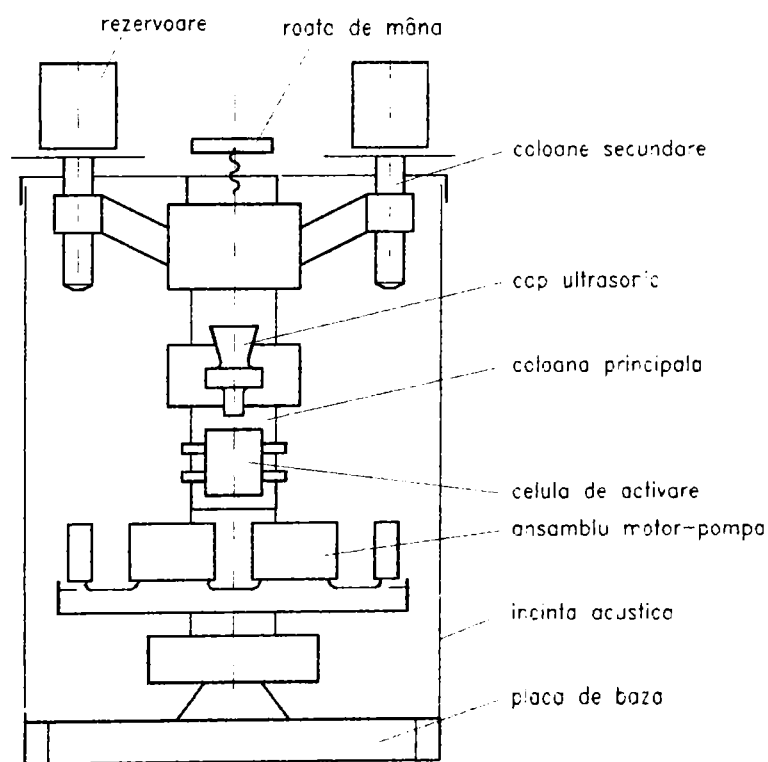


Fig.5.5

Capul ultrasonic (4), aflat pe coloana principală (5), este deplasabil pe verticală, prin acționarea corespunzătoare a unei roți de mână (2), aflată pe partea terminală a coloanei principale. Manevrarea roții se face în fazele de pregătire a lucrului, pentru asigurarea unei poziții cât mai convenabile.

Scula de activare este înșurubată la capătul concentratorului capului ultrasonic. Acest cap ultrasonic este conectat la generatorul de ultrasunete printr-un cablu flexibil, prevăzut cu mufe de conectare pe extremități.

Pe coloana principală sunt fixate, prin intermediul unui sistem de brațe, bucușe de strângere și manșoane, două coloane secundare (3), prevăzute la partea superioară cu câte un ansamblu plită - rezervor. Aceste coloane secundare se pot deplasa pe verticală, la înălțimea dorită.

În momentul în care lichidele din cele două rezervoare au ajuns la temperaturile dorite de operator, acesta deschide sistemul de ștrangulare aflat pe furtunul flexibil ce face legătura între rezervor și celula de activare, astfel încât cele două lichide să ajungă în zona de prelucrare cu ultrasunete.

S-a avut în vedere ameliorarea funcționalității dispozitivului DAU-02 prin reechiparea cu un grup motor - pompă pentru recircularea forțată a lichidului și cu o incintă acustică pentru protecția operatorului.

Ansamblul motor-pompă (7), câte unul pentru fiecare rezervor, se află în partea inferioară, pe o placă fixată pe coloana principală.

Celula de activare, fixată prin intermediul unei flanșe de un manșon, are o poziție reglabilă pe coloană.

Capul ultrasonic, aflat pe coloana principală, se poate deplasa pe verticală, prin acționarea roții de mână, prin intermediul unui sistem șurub-piuliță.

Celula de activare este interschimbabilă, adică se poate înlocui cu celule care au diferite circuite de vehiculare a lichidelor, precum și diferite orificii pentru pătrunderea ansamblului concentrator - sculă. În figura 5.6 este ilustrată schema funcțională a dispozitivului DAU - 02 echipat cu celula "C<sub>1</sub>".

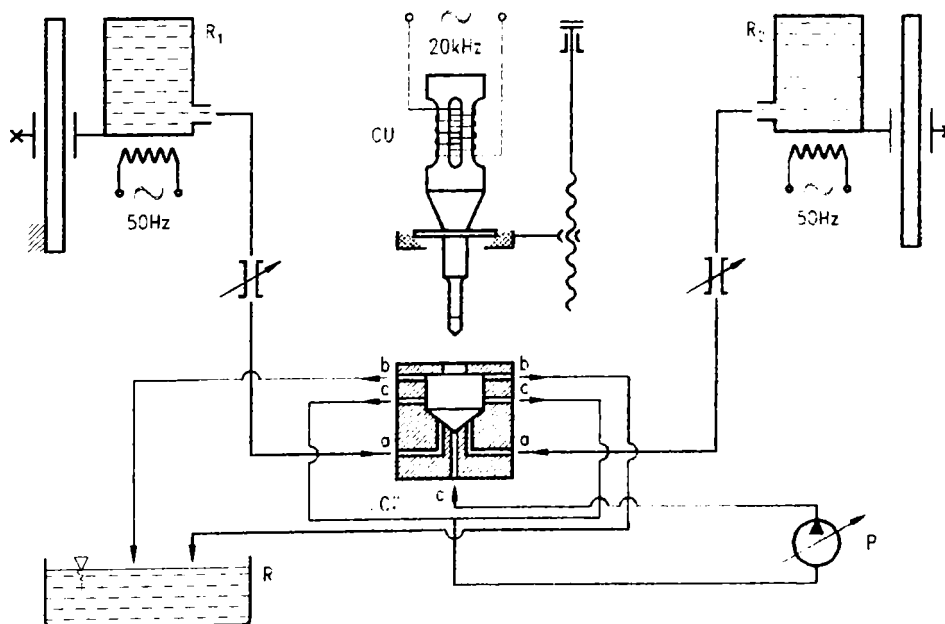


Fig.5.6

Dispozitivul conține următoarele circuite :

- “a”- circuitul de alimentare cu mediu lichid de activare ;
- “b”- circuitul de golire a lichidului activat ;
- “c”- circuitul de recirculare forțată .

În figura 5.7 sunt redată celule de activare interschimbabile pe dispozitivul DAU 02 :

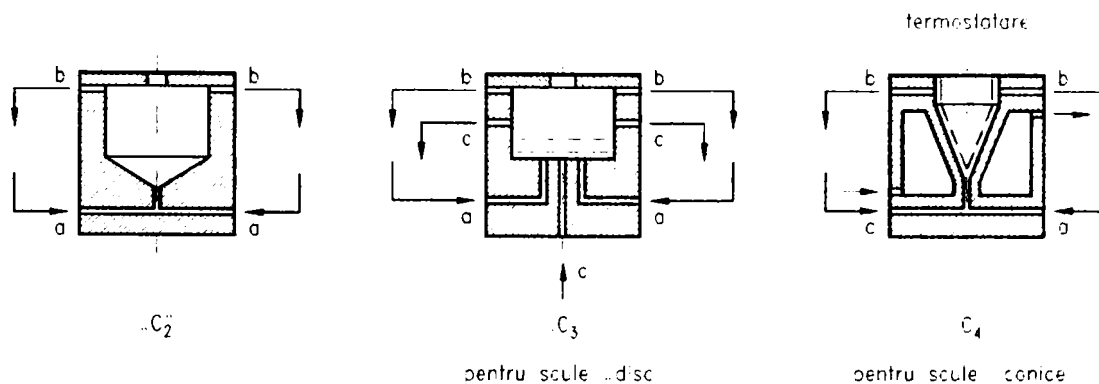


Fig.5.7

Funcționarea dispozitivului de activare în flux continuu se realizează în felul următor: din cele două rezervoare, aflate în partea superioară, la înălțimea dorită, lichidul pătrunde în celula de activare prin circuitul de alimentare “a”. În celulă, lichidul este activat, după care este colectat într-un alt rezervor prin intermediul circuitului “b”, aflat la partea inferioară, pe placa pe care se găsesc ansamblurile motor-pompă. Pentru a se realiza o activare mai bună, mai există un al treilea circuit “c”, de recirculare forțată a lichidului cu ajutorul unei pompe reglabile. Circuitul de golire se găsește la partea superioară a celulei.

Caracteristici tehnice principale:

- capul ultrasonic de lucru:
  - concentrator conic din OLC45;
  - transductor magnetostrictiv din ferită tip I 20;
  - cursa de poziționare pe verticală a capului ultrasonic de lucru: 20mm;
- cursa de poziționare pe verticală a celor două coloane cu rezervoare: max. 350 mm;
- dimensiunile plăcii de bază a dispozitivului: 315 x 275 x 40 [mm];
- distanța între cele două coloane secundare: 200 mm.

Principalele avantaje obținute prin reechipare sunt:

- o mai bună activare a lichidului, prin folosirea celulei de activare cu recirculare forțată a lichidului;
- construcție mai compactă, de dimensiuni mai mici, prin reducerea mărimii plăcii de bază;
- accesul mai ușor la rozeta șurubului conducător, care este de dimensiuni mai mici;
- posibilități de acționare mai bune prin folosirea sistemului de brațe cotite și a rozetelor așezate lateral ( la sistemul de bază acestea fiind amplasate în spate).



În funcție de locul și domeniul de utilizare a dispozitivului de activare în flux continuu DAU-02 există o multitudine de posibilități de utilizare a acestuia, fapt pentru care în continuare sunt prezentate schematic cinci dintre acestea (anexele A21, A22, A23):

- figura 1 (anexa A21): după ce lichidele au ajuns la temperatura de lucru (fiind încălzite de rezistențe) se deschid dispozitivele de ștrangulare ( $DR_1$  și  $DR_2$ ) și ajung în celula de activare prin simplă cădere liberă;
- figura 2(anexa A22): lichidele după încălzire sunt absorbite de pompele cu debit variabil, acționate de motoarele de c.c. EA - 244, și astfel sunt obligate la o vehiculare forțată prin furtunul flexibil către celula de activare;
- figura 3(anexa A22) reprezintă o combinație a primelor două cazuri amintite anterior și anume:
  - după încălzire lichidul din rezervorul A este dirijat forțat către celula de activare;
  - lichidul din rezervorul B ajunge la celula de activare prin cădere liberă.
- figura 4 (anexa A23): din ambele rezervoare, lichidele ajung în celula de activare prin simpla cădere liberă, de aici sunt colectate în alte două recipiente de unde sunt preluate forțat de cele două pompe cu debit variabil și redistribuite dirijat în celula de activare;
- figura 5(anexa A23): principiul de lucru este asemănător cu cel prezentat în figura 4, singura deosebire fiind aceea că unul din cele două lichide este recirculat datorită vâscozității lui mai mari. Recircularea se realizează tot prin intermediul unei pompe cu debit variabil.

□ **Echipment de activare cu ultrasunete în flux continuu EAU-01 (anexa A24) are următoarele părți componente:**

- ansamblul suport al dispozitivului de activare care cuprinde coloana (5) prevăzută cu bușe de fixare a manșoanelor - suport (7) pentru capul ultrasonic (9) și pentru cele două rezervoare;
- rezervoarele (2) și (3) ce conțin cele două lichide ce urmează a fi emulsionate;
- capul ultrasonic (9) care cuprinde concentratorul cilindric în trepte (6) și transductorul magnetostrictiv din ferită (10);
- subansamblul pahar de colectare a emulsiei obținute (4);
- ansamblul motor-pompă (8) ce asigură vehicularea lichidelor între rezervoarele de aspirație și refulare;
- motorul de acționare a șurubului din coloana suport (1), necesar asigurării poziționărilor pe verticală a rezervoarelor cu lichidele de emulsionat.

Debitele celor două medii lichide pot fi reglate prin caracteristicile constructive ale ajutorului (diametru, lungime) și prin diferența de nivel a lichidelor din rezervoare în raport cu secțiunea de evacuare. Aceste reglaje se realizează individual, urmărind pe de o parte asigurarea participării datorită celor două componente în emulsie și însumate să asigure un debit maxim corelat cu puterea de activare ultrasonică.

Emulsia realizată se evacuează continuu, gravitațional, din paharul de colectare.



În fotografia din figura 5.8 este prezentat standul experimental realizat și utilizat de autor la încercările desfășurate.

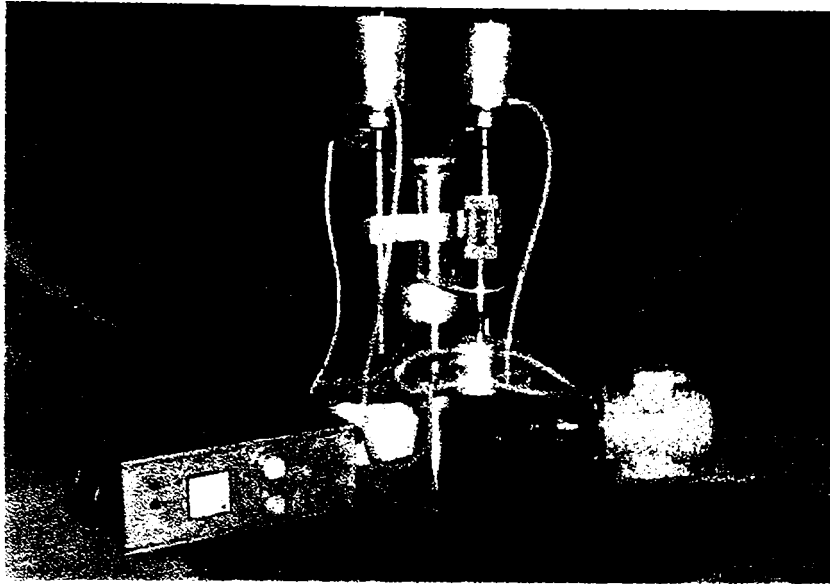


Fig.5.8

□ **Echipament experimental de omogenizare ultrasonică în flux continuu a laptelui provenit din lapte praf**

În cadrul instalației de omogenizare cu ultrasunete a laptelui reconstituit, partea propriu-zisă de omogenizare ultrasonică se constituie sub forma unui subansamblu funcțional separat. Elementul activ, de transfer energetic al ultrasunetelor către lichidul de omogenizat, îl constituie așa zisa celulă de activare.

S-au realizat și testat două instalații de laborator pentru omogenizare în flux continuu:

- instalația cu celulă de activare volumică: I.C.A.V. (anexa A12);
- instalația cu celulă de activare interstițială: I.C.A.I. (anexa A13);

Instalația cu celulă de activare interstițială descrisă în cadrul contractului de cercetare nr.7004/1997, tema 32/893 [156] reprezintă cea mai adecvată structură funcțională pentru o activare multiplă, graduală și eficientă în flux continuu. Are la bază trecerea succesivă a lichidului de activat prin zona de intensitate ultrasonică diferită ca mărime, respectiv prin interstiții active pe ambele fețe, ceea ce ar putea să-i confere calități funcționale deosebite. S-a considerat această soluție tehnică ca având o înaltă probabilitate de a îngloba elemente de originalitate și ca atare s-au făcut demersurile pentru obținerea protecției, prin brevet de invenție la OSIM (nr.C/25, 09.01.1997 solicitanți prof.dr.Iclănzan Tudor, ș.ling.Crețu Nica Mihaela).

Fotografia din figura 5.9 prezintă construcția exterioară de ansamblu a celulei.

□ **Echipamentul de activare ultrasonică în flux continuu EAU-02 (anexa A25)**

Procesul de activare se realizează cu 2 capete ultrasonice (1) și (2) cu posibilitatea dispunerii în linie (la  $180^\circ$ ) sau înclinate față de orizontală cu  $\pm 30^\circ$ . Reglajul dorit se poate obține cu ajutorul raportoarelor (3) și (3'). Un alt reglaj se referă la valoarea interstițiului  $\delta$

care se obține printr-o sanie (4) acționată printr-un mecanism șurub-piuliță prin intermediul roții de mână (5). În proces mai poate fi reglată proporția de participare a fiecărei componente și debitul total acționând asupra piuliței (6), iar blocarea în poziția dorită se realizează prin intermediul șurubului (7).

Optimizarea procesului de activare se poate realiza și prin alegerea corespunzătoare a formei și dimensiunilor elementelor active (8) a celor două capete de lucru.

Mediul lichid activat se colectează în recipientul (9). Folosirea celor două capete permite dublarea puterii de activare și odată cu aceasta a debitului mediului lichid activat.

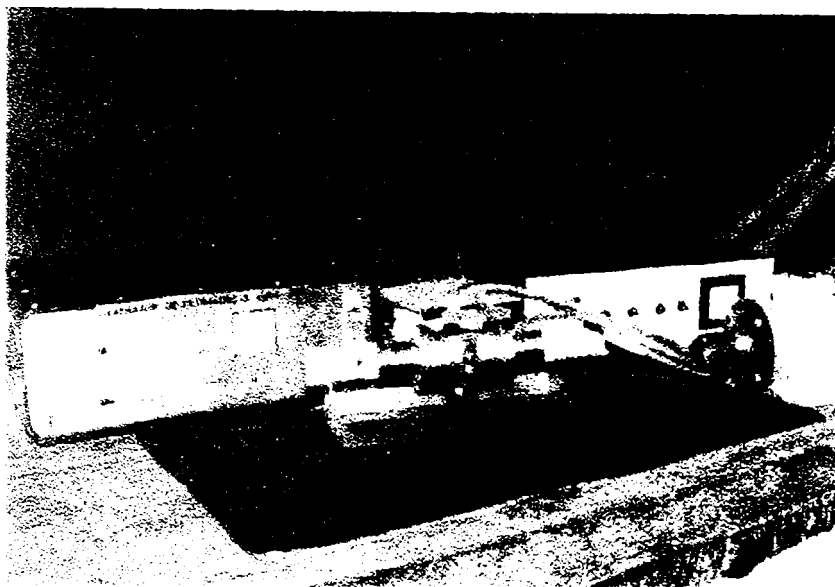


Fig.5.9

### 5.2.3. Adecvarea constructiv – funcțională a echipamentelor de activare

Folosirea instalațiilor DAU-01, DAU-02 și a celulei interstițiale în programul experimental de activare, corelat cu experiența anterioară în domeniu și cu datele oferite în literatura de specialitate au scos în evidență necesitatea adecvării constructiv - funcționale a echipamentelor folosite. Elementele defnitorii ale unei adecvări eficiente se pot semnala în legătură cu următoarele:

- se recomandă utilizarea în exclusivitate a transductoarelor piezoelectrice tip TGUS, acestea oferind o înaltă eficiență de activare. În cazul activării în flux continuu se poate conta pe o densitate specifică de 16 - 18 W/cm<sup>2</sup> la suprafața radiantă a transductorului la funcționarea în regim continuu. În cazul unor activări volumice unde se pot realiza și secvențe scurte cuprinse între 1 - 5 minute de activare se pot accepta și supraîncărcări cu 30 - 40% a acestor transductoare. Deși cele mai eficiente sunt transductoarele de 20 kHz, la aplicațiile în care spațiul de activare este ușor accesibil și neprotejat se recomandă utilizarea transductoarelor de 40 kHz mai acceptabile din punct de vedere al protecției auditive.
- se pot obține considerabile eficientizări ale procesului prin concentrarea energiei ultrasonice în spațiul activ folosindu-se concentratoare adaptoare de undă. Acestea sunt elemente rezonante foarte importante ale căror forme și dimensiuni rezultă

printr-o proiectare riguroasă. Se va acorda maximă atenție coeficientului teoretic de amplificare  $K_t$  al concentratoarelor pentru evitarea tendinței de a exagera nivelul de amplificare, acesta fiind dezastruos pentru integritatea sculei și concentratorului peste o anumită valoare. Se recomandă utilizarea materialelor de calitate, cu bune proprietăți acustice (de exemplu aliaje pe bază de Ti sau aliaj de aluminiu D16T);

- interstițiul și mai ales posibilitatea reglării acestuia poate fi adeseori determinantă pentru un proces de activare în flux continuu. Acesta poate fi asociat și cu adaptarea diferitelor scule de capăt definibile ca formă și dimensiuni pe bază experimentală;
- volumul mediului activat pentru procedeul de activare în volum limitat trebuie păstrat în limite rezonabile. Experiența arată că depășirea unor volume de 0,5 - 0,7 dl este însoțită de o neuniformizare a spațiului activat cu scăderi în eficiența procesului. Raționalizarea procesului trebuie căutată printr-o combinație optimă a parametrilor intensitate acustică - timp, asociată cu influențele favorizante oferite cu ușoara încălzire (30 - 40 °C) și agitarea mecanică a lichidelor activate;
- protecția operatorului prezintă un aspect din ce în ce mai mult luat în considerare din cauza unor posibile efecte nocive imediate sau cumulate ce se pot produce din cauza ultrasunetelor sau a potențialului agresiv al unor lichide. În mod normal, cum ultrasunetele sunt puternic atenuate în aer, nu se impun măsuri speciale de protecție a operatorului, dacă instalația funcționează normal și stabil pe frecvența de rezonanță. Situațiile incompatibile auditiv (evidente doar la frecvențe de lucru de 20 kHz) se produc doar ca urmare a unor manevre necorespunzătoare sau dereglări în timpul funcționării. Ca măsură preventivă se recomandă totuși izolarea acustică a spațiului de lucru.

#### **5.2.4. Activator ultrasonic polivalent AUP (soluție constructivă)**

Experiența acumulată pe parcursul activității de cercetare desfășurate indică cu certitudine necesitatea proiectării unei instalații de activare ultrasonică care să îmbine următoarele caracteristici:

- instalație polivalentă care să permită echiparea și funcționarea conform procedeului volumic sau în flux continuu-interstițial;
- instalație realizată pe structura constructivă tip DAU-01, dovedită fiabilă, versatilă și economică;
- utilizarea exclusivă a convertoarelor ultrasonice bazate pe transductoare piezoceramice de tip TGUS de diferite puteri fie de 20 kHz, fie de 40 kHz;
- posibilitatea conectării facile a instalației la sisteme independente de recirculare a lichidului, fie în circuit deschis, fie în circuit închis (se recomandă utilizarea pompelor peristaltice);
- asigurarea unei incinte de lucru protejată acustic.

*În cele ce urmează se prezintă structura constructivă de bază a activatorului ultrasonic polivalent AUP, în legătură cu desenul de ansamblu redat în anexa A26.*

*Structura de bază comună a activatorului este formată dintr-o placă de bază (1) pe care se montează coloana principală de tip țevă (2) de susținere a brațelor - suport (3) și (5) pentru ansamblul transductor (14 și 15) - concentrator (4 și 6). Capătul activ al concentratorului (6) (în versiunea echipării pentru activare volumică) pătrunde în incinta unui recipient (7) care poate fi staționar sau rotativ antrenat fiind de un motor electric de tip EA-2, de curent continuu și cu turație variabilă și programabilă. Ansamblul transductor - concentrator poate fi poziționat pe verticală prin acționarea unui mecanism șurub-piuliță (8) de la o rozetă de mână (10).*

*Recipientul (7) este detașabil prin deșurubare față de arborele de antrenare (17). Pe brațul suport (15) se poate realiza cu o montură adecvată instalarea unui ansamblu transductor - concentrator de frecvență 40 kHz accesibil de la actualele pistoale de sudură cu ultrasunete tip PSU-150-40 fabricate de Electrotimiș SA.*

*Întreg ansamblul, asemănător unui DAU-01 raționalizat, este prevăzut cu un înveliș de protecție acustică realizat pe un cadru paralelipipedic sudat (13) și care prevede plăci laterale și tavan din tablă căptușită cu panouri de 20 mm grosime din polistiren expandat, iar în față, în dreptul operatorului este realizată o ușă-geam (11) din polimetaacrilat de 6 mm grosime și prevăzut pe margini cu o garnitură de etanșare tip U din cauciuc sau pâslă.*

*În cazul variantei de echipare pentru activare interstițială în flux continuu (ansamblul AUP - I - 00) pe aceeași structură constructivă, descrisă mai sus, se mai adaugă un al doilea braț suport inferior susținut de un suport de braț I 35 poziționabil în raport cu brațul superior astfel încât să permită dispunerea interstițială a concentratoarelor ultrasonice întrepătrunse.*

*Concentratorul adaptor de undă inferior (4) prevăzut cu canal central de aducțiune realizează cu concentratorul adaptor de undă superior (6) un interstițiu reglabil de tip labirint. Reglarea interstițiului se realizează prin rozeta (16). Recipientul (7) din polimetaacrilat de metil asigură colectarea lichidului de activat care este adus prin tubul flexibil (9) și evacuat prin tubul flexibil (12), racordate la un sistem de circulație forțată a lichidului activat fie în circuit deschis (la o trecere prin interstițiu) fie în circuit închis (mai multe treceri prin interstițiu). Ca și în cazul anterior exista posibilitatea realizării unui montaj de activare interstițială pe baza unor convertoare ultrasonice de 40 kHz. Pentru cazul utilizării unui generator de ultrasunete de 1000W tip Branson s-a proiectat un convertor cu concentrator intermediar tip "booster", singurul adaptabil.*

#### **5.2.5. Evaluarea limitelor funcționale impuse unei instalații de activare**

*În dorința obținerii unor activări rapide și eficiente există tendința supraevaluării unor posibilități dacă nu se ține cont de anumite limite funcționale impuse de componentele unei instalații de activare.*

*Aceste limite sunt în legătură cu:*

*1. **Suprafața radiantă** a transductorilor: aceasta este limitată prin dimensiunea  $\phi 50$  pentru a nu exista pericolul disipărilor prin formarea undelor transversale în convertor. La aceasta se mai adaugă faptul că transductoarele au puteri maxime de 1000 și 1500 W*

(TGUS) și ele nu par a putea fi depășite în viitorul apropiat;

2. **Încărcarea specifică:** este redusă pentru feritele magnetostrictive la maxim  $6W\text{ cm}^2$  și de cca  $16 - 18 W\text{ cm}^2$  pentru transductoarele piezoceramice. Pentru activări de scurtă durată se pot accepta și încercări până la  $50W\text{ cm}^2$ . Transductoarele metalice pe bază de aliaje de Ni, deși fiabile și la încercări de  $150 - 200 W\text{ cm}^2$ , prezintă pierderi mari și sunt foarte scumpe;

3. **Coeficientul de amplificare reală  $K_r$** , al concentratoarelor este diminuat considerabil la valori de peste 5 față de cel teoretic  $K_t$ , ceea ce limitează posibilitatea concentrării energiei. Pe de altă parte la coeficienți mari capătul activ și sculele înșurubate nu rezistă la tensiunile mecanice care se produc;

4. **Dimensiunile cuvei** la activare volumică trebuie să fie de maxim 1 litru pentru a păstra omogen câmpul acustic și, deci, eficiența în spațiul activării;

5. **Dimensiunile interstițiului** de activare nu se recomandă mai mari de 10 mm din aceleași motive precizate mai sus;

6. **Temperatura maximă** practic admisibilă în zonele de activare nu este rațional să depășească  $40^\circ\text{C}$  pentru a nu diminua efectul cavitației și a nu încălzi prin conducție transductorul;

7. **Sistemele cu transductoare** înseriate la procedeul activării în flux continuu nu sunt performante dacă transductoarele nu sunt strict aliniat la aceeași frecvență de rezonanță.



# CAPITOLUL VI

## CONCLUZII FINALE SI CONTRIBUTII PERSONALE

*Ultrasunetele longitudinale și plane au efecte complexe asupra mediilor lichide și vâsco-elastice. Parametrii care influențează operațiile care intervin în procesele tehnologice sunt: frecvența undelor acustice, energia acustică, intensitatea, presiunea acustică, impedanța, coeficientul de atenuare și cavitația acustică. Fiecare parametru în parte are un rol hotărâtor în desfășurarea corespunzătoare a procesului, astfel:*

- Frecvența undelor ultrasonice contribuie la intensificarea transformărilor fizice, chimice sau biochimice, sau frânează desfășurarea lor în funcție de valorile ei, mai ridicate sau mai coborâte, cuprinse în intervalul 16 - 10<sup>6</sup> kHz. Frecvența optimă la care se obține eficiența maximă diferă cu natura mediului de propagare;*
- Intensitatea acustică contribuie la intensificarea proceselor de transfer de impuls, de căldură și de substanță, dar pentru aceasta ea trebuie să depășească o valoare de prag (minimă) și să nu depășească o valoare maximă. În afara acestor limite ea poate avea efecte negative, de aceea sunt necesare cercetări pentru stabilirea acestor limite și a optimului de acțiune pentru dirijarea și controlarea transformărilor, având în vedere că aceste limite diferă de la mediu la mediu;*
- Presiunea acustică influențează procesele hidrodinamice și transferul de substanță și este în interdependență cu ceilalți parametri;*
- Coeficientul de atenuare și valoarea lui este funcție de proprietățile mediului în care se propagă undele, de aceea el poate fi utilizat în aprecierea calității produselor. Pe baza fenomenelor de atenuare a undelor se pot construi aparate pentru controlul calității materiilor prime și a produselor finite;*
- Cavitația acustică este un fenomen complex cu efecte multiple asupra materialelor prin care se propagă undele. Prin efectele ei mecanice, acustice, optice, chimice și biologice intensifică procesele de transfer de impuls (emulsionare, dizolvare, sedimentare și filtrare), transfer de căldură și substanță (extracție, uscare și cristalizare), biochimice (care intervin în prelucrarea materialelor biologice).*

*Cavitația, prin efectele ei biologice poate inactiva sau distruge unele microorganisme favorizând pasteurizarea și sterilizarea atermică a produselor alimentare.*

*Prezenta lucrare cuprinde sinteza rezultatelor cercetărilor teoretice și experimentale întreprinse de autor în domeniul utilizării ultrasunetelor în activarea mediilor lichide și vâsco-elastice de lucru cu multiple aplicații în industrie.*

*Din cele expuse în cadrul tezei, se evidențiază următoarele considerații finale asupra activării ultrasonice a mediilor de lucru industriale:*



1. În urma studiului bibliografic laborios și a analizei rezultatelor cercetărilor experimentale întreprinse de diferiți autori privind efectele ultrasunetelor în mediile lichide (cuprinse în capitolele I, II și III) se poate concluziona că fenomenul cavitațional constituie efectul cel mai complex, cu numeroase consecințe cu privire la efectele secundare și la aplicațiile active ale ultrasunetelor. Cavitația apare în zonele de rezistență mică a lichidului datorat prezenței unui gaz dizolvat sau a impurităților (germeni de cavitație) și este condiționată de o anumită valoare a intensității, care depinde de frecvența și de proprietățile lichidului, numită intensitate de prag. Cavitația ultrasonică stă la baza unui număr mare de efecte secundare: mecanice, acustice, termice, de sonoluminescență, chimice, etc.
2. Prin cercetările teoretice și experimentale desfășurate privind particularitățile efectului cavitațional s-a evidențiat efectul mecanic de eroziune ca măsură relativă a fenomenului de cavitație ultrasonică. Acest efect mecanic de eroziune (descriș în capitolul III, subcap.3.1.), introdus ca bază a unei metode de evaluare a cavitației ultrasonice în 1970 de Pholmann este acceptat și în prezent ca cel mai concludent și se bazează pe măsurarea efectului de eroziune cavitațională asupra unei folii subțiri de aluminiu supusă activării. Suprafața erodată este direct proporțională cu intensitatea câmpului acustic și durata de ultrasonare. În consecință, s-au putut evalua indirect efectele de curățire și sterilizare prin intensitatea efectelor, exprimată procentual.
3. Din analiza distribuției câmpului cavitațional în băile de activare (subcapitolul 3.2.) s-a concluzionat că pentru optimizarea operațiilor de curățire, emulsionare, omogenizare se impune dispunerea elementelor active în planele ventrelor, în apropierea feritelor, iar dacă acest lucru nu este posibil, elementul activ se va mișca într-unul din planele ventrelor, de preferat în cel mai de jos, unde intensitatea câmpului este mai mare.
4. Cercetările experimentale legate de efectul sterilizant al propagării ultrasunetelor prin medii lichide (prezentate în subcapitolul 4.1.) au condus la următoarele concluzii:
  - prin activarea ultrasonică a mediilor studiate se obține o sporire apreciabilă a efectului de sterilizare aproximativ proporțional cu timpul și puterea de activare;
  - odată cu creșterea intensității și timpului de activare crește și temperatura lichidului ultrasonat.
5. În cazul tratării cu ultrasunete a laptelui, urmărind efectul sterilizant (subcapitolul 4.1.3.), s-a constatat că sporirea energiei disipate în proces, atât prin creșterea duratei de expunere, cât și a creșterii puterii de activare, au dus la scăderea numărului total de germeni și de bacterii coliforme existente în proba ultrasonată. Astfel, tratarea cu ultrasunete a laptelui de consum s-a dovedit a fi un procedeu eficient de sterilizare, în special în ceea ce privește scăderea numărului total de germeni, având în vedere că limita maximă a acestora în laptele acceptat la consum este de 300.000 /ml.

6. Prin tratarea berii cu ultrasunete, vizând același efect sterilizant (subcapitolul 4.1.4.), s-a constatat, în urma analizei organoleptice, o depreciere mai rapidă a berii activate un timp îndelungat, datorită eliminării nedorite a dioxidului de carbon, care este un antiseptic. Deci se impune alegerea unui regim optim de prelucrare cu ultrasunete cu un timp de expunere cât mai mic. De asemenea, se necesită optimizarea acestei operații prin tratarea berii într-o incintă închisă, care să împiedice degajarea dioxidului de carbon.
7. În cadrul cercetărilor experimentale ce au vizat obținerea emulsiilor prin activare ultrasonică s-au evidențiat posibilitățile și regimul de realizare a emulsiei ulei-apă, precum și stabilitatea în timp a emulsiei realizate (subcapitolul 4.2.). Activarea s-a efectuat în cele două variante, volum limitat și flux continuu, iar concluziile desprinse sunt următoarele:
- se constată o scădere a timpului necesar emulsionării pe măsura creșterii volumului total emulsionat, în condițiile activării în volum limitat pentru valori ale intensităților curentului de alimentare de 1,5A și 2A (proporția de ulei în apă se păstrează constantă); pentru volume mai mari se observă o stabilitate a timpului de emulsionare; se remarcă totodată o creștere a timpului de emulsionare odată cu creșterea proporției de ulei în apă;
  - în condițiile utilizării băii pentru emulsionare este avantajoasă emulsionarea unor volume mai mari, care asigură debite ridicate de emulsionare, motiv pentru care baia activată cu o ferită ( $P_{max} = 150W$ ) va trebui să aibă următoarele caracteristici: capacitatea de 80 cm<sup>3</sup>, diametrul de 54 mm și înălțimea de 35 mm;
  - în cazul activării în flux continuu s-a urmărit determinarea debitelor lichidelor de emulsionat; s-au obținut dependențele debit funcție de presiunea de absorbție și debit funcție de tensiunea de alimentare. S-a observat că la creșterea valorii presiunii de absorbție debitul apei pompate se reduce. În cazul uleiului s-au obținut debite superioare datorită vâscozității mai ridicate a uleiului;
  - emulsiile realizate s-au dovedit stabile în timp, cele două componente neseperându-se nici după 20 zile.
8. Cercetările experimentale legate de activarea ultrasonică a mediilor lichide și vâsco-elastice urmărind efecte de omogenizare (cuprinse în subcapitolul 4.3.) au condus la următoarele concluzii:
- în cadrul cercetărilor privind activarea cu ultrasunete a operațiilor de preparare și condensare a materialelor vâsco-elastice utilizate în obturațiile dentare efectele favorabile au fost evidențiate prin evaluarea celor două caracteristici - rezistența la uzură și rezistența la forfecare - a probelor. Astfel, în cazul silicaturii, prin prepararea și condensarea activate, în condiții de presiune de contact și lungime de cursă constante, dar cu număr de curse duble variabil, s-a obținut un material cu o rezistență la uzură mult ridicată. În cazul probelor din amalgam (Ag + Hg) acestea au dobândit o rezistență la uzură ușor îmbunătățită prin preparare activată și mult mai ridicată prin condensare activată. De

asemenea probele realizate prin preparare și condensare activate sunt mult mai rezistente la forfecare decât cele realizate prin procedeele convenționale. În cazul AMALCAP-ului rezultatele sunt, de asemenea, cele dorite (creșterea semnificativă a rezistenței la uzură prin aplicarea procedurii neconvențional). Probele realizate din amalgam NON GAMMA2 au dat rezultate nesatisfăcătoare;

- în urma omogenizării ultrasonice în flux continuu a laptelui reconstituit din lapte praf rezultatele obținute au fost foarte bune (subcapitolul 4.3.1.). Concluziile sunt următoarele: solubilizarea depinde de tipul produsului utilizat; gradul de solubilitate crește în urma expunerii la ultrasunete la toate probele, obținându-se efect maxim la 40 kHz și timp de expunere 40 secunde; fragmentarea particulelor de grăsime este un fenomen dependent de frecvență (la  $f = 40$  kHz și  $t_{exp} = 40$  s numărul particulelor de grăsime crește cu cca 50%); la frecvența de 40 kHz decolarea laptelui reconstituit nu se produce nici după 24 ore;

9. Cercetările experimentale privind influența principalilor parametri ai activării cu ultrasunete în procesul de sinteză al poliuretanului rigid au urmărit evidențierea influenței principalilor factori cum ar fi: timpul de activare, puterea de activare, proporția de participare a componentelor, grosimea stratului activat, etc., asupra unor caracteristici de bază ale acestui material. S-au ridicat următoarele dependențe:

- variația densității epruvetei funcție de intensitatea curentului electric, respectiv funcție de timpul de activare cu ultrasunete;
- variația tensiunii de comprimare funcție de intensitatea curentului electric, respectiv funcție de timpul de activare cu ultrasunete;
- greutatea după absorbție (24h în apă) funcție de intensitatea curentului electric pentru  $t_{exp} = ct$ ;
- variația tensiunii de încovoiere funcție de intensitatea curentului electric, respectiv funcție de timpul de activare cu ultrasunete;
- absorbția de apă pe volum funcție de intensitatea curentului electric, respectiv funcție de timpul de activare cu ultrasunete;
- greutatea relativă (exprimată procentual) funcție de intensitate pentru  $t_{exp} = ct$ ;

Din analiza graficelor se constată o creștere a rezistenței la rupere prin încovoiere pentru epruvetele realizate prin procedeul neconvențional, urmată de o scădere chiar sub valoarea rezistenței probei realizate neactivat. Se concluzionează că valoarea optimă a intensității se află în jurul valorii de 1,25A. Greutatea după absorbție a materialului are valoarea minimă în cazul probei activate pentru o intensitate a curentului de 1A. În concluzie, realizarea buretelui de izolație pentru conducte subterane, prin activare cu ultrasunete, este avantajoasă în cazul în care se necesită rezistență la încovoiere și comprimare mari, iar mediul în care se realizează izolarea este cât mai puțin umed. Favorabil este și cazul în care se dorește economie de material, realizată prin obținerea unei densități mici. Durata de expunere a probelor la ultrasunete influențează caracteristica de compresiune, în opoziție cu

tensiunea de incovoiere. Astfel, la o expunere de 60s se obtine rezistenta la compresiune maxima, dar inferioara celei obtinute prin procedeul conventional. Tensiunea de compresiune minima s-a obtinut pentru o expunere de 90s, reprezentand 50% in raport cu proba netratata.

10. În cadrul lucrării s-au desfășurat cercetări experimentale ce au urmărit procesarea cu ultrasunete a reziduurilor lingocelulozice (talaj de fag și rumeguș de conifere) în vederea extracției la temperaturi scăzute a componentilor aromatici cu potențial antioxidant (subcapitolul 4.5.). Evaluarea rezultatelor (a creșterii nivelului componentilor solubilizați prin ultrasonare) s-a efectuat prin estimarea nivelului absorbantei în U.V. (ultrasviolet) la 230 și 280 nanometri a fracțiunilor lichide rezultate în urma separării reziduurilor insolubile prin filtrare cu vid. Rezultatele au fost satisfăcătoare în cazul substratului rumeguș de conifere și foarte bune în cazul substratului talaj de fag, pentru care s-a înregistrat prin ultrasonare, comparativ cu probele martor, o creștere a conținutului în componente cu caracter antioxidant cu minim 25%.

11. Sistematizarea rezultatelor experimentale realizate pe echipamentele de activare concepute, realizate și prezentate în lucrare (capitolul V) pe medii diferite și în condiții de proces diferențiate, au condus la foarte multe situații atipice, care îngreunează caracterizarea precisă a unui anumit procedeu (combinație parametri - metodă - echipament) impunându-se numeroase reluări și mai ales necesitatea unor raționalizări în efortul de investigare. Astfel, autorul a tras concluzia că fiecare caz concret în parte presupune o abordare specifică și rezultate particularizate.

Cercetările teoretice și mai ales cele experimentale prezentate în teză constituie fundamentul unor viitoare obiective, și anume:

- sporirea puterilor instalate, iar pentru procesele ce răspund favorabil prelucrării, trecerea la aplicații industriale;
- crearea unor instalații industriale după modelul echipamentelor de laborator realizate;
- creșterea puterii de activare (vizând curățiri, omogenizări, emulsionări, sterilizări);
- extensia cercetării pe noi produse, atât în industria alimentară, cât și în noi domenii cum ar fi cel medical;
- optimizarea constructivă a sistemelor în concordanță cu operația realizată;
- realizarea unor sisteme specializate cu număr redus de reglaje.

Rezultatele cercetărilor și soluțiile constructive au fost valorificate prin:

- ◆ elaborarea și publicarea a 18 lucrări științifice dintre care 9 ca unic autor;
- ◆ colaborarea la 6 contracte de cercetare;
- ◆ un îndrumător de laborator (coautor);
- ◆ un certificat de inovație (nr.573/4.05.1987 "Echipament pentru măsurarea cavitației ultrasonice");
- ◆ cerere de brevet de invenție (nr.C/25/09.01.1997 cu titlul "Dispozitiv de activare



cu ultrasunete a mediilor lichide”).

Contribuțiile originale privesc procesul de activare cu ultrasunete (analizarea și sintetizarea materialelor bibliografice din domeniu), cercetările experimentale privind optimizarea procesului sau a tehnologiei și construcția echipamentelor de activare specifice (subcap.5.2).

Principalele domenii în care se regăsesc aceste contribuții sunt:

- ❖ participarea la lucrările contractului nr.120.1989 privind omogenizarea laptelui reconstituit din lapre praf, beneficiar Institutul Politehnic “Traian Vuia” Timișoara;
- ❖ colaborarea la realizarea unui contract ce a vizat determinarea unor parametri fizico-chimici și biologici ai laptelui, beneficiar Institutul de Chimie Alimentară București;
- ❖ participarea în calitate de colaborator la realizarea unui contract de cercetare pentru S.C. SANEVIT S.A. din Arad, privind îmbunătățirea procesului de curățire cu ultrasunete a seringilor jetabile;
- ❖ colaborarea la lucrările contractului de cercetare nr.373 1996, privind cercetarea activării cu ultrasunete a proceselor de omogenizare și sterilizare în medii lichide și vâscoase, beneficiar Universitatea “Politehnica” din Timișoara;
- ❖ participarea în calitate de colaborator la realizarea contractului de cercetare nr.246/1996 privind activarea cu ultrasunete în volum limitat a unor medii lichide folosite în industria alimentară, beneficiar Institutul de Chimie Alimentară București;
- ❖ colaborarea la realizarea contractului 4004.1995, tema 27B, privind cercetarea, concepția și realizarea unor sisteme experimentale pentru studiul proceselor de prelucrare prin eroziune electrică, electrochimică, rupere de contact electric, eroziune complexă și cu ultrasunete, beneficiar Ministerul Învățământului, C.N.C.S.U.;
- ❖ proiectarea asistată de calculator a profilelor optime ale concentratoarelor: realizarea schemelor logice, a programului în limbaj Pascal și construirea pe baza datelor obținute a unor profile de concentratoare.

# BIBLIOGRAFIE

1. **Academia R.S.R. Comisia de acustică** – *Comunicări de acustică - Sesiunea 21-22 octombrie, 1985*;
2. **Achenbach, J.D.** – *Evaluation of Materials and Structures by Quantitative Ultrasonics*, Ed. Springer, Verlag, New York, 1993;
3. **Alexandru, R., Popa, C., Turtoi, Gh. ș.a.** – *Procesarea minimă atermică și termică în industria alimentară*, Ed. Alma, 1996;
4. **Amos, M.** – *Determining Quality of Fresh Products by Ultrasonic Excitation*, Food Tehnology, 1984;
5. **Amza, Gh.** – *Sisteme ultraacustice*, E.T., București, 1998;
6. **Amza, Gh.** – *Contribuții la studiul fenomenelor de deformare plastică în câmp ultrasonor*, Teză doctorat, București, 1978.
7. **Anton, I.** – *Cavitația*, vol. II, Ed. Academiei R.S.R., București, 1985;
8. **Atanasiu, N.** – *Cercetări privind influența ultrasunetelor asupra comportării la deformare a metalelor și aliajelor și asupra proprietăților semifabricatelor deformate*, Teză de doctorat, Cluj-Napoca, 1975.
9. **Atanasiu, N., Radu, C., Amza, Gh.** – *Calculul și proiectarea profilului optim al concentratoarelor ultrasonice*, Construcția de mașini, nr. 2-3, 1977;
10. **Bainton, K.F., Dr. Silk, M. G.** – *Some Factors which affect the Performance of Ultrasonic transducers*- British Journal of N.D.T., January, 1980;
11. **Banu, C.** – *Progrese tehnice, tehnologice și științifice în industria alimentară*, vol. I, Ed. Tehnică, București, 1992;
12. **Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G.** – *Non-thermal Processing of Food*, 9<sup>th</sup> Congress of Food Sei. Techn., Budapest, 1995;
13. **Bădărău, E., Grumăzescu, M.** – *Ultraacustica fizică și tehnică*, Ed. Tehnică, București, 1967;
14. **Bădărău, E., Grumăzescu, M.** – *Realizări noi în ultraacustică*, Ed. Tehnică, București, 1955;
15. **Bărzoș, D.** – *Microbiologia produselor alimentare de origine animală*, Ed. Ceres, 1988;
16. **Beyer, R.T., Letcher, S.V.** - *Physical Ultrasonics* - Academic Press, New York, London, 1969.
17. **Bhatia, A.B.** – *Ultrasonic Absorbtion: An Introduction to the Theory of Sound Absorbtion and Dispersion in Gases, Liquids and Solids*, Ed. Dover Publications, Nov. 1990;
18. **Blitz, I., M.S.C., A. Inst. P.** – *Fundamentals of Ultrasonics* - Butterworths, London, 1963;
19. **Bonnet, J.C., Tavlarides, L.L.** – *Ultrasonic Technique for Dispersed Phase Holdup Measuremnts* - Department of Chemical Engineering and Materials Science, Syracuse University, New York, 1987;
20. **Bordeașu, I.** - *Eroziunea cavitațională asupra materialelor utilizate în construcția mașinilor hidraulice și elicelor navale*, Teză doctorat, U.P.T., 1997.



21. **Botezatu, V.** – Cercetări asupra posibilității de sinteză a unor forme de undă mecanice în scopul stabilirii tehnologiei optime de prelucrare și a îmbunătățirii tehnologiilor bazate pe ultrasunete - Teza de doctorat, 1983;
22. **Bratu, D., ș.a.** – Curs de materiale dentare, Lito UMFT, 1993;
23. **Cârstean, Gh.** - Cercetări experimentale privind activarea ultrasonică a mediilor lichide, Proiect Stat, U.T.T., 1995.
24. **Cojocar, Z., Dragomir, T., Drăgan, O.** – Cercetări privind fabricarea și utilizarea feritelor magnetostrictive, Sesiunea de comunicări I.C.E.M., București, 1975;
25. **Crețu-Nica, M., Bădescu, I.** – Contribuții ale Întreprinderii "Electrotimiș" privind dezvoltarea aplicațiilor industriale ale ultrasunetelor de mari energii - Salonul de creație științifică și tehnică, Timișoara, 27-29 iunie 1989;
26. **Crețu-Nica, M.** – Optimizarea proiectării asistate pe calculator în procesele de presare - Conferința de tehnologii și utilaje pentru prelucrarea materialelor prin deformare plastică la rece, Timișoara, 20-21 octombrie 1989;
27. **Crețu-Nica, M.** – Tehnologii și utilaje pentru prelucrări neconvenționale - a VI-a Conferință de procese și utilaje de prelucrare la rece, Timișoara, 5-6 mai, 1989;
28. **Crețu-Nica, M.** – Distribuția câmpului în băile cilindrice activate cu ultrasunete - Al VII-lea Simpozion - "Tehnologii și produse noi în construcția de mașini" - Suceava, 4-6 iunie 1993;
29. **Crețu-Nica, M.** – Calculul și proiectarea concentratoarelor adaptoare de undă a sistemelor acustice rezonante - Referat I, doctorat, Timișoara, 1991;
30. **Crețu-Nica, M.** – Studiul, sinteza și definirea obiectivelor și strategiei de cercetare pe baza documentației și experienței tehnologice existente în domeniul activării ultrasonice a unor lichide industriale - Referat II, doctorat, Timișoara, 1992;
31. **Crețu-Nica, M.** – Cercetări teoretice și experimentale privind optimizarea procesului de activare în medii lichide în volum limitat și în flux continuu - Referat III, doctorat, Timișoara, 1994;
32. **Crețu-Nica, M.** – Cercetări privind activarea cu ultrasunete a operațiilor de preparare și condensare a materialelor pentru obturații dentare - A VII-a Conferință Internațională de inginerie managerială și tehnologică, Timișoara, 1-2 iunie 1995;
33. **Crețu-Nica, M., Turc, C.** – Mijloacele și metodele folosite pentru încercarea materialelor dentare preparate și condensate prin activare cu ultrasunete - A VII-a Conferință Internațională de inginerie managerială și tehnologică, Timișoara, 1-2 iunie 1995;
34. **Crețu-Nica, M.** – Cercetări privind efectul sterilizat al propagării ultrasunetelor prin medii lichide - A VII-a Conferință Internațională de inginerie managerială și tehnologică, Timișoara, 1-2 iunie 1995;
35. **Crețu-Nica, M.** – Some Results of Ultrasounds Activation Processes Research - Modelare și optimizare în construcția de mașini, Bacău, 1996;
36. **Crețu-Nica, M., Turc, C., Nica, M.** – Unele rezultate privind sudarea cu ultrasunete - A VII-a Conferință Internațională de Inginerie Managerială și Tehnologică, Timișoara, 1-2 iunie 1995;
37. **Crețu-Nica, M., Nica, M.** – Cercetări experimentale privind influența timpului de activare cu ultrasunete în procesul de sinteză al poliuretanului rigid - secț. B, Sibiu, nov. 1995;
38. **Crețu-Nica, M.** – Cercetări experimentale privind influența puterii de activare în procesul de sinteză al poliuretanului rigid - Conferința Internațională de Comunicări Științifice "Tehnologii moderne în construcțiile de mașini" Iași, mai 1996;

39. **Crețu-Nica, M., Turc, C.** - Proiectarea asistată de calculator a profilelor optime ale concentratoarelor ultrasonice - Al V-lea Simpozion de Geometrie Descr., Desen, Design și Grafică asistată de calculator, Timișoara, iunie, 1996;
40. **Crețu-Nica, M., Turc, C.** - Prelucrarea datelor experimentale cu ajutorul calculatorului - Al V-lea Simpozion de Geometrie Descr., Desen, Design și Grafică asistată de calculator, Timișoara, iunie, 1996;
41. **Crețu-Nica, M.** - Cercetări experimentale privind activarea cu ultrasunete în volum limitat a unor medii lichide folosite în industria alimentară - Sesiunea anuală de comunicări științifice, Oradea, mai, 1997;
42. **Crețu-Nica, M.** - Cercetări privind utilizarea ultrasunetelor în tehnologiile de prelucrare a produselor alimentare lichide - A VII-a Conferință Internațională de Tehnologii Neconvenționale, Timișoara, mai, 1997;
43. **Crighton, D.G.** - Interconexiuni între acustica și mecanica fluidelor, *Journal of Fluid Mechanics*, 1981.
44. **Damian, D.** - Cercetări privind condițiile de transfer maxim de energie către sarcină, la generatoarele de ultrasunete de uz industrial, Teză doctorat, I.P.T.V.T., 1982.
45. **Dean, D.S.** - A Review of Ultrasonic Transducer Arrays, *British Journal of N.D.T. (Non Destructive Testing Annual Conference)* May, 1979;
46. **Deneli, A.K.** - Defectosopia metallov- Metallurghia, Moskva, 1972;
47. **Dimberg, L., Theander, O., Lingnert, H.** - Avenanthramides - A Group of Pheriodic Antioxidants in Oats, *American Association of Cereal Chemists, Inc.*, 1993;
48. **Dimitriu, E., Nicolau, P.** - Ultrasunetele - posibilități de utilizare în industria alimentară și biologie, Ed. Medicală, București;
49. **Dinberg, L.H., Lingnert, H.** - Avenanthramides - A Group of Pheriodic Antioxidants in Oats - *American Association of Cereal Chemists, Inc.*, 1993;
50. **Drăgan, O., Iancu, C., Amza, Gh., Driner, D., Isarie, I.** - Ultrasunete de mari energii, Ed. Academiei RSR, București, 1983;
51. **Drăgan, O.** - Cercetări privind tragerea la rece a țevilor pe dop activat ultrasonic, Teză de doctorat, Timișoara, 1975.
52. **Dumitru, E.** - Ultrasunete - posibilități de utilizare în industria alimentară și biologie, Ed. Ceres, București, 1990;
53. **Duke, J.K.**, *Acousto Ultrasonics - Theory and Applications*, Ed. Plenum Publishing Corporation, 1988.
54. **Edmonds, P.D.** - *Ultrasonics (Methods of Experimental Physics)*, vol. 19, New York, Academic Press, 1981.
55. **Eisner, E.** - *A longitudinally resonant stub for vibrations of large amplitude*;
56. **Fish, Jh.** - *Physics and Instrumentation of Diagnostic Medical Ultrasound*, Ed. John Wiley and Sons, July, 1990;
57. **Floros, I.** - *Acoustically Assisted Difusion Through Membranes and Bomaterials*, *Food Technology*, 1994;
58. **Frederik, R. J.** - *Ultrasonic Engineering*, New York, London, Sydney, 1965;
59. **Fridman, V.M., Klopovsky, V.A.** - *The low liquid presure acoustic hydrodinamik transducer and its use in spraing processes - Ultrasonics*, 14, 1976;
60. **Fridman, V.M.** - *The interaction mechanism between cavitation bubbles and particles of the solid and liquid phases - Ultrasonics*, 1972.
61. **Fridman, V.M.** - *The interaction mechanism between cavitation bubbles and particles of the solid and liquid phases - USA 1964.*

62. **Gavrilaș, I., Marinescu, N.I.** - *Prelucrări neconvenționale în construcția de mașini*, vol.1, Ed.Tehnică, București, 1991.
63. **Gershoy, A.Miller, D.I.** - *Ultrasound in Medicine*. Pleonum Press, New York, 1976.
64. **Gestrelius, H., Sandholn, T.M.** - *Methods for non-invasive sterility control in aseptically packaged foods*, *Trends in Food Science and Technology*, December 1994.
65. **Gherșgal, D.A, Fridman, V.M.** - *Aparate cu ultrasunete*, Ed.Tehnică, București, 1962.
66. **Goldman, R.** - *Ultrasonic Technology* - Reinhold Publishing Corporation, New York, 1969.
67. **Graff, K.F.** - *Waves and vibrations in curved ultrasonic transmission lines*.
68. **Grumăzescu, M.** - *Ultrasunetul în acțiune*, Ed.Științifică, București, 1964.
69. **Gunasekaran, S., Chyung, Ay.** - *Evaluating Milk Coagulation With Ultrasonics*, *Food Technology*, pg.74, 1994.
70. **Gunasekaran, S., Chyung, Ay** - *Evaluating Milk Coagulation with Ultrasonics*, - *Food Technology*, 1994.
71. **Hrisev, A** - *Mecanică acustică*, E.D.P., București, 1982.
72. **Iclănzan, T.** - *Cercetări asupra parametrilor constructivi și funcționali la mașinilor de prelucrat cu ultrasunete. teză de doctorat*, Inst.Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1976.
73. **Iclănzan, T.** - *Rolul parametrilor acustici în construcția sistemelor de avans la mașinile de prelucrat prin eroziune ultrasonică* - Conferința "Dezvoltare industrială a tehnologiilor neconvenționale, București, 1977.
74. **Iclănzan, T., Savii, Gh.** - *Procedeu automatizat și echipament pentru prelucrarea cu ultrasunete a unor piese din ferită*. - Secțiunea de Comunicări a Academiei R.S.R. - Comisia de Acustică, București, 1980.
75. **Iclănzan T., Crețu-Nica, M.** - *Dispozitive de activare cu ultrasunete a mediilor lichide* - Al VII-lea Simpozion "Tehnologii și produse noi în construcția de mașini", Suceava, 4-6 iunie 1993.
76. **Iclănzan, T., Nica, M., Savii, G.** - *Traductor magnetostrictiv pentru instalații tehnologice cu ultrasunete*, Brevet R.S.R., nr.75098.
77. **Iclănzan, T.** - *Tehnologii și echipamente cu ultrasunete*, Îndrumător pentru lucrări de laborator, U.T.T., 1993.
78. **Ignea, A.** - *Contribuții la calibrarea transductoarelor de măsură cu ultrasunete, folosind metoda autoreciprocității în impuls*, Teză doctorat I.P.T.V.T., 1985.
79. **Izidorczyk, M.S., Biliaderis, C.G.** - *Structural Heterogeneity of Wheat Endosperm Arabinonylans* - 1993.
80. **James, G., Chandra, Sehgal, M.** - *Biologic System Evaluation with Ultrasound* - Ed.Springer - Verlag, New York, 1992.
81. **Jorgen, A., Jensen** - *Estimation of Blood Velocities using Ultrasound: A Signal Processing Approach*, Ed.Cambridge, January 1996.
82. **Kirk Shung, K., Gary Thieme, A.** - *Ultrasonic Scattering in Biological Tissue*, Ed,C.R.C. Press, 1993;
83. **Langenecker, B.** - *Effects of Ultrasound on Deformation Characteristics of Metals Sonics and Ultrasonics*, nr.1, 1966.
84. **Manovicu, V.** - *Bazele tehnologiei monomerilor și polimerilor*, p.III Lito I.P.T.V.T., Timișoara.
85. **Marinescu, I., Drăgănescu, C.** - *Microbiologia produselor alimentare*, E.D.P., R.A.București, 1994.
86. **Marinescu, N. I.** - *Utilizarea prelucrării electrochimice în Industria Constructoare de Mașini* - Ed.Tehnică, București, 1982.

87. **Marinescu, N.I.** - *Prelucrări cu ultrasunete*, Ed. Tehnică, București, 1986.
88. **Markov, A.I.** - *Ultrasonic Machining of Intractable Materials*, Great Britain, 1966.
89. **Matra, I.** - *Contribuții la concepția și realizarea unor sisteme tehnologice activate cu ultrasunete* - Ref.II doctorat, București, 1997.
90. **McDonald, D.J., BSc** - *Ultrasonics, what they can dowire Industry*, febr. 1988.
91. **McClements, D.J.**- *Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing Trends in Food Science and technology*, Sptember 1995.
92. **McClements, D.J.** - *International Advances in Non - Destructive Testing, TrendsFood, sci.Tehmol.*, 1994.
93. **McClements, D.J.**- *Developments in Acoustics and Ultrasonics*, I.O.P.Publishing, UK 1992.
94. **McClements, D.J, Fairley, P.** - *Ultrasonics*, 1992.
95. **Meire, H.B., Pat Farrant** - *Basic Ultrasound* - Ed. John Wiley and Sons, 1995.
96. **Michael, H., Rindi, A.** - *Ultrasound: Medical Applications, Biological Effects and Hazard Potential*, Ed. Plenum Publishing Corporation, January 1986.
97. **Mnerie, D.** - *Contribuții la optimizarea utilizării materialelor piezoceramice în construcția traductoarelor de forță*, Teză de doctorat, U.P.T., 1997.
98. **Mori, E.** - *Analysis of a ultrasonic exponential solid horn with a tool and its design considering fatigue limit*.
99. **Morariu, L.A.**- *Curățirea pieselor în băi activate cu ultrasunete* - *Lucrare grad I*, 1996.
100. **Nagy, I.I.** - *Ultrasunetele și utilizarea lor*, Ed. Științifică și Enciclopedică, București, 1982.
101. **Nani, V.** - *Activarea cu ultrasunete a proceselor de prelucrare prin electroeroziune cu electrod filiform*, Teză de doctorat, U.P.T., 1996.
102. **Nanu, A.**- *Tehnologia materialelor*, E.D.P., București, 1972.
103. **Nanu, A., Nanu, D.**- *Prelucrarea dimensională prin eroziune electrică în câmp magnetic*. Ed. Facla, 1981.
104. **Nanu, S.** - *Contribuții la sudarea prin presiune în câmp ultrasonor a tablelor din aluminiu*. Rezumat teză doctorat, Timișoara, 1985.
105. **Natting, B.E, Neppiras, E.A.**- *Cavitation produced by ultrasonics*, *proc. Phys. Soc. London*, 1950.
106. **Nemeș, T., Petrescu, V.**- *Sisteme și tehnologii de prelucrare cu fluide și suspensii abrazive* - Ed. Universitatea "Lucian Blaga", Sibiu, 1997.
107. **Nica, M.**- *Echipment pentru activarea ultrasonică a mediilor lichide*, *Proiect de diplomă*, 1987.
108. **Nica, M., Crețu-Nica, M.** - *Modele experimentale pentru prepararea și condensarea cu ajutorul ultrasunetelor a materialelor dentare* - A.VII-a Conferință Internațională de Inginerie Managerială și tehnologică, Timișoara 1-2 1995.
109. **Nica, M., Turc, C., Crețu - Nica, M.**- *Model experimental pentru perforarea prin eroziune complexă electrică și electrochimică* - A VII-a Conferință Internațională de Inginerie Managerială și Tehnologică Timișoara, 1995.
110. **Nica, M., Crețu-Nica, M.**- *Sisteme experimentale utilizate la obținerea prin activare ultrasonică a spumelor poliuretanică* - Conferința Internațională de comunicări științifice "Tehnologii moderne în construcția de mașini" Iași, mai 1996.
111. **Nica, M., Crețu-Nica, M., Turc, C.** - *Bazele Cercetării Experimentale. Lucrări de laborator*, Lito, 1997.
112. **Nichici, A.** - *Prelucrarea datelor experimentale, Curs și aplicații*, Timișoara, 1996.



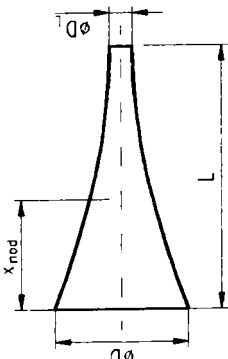
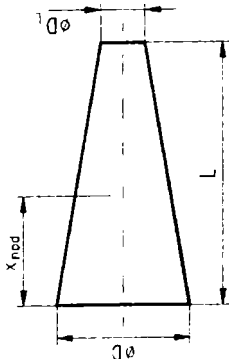
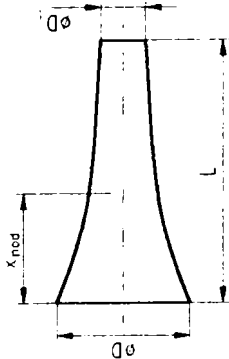
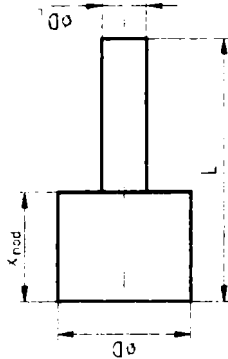
113. **Nichici, A., Popovici, V., Nica, M., ș.a.** - Prelucrarea prin eroziune în construcția de mașini, Ed.Făcla, 1983.
114. **Oroveanu, I.** - Mecanica fluidelor vâscoase, Ed.Academiei, București, 1967.
115. **Paulescu, Gh.** - Contribuții la optimizarea tehnologiei de prelucrare dimensională cu unde ultrasonice a materialelor fragile și dure, Teză de doctorat. 1987.
116. **Paulescu, Gh.** - Studiul dimensionării concentratoarelor ultrasonice compuse, a IV -a Conferință Națională de Tehnologii Neconvenționale, Timișoara, 1983.
117. **Paulescu, Gh.** - Studiul influenței formei concentratoarelor ultrasonice asupra parametrilor acustici și tehnologici la prelucrarea prin eroziune ultrasonică, tehnologii neconvenționale, Simpozion Timișoara, 1986.
118. **Pop, I.** - Fizică generală. Mecanică Agricolă, Acustică, Ed.Didactică și pedagogică, București, 1970.
119. **Rășenescu, I., Oțel, I.** - Îndrumar pentru industria alimentară, Ed.Tehnică, București, 1987.
120. **Ramaszeder, K.** - Utilizarea energiei ultrasonore la prepararea emulsiilor (L'emploi de l'energie ultrasonique a la preparation des amulsions). L'Industries Textile, 1961.
121. **Robert, T., Beyer, Stephen, V., Letcher** - Physical Ultrasonics Academic Press New York, London 1969.
122. **Rozenberg, L.D.** - High-Intensity Ultrasonic Fields - Plenum Press, New York - London, 1971.
123. **Rozenberg, L.D.** - Physical Principles of Ultrasonic Technology. vol.1, 2 Plenum Press, New York - London 1971
124. **Rohn, Truell - Ekbaum and Chick Bruce** - Ultrasonic Methods in solid State Physics, New York.
125. **Rugină, I., Winter, G., Bâjea, N.** - Dimensional Analysis of Ultrasonic System Components Consisting of Sections with Acoustic Impedances Varying by Steps - rev.Roum. Sci.Tech.- București, 1994.
126. **Savii, G., Iclănzan, T., Alimpie, I.** - Echipamente tehnologice cu ultrasunete de utilizări industriale, Sesiunea de Comunicări a Academiei R.S.România, București, 1979.
127. **Savii, Gh., Botezatu, V.** - Cercetări asupra posibilităților de evidențiere dinamică a unor parametri caracteristici ai blocurilor ultrasonice, a IV-a Conferință Națională de Tehnologii Neconvenționale, Timișoara, 1983.
128. **Savii, G., Iclănzan, T.** - Contribuții la studiul mașinilor ultrasonice pentru prelucrarea materialelor, A IV-a C.N.A. vol.II - Ultrasunete, București, 1973.
129. **Segal, R.** - Implicarea tehnologiilor de prelucrare a resurselor agroalimentare în relația alimentație-sănătate, Ind. Alim.Română, Anul V, nr.17, 1996.
130. **Smith, W.M.R., Pwojobi, A.O.** - Factors in the design of ultrasonic probes - Ultrasonics, 17, 20, 1979.
131. **Soutif, M.** - Vibration, propagation, diffusion, paris, Dunod, 1970.
132. **Schaafs, W.** - Molekularakustik, Ed.Springer, Berlin 1963.
133. **Scheffel, M., Știucă, P.** - Dispozitive cu ultrasunete I - II, Ed.tehnică, București, 1989.
134. **SVIAM** - Norme și instrucțiuni privind sterilizarea materialului sanitar.
135. **Șora, M.** - Contribuții privind filtrarea suspensiilor solid-lichid în câmp ultrasonic și identificarea tipului filtrării, Teză doctorat, I.P.T.V.T., 1989.
136. **Teodorescu, L.** - Tehnici neconvenționale pentru intensificarea proceselor de transfer de substanță în industria alimentară. Lucrările simpozionului "Tehnologii speciale și neconvenționale", Universitatea Galați, octombrie 1994.

137. **Teodorescu, L., Merinean, F.** - Posibilități de utilizare a ultrasunetelor în biotehnologiile alimentare, Simpozionul "Tehnologii speciale și neconvenționale", Universitatea Galați, octombrie 1995.
138. **Tudose, C.** - Fizica ultrasunetelor, aplicații în industria alimentară, Galați, 1995.
139. **Turtoi, Gh., Rodica, F., ș.a.** - Procesarea minimă atermică și termică în industria alimentară, Editura Alma, 1996.
140. **Vainstok, I.S.** - Ultrasunetele și utilizarea lor în construcția de mașini, E.T. București 1959.
141. **Vucu, I.** - Cercetări asupra prelucrării dimensionale ultrasonice cu suspensie abrazivă a unor ferite. Teză de doctorat, I.P.T.V.T., Timișoara, 1977.
142. **Vasilescu, V.** - Ultrasunetele în medicină și biologie, Ed. Medicală, București, 1984.
143. **Walkovszky, L., Crețu-Nica, M.** - Determinarea profilului camelor plane rotative cu tachel prevăzută cu rolă. Al V-lea Simpozion de Geometrie Descriptivă, Desen, Design și Grafică asistată de calculator, Timișoara, iunie 1996.
144. \*\*\* - Tehnic 2000 - Comisia de creație tehnico-științifică, Buletin de creație tehnico-științifică Timișoara, 1987.
145. \*\*\* Realizări recente în aplicațiile ultrasunetelor în tehnică. Institutul de documentare tehnică, București, 1962.
146. \*\*\* Higher Pressure Ultrasonic Homogenisers - Food Trade Review - April 1990.
147. \*\*\* Ultrasonic Washing System at Harris Elmswell - Food Trade Review, March 1990.
148. \*\*\* Power Transducers for Sonics and Ultrasonics: Proceedings of the International Workshop Held in Toulon, France, June 1990.
149. \*\*\* Contract de cercetare nr.120/1 din 1989 - Determinarea unor parametri fizico-chimici și biologici ai laptelui - beneficiar Institutul de Chimie Alimentară București.
150. \*\*\* Contract de cercetare nr.120/24.04.1989 - Cercetarea, proiectarea și execuția unui echipament experimental de omogenizare ultrasonică în flux continuu a laptelui provenit din lapte praf - beneficiar Institutul de Chimie Alimentară București.
151. \*\*\* Contract de cercetare nr.4004/1995, Tema 27B - Cercetarea, concepția și realizarea unor sisteme experimentale pentru studiul procedeelor de prelucrare prin eroziune electrică, electrochimică, rupere de contact electric, eroziune complexă și cu ultrasunete. Beneficiar Ministerul Învățământului, C.N.C.S.U.
152. \*\*\* Contract de cercetare nr.5004/1996, Tema nr.390 - Cercetarea, concepția și realizarea unor sisteme experimentale pentru studiul procedeelor de prelucrare prin eroziune electrică, electrochimică, rupere de contact electric, eroziune complexă și cu ultrasunete. Beneficiar Ministerul Învățământului, C.N.C.S.U.
153. \*\*\* Contract de cercetare nr.246/1996 - Activarea cu ultrasunete în volum limitat a unor medii lichide folosite în industria alimentară. Beneficiar Institutul de Chimie Alimentară București.
154. \*\*\* Contract de cercetare nr.883/1997 - Cercetarea, concepția și realizarea unor sisteme experimentale pentru studiul procedeelor de prelucrare prin eroziune electrică, electrochimică, rupere de contact electric, eroziune complexă și cu ultrasunete. Beneficiar Ministerul Educației Naționale, C.N.C.S.U.
155. \*\*\* Contract de cercetare nr.7004 tema 32/893/1997 - Cercetarea activării cu ultrasunete a proceselor de omogenizare și sterilizare în medii lichide și vâscoase. Beneficiar U.P.T.
156. \*\*\* Contract de cercetare nr.295/1998 - Cercetarea, concepția și realizarea unor sisteme experimentale pentru studiul procedeelor de prelucrare prin eroziune electrică, electrochimică, rupere de contact electric, eroziune complexă și cu ultrasunete. Beneficiar Ministerul Educației Naționale, C.N.C.S.U.



# ***ANEXE***

- A1 - Relații generale de calcul al concentratoarelor adaptoare de undă*
- A2 ÷ A11 - Brevete străine reprezentative pentru sisteme de activare volumică și în flux continuu*
- A12 - Instalație cu celulă de activare ultrasonică volumică*
- A13 - Instalație cu celulă de activare ultrasonică interstițială*
- A14 - Nomograme utilizate în proiectarea concentratoarelor adaptoare de undă*
- A15 ÷ A18 - Schema logică și programele în limbaj PASCAL pentru proiectarea unor profile de concentratoare*
- A19 - Diagramă rezumativă ce redă influența densității de putere volumică în raport cu timpul de activare la metoda activării în volum limitat*
- A20 - Diagramă rezumativă ce redă dependența puterii efective de activare în raport cu viteza de curgere a lichidului, respectiv cu debitul acestuia*
- A21 ÷ A23 - Scheme posibile de lucru a dispozitivului de activare ultrasonică în flux continuu DAU-02*
- A24 - Echipament de activare cu ultrasunete în flux continuu E.A.U. – 01*
- A25 - Echipament de activare cu ultrasunete în flux continuu E.A.U. – 02*
- A26 - Activator ultrasonic polivalent A.U.P.*

Nr. crt.	Tipul concentratorului	Legea de variație a secțiunii	Factorul teoretic de amplificarea a amplitudinii	Lungimea concentratorului pentru $n = 1$	Coordonatele punctului nodal ( $x_{nod}$ )
1	<p><b>exponențial</b></p> 	$D_x = D_o e^{-\frac{n}{2}x}$ $n = \frac{2 \ln g}{L}$ $g = \frac{D_o}{D}$	$g = \frac{D_o}{D_L} = N$	$L = \frac{C_L}{2\gamma} \sqrt{1 + \left(\frac{\ln N}{\pi}\right)^2}$	$x_{nod} = \frac{L}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\ln N}{\pi}$
2	<p><b>conic</b></p> 	$D_x = D_o(1 - \alpha x)$ $\alpha = \frac{D_o - D_L}{D_o L}$	$g = \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi L}{x}\right)^2}$	$L = \frac{\lambda}{2} \left(\frac{kL}{\pi}\right);$ <p>unde <math>(kL)</math> este rădăcina ecuației:</p> $\operatorname{tg}(kL) = \frac{(kL)}{(kL)^2 N + 1}$	$x_{nod} = \frac{1}{k} \operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha}{k}\right)$ $k = \frac{\omega}{\omega_L}$
3	<p><b>catenoidal</b></p> 	$D_x = D \alpha h \gamma (L - x)$ $\gamma = \frac{1}{L} \operatorname{arctg} N$	$g = \frac{N}{\cos(k'L)}$	$L = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{(k'L)^2 + (\operatorname{arch} N)^2}$ <p>unde <math>(k'L)</math> este rădăcina ecuației:</p> $(k'L) + \operatorname{tg}(k'L) = \sqrt{1 + \frac{1}{N^2} \operatorname{arch} N}$	$x_{nod} = \frac{1}{k'} \operatorname{arctg} \left(\frac{k' \operatorname{ctg} h \lambda}{\gamma}\right)$ $k' = \sqrt{k^2 + \gamma^2}$
4	<p><b>cilindric în trepte</b></p> 	$D_x = D_o$ <p>pt. <math>0 \leq x \leq \frac{L}{2}</math></p> $D_x = D_L$ <p>pt. <math>\frac{L}{2} \leq x \leq L</math></p>	$g = \left(\frac{D}{d}\right)^2 = N^2$	$L = \frac{\lambda}{2} \frac{C_L}{2v}$	$x_{nod} = \frac{L}{2} \frac{C_L}{4v}$

## Brevet Faña nr. 7538759

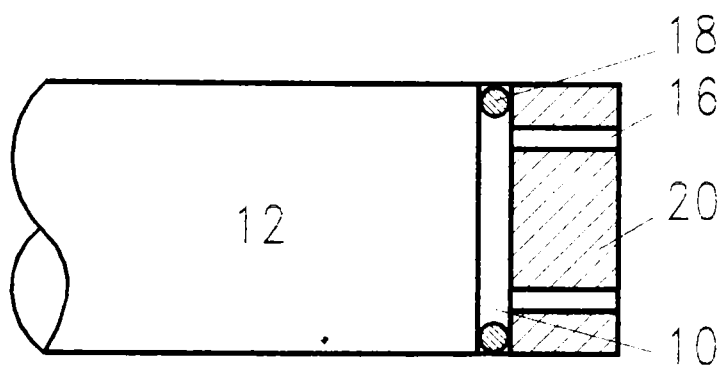


Fig.1

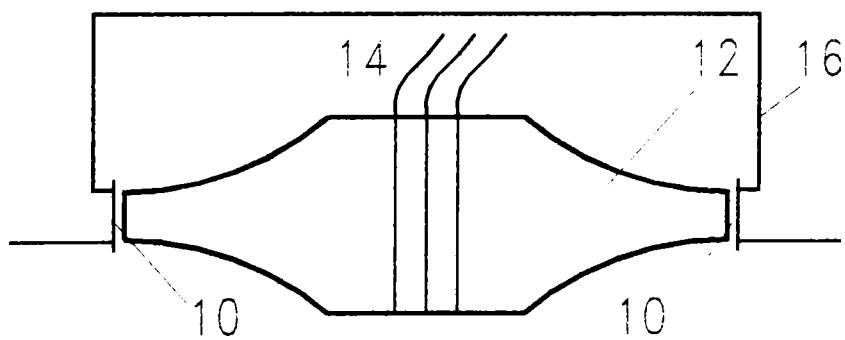


Fig.2

Brevet Marea Britanie nr. 2072029

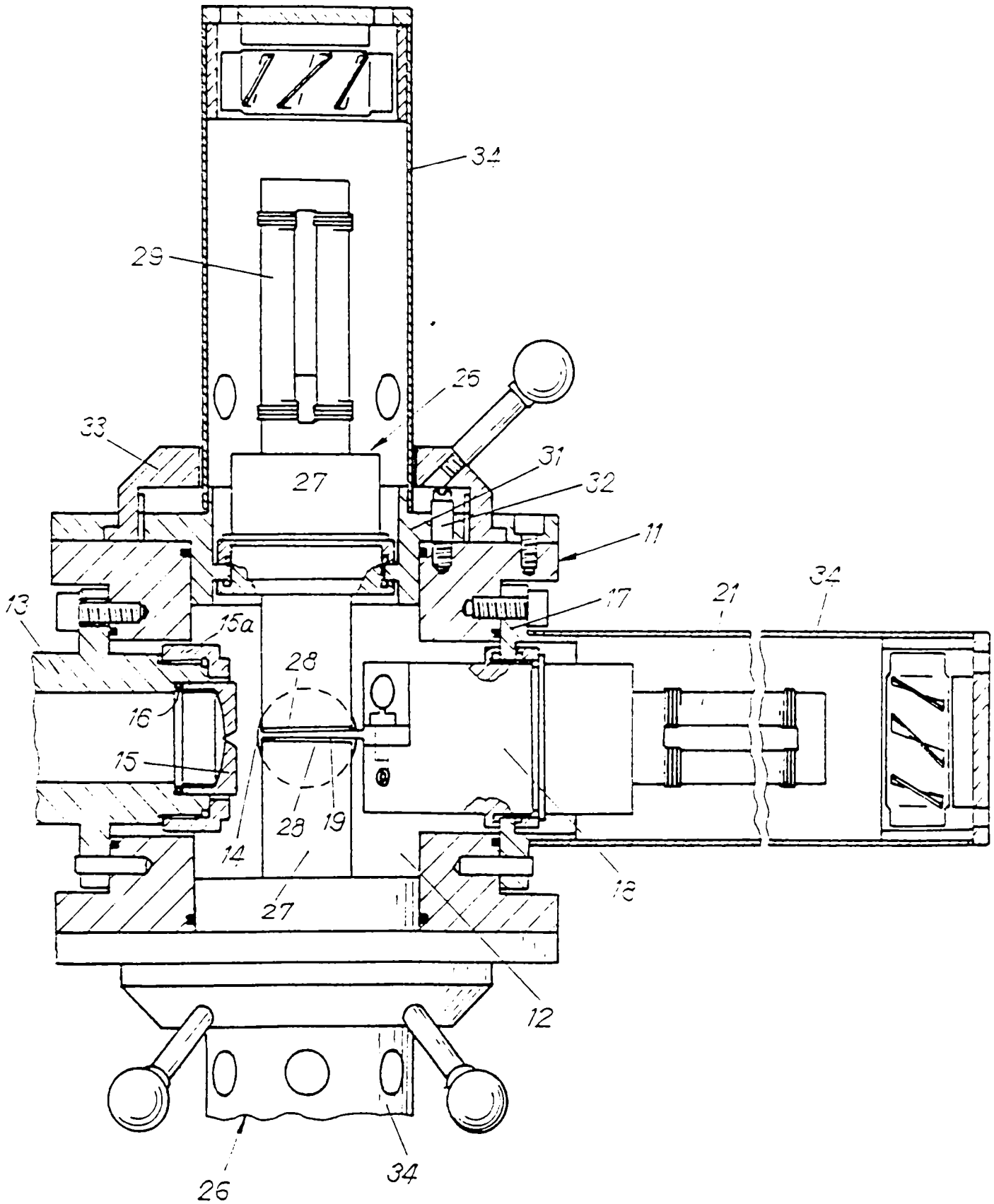
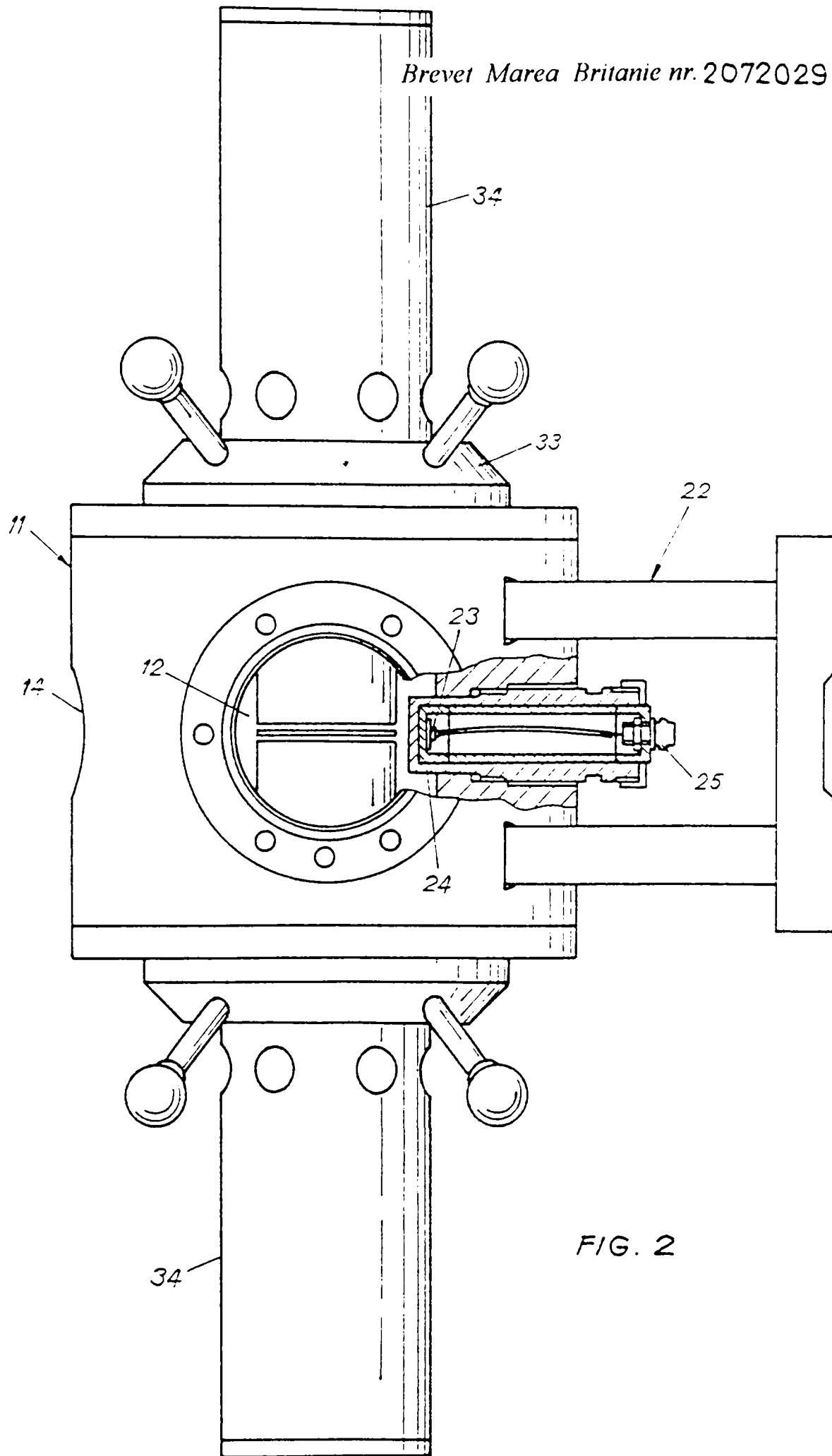


FIG. 1

Brevet Marea Britanie nr. 2072029





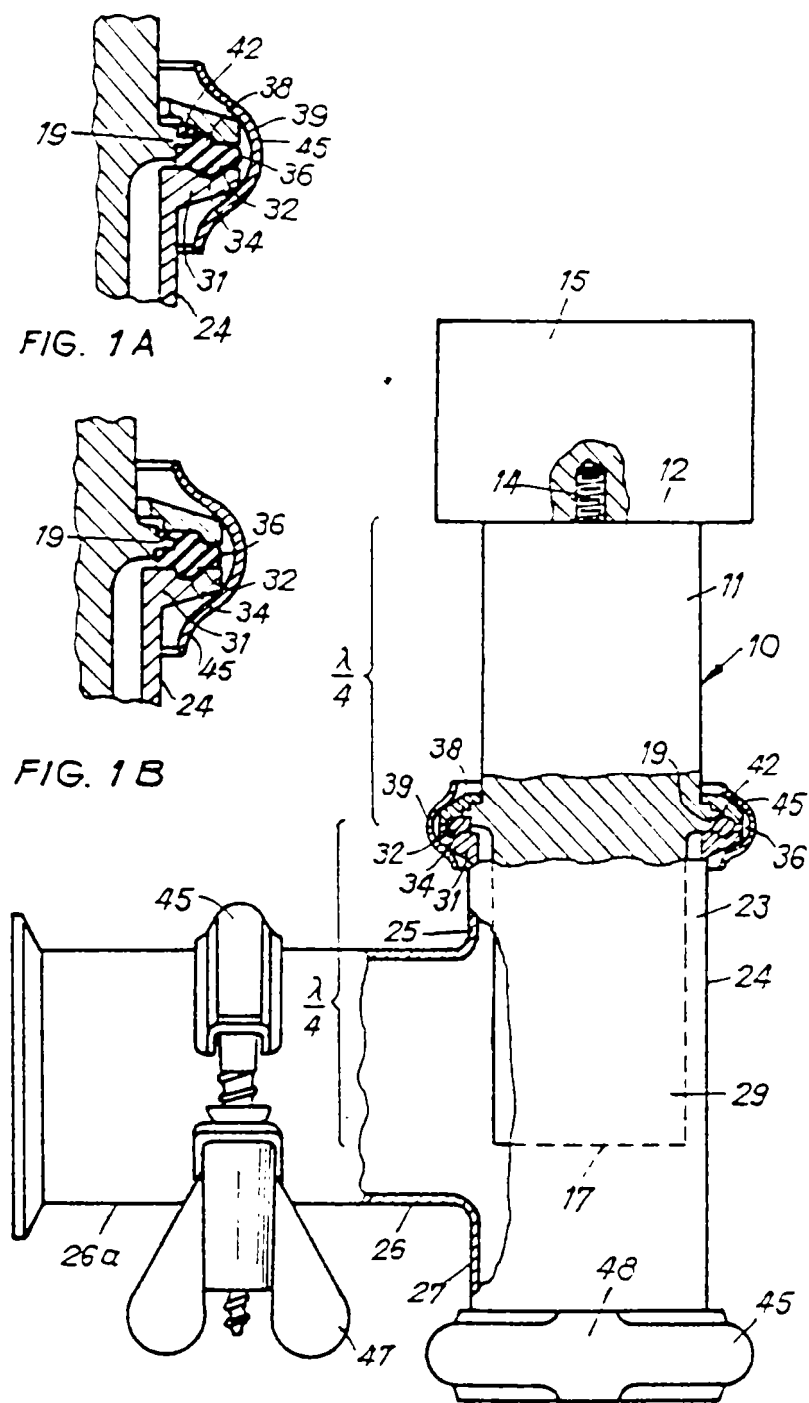
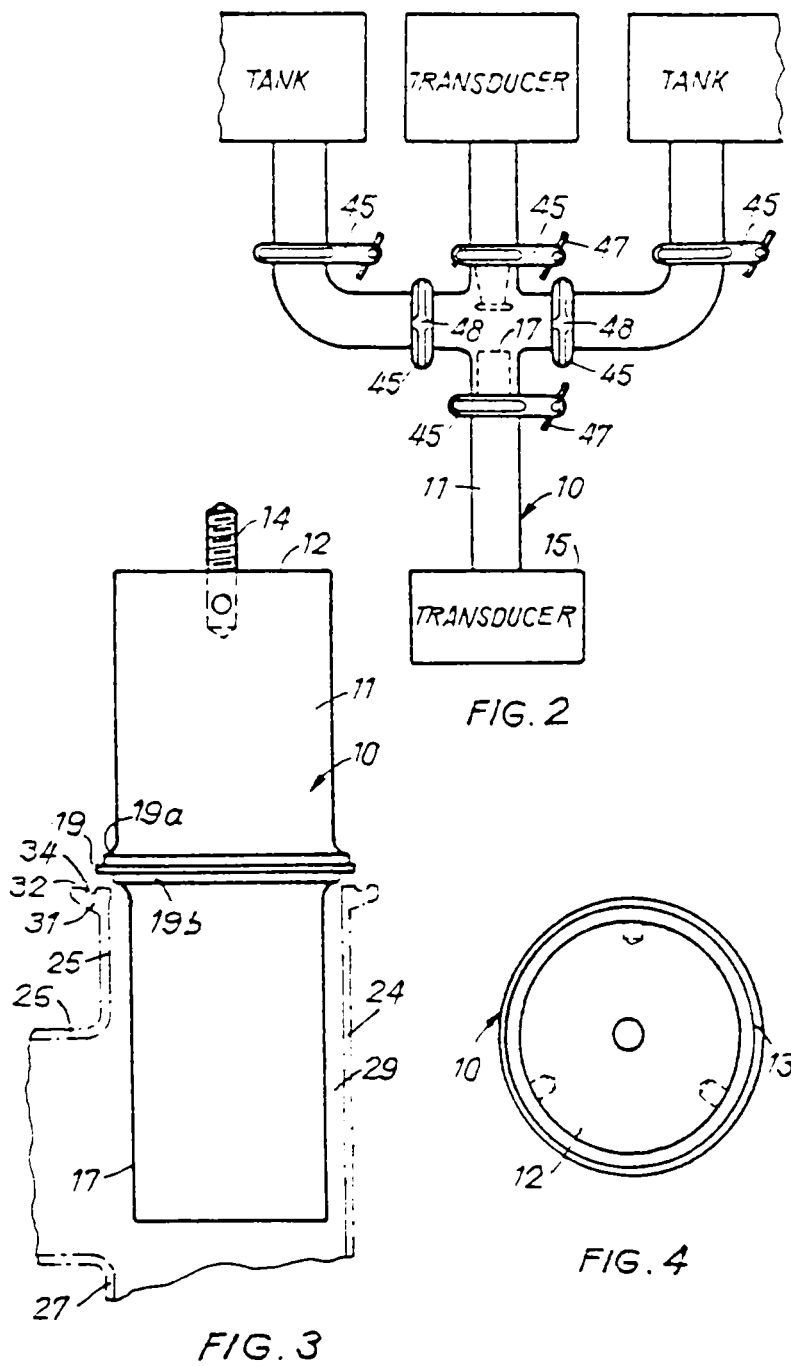


FIG. 1



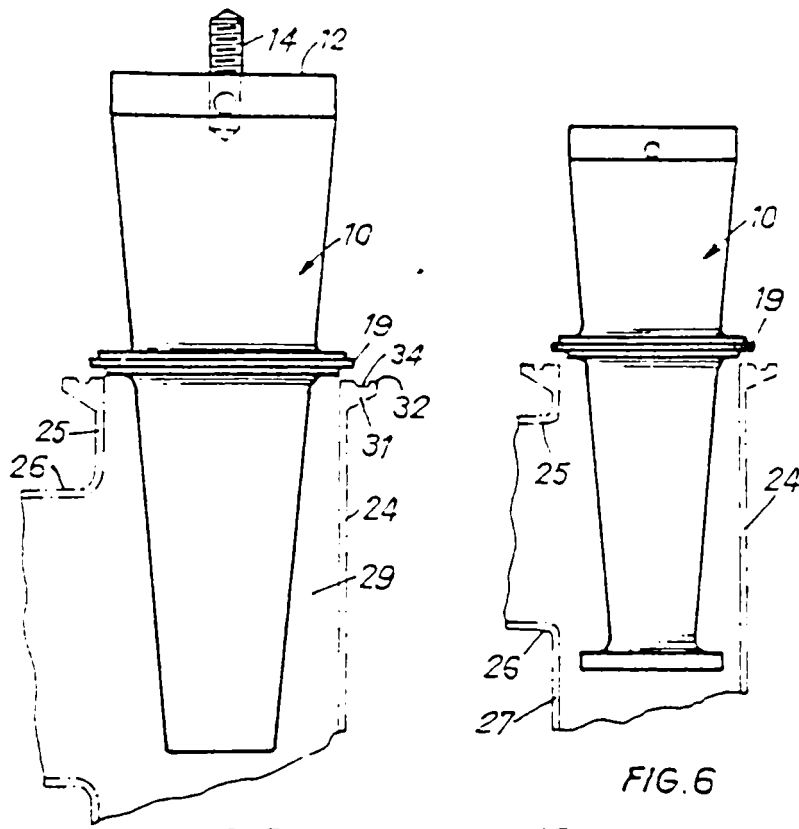


FIG. 5

FIG. 6

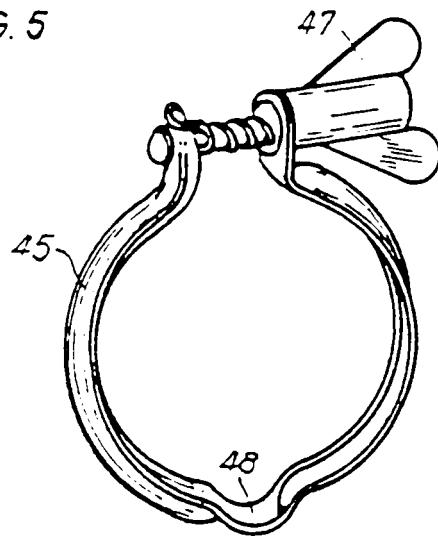


FIG. 7

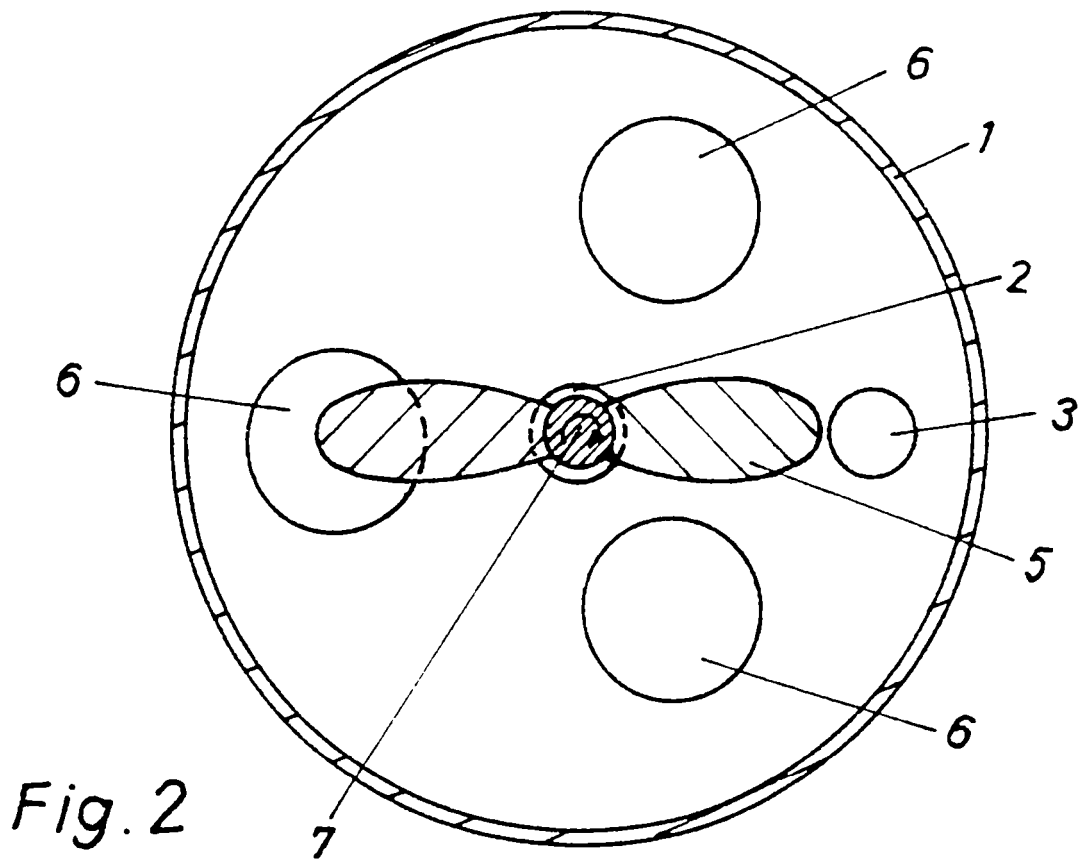
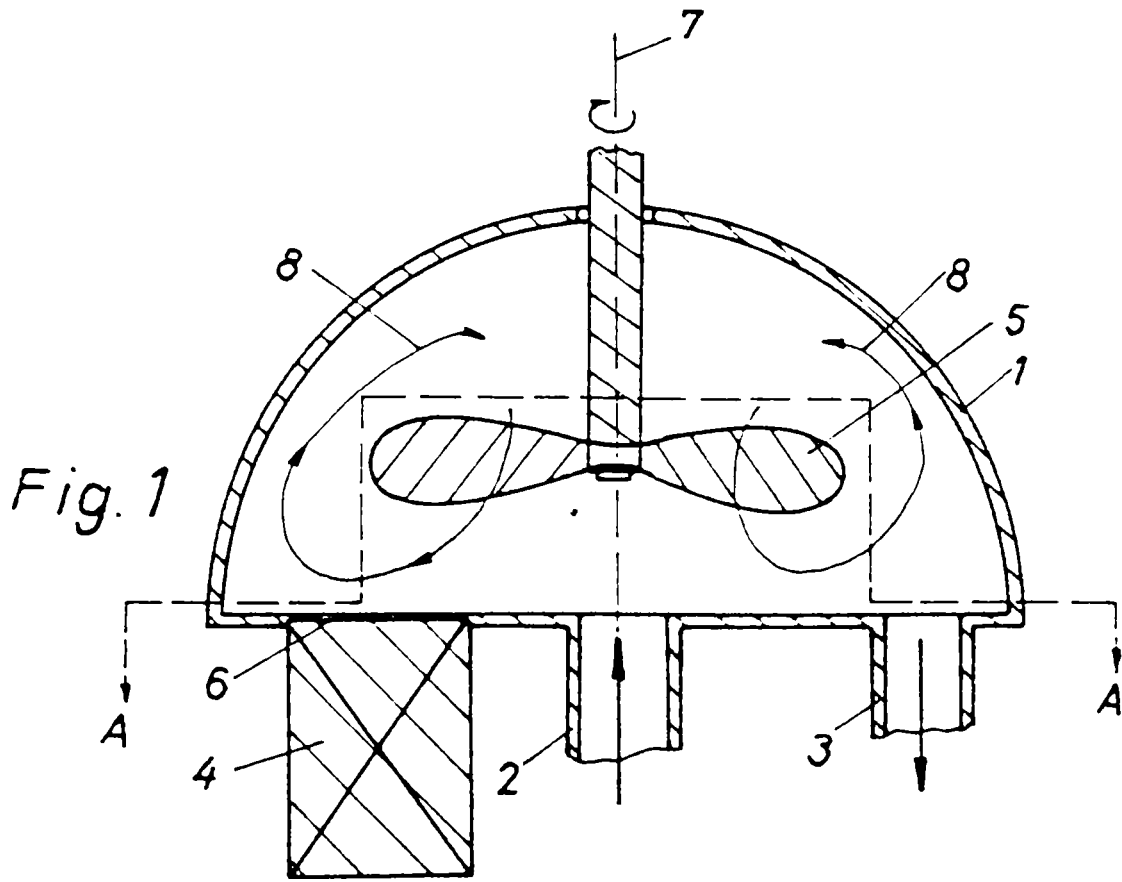


Fig. 3

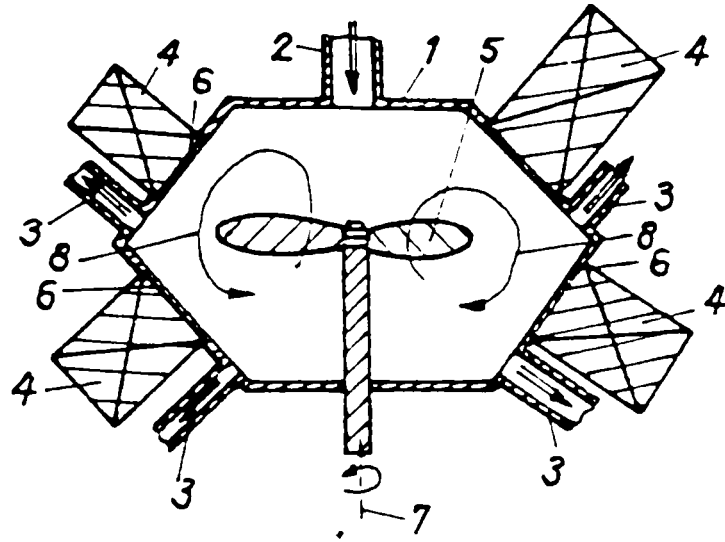


Fig. 4

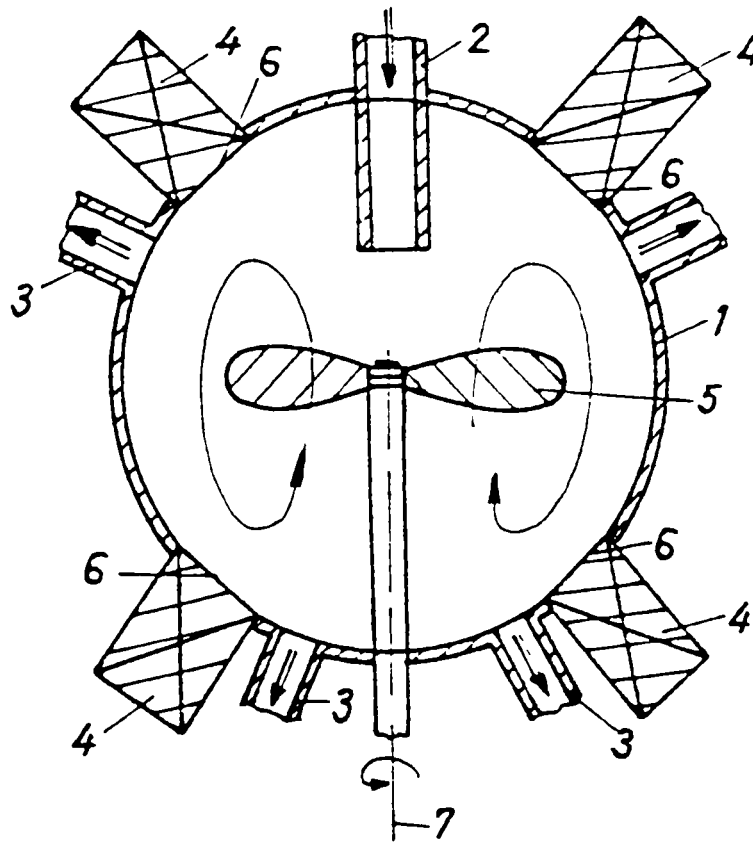


Fig. 5

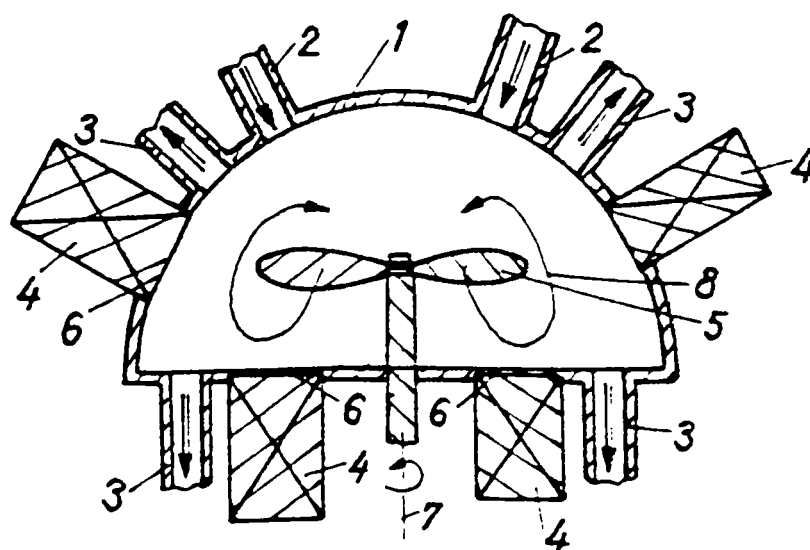


Fig. 6

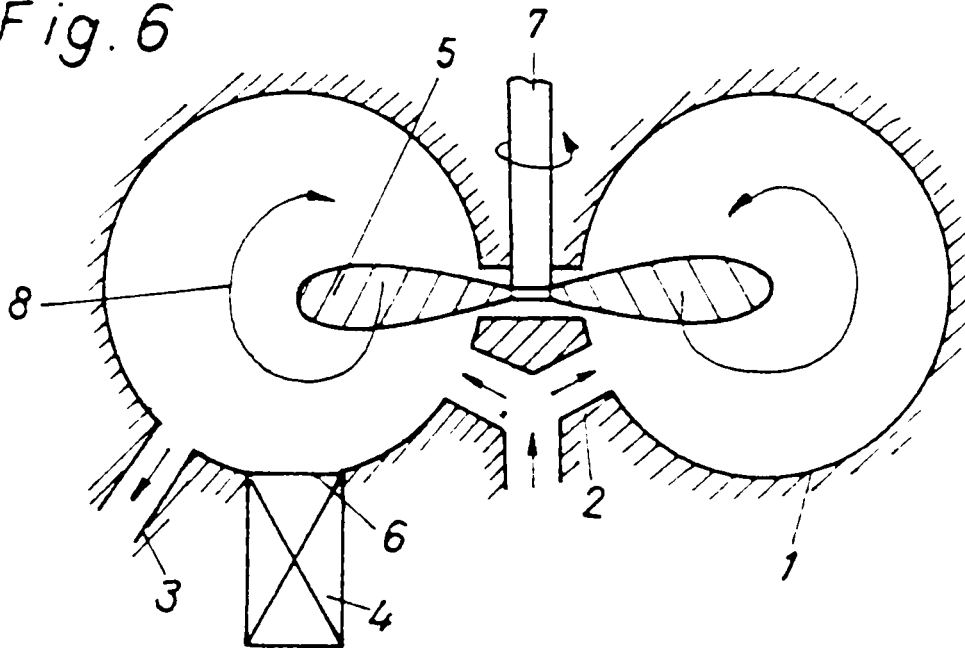
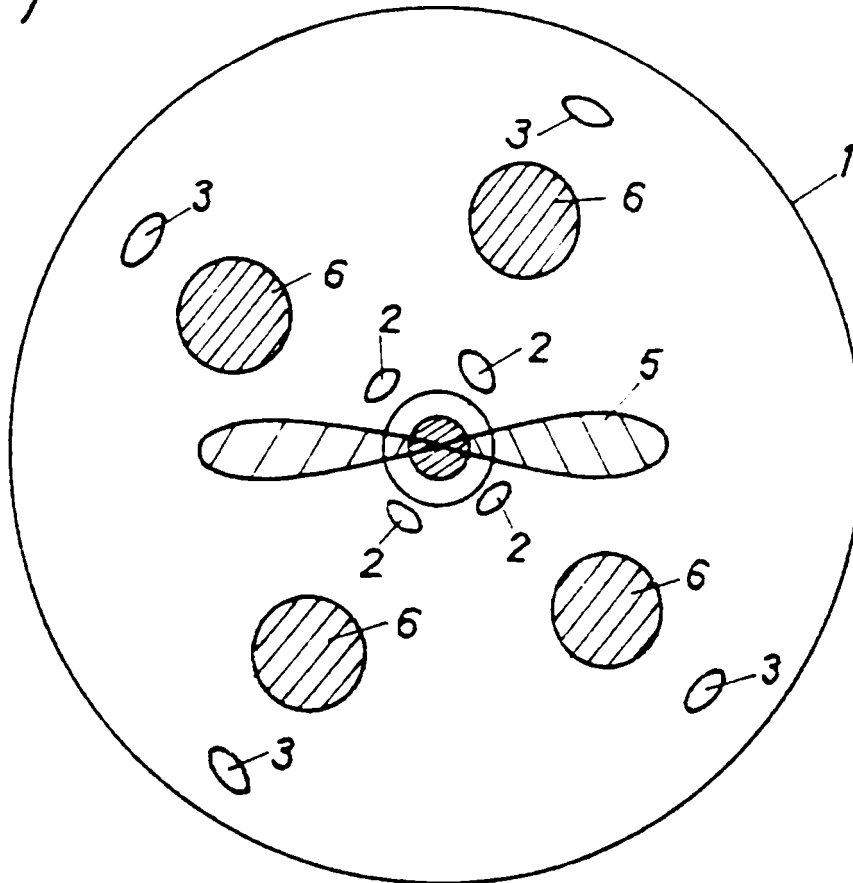
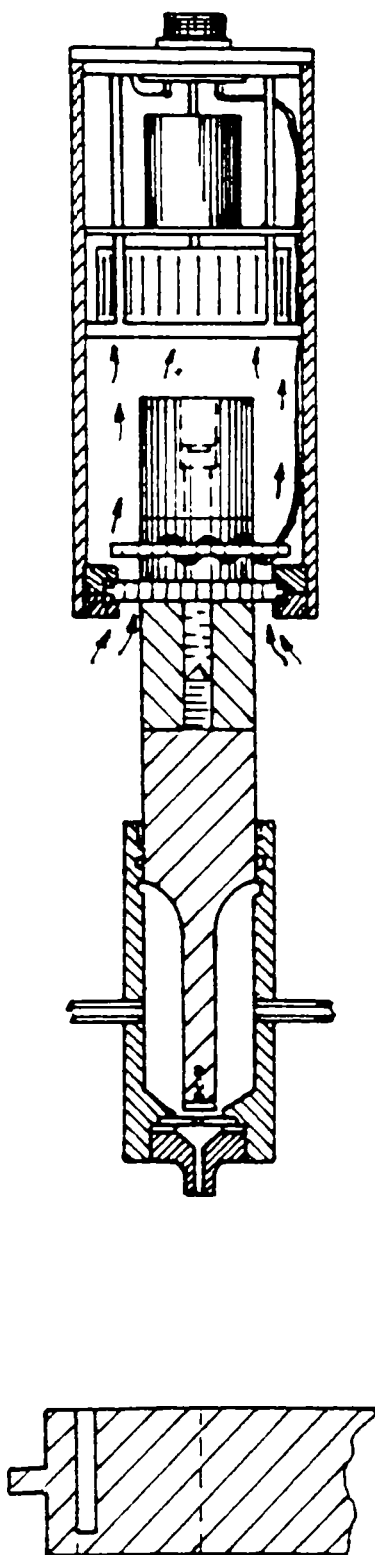


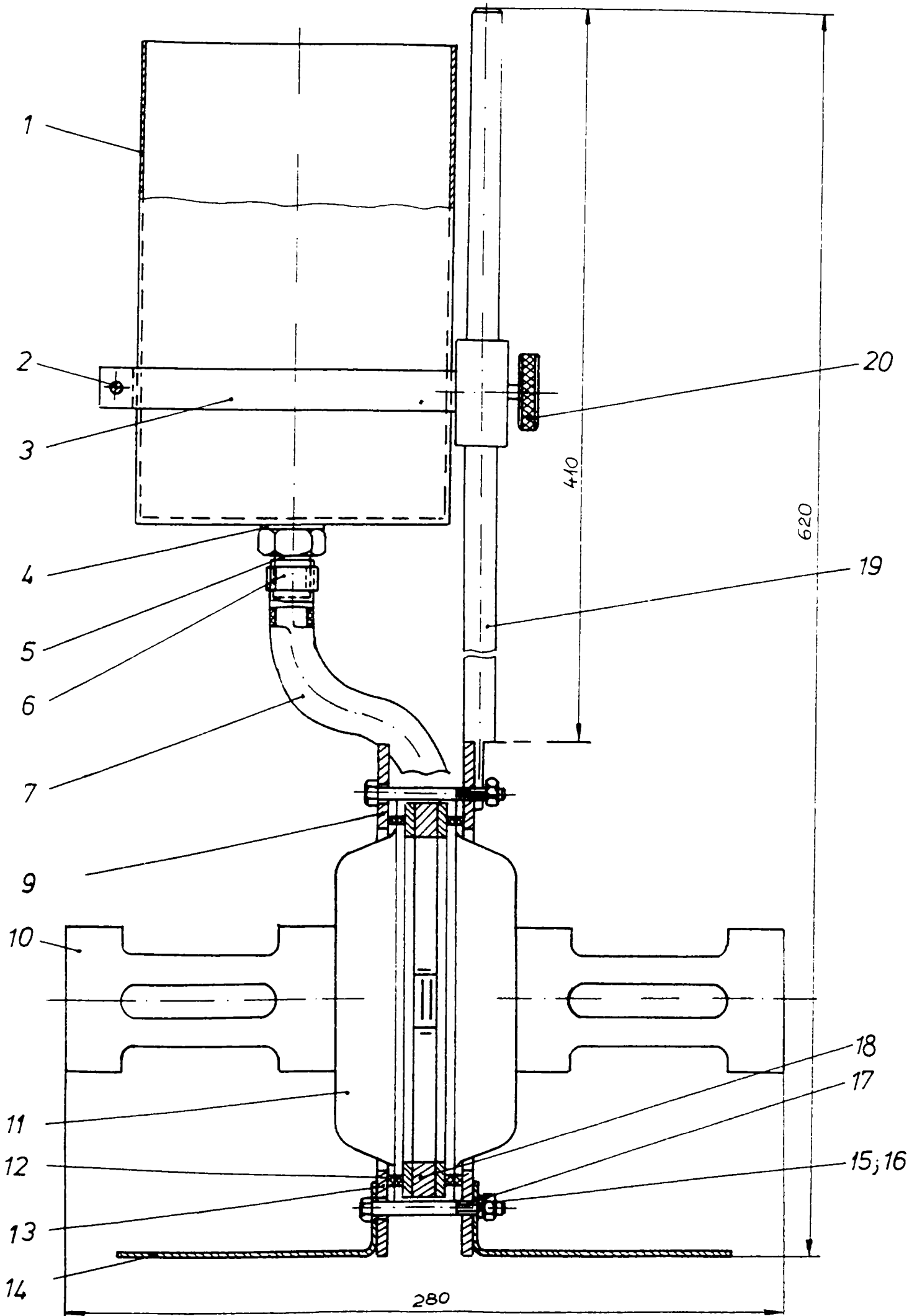
Fig. 7

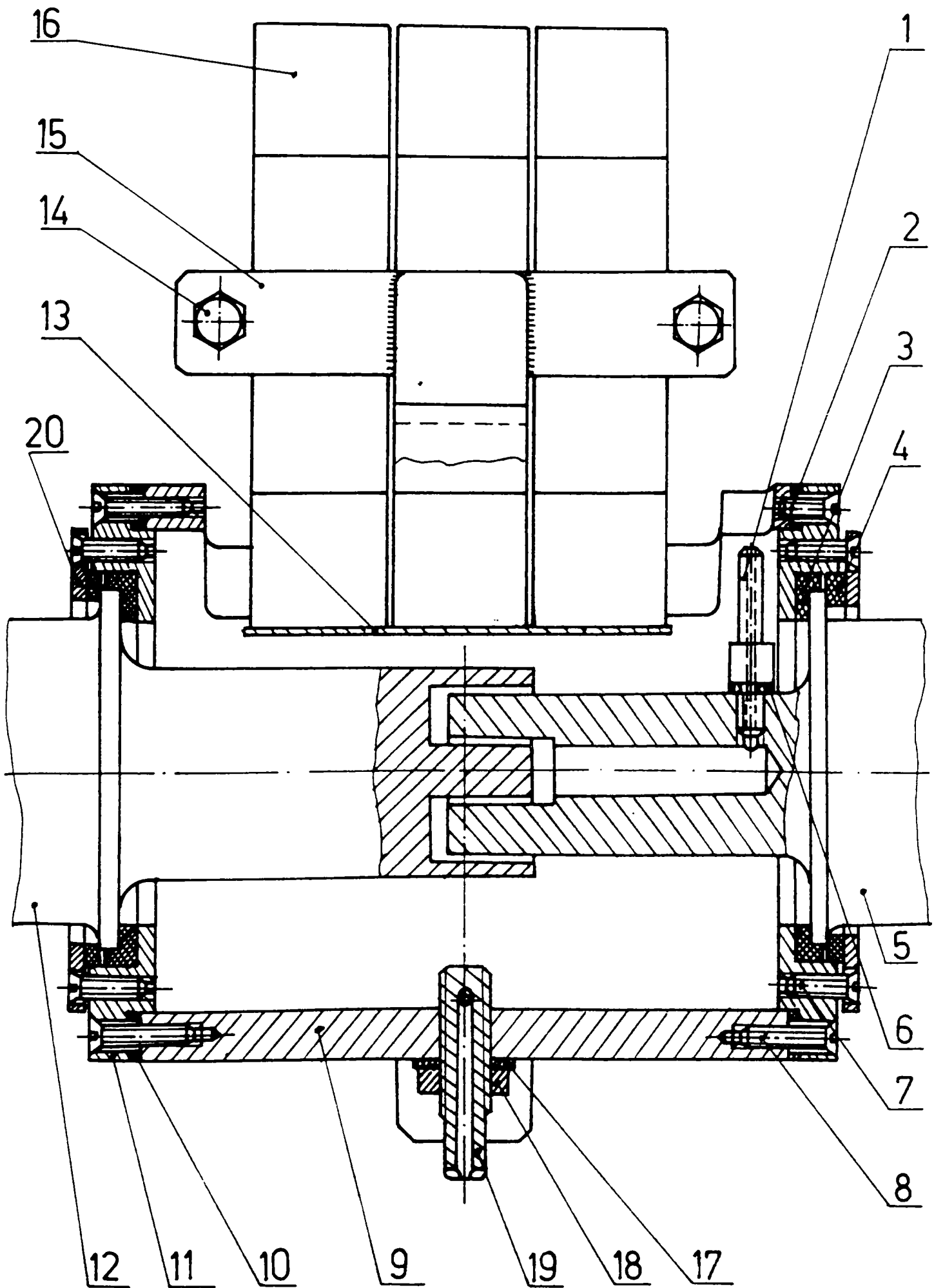




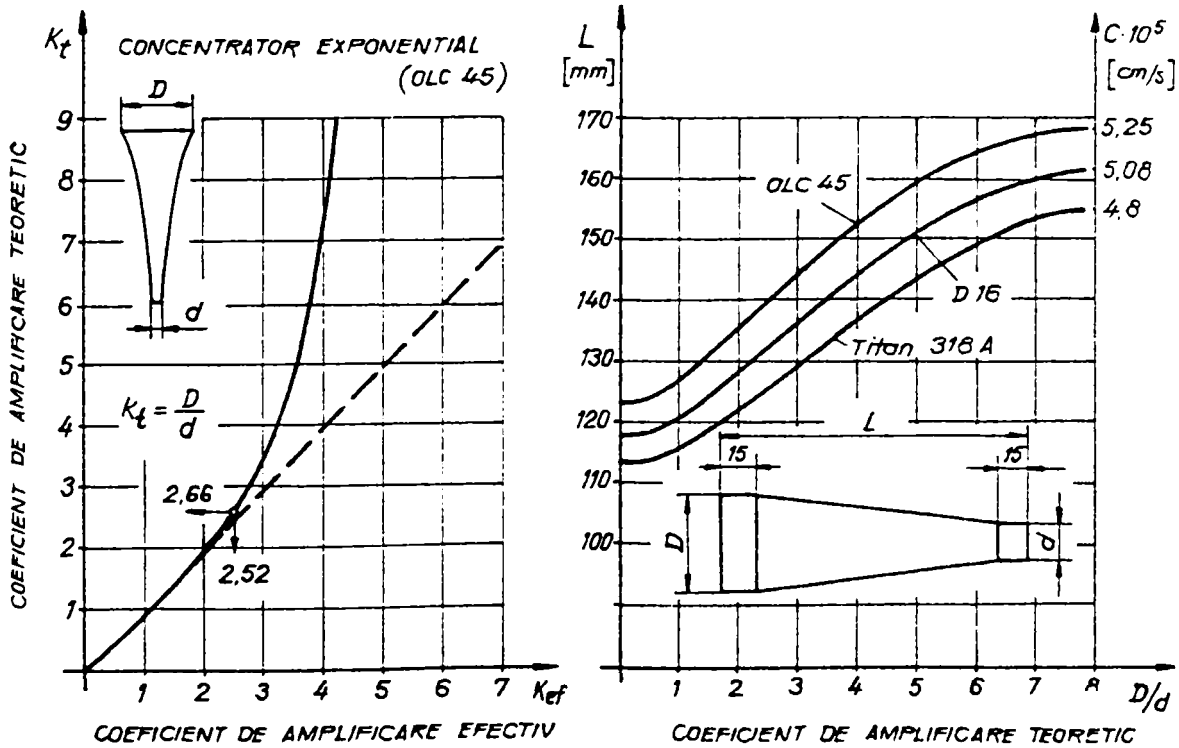
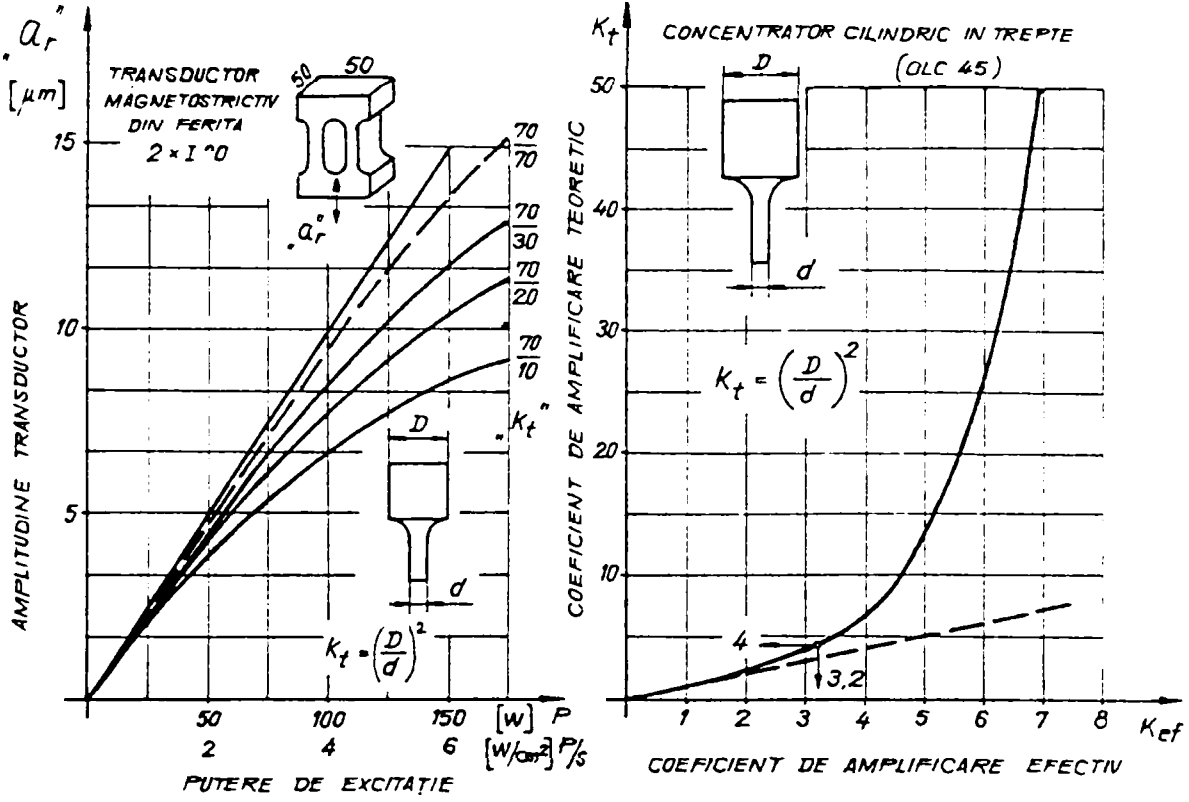
Brevet S.U.A. nr. 3 328 610



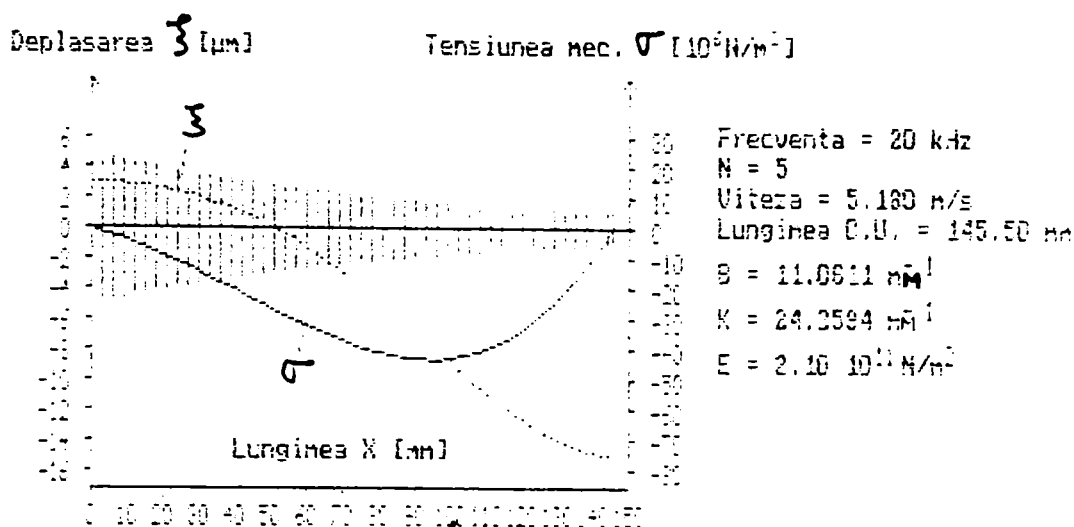




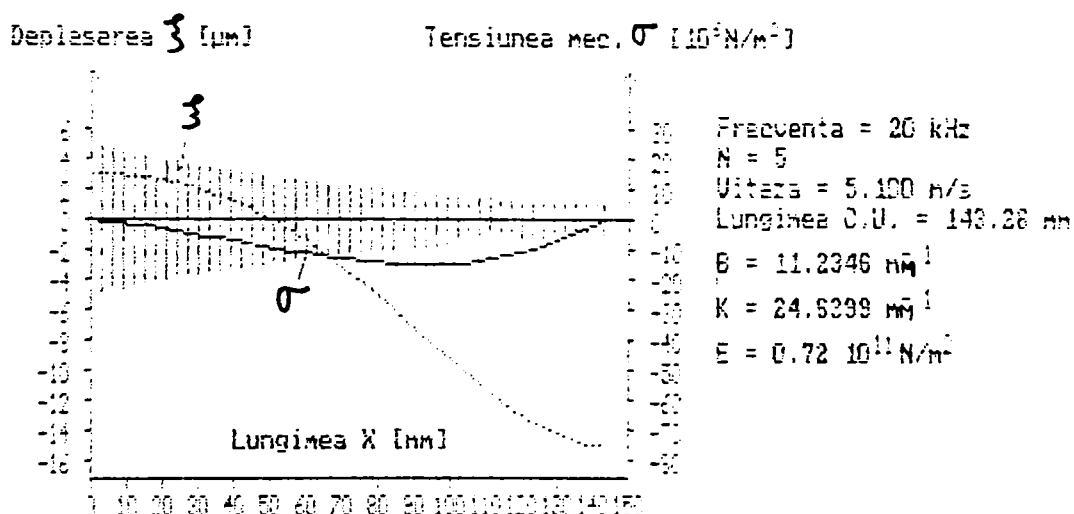
NOMOGRAME PENTRU PROIECTAREA CONCENTRATOARELOR  
ADAPTOARE DE UNDĂ



C.U. Exponential - DL



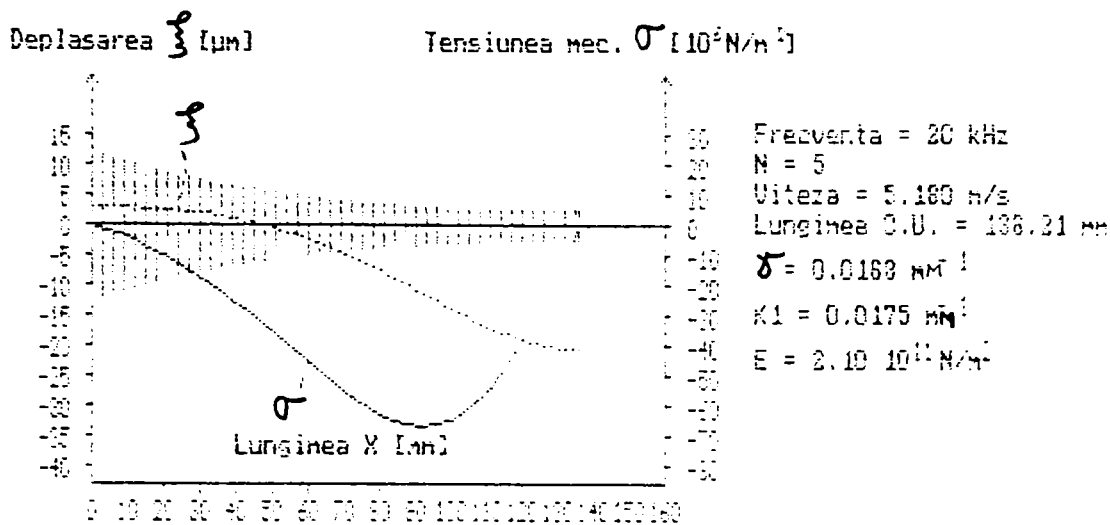
C.U. Exponential - AI



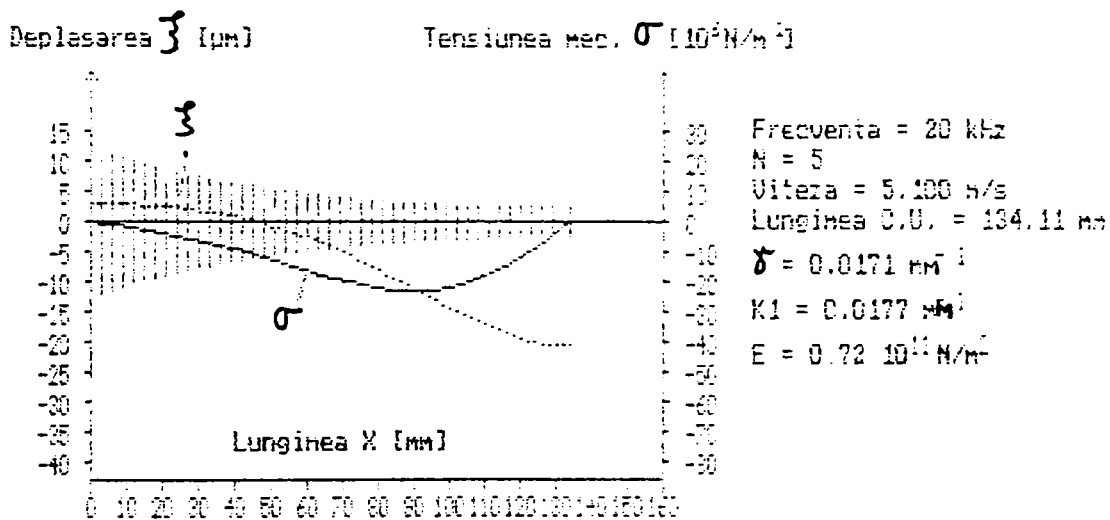
$\zeta_0 = 3 \text{ [um]}$

X mm	D mm	$\zeta$ um	$\sigma \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$	D mm	$\zeta$ um	$\sigma \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$
DL				AI		
0	50.0000	3.00	0.00	50.0000	3.00	0.00
10	44.7644	2.91	-4.11	44.6343	2.90	-1.81
20	40.0770	2.60	-9.87	39.9031	2.55	-5.13
30	35.8904	2.04	-14.44	33.3941	2.01	-8.12
40	32.1233	1.32	-20.32	31.5011	1.15	-7.01
50	28.7595	0.10	-26.32	28.8111	0.01	-7.30
60	25.7480	-1.25	-32.09	25.2514	-1.45	-11.53
70	23.0519	-2.94	-37.18	23.7235	-3.12	-13.10
80	20.6381	-4.81	-41.10	20.3522	-5.03	-14.24
90	18.4770	-6.83	-43.28	18.1207	-7.12	-15.18
100	16.5623	-8.90	-43.16	16.0377	-9.22	-14.93
110	14.8910	-11.05	-40.32	14.1301	-11.22	-13.71
120	13.4592	-12.67	-33.53	12.3960	-12.97	-11.04
130	11.9708	-14.06	-21.76	11.1361	-14.00	-7.03
140	10.6278	-14.57	-8.88	10.3713	-14.93	0.00

C.U. Catenoidal - CL



C.U. Catenoidal - A1

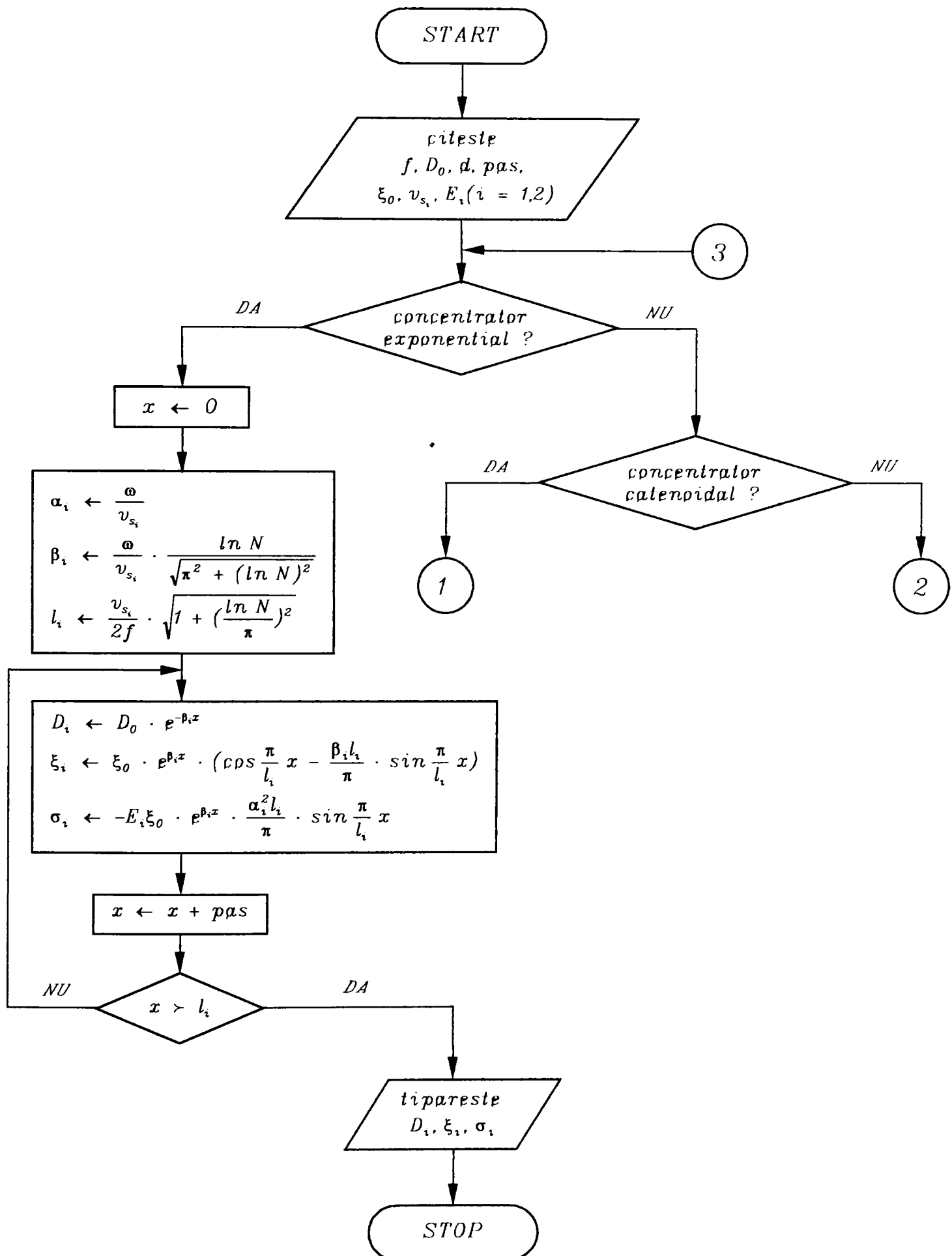


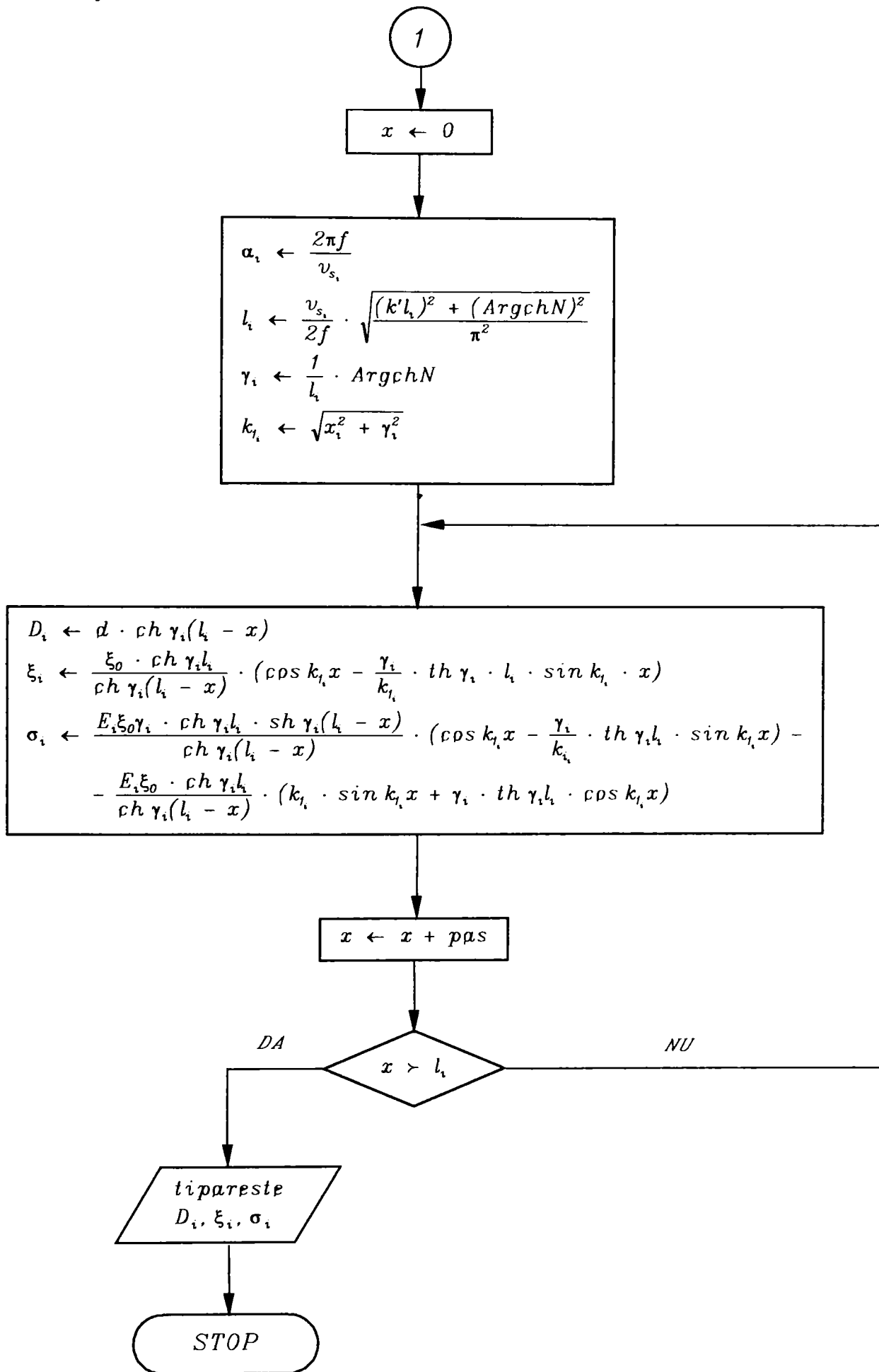
$\xi_0 = 3 \text{ [um]}$

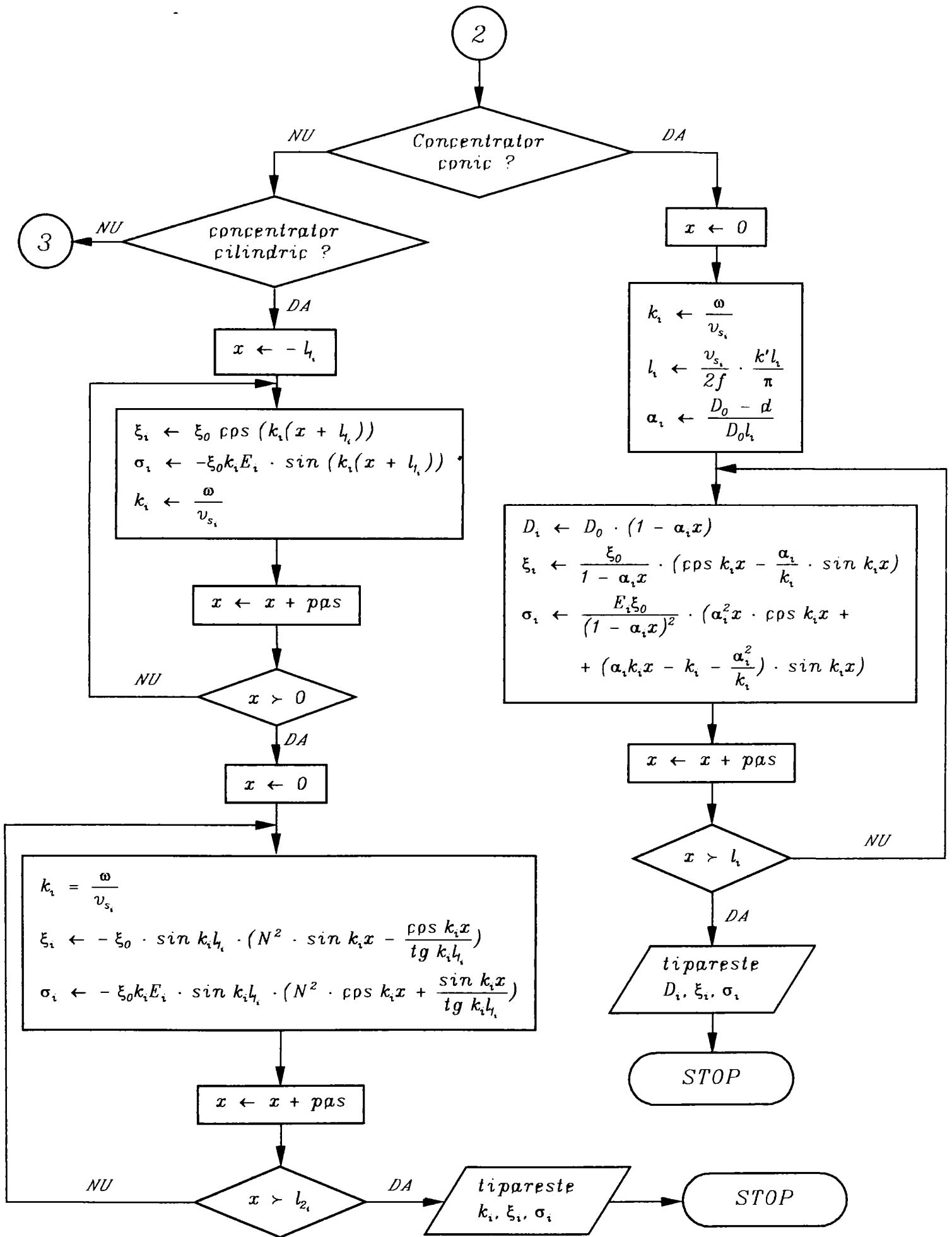
x mm	D mm	$\xi$ um	$\sigma \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$	D mm	$\xi$ um	$\sigma \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$
CL			A1			
0	50.0000	3.00	-0.00	50.0000	3.00	0.00
10	42.4260	2.90	-4.35	42.3173	2.90	-1.54
20	36.0565	2.56	-10.05	35.8741	2.55	-3.37
30	30.7107	1.92	-17.19	30.4817	1.88	-6.12
40	26.2367	0.91	-25.69	25.9821	0.83	-9.15
50	22.5077	-0.54	-35.28	22.2433	-0.65	-12.56
60	19.4176	-2.46	-45.87	19.1534	-2.67	-16.15
70	16.5788	-4.26	-54.97	16.5004	-3.15	-19.48
80	14.8191	-7.67	-62.82	14.5915	-5.04	-23.06
90	13.1802	-10.76	-68.46	12.8729	-11.21	-28.17
100	11.9155	-13.91	-69.54	11.7936	-14.78	-32.17
110	10.9891	-16.79	-58.37	10.8614	-17.21	-16.44
120	10.3747	-19.06	-38.69	10.2927	-18.39	-12.12
130	10.0547	-20.38	-16.05	10.0247	-20.81	-5.82

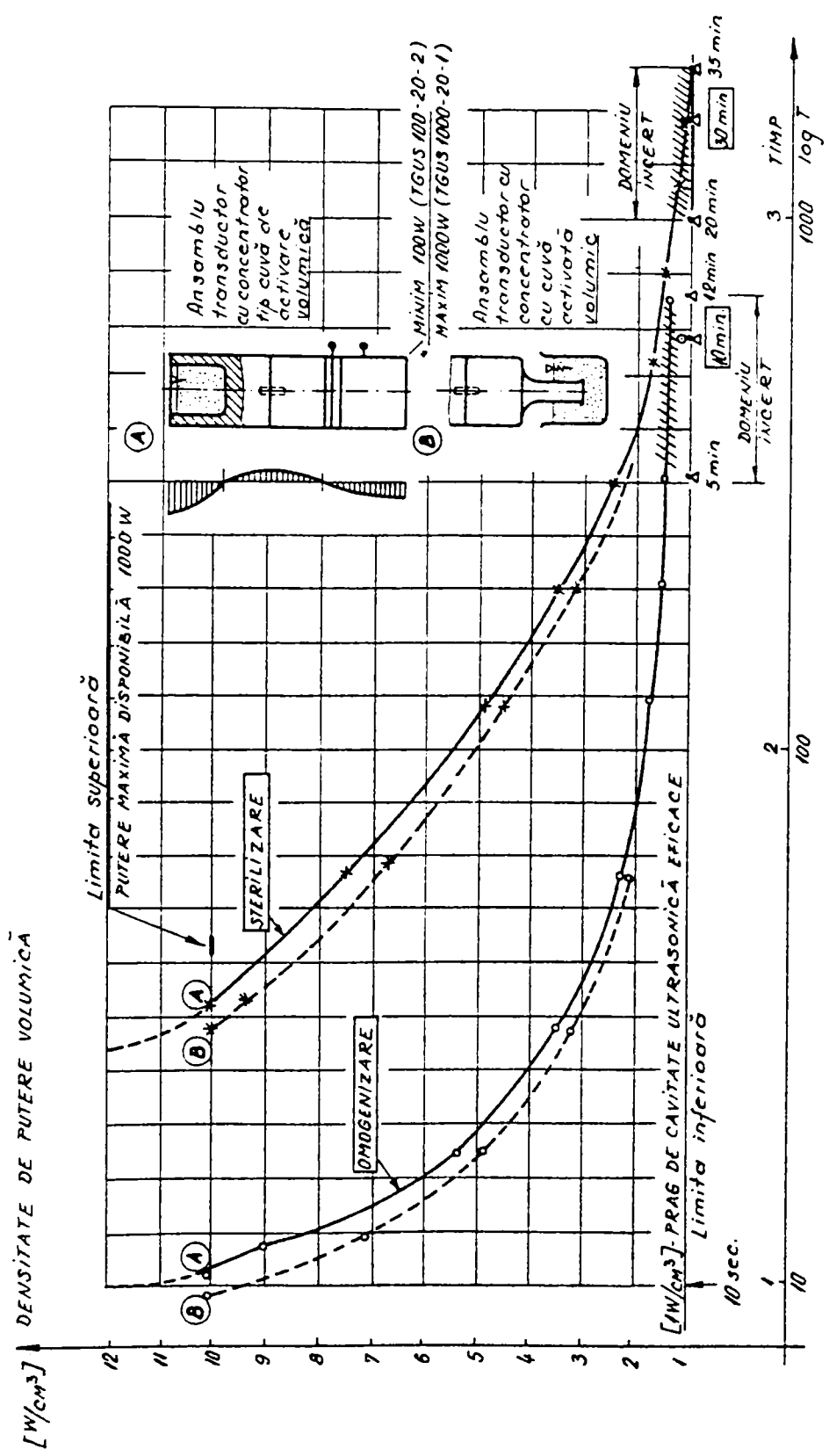


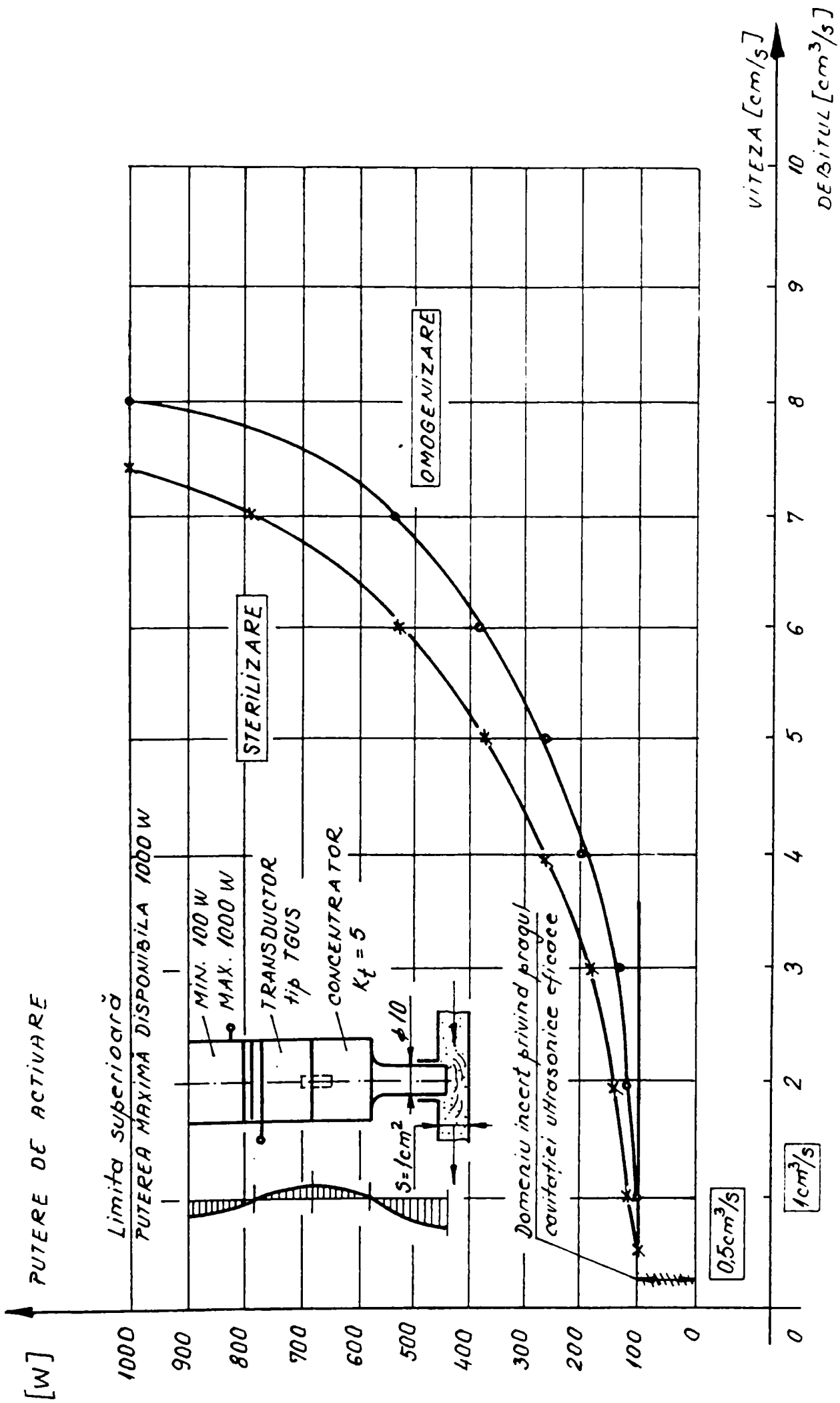




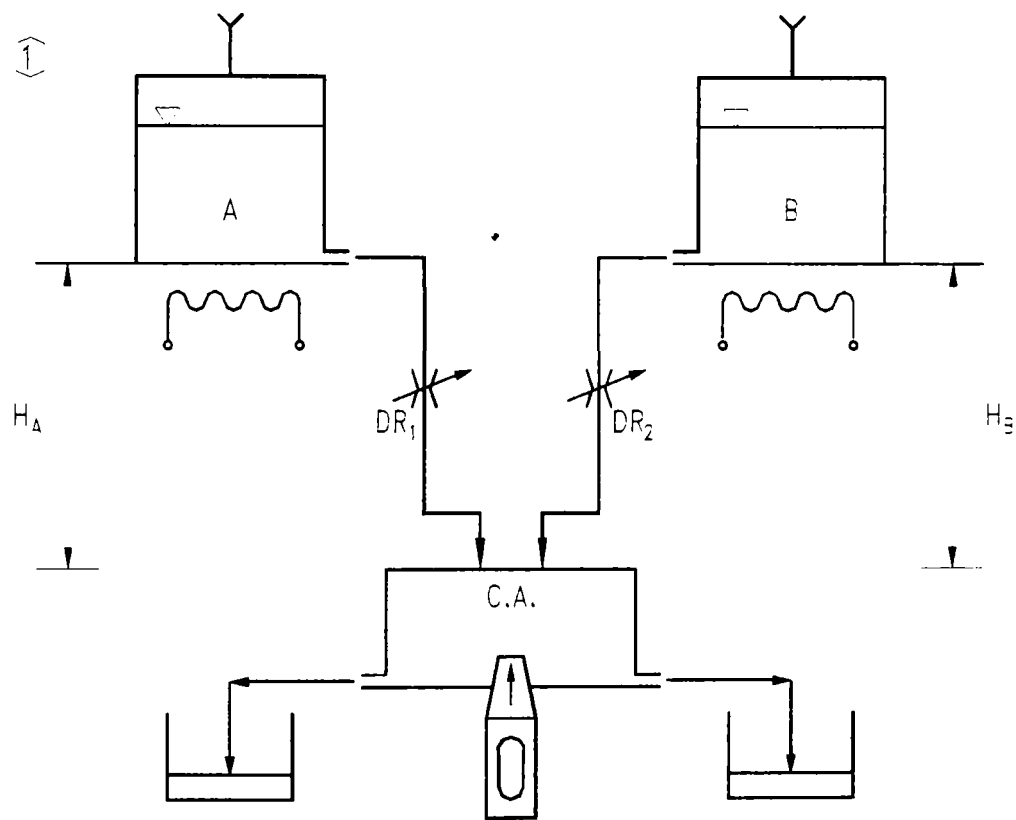


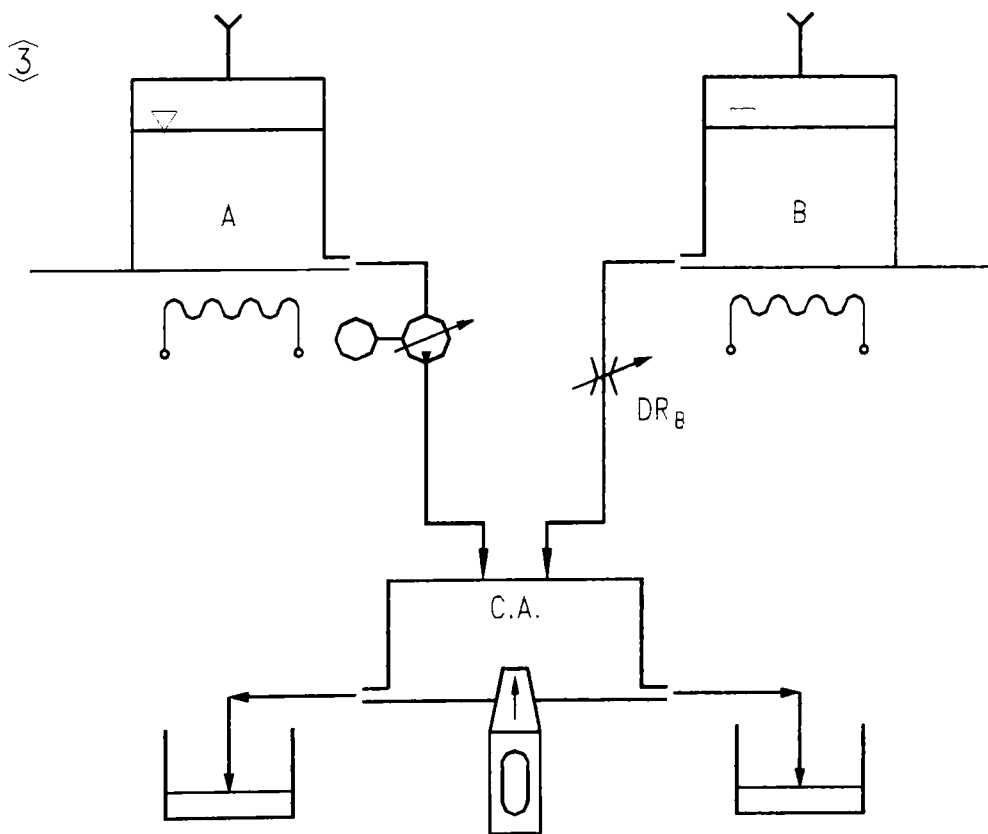
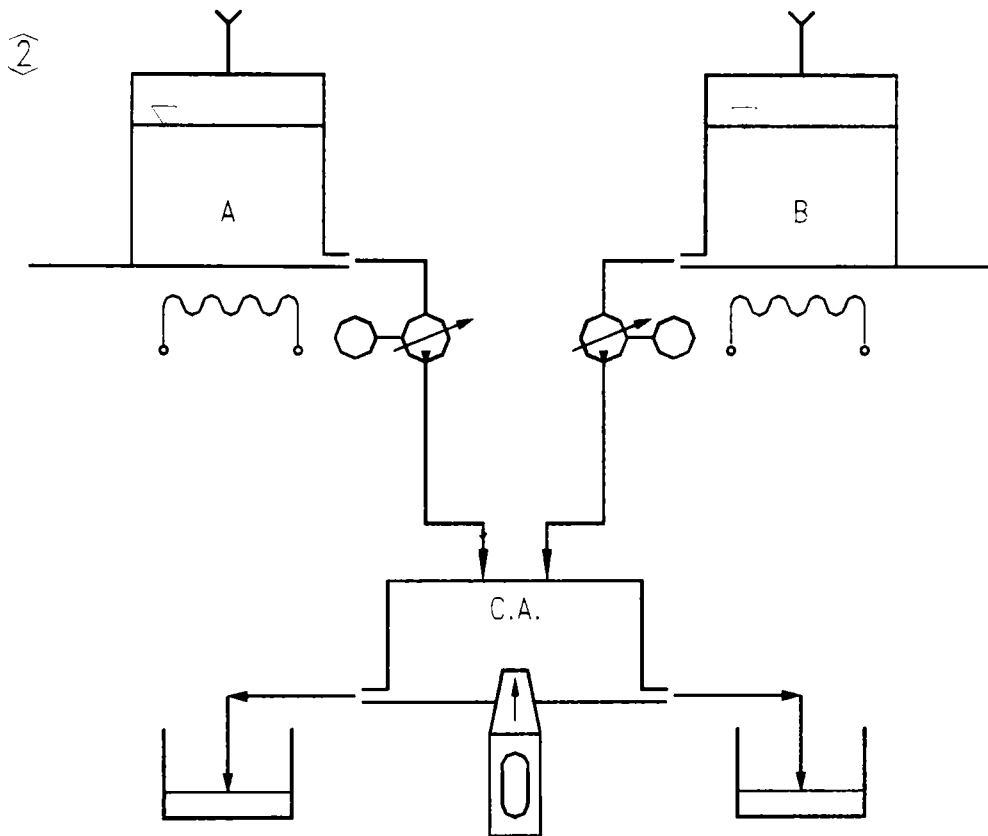


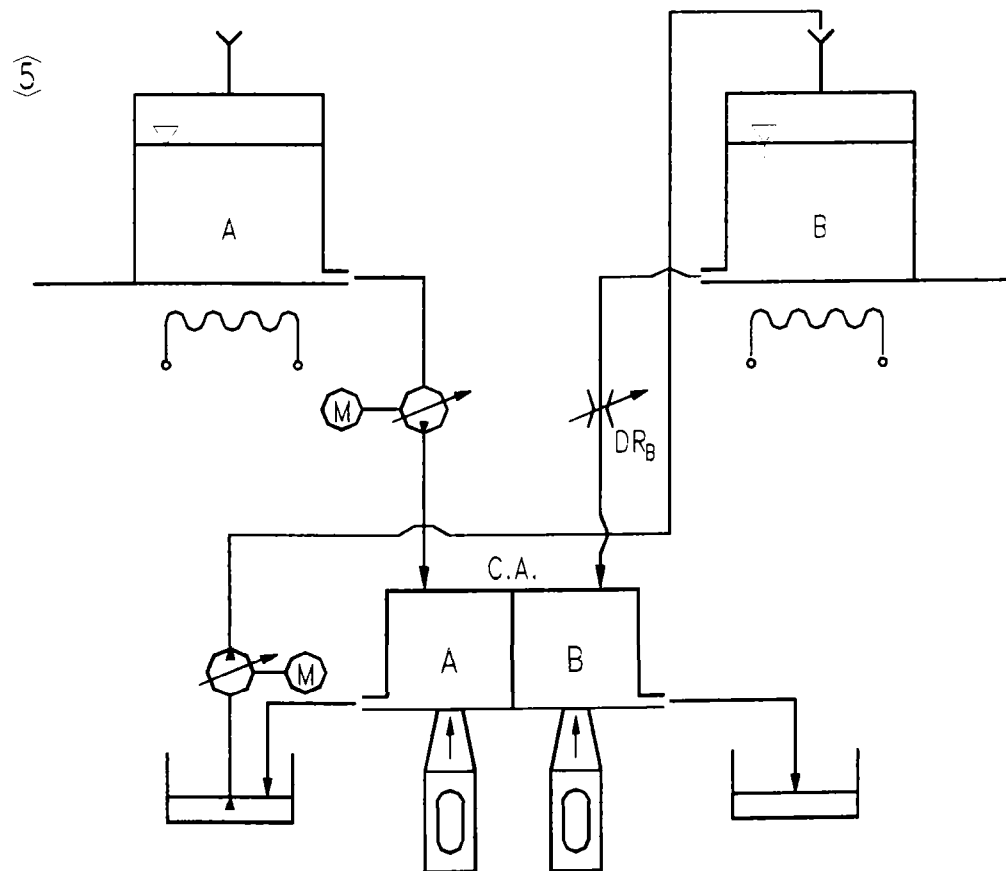
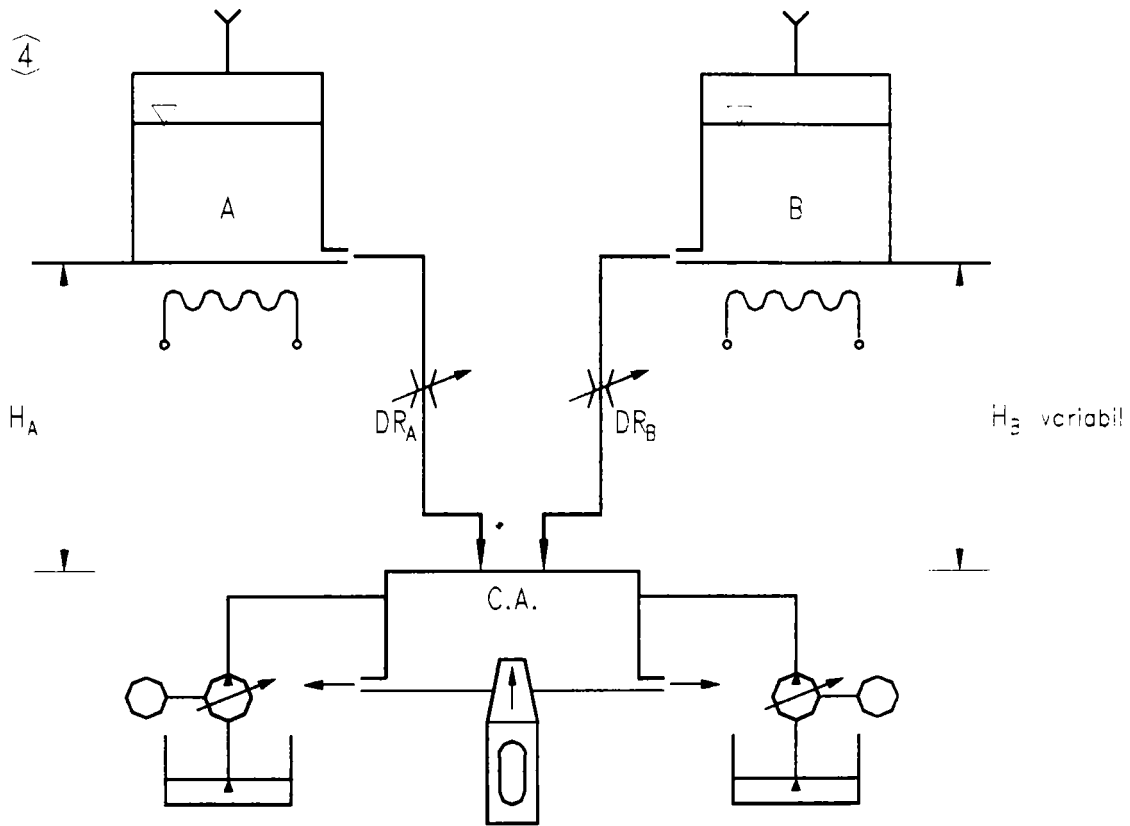


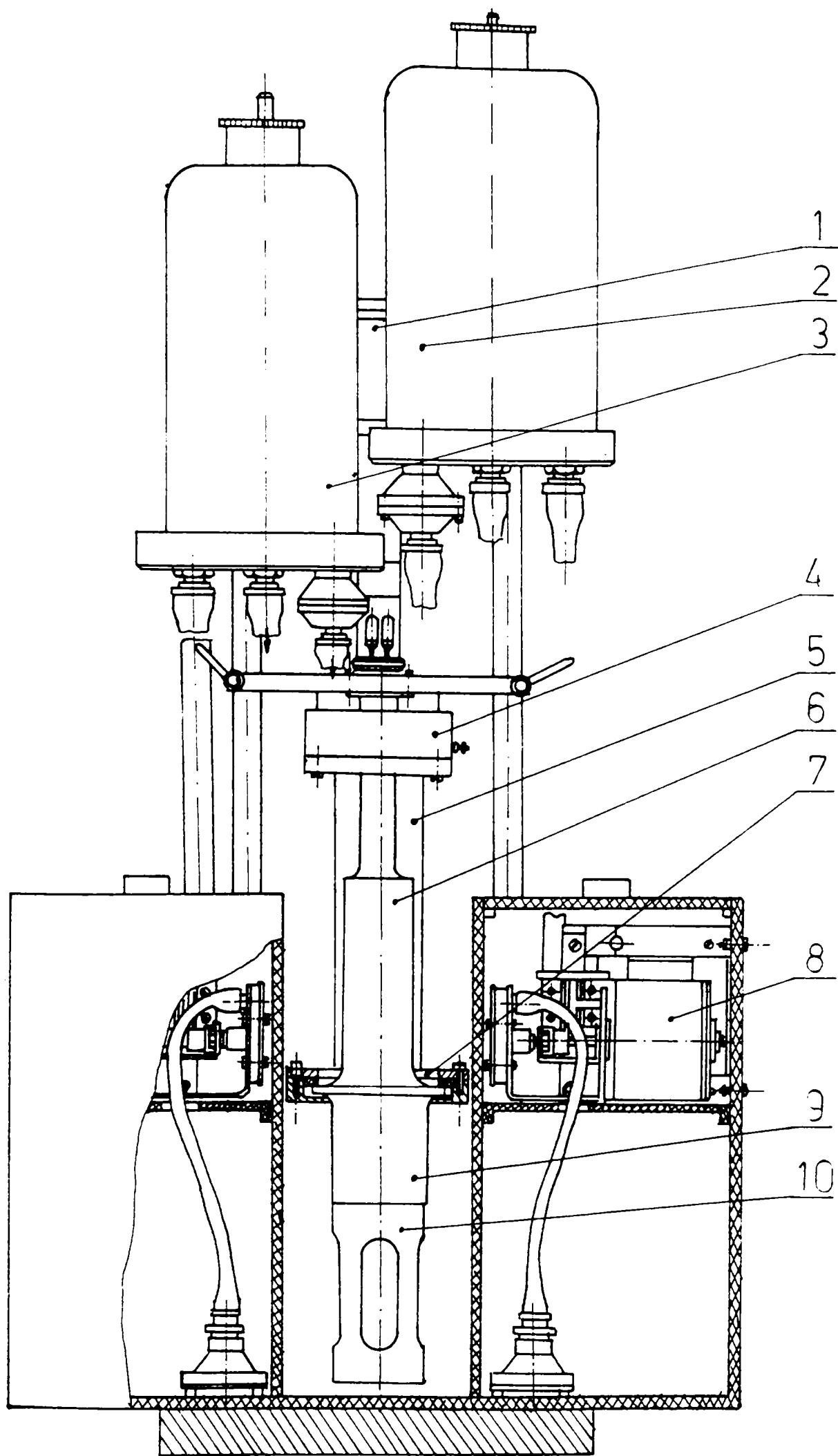


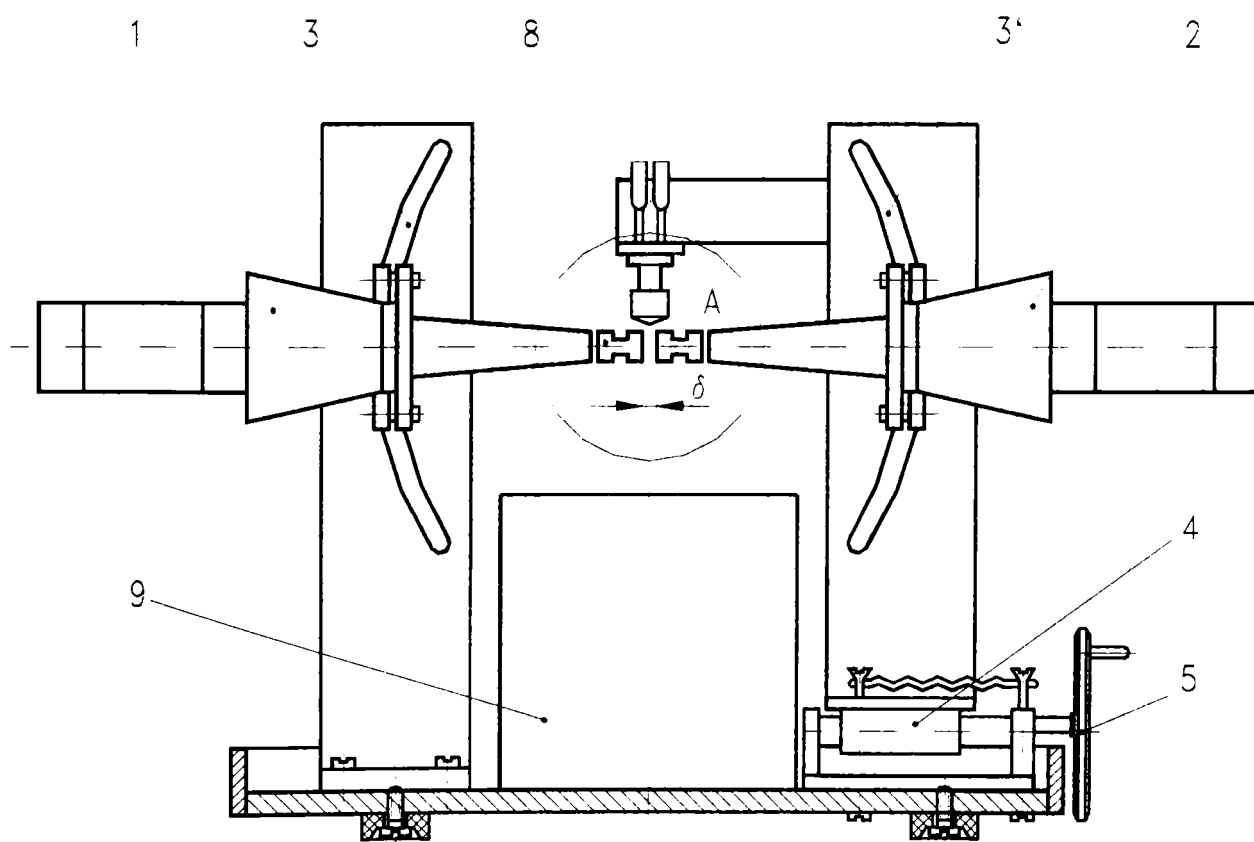
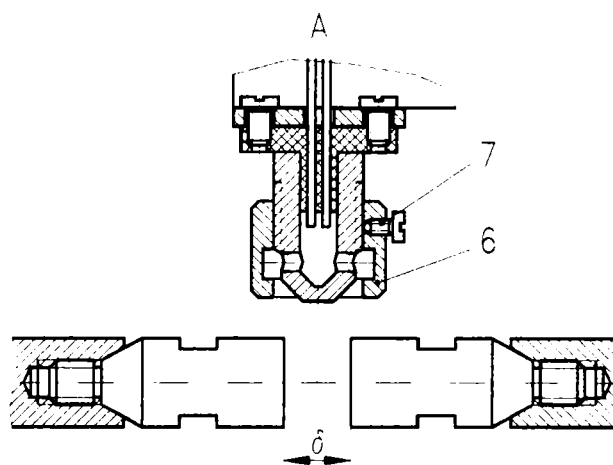


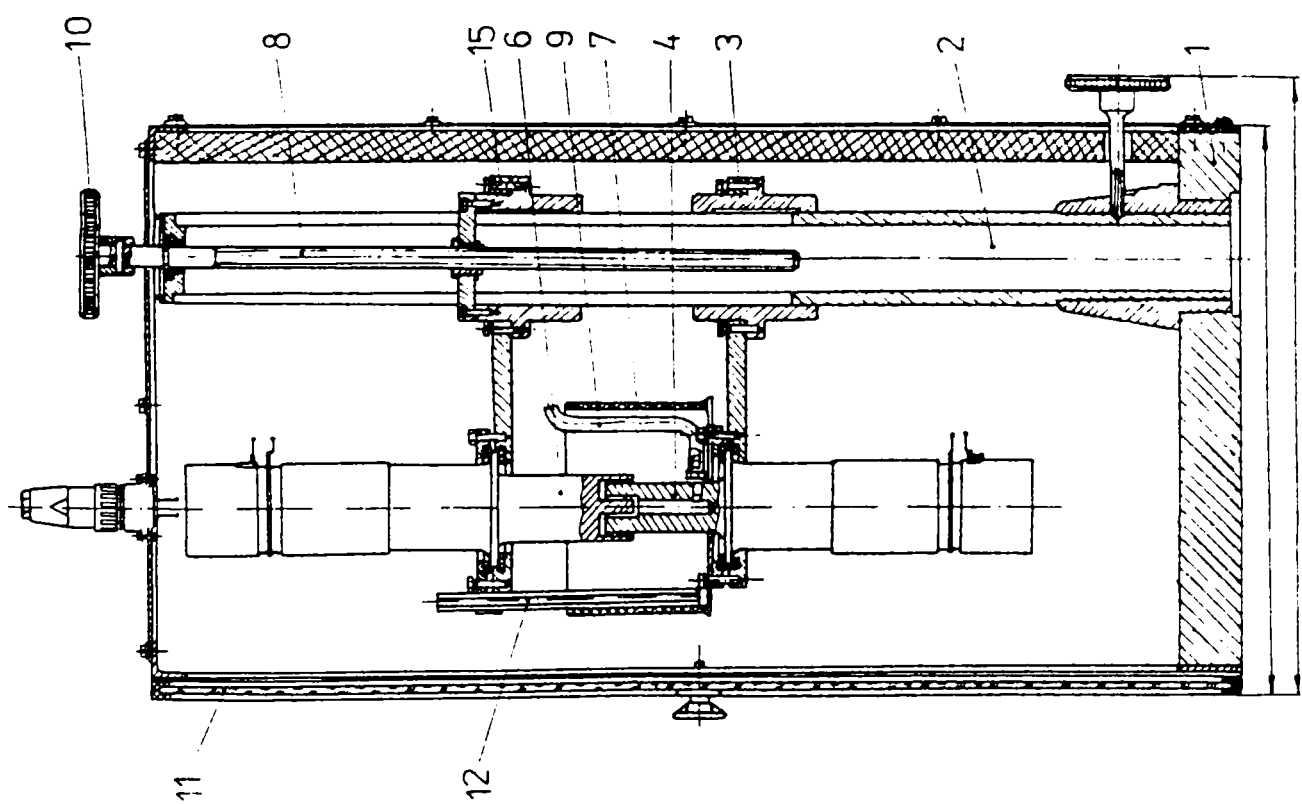
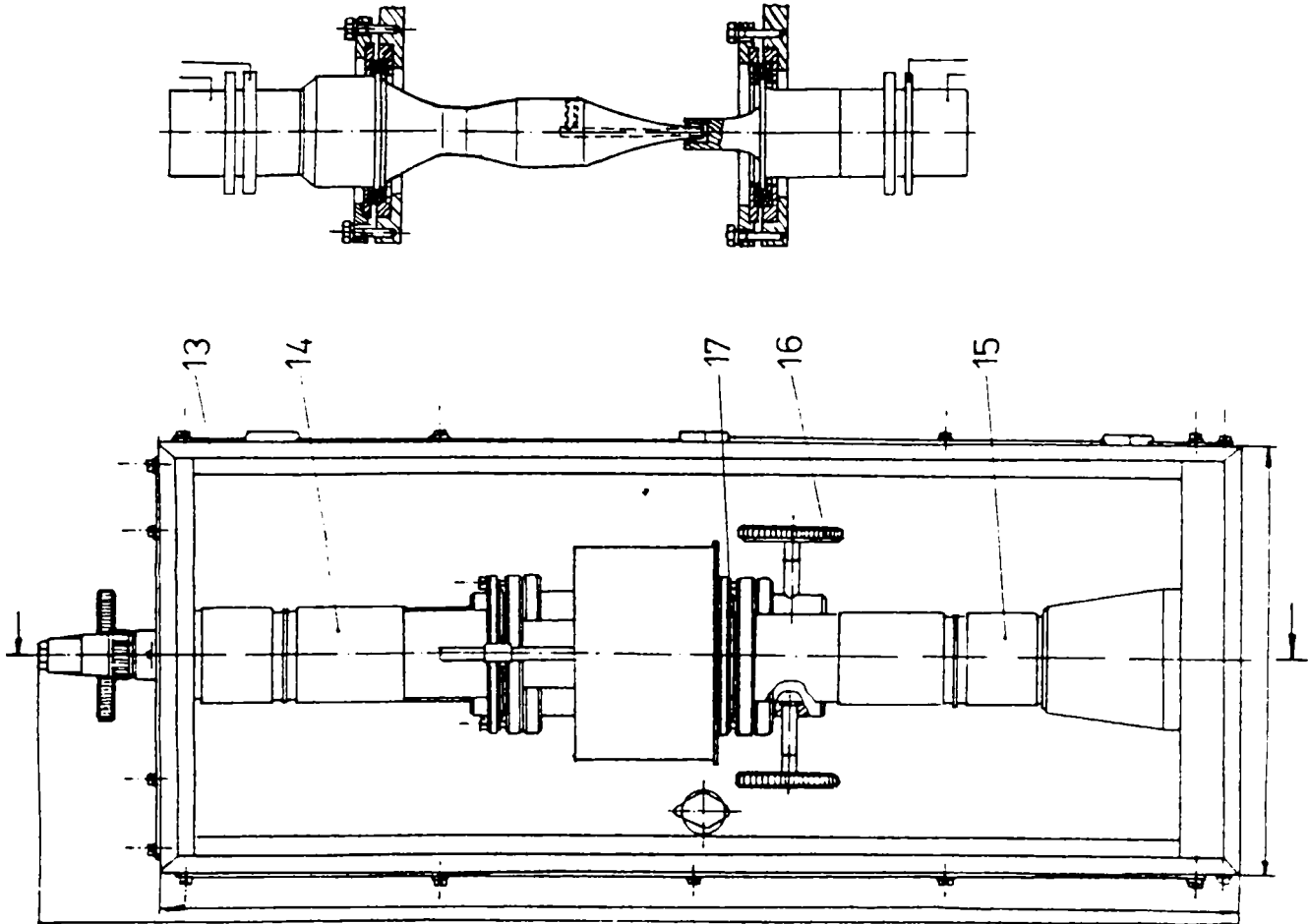












Unit  
12