

MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI ȘI ȘTIINȚEI
UNIVERSITATEA TEHNICĂ TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ

Ing. KUZMAN-ANTON ARPAD FERDINAND

INFLUENȚA UNOR PROPRIETĂȚI FIZICE ALE
LICHIDULUI ASUPRA ÎNCIPIENȚEI ȘI
EROZIUNII CAVITATIONALE

- Teză de doctorat -

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific,
Academician IOAN ANTON

- 1991 -

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA	
BIBLIOTECA	
CENTRALĂ	
Volumele Nr.	567260
Număr	251 LN. H

CONTINUT

Cuvînt înainte.....	4
1. Introducere.....	5
1.1 Problema incipienței cavitaționale în medii diferite de apă.....	6
1.2 Problema eroziunii cavitaționale în medii diferite de apă.....	8
2. Tehnica și metodică experimentală pentru cercetarea incipienței cavitaționale în medii diferite de apă.....	11
2.1 Instalație experimentală pentru determinarea vîscozității amestecurilor glicerină - apă.....	11
2.2 Instalația experimentală pentru determinarea concentrației de saturație a aerului în amestecuri glicerină - apă în proporții diferite și la diferite temperaturi.....	20
2.3 Tunelul cu acțiune intermitentă pentru studiul incipienței cavitației.....	24
3. Rezultatele încercărilor preliminare privind vîscozitatea amestecurilor glicerină - apă și solubilitatea aerului în aceste amestecuri la diferite temperaturi.....	33
3.1 Vîscozitatea amestecurilor glicerină - apă.....	33
3.2 Solubilitatea aerului în amestecurile glicerină-apă...	36
4. Incipiența cavitației în amestecuri glicerină - apă de diferite concentrații.....	45
4.1 Metoda de lucru, dificultăți fundamentale.....	47
4.2 Incipiența cavitației pe profile NACA 65006 în amestecuri glicerină - apă la temperaturi constante.....	58
4.3 Influența vîscozității asupra incipienței cavitației..	71
4.4 Corelația dintre cifra Reynolds și Sigma Thoma.....	80
4.5 Filmarea incipienței cavitației la vîscozități diferite ale lichidului de lucru.....	100
5. Instalația experimentală pentru cercetarea eroziunii cavitaționale în medii diferite de apă.....	107
5.1 Instalația magnetostrictivă a Laboratorului de Mașini Hidraulice a Facultății de Mecanică Timișoara.....	108
5.2 Condiționarea, cîntărirea și păstrarea probelor de eroziune cavitațională.....	114

6. Eroziunea cavitațională în medii diferite de apă.....	116
6.1 Incercări de eroziune cavitațională în soluții de diferite concentrații ale unor substanțe chimice, curbele primare de pierderi gravimetrice și de viteză a eroziunii cavitaționale.....	118
6.2 Aspectul evoluției în timp a probelor erodate, modele caracteristice de distrugere.....	128
6.3 Influența concentrației soluțiilor asupra eroziunii cavitaționale.....	148
7. Incercări de corelare a proprietăților lichidului cu intensitatea eroziunii cavitaționale.....	154
7.1 Incercări de corelare a eroziunii cu proprietățile fizice ale soluțiilor.....	156
7.2 Capacitatea erozivă a lichidelor.....	163
8. Concluzii.....	164
9. Multumiri	169
10. Bibliografie	171
11. Rezumat în limba germană... ..	180
12. Rezumat în limba engleză	183

CUVINT INAINTE

Prezenta lucrare de doctorat, care se ocupă de două aspecte fundamentale ale cavității în lichide diferite de apă - incipiența și eroziunea - a fost realizată în două etape distincte.

Studiile de eroziune cavitațională au fost efectuate la Universitatea Tehnică Timișoara (Institutul Politehnic "Traian Vuia"), Facultatea de Mecanică, Catedra de Mașini Hidraulice. Cercetările asupra incipienței cavității s-au realizat la Universitatea Tehnică München, Institutul de Hidrotehnică "Oskar von Miller" din Obernach.

Autorul tezei a beneficiat în ambele locuri de îndrumarea unor personalități științifice de prim rang mondial și de sfatul unor specialiști de talie excepțională.

La Catedra de Mașini Hidraulice a Facultății de Mecanică din Timișoara, lucrările de eroziune cavitațională au fost îndrumate de Acad. Prof. Dr. Ing. Ioan Anton, căruiua lumea științifică îi datorează o monografie modernă asupra cavității, cea mai amplă și profundă scrisă pînă în prezent / 1 /.

La Institutul "Oskar von Miller" al Universității Tehnice din München, lucrările experimentale asupra incipienței cavității au beneficiat de îndrumarea directorului academic, Dr. Andreas Keller, inițiatorul tehnicii de măsurare a conținutului de nucleu prin metoda difuziei de lumină / 12 /.

În timpul elaborării părții experimentale de eroziune cavitațională la Timișoara, am beneficiat de sfaturile regretatului profesor F. G. Hammitt, în timp ce la Obernach am avut largi posibilități de a discuta problemele incipienței cavităționale cu profesorul Roger E. A. Arndt.

Rezultatele cercetărilor efectuate în circumstanțe de loc și timp atât de diferite, își găsesc justificarea reunirii într-o lucrare unică, prin interesul pe care îl prezintă cavităția în lichide diferite de apă, de la incipiență pînă la eroziune.

Acest interes are pe de-o parte o latură fundamentală, legată de elucidarea mecanismelor incipienței și eroziunii cavitaționale în funcție de proprietățile lichidelor, pe de altă parte o latură aplicativă directă, legată de comportarea la cavităție a anumitor lichide și materiale în mașinile și structurile hidraulice moderne.

1. INTRODUCERE

Cauza primară a accidentului nuclear de la Cernobîl 1-a constituit cavitația în pompele sistemului de răcire al reactorului / 2, 3 /.

Se crede că în timpul unui test special, oprirea planificată a patru din cele opt pompe de răcire, a condus la supraîncălzirea pompelor rămase în funcțiune în așa fel încît toate au intrat în cavitație. Rotoarele s-au umplut cu vapori sau spumă și presiunea dată de pompe a scăzut la zero. În consecință s-a redus sau s-a oprit total curentul agentului de răcire și s-a ajuns în timp foarte scurt la avarierea reactorului.

Acest accident și multe altele, în domeniul mașinilor hidraulice și a construcțiilor hidrotehnice, ilustrează importanța fenomenului de cavitație în tehnica modernă.

Prin răspîndirea largă a acționărilor hidraulice, domeniul clasic, limitat în trecut la mașini hidraulice, construcții hidrotehnice și construcții navale, în care cavitația prezenta interes practic, s-a extins în cele mai diferite domenii ale tehnicii.

Aceasta explică și justifică amploarea crescîndă a cercetărilor din domeniul cavitației, domeniu de cercetare în care se situează și prezenta lucrare.

Cele mai multe cercetări în acest domeniu s-au efectuat în apă. Utilizarea în tehnică, într-o măsură tot mai ridicată și a altor lichide, face necesară studierea cavitației și în aceste lichide / 4, 5 /.

În acest cadru prezintă interes toate aspectele cavitației, de la incipientă și pînă la eroziunea cavitațională. După cum o ilustrează exemplul dat la început, cavitația nu trebuie să evolueze pînă la eroziune pentru a avea urmări catastrofale.

Studiul experimental al cavitației în lichide diferite de apă urmărește - ca și în cazul apei - mai ales incipienta fenomenului și faza sa finală, distrugerea cavitațională. De utilitate maximă este desigur dacă în cadrul cercetărilor experimentale se obțin rezultate care, dincolo de aplicabilitatea lor la lichidul de lucru utilizat, pot fi extinse și la alte lichide, respectiv dacă rezultatele prezintă un caracter de aplicabilitate generală.

Acesta este cazul cînd pot fi găsite legi de variație în funcție de anumite proprietăți fizice sau chimice ale lichidului, a incipientei respectiv a distrugerii cavitaționale.

Datorită complexității fenomenului, a multitudinii factorilor care intervin și a variației simultane a acestora, găsirea unor dependențe legice este deosebit de dificilă.

1.1 PROBLEMA INCIPIENȚEI CAVITAȚIONALE ÎN MEDII DIFERITE DE APA

La studiile de incipientă cavitațională se utilizează în general modele de corpuri și profile hidrodinamice așezate în tunele de cavitație, în care cantitatea de lichid vehiculată este mare.

Pe lângă circulația sa prin traseul principal al tunelului, lichidul intră în toate aparatele de măsură. Aceasta limitează de la început cercetările experimentale de incipientă a cavitației la lichide compatibile cu aparatele de măsură.

O altă limitare este dată de costul ridicat - comparativ cu cel al apei - al lichidelor industriale care ar putea intra în considerare pentru încercări în tunele.

Aceasta explică lipsa practic totală a unor încercări cu alte lichide decât apa, în tunele hidrodinamice, și strădania noastră de a realiza lucrarea într-un tunel cu volum de lichid mic.

Din motivele prezentate se preferă în general studierea incipientei cavitației în apă și transpunerea rezultatelor la alte lichide prin considerarea influenței specifice a diferitelor proprietăți fizice și chimice ale lichidului.

Având în vedere complicațiile pe care le atrage după sine operarea în laborator cu alte lichide decât apa, lucrări de acest fel se întreprind numai dacă există un interes deosebit fie pentru un aspect fundamental al fenomenului de cavitație cu aplicabilitate ulterioară largă, de exemplu stabilirea variației legice a unui aspect fundamental al fenomenului ca de exemplu incipienta, în funcție de anumite proprietăți ale lichidului, fie pentru unele aspecte practice de mare actualitate directă în unele industrii de vîrf (energetica nucleară, tehnologie spațială etc.).

Una din proprietățile fizice ale lichidului care joacă un rol important în desfășurarea fenomenului cavitațional este vîscozitatea.

Există în literatură multe lucrări în care influența vîscozității este studiată pe cale teoretică și foarte puține în care acest studiu s-a efectuat experimental / 6 /.

Prezenta lucrare urmărește să pună în evidență în mod experimental influența vîscozității asupra incipientei cavitației, utilizînd ca lichid de lucru în tunelul hidrodinamic glicerina respectiv amestecuri glicerina - apă. Ideea utilizării glicerinei ca mediu lichid pentru determinarea influenței vîscozității a fost emisă de Hammitt / 7 /, dar nu a fost pusă în practică pîna în prezent.

Cercetarea experimentală efectuată de noi a cuprins faze premergătoare ample realizate în afara tunelului hidrodinamic, și o fază principală efectuată într-un tunel hidrodinamic cu funcționare intermitentă. Rezultatele sînt prezentate în Cap. 2,

3 și 4 ale lucrării și au fost publicate parțial în literatură / 8, 9 /.

În lucrare se urmărește cuprinderea influenței vîscozității asupra unui parametru global, coeficientul de cavitație Sigma - Thoma corespunzător incipienței fenomenului de cavitație. Acest coeficient enunțat pentru prima oară de Thoma / 10 /, și utilizat astăzi în forma dată de Föttinger / 11 /, stă la baza modelării incipienței fenomenului de cavitație.

Totuși rezultatele foarte diferite obținute pentru Sigma Thoma incipientă la corpuri sau profile identice încercate în laboratoare diferite, uneori cu o geometrie identică a camerei de lucru și a intrării și ieșirii din aceasta, au ridicat multe semne de întrebare în privința utilității acestui criteriu.

Pornind de la ideea că numai diferențe în calitatea lichidului pot duce la valori diferite ale lui Sigma Thoma incipientă în cazul unor corpuri și camere de lucru (inclusiv intrări și ieșiri) identice, Keller și colaboratorii au pus în evidență influența hotărâtoare a calității lichidului de lucru.

Considerînd inițial posibilă stabilirea unei dependente cantitativ măsurabile între incipiența cavitației și spectrul de nuclee cavitaționale ale lichidului, Keller introduce metoda luminii disperse /12, 13/ și o compară cu metoda contorului Coulter / 14 / într-o colaborare științifică cu Hammitt și Yilmaz.

Deși această metodă dă unele rezultate, ea nu permite stabilirea unei dependențe funcționale între cantitatea de nuclee din lichid și incipiența cavitațională. Aceasta a dus la concluzia că numărul de nuclee nu caracterizează într-o măsură cantitativ măsurabilă tendința de cavitație a lichidului, oferind doar o imagine grosieră asupra acestei tendințe.

Considerînd că o caracterizare cantitativă globală, care include și cantitatea de nuclee, este dată de tensiunea de rupere a lichidului, Keller și colaboratorii efectuează o serie de lucrări pentru punerea în evidență a variației legice a coeficientului Sigma Thoma incipientă în funcție de tensiunea de rupere a lichidului, după ce în prealabil a fost dezvoltată o metodă și un instrument de măsurare pentru determinarea tensiunii de rupere a lichidului din tunel în momentul premergător măsurării coeficientului de incipiență a cavitației / 15, 16, 17, 18, 19, 20 /.

Ținînd cont de tensiunea de rupere a lichidului, coeficientul Sigma Thoma incipientă primește o corectură cantitativă exactă și devine o mărime reproductibilă /21 /.

Ca rezultat secundar al prezentei lucrări, s-a găsit o confirmare a legii de variație a lui Sigma Thoma incipientă stabilită de Keller și Eickmann pentru apă - în glicerină și amestecuri glicerină apă - lucrînd la o valoare a tensiunii de rupere a lichidului ajustată cu grijă.

Tendința cea mai recentă este de a corela incipiența cavitației cu forțele moleculare din lichid / 22, 23 / pătrunzîndu-se mai adînc în intimitatea fenomenului.

Datorită aspectelor ei practice nemijlocite, problema eroziunii cavitationale în medii lichide diferite de apă este tratată de mult și ocupă un spațiu considerabil mai mare, în literatura de specialitate, decât incipiența cavitației în medii diferite de apă. Strict vorbind prima eroziune cavitațională raportată în literatură a avut loc pe elici navale în apa de mare, deci în soluții de clorură de sodiu / 24, 25, 26, 27 /.

Distrugerea cavitațională a elicilor navale, respectiv eroziunea cavitațională în apă de mare și în soluții apoase de clorură de sodiu au ramas în atenția cercetării pînă în prezent / 28, 29 /.

Incercările în apă de mare demonstrează că lichidul are o acțiune specifică asupra diferitelor materiale metalice atacate. Distrugerile sporesc în apa marină față de cele în apă distilată de trei ori la fontă și numai de două ori la aliaje de aluminiu. Injectarea de argon, hidrogen sau aer reduce eroziunea tot în mod specific pentru fiecare material.

Una din primele lucrări în care influența proprietăților lichidului asupra distrugerii cavitaționale este investigată în mod explicit îi aparține lui Nowotny / 30 /.

Făcînd încercări în alcool etilic, alcool metilic, alcool amilic, octan, hexan, ciclohexan, butanol și glicerină, Nowotny găsește o dependență între eroziunea cavitațională a probei metalice de aluminiu și tensiunea superficială a lichidului în care are loc încercarea cavitațională magnetostriktivă, exprimabilă printr-o relație de forma:

$$\Delta v \sim \sigma + k \sigma^2 \quad (1.2.1)$$

În care termenul de gradul doi are o valoare mică (k este foarte mic), astfel că dependența este aproape lineară.

În relația 1.2.1

Δv = Pierdere volumică a probelor de aluminiu după un atac cavitațional de 10 minute. (La aluminiu starea de eroziune staționară se atinge după circa 6 minute de atac).

σ = Tensiunea superficială a lichidului în care are loc atacul cavitațional.

k = Coeficient de proporționalitate.

Lucrări ulterioare prezintă opinii contrare în privința tensiunii superficiale / 31 /, considerîndu-se că prin reducerea intensității colapsului bulei cavitaționale cu creșterea tensiunii superficiale, se reduce distrugerea cavitațională.

Dupa Preece / 32 /, încă în 1979 studiul influenței proprietăților lichidului în procesul distrugerii cavitaționale nu prezenta un caracter sistematic și apare în literatură doar ca rezultat secundar al unor lucrări cu caracter aplicativ de importanță și actualitate deosebită, ca de exemplu studiul eroziunii cavitaționale în metale lichide / 33, 42, 43 /.

Rezultate privind distrugerea cavitațională în medii diferite de apă apar în literatură și în calitate de corolare ale unor studii asupra componentei corozive a distrugerii / 4, 34, 35 /.

Weiser / 34 / lucrând la un aparat vibrator cu proba fixă și proba vibratoare în apă, apă cu adaus de clorură de calciu și sulfat de calciu și apă cu adaus de ulei anticoroziv, constată o comportare diferită a apei față de lichidele cu diferite adausuri. Astfel o probă metalică din crom dur indiferent dacă este montată ca probă fixă sau ca probă vibratoare, nu prezintă distrugeri nici în apă și nici în apă cu adausuri diferite, în timp ce o probă de fontă prezintă eroziuni cavitaționale atât în apă cât și în apă cu adausurile amintite. Eroziunea crește în apă cu adaus de săruri și scade în apa cu adaus de ulei anticoroziv, față de eroziunea în apa fără adausuri.

De la începutul studiilor de eroziune cavitațională în medii diferite de apă și pînă în prezent, glicerina și amestecurile de glicerină cu apă au stat în atenția cercetătorilor / 30, 36, 37 /.

Deoarece în prima parte a acestei lucrări se prezintă studiul incipienței cavitației în aceleasi amestecuri glicerină - apă, este interesantă comparația modului în care concentrația glicerinei și implicit vîscozitatea se manifestă asupra incipienței și eroziunii cavitaționale.

Rezultatele studiilor de eroziune cavitațională efectuate pe probe din aluminiu în glicerină și amestecuri glicerină - apă, în decurs de o jumătate de secol prezintă rezultate diferite, uneori chiar contradictorii.

Astfel Nowotny / 30 / găsește o curbă de variație a eroziunii care începe cu o ramură crescătoare, prezintă un maxim la circa 60 % glicerină și scade apoi accentuat înspre concentrații mai mari, respectiv înspre glicerina pură.

Exact contrar cu cele de mai sus, Plessett / 36 /, determină o curbă de variație a eroziunii care începe cu ramura descrescătoare, atinge un minim la concentrația de circa 85 % și crește apoi pronunțat înspre concentrații de glicerină mai mari.

În sfîrșit Zhang Dong și Jin Tailai / 37 /, găsesc o curbă monoton descrescătoare a distrugerii cavitaționale cu creșterea concentrației de glicerină în amestecul lichid și deci cu creșterea vîscozității.

În timp ce contradicția rezultatelor lui Nowotny cu rezultatele lui Plessett nu poate fi explicată, rezultatele cercetătorilor chinezi / 37 / nu trebuie să fie neaparat în contradicție cu cele ale lui Plessett.

Analizând cu atenție curbele prezentate în lucrarea / 37 / se constată că ultimul punct pus pe diagrama eroziune - concentrație de glicerină, corespunde unei concentrații de 90 % glicerină și 10 % apă. De bună seamă restul curbei pînă la 100 % glicerină s-a trasat prin extrapolare. Ori tocmai în această zonă Plessett a constatat o surprinzătoare și accentuată creștere a eroziunii.

Deși există încă multe întrebări deschise în privința modului în care proprietățile lichidului intervin în procesul distrugerii cavitaționale, literatura monografică mai recentă / 1, 7, 38 / cuprinde deja o multitudine de date în această direcție și cercetarea se îmbogățește mereu cu altele noi.

Astfel Lecoffre și colaboratorii / 39 / consideră intensitatea colapsului bulei cavitaționale ca o măsură a intensității distrugerii și găsesc pentru această intensitate o proporționalitate cu impedanța acustică a lichidului:

$$I_a = \rho c \quad (1.2.2)$$

unde:

ρ = densitatea lichidului

c = viteza sunetului în lichid.

Rodrigue / 31 / arătînd că energia radiată de colapsul bulelor cavitaționale poate fi absorbită de lichid, consideră că eroziunea este atenuată în lichide cu coeficient de compresibilitate mare, deoarece în acestea este posibilă absorbția unei părți a energiei puse în libertate la surparea bulelor.

În ciuda unor străduințe ample, constînd mai ales în reținerea fotografică a imaginilor norului de bule cavitaționale în diferite faze ale ciclului de existență a acestora, precum și a aspectului probelor distruse în diferite faze ale atacului cavitațional / 30, 36, 44, 45, 46, 47 /, nu s-a putut face o corelare între acestea și nici nu s-a putut da o explicație satisfăcătoare pentru diferitele modele de distrugere observate pe probe, în afara unor indicații mai mult sau mai puțin vagi asupra imploziei asimetrice a bulelor cavitaționale / 37 /.

Odată cu dezvoltarea razantă a tehnicii apar mereu domenii noi în care cavitația în lichide diferite de apă se dovedește a fi de importanță deosebită.

Astfel în domeniul tehnologiei spațiale a devenit cunoscut cazul pompei de oxigen lichid a motorului principal al navei spațiale space shuttle / 40 /, această pompă constituind datorită eroziunii cavitaționale severe ce apare în rotorul ei, punctul slab al întregii construcții.

În medicină a devenit cunoscută cavitația intraoculară care apare în cazul chirurgiei oftalmologice cu laser și poate duce la urmări foarte grave prin surparea bulei cavitaționale în zone periculoase. Importanță este de asemenea cavitația în sistemul circulator și în inimă / 1 /.

2. TEHNICA SI METODICA EXPERIMENTALĂ PENTRU CERCETAREA INCIPIENȚEI CAVITAȚIONALE ÎN MEDII DIFERITE DE APĂ

Cercetarea incipienței cavitației în medii diferite de apă servește în primul rând studierii influenței diferitelor proprietăți ale lichidului utilizat la încercări asupra incipienței cavitaționale, respectiv asupra valorii lui Sigma Thoma incipiență.

Aceasta presupune utilizarea unor lichide cu proprietăți bine cunoscute și în condiții bine definite respectiv constante.

După cum s-a enunțat în introducere, una din tematicile majore ale prezentei teze a fost determinarea experimentală a influenței vîscozității asupra incipienței cavitaționale. În acest scop a fost necesară utilizarea unor lichide sau amestecuri cu vîscozitate cunoscută.

Urmînd o recomandare făcută de Hammitt / 7 /, s-au utilizat amestecuri glicerină - apă. Pentru utilizarea cu succes a acestor amestecuri a fost necesară determinarea vîscozității amestecurilor care urmau să fie folosite în tunel. De asemenea a trebuit să fie determinată solubilitatea aerului respectiv starea de saturație a amestecului glicerină - apă.

De aceea în prima parte a acestui capitol, la subcapitolele 2.1 și 2.2 se descrie tehnica experimentală utilizată la încercările preliminare care au avut ca temă determinarea vîscozității amestecurilor glicerină - apă de la glicerină 100 % (chimic pură, cu rest de apă 13,3 %) pînă la apă, precum și solubilitatea aerului în aceste amestecuri, respectiv starea de saturație în ele.

2.1 INSTALAȚIE EXPERIMENTALĂ PENTRU DETERMINAREA VÎSCOZITĂȚII AMESTECURILOR GLICERINĂ - APĂ

Pentru determinarea vîscozității dinamice a amestecurilor de lichide utilizate în tunelul cu acțiune intermitentă a fost necesară cunoașterea densității amestecului. Cunoașterea densității amestecului a fost necesară deasemeni pentru calculul în cadrul programului de etalonare și apoi a celui de măsurare la tunel a presiunii statice exercitată de coloana de lichid din rezervorul de alimentare.

De aceea s-a început cu determinarea densității amestecurilor care urmau să fie folosite în tunel. S-a utilizat în acest scop o balanță de tip Mohr - Westphal produsă de firma Kern / 48,49,50/.

Pentru a lucra cu precizie, vasul de scufundare împreună cu corpul etalon de tip Rumkorff (corp de sticlă cu volum și densitate cunoscute cu mare precizie) au fost imersate în baia unui termostat. Lichidul, respectiv amestecul a cărui densitate urma să fie determinată s-a introdus în vasul de scufundare prevăzut cu un termometru propriu (pe lîngă cel al termostatului) și a fost termostatat în tot timpul măsurătorilor. Măsurătorile s-au efectuat numai după atingerea temperaturii de termostatare și în vasul de scufundare.

S-a utilizat un termostat și o baie de termostatare de marcă Phywe prezentate în figura 2.1.1. / 51, 52 /

Termostatul utilizat permite atât o termostatare "internă" adică în baia proprie a termostatului, cât și una "externă" prin recircularea lichidului de termostatare printr-un alt vas, legat de termostatul propriu zis prin două conducte de cauciuc.

În cadrul lucrării au fost utilizate ambele posibilități oferite de acest aparat. La determinarea densităților amestecurilor s-a utilizat termostatarea "internă", în baia de termostatare a aparatului. Cealaltă posibilitate s-a utilizat la determinarea viscozităților dinamice ale amestecurilor cu viscozimetrul Hoeppler prezentat în subcapitolul acesta.



Fig. 2.1.1 Termostatul și baia de termostatare "Phywe"

În figura 2.1.2 a, b, și c este prezentată balanța Kern de tip Mohr - Westphal utilizată pentru determinarea densităților amestecurilor. În figura 2.1.2 a, se prezintă detaliile balanței. Figurile 2.1.2 b și 2.1.2 c reprezintă fotografiile ale balanței fără și cu termostatarea vasului cu lichidul a cărui densitate urmează a fi determinată.

Rezultatele măsurătorilor mediate pe un număr de minimum cinci probe sunt prezentate în capitolul următor.

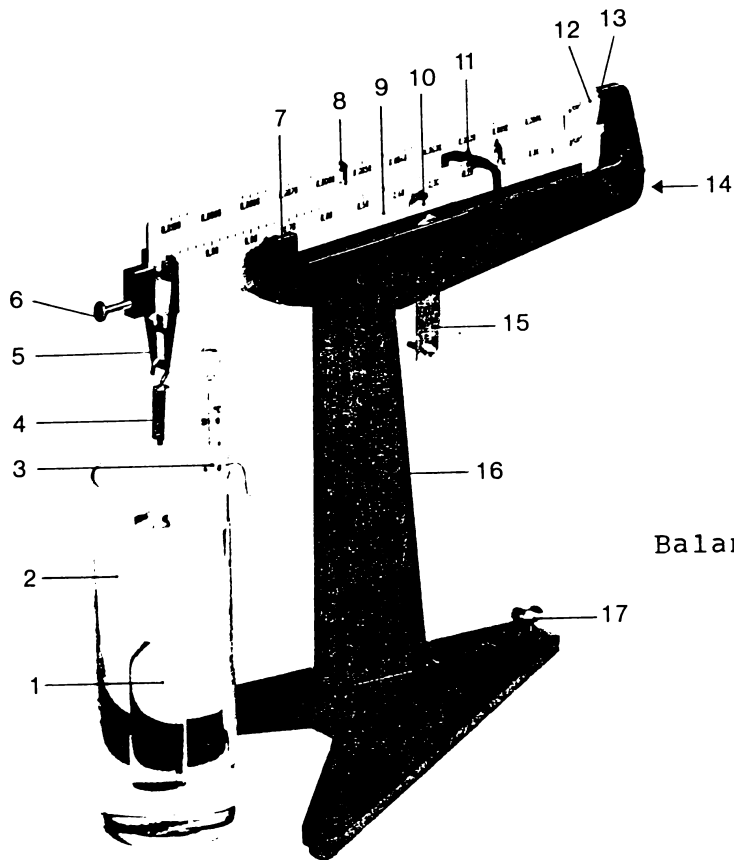


Fig. 2.1.2 a

Balanta Kern, detalii

- | | |
|--|--|
| 1 - Corp scufundat | 11 - Greutate de translatare
0,00 - 1,00 g |
| 2 - Vas de scufundare | 12 - Indicator de echilibru
al pîrghiei mobile |
| 3 - Termometru | 13 - Indicator de echilibru al
stativului |
| 4 - Agățătorul corpului
de scufundare | 14 - Magnet amortizator. (even-
tuale particule de metal
adunate aici se îndepăr-
tează lipind și îndepăr-
tînd apoi o bandă tesa) |
| 5 - Dispozitiv agățare | 15 - Greutate de agățare 1,00g |
| 6 - Șurub de echilibrare | 16 - Stativ |
| 7 - Lagăr mijlociu | 17 - Șurub pentru ajustarea
poziției de zero |
| 8 - Greutate de translatare
0,0000 - 0,0100 g | |
| 9 - Pîrghia cîntarului | |
| 10 - Loc pt. agățarea greu-
tății de agățare (15) | |



Fig. 2.1.2 b

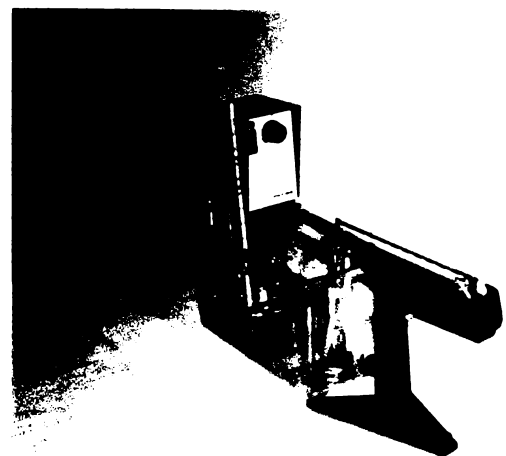


Fig. 2.1.2 c

Măsurătorile de vîscozitate propriu zise s-au efectuat după ce a fost cunoscută densitatea amestecurilor, prin două metode, comparîndu-se rezultatele între ele.

Prima măsurătoare de vîscozitate s-a efectuat cu vîscozimetrul capilar Ostwald. In acest scop s-a utilizat un vîscozimetru de marcă Phywe, etalonîndu-l în prealabil în laboratorul din Obernach / 53, 54 /.

Măsurătorile cu vîscozimetrul Ostwald se bazează pe legea Hagen-Poiseuille

$$\eta = \frac{\pi R^4}{8V} \cdot \frac{p_1 - p_2}{L} \cdot t \quad (2.1.1)$$

unde V este volumul de lichid care trece în timpul t printr-un tub capilar de lungimea L, cu diametrul 2R, sub acțiunea unei diferențe de presiune $p_1 - p_2$.

Măsurători mai exacte țin cont de accelerarea lichidului în secțiunea de intrare a tubului capilar și de repartiția de viteze neparabolică pe secțiune în zona de intrare care conduce la un lucru mecanic de frecare mai ridicat.

De toate acestea se ține cont prin corectura Hagenbach și se obține relația:

$$\eta = \frac{\pi R^4}{8V} \cdot \frac{p_1 - p_2}{L} \cdot t - \frac{m \int V}{8 Lt} \quad (2.1.2)$$

La vîscozimetrul capilar presiunea care produce curgerea lichidului este presiunea coloanei de lichid $\rho_m g h_m$, unde h_m este valoarea medie în timp a diferenței de nivel din cele două ramuri ale vîscozimetrului.

In acest fel ecuația (2.1.2) poate fi adusă la forma:

$$\eta = A \int t - \frac{B \rho}{t} \quad (2.1.3)$$

sau simplificînd cu ρ :

$$\eta = At - \frac{B}{t} \quad (2.1.4)$$

Cele două constante se pot determina etalonînd vîscozimetrul cu două lichide cu vîscozitate cunoscută sau cu un lichid cu vîscozități cunoscute la temperaturi diferite / 54 /.

Pentru măsurătorile de vîscozitate din cadrul prezentei lucrări am etalonat vîscozimetrul capilar cu apă distilată, lucrînd la temperaturile $\theta_1 = 20$ grade Celsius și $\theta_2 = 40$ grade

Celsius.

Viscozimetrul capilar Ostwald utilizat pentru măsurătorile din prezenta lucrare este prezentat în figura 2.1.3 / 55 /.

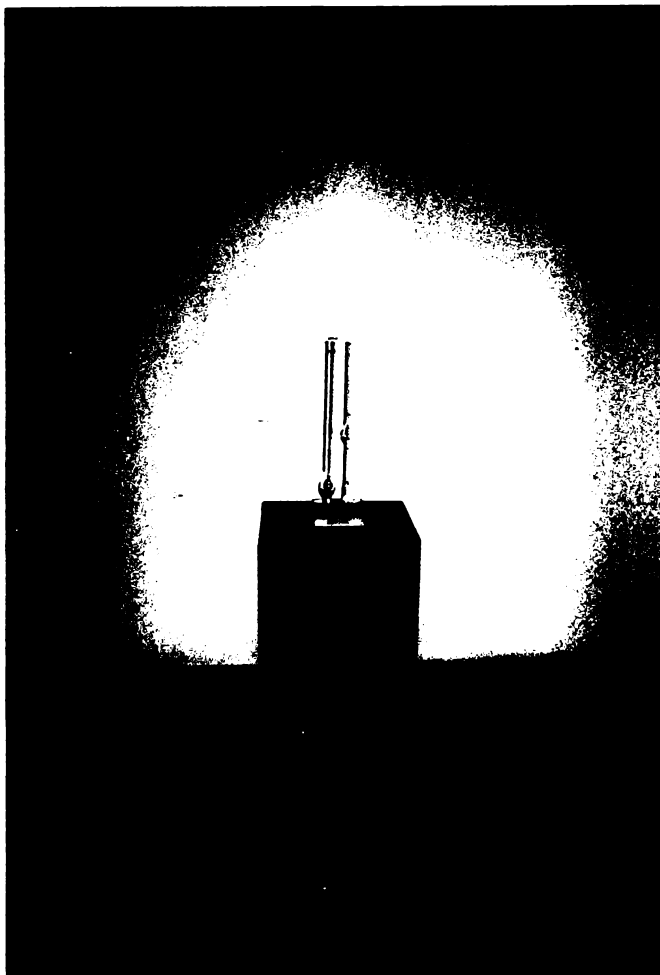


Fig. 2.1.3

Viscozimetrul capilar Ostwald, pentru determinarea viscozității cinematice.

Pentru determinarea constantelor A și B din ecuația (2.1.4), viscozimetrul a fost scufundat în baia de termostatare, după cum se vede din figura 2.1.4

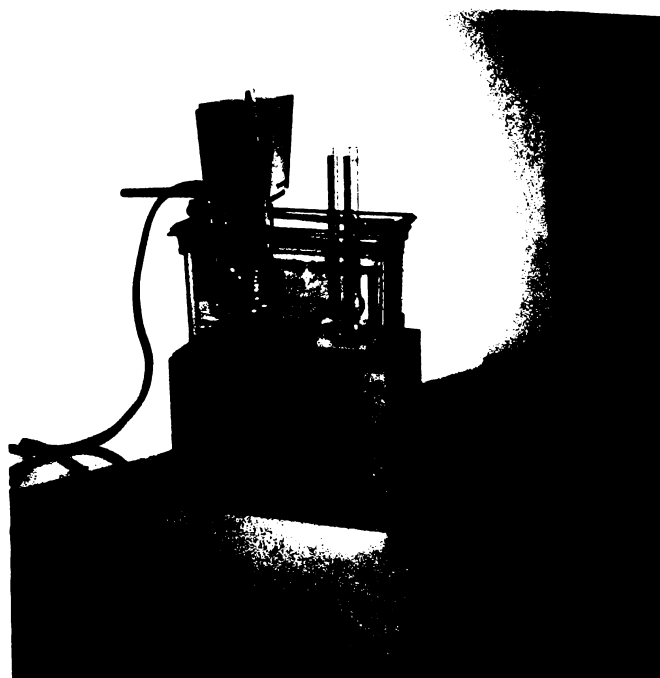
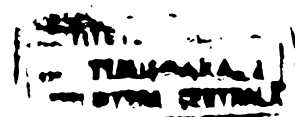


Fig. 2.1.4

Viscozimetrul Ostwald termostatat pentru măsurători la temperaturi diferite.



În vîscozimetrul termostatat ca în fig. 2.1.4, s-a introdus apă distilată și după atingerea temperaturii de regim de 20 respectiv 40 grade Celsius, s-a ridicat apa cu o pară aspiratoare /56/ în brațul drept (fig.2.1.3). După restabilirea presiunii atmosferice pe suprafața lichidului din ambele brațe, lichidul din brațul drept coboară pînă la echilibrarea nivelelor din cele două brațe.

Brațul drept al vîscozimetrului poartă două marcaje. Măsurînd timpul scurs între momentul trecerii nivelului liber al lichidului din brațul drept prin marcajul superior și momentul trecerii prin marcajul inferior, se obține timpul de trecere

t_1 la temperatura de 20 grade Celsius

1

t_2 la temperatura de 40 grade Celsius

2

Cu aceste valori constantele din relația (2.1.4) sînt:

$$B = \frac{t_1 t_2}{t_2 - t_1} \left(\sqrt[3]{\frac{t_2}{t_1}} - \sqrt[3]{\frac{t_1}{t_2}} \right) \quad (2.1.5)$$

$$A = \frac{1}{t_1} \left(\sqrt[3]{\frac{t_2}{t_1}} + \frac{B}{t_1} \right) \quad (2.1.6)$$

Introducînd în aceste două relații valorile cunoscute ale vîscozității cinematice a apei distilate la 20 și 40 grade Celsius,

$$\sqrt[3]{\frac{t_2}{t_1}} = 1,004 \text{ cSt} \quad \text{și}$$

$$\sqrt[3]{\frac{t_1}{t_2}} = 0,658 \text{ cSt}$$

rezultă pentru vîscozimetrul capilar din Obernach constantele:

$$A = 0,2468$$

$$B = 2,0629$$

Cu aceste constate, măsurînd pentru amestecurile din tunel timpii de trecere între cele două marcaje ale brațului de măsură a vîscozimetrului se determină vîscozitatea cinematică aplicînd direct relația (2.1.4).

Pentru a obține valori reproductibile vîscozimetrul trebuie umplut mereu cu aceeași cantitate de lichid, pentru ca la atingerea de către suprafața liberă a marcajului superior (pornirea cronometrării) diferența de nivel a celor două brațe să fie aceeași.

La măsurătorile din Obernach s-au utilizat mereu 7 cm³ de lichid, obținîndu-se valori bine reproductibile, cu diferențe în jur de 1 - 1,5 %.

A doua metodă de măsurare a vîscozității utilizată în prezenta lucrare folosește vîscozimetrul cu bilă căzătoare de tip Hoeppler prezentat în figura 2.1.5. / 57, 58 /.

Vîscozimetrul constă dintr-un tub de sticlă în care se introduce lichidul a cărui vîscozitate trebuie determinată și o bilă metalică cu densitate și diametru cunoscute cu precizie. Tubul este montat concentric într-un tub de sticlă cu diametrul mai mare și ambele sînt fixate împreună într-un montaj oscilant pe un stativ.

În spațiul dintre cele două tuburi circulă lichidul de termostatare provenind din ramura de termostatare exterioară a termostatului prezentat anterior (conducte de legătură roșii în fig. 2.1.6)

A fost repus în funcție și reetalonat un aparat existent la institutul din Obernach de la înființarea acestuia.

În acest scop s-a determinat mai întîi diametrul și densitatea celor patru bile metalice aflate în trusa de accesorii a vîscozimetrului. Pentru efectuarea acestei operațiuni a fost necesară comandarea unor lichide de etalonare și utilizarea acestora într-un interval scurt de timp datorită modificării relativ rapide a proprietăților acestora / 57 /.

Cu ajutorul acestor lichide s-a determinat constanta K a fiecărei bile.

Rezultatele etalonării sînt prezentate în tab. 2.1.1.

Tab. 2.1.1

Bila nr.	Diametrul /mm/	Densitatea ρ / g/cm ³ /	Constanta medie K a bilei /mPa.s.cm ³ /g.s /
I	15,97	8,1213	0,01115
II	15,40	8,1187	0,2928
III	15,00	8,1071	1,179
IV	11,79	8,1451	27,25

La măsurarea vîscozității amestecului trebuie aleasă o bilă în așa fel încît timpul de coborîre a acesteia în tubul cu lichid să nu fie prea mic și nici prea mare.

O viteză mare de coborîre se obține cînd între bilă și peretele interior al tubului cu lichid spațiul este mare, deci la bila cu diametrul mic. Această bilă se folosește deci la lichide cu vîscozitate foarte mare.

Se alege în general diametrul bilei în așa fel încît timpul de coborîre să fie de ordinul minutelor. Astfel precizia măsurătorii este bună și timpul necesar rămîne în limite rezonabile.

In cadrul măsurătorilor de vîscozitate din prezenta lucrare au fost utilizate numai bilele I si II pentru a obține o precizie mare, chiar cu prețul unui timp mai lung necesar.

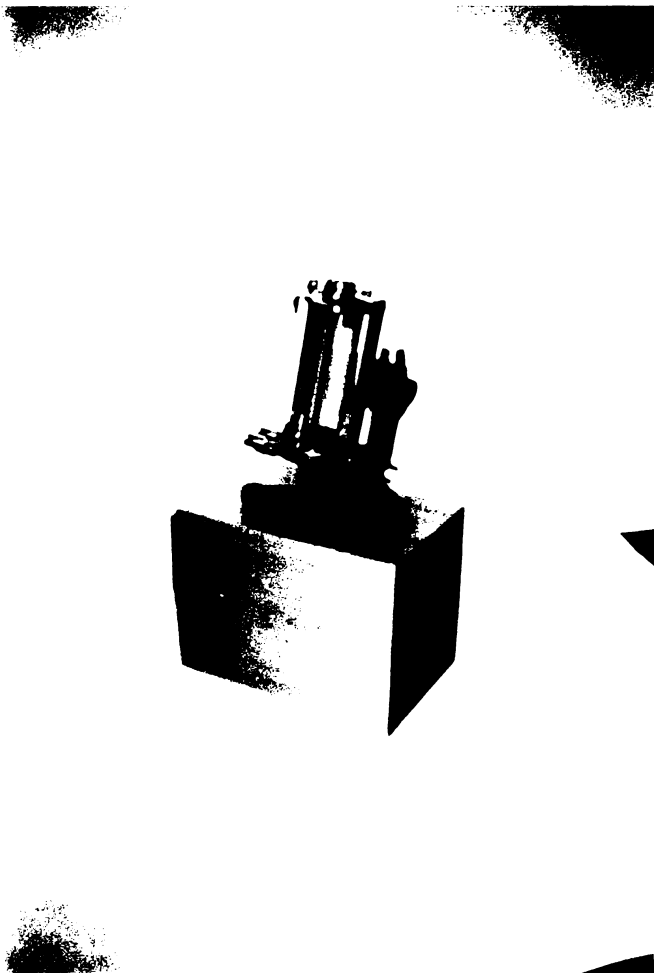


Fig. 2.1.5
Vîscozimetrul Hoesppler
al laboratorului de
cavităție de la Obernach

Vîscozimetrul legat de circuitul extern al termostatului Phywe și accesoriile aparținătoare (bile și termometre) sînt date în fig. 2.1.6

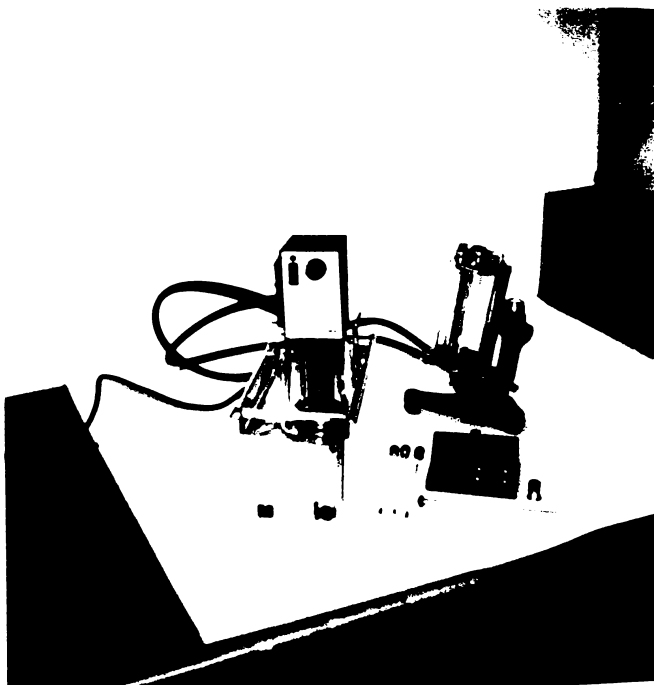


Fig. 2.1.6
Vîscozimetrul Hoesppler
cu accesorii și termo-
statare

Vîscozitatea amestecurilor măsurață cu vîscozimetrul Hœppler se determină ca vîscozitate dinamică cu relația

$$\eta = K (\rho_{\text{bilă}} - \rho_{\text{lichid}}) t \quad (2.1.7)$$

unde:

η = vîscozitatea dinamică a lichidului în mPa.s

K = constanta bilei utilizate în mPa.s.cm³ / g .s

$\rho_{\text{bilă}}$ = densitatea bilei utilizate în g/cm³

ρ_{lichid} = densitatea lichidului a cărui vîscozitate se determină în g/cm³

t = timpul mediu de cădere a bilei în secunde

Etalonarea vîscozimetrului Hœppler (determinarea constantelor K ale bilelor metalice) s-a făcut cu ajutorul a trei lichide de etalonare cu vîscozitate cunoscută cu precizie, despre care s-a vorbit anterior.

Determinările de vîscozitate efectuate asupra amestecurilor ce urmau a fi folosite în tunel s-au efectuat la temperatura de 20 grade Celsius. În vederea unor lucrări experimentale cu varierea vîscozității prin varierea temperaturii lichidului de lucru din tunel, s-au făcut inițial și determinări la alte temperaturi.

Pentru fiecare amestec s-au făcut 20 de măsuratori duble (cursa directă și cursa inversă) la vîscozimetrul Hœppler și tot 20 la vîscozimetrul Ostwald.

Rezultatul mediat al măsurătorilor este prezentat în cap. 3.

2.2 INSTALATIA EXPERIMENTALA PENTRU DETERMINAREA CONCENTRATIEI DE SATURATIE A AERULUI IN AMESTECURI GLICERINA - APA IN PROPORȚII DIFERITE SI LA DIFERITE TEMPERATURI

Pentru măsurarea conținutului de aer din amestecurile glicerină-apă s-a recurs la măsurarea oxigenului din lichid considerând că gradul de saturație în oxigen evoluează paralel cu gradul de saturație în aer. Această presupunere este aplicabilă deoarece singura sursă de oxigen este aerul dizolvat în lichid, și în cursul lucrărilor în tunel nu se produc reacții chimice care ar putea pune în libertate oxigen.

Măsurătoarea de oxigen s-a făcut cu un aparat modern, dezvoltat de firma WTW care utilizează un aparat de măsurare cu microprocesor. / 59 , 60 , 61, 62, 63, 64 /.

Senzorul aparatului este format dintr-un electrod de măsurare potențiostatic cu membrană permeabilă, care conține un lichid ce reacționează cu oxigenul care pătrunde prin membrană. Intesitatea reacției chimice, direct proporțională cu cantitatea de oxigen este transformată într-un semnal electric prelucrat de microprocesor.

Ansamblul format din oximetru (microprocesor), electrodul cu senzor potențiostatic introdus în vasul de etalonare și extenderul util mai ales la utilizarea industrială a aparatului este prezentat în figura 2.2.1

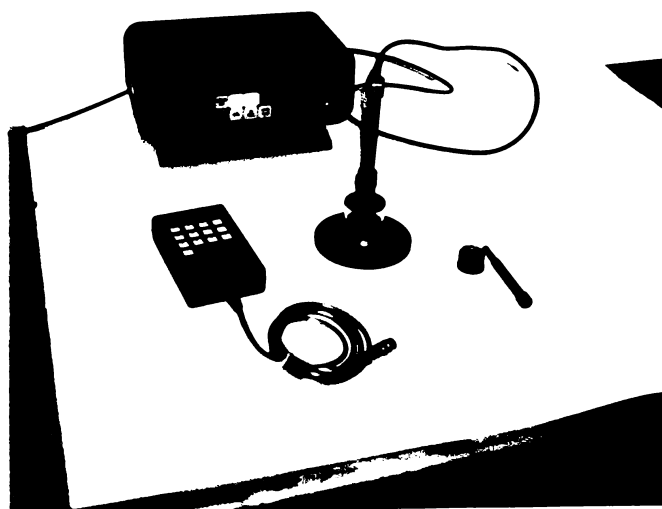
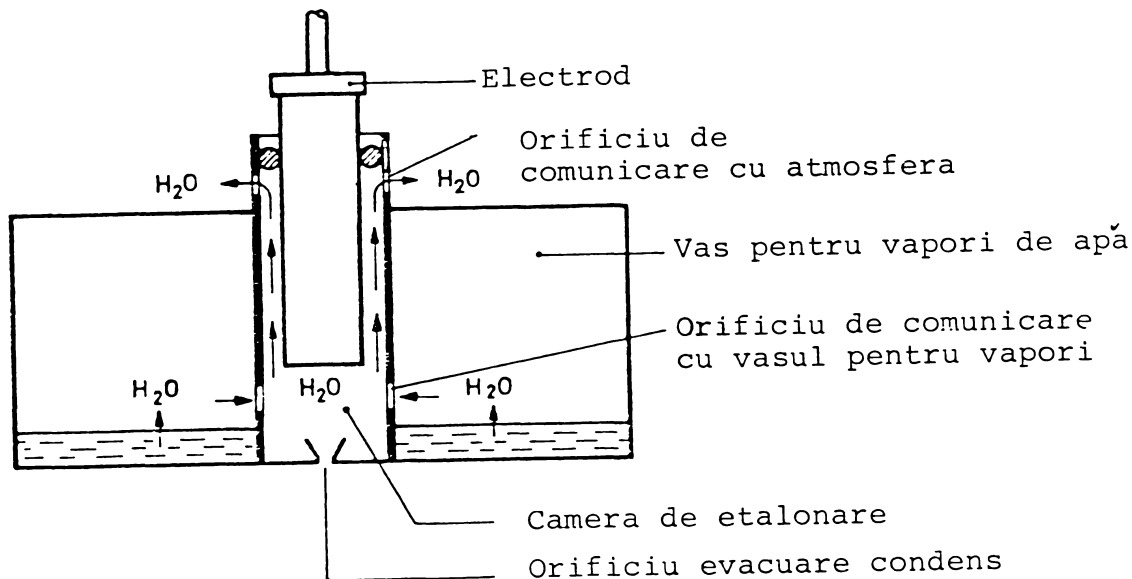


Fig. 2.2.1

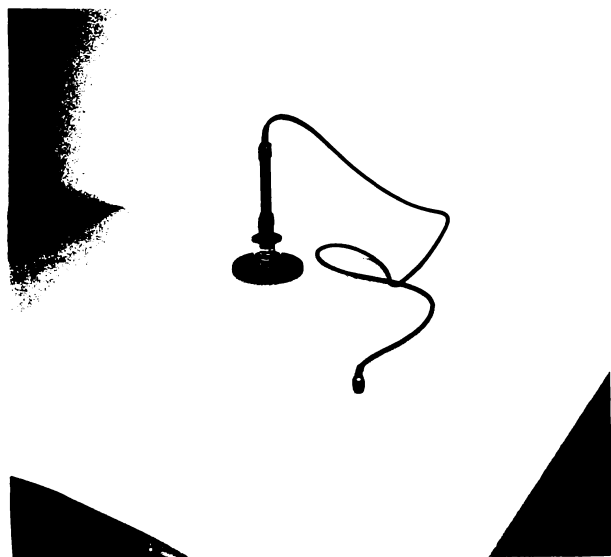
Oximetrul cu microprocesor Oxi 2000 cu sondă, vas de etalonare și extender

Sonda cu senzor potențiostatic la nivelul actual de dezvoltare al aparatului se poate etalona doar în apă saturată cu aer, sau în aer saturat cu vapori de apă. Măsurătorile în alte medii presupun calcule suplimentare sau artificii experimentale, deoarece microprocesorul cunoaște doar solubilitatea oxigenului în apă, la temperaturi și presiuni diferite și raportează toate măsurătorile la aceste valori.

În figura 2.2.2 a și b se prezintă electrodul cu membrană, în ambele cazuri montat în vasul de etalonare.



a.



b.

Fig. 2.2.2 a și b

Electrodul TriOxmatic EO 200 cu senzor potenciostatic, montat în vasul de etalonare cu aer saturat în vapori de apă

Pentru determinările făcute în vederea reglării conținutului de aer al lichidului din tunel s-a utilizat un montaj de laborator prezentat în fig. 2.2.3.

Deoarece gradul de saturatie în aer al lichidului nu a fost un parametru al cărui influență s-a urmărit în lucrare, am procedat la determinarea unui parametru bine definit și reproductibil. De aceea în cadrul măsurătorilor preliminare s-a urmărit determinarea afisajului atât la oximetru cât și la displayul terminalului din laborator al calculatorului cu care s-au condus măsurătorile, atunci când lichidul de lucru este saturat în aer.

Determinările s-au făcut la presiune atmosferică și la temperaturi între 20 și 50 grade Celsius, cu intervale de 0,5 grade Celsius.

Pentru a obține valori utilizabile la lichidele din tunel, s-au produs amestecurile ce urmau să fie studiate în cantitățile necesare umplerii băii termostatică. Lichidul a fost termostatat în baie. S-a introdus în baie sonda cu electrodul de măsură,

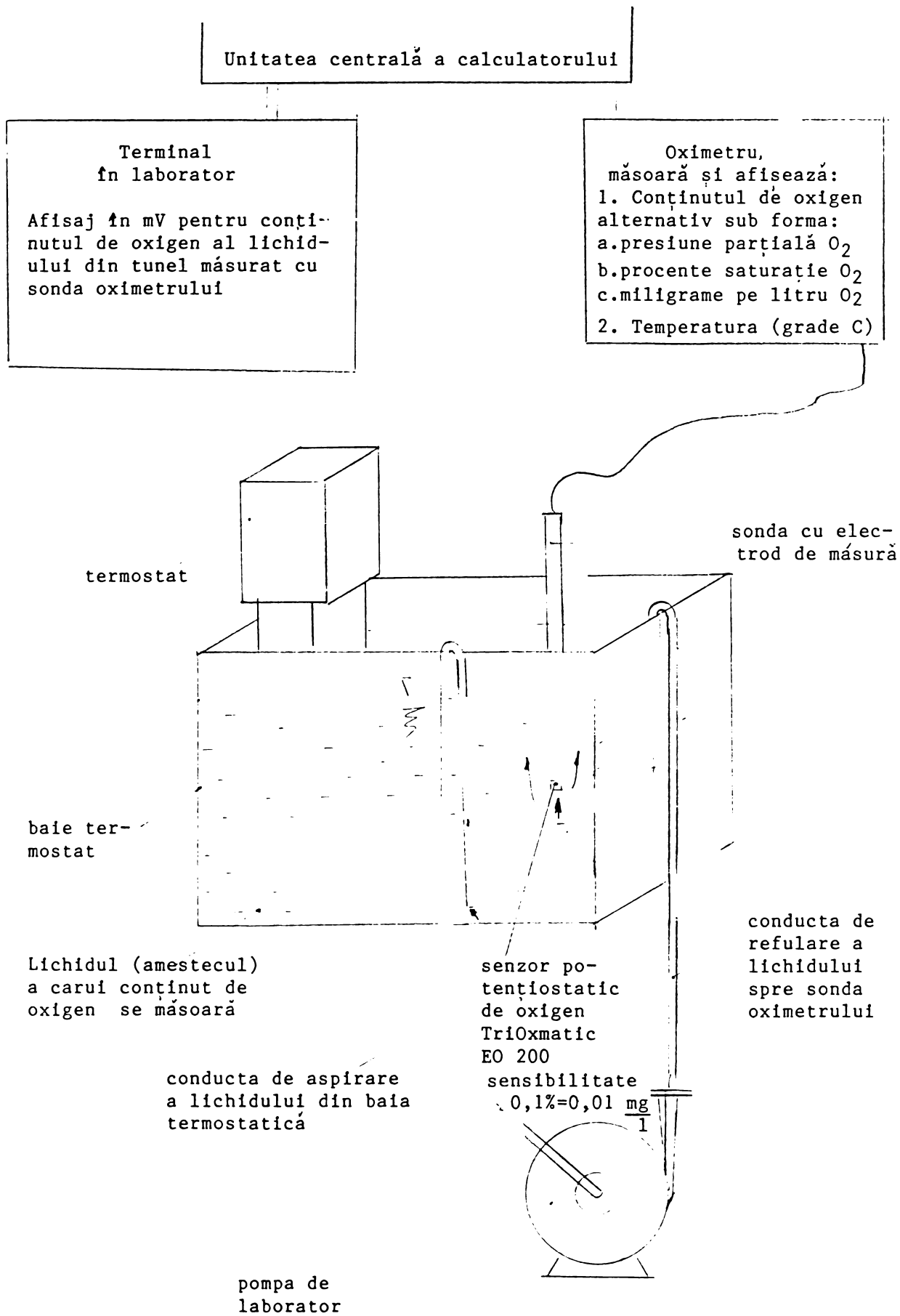


Fig. 2.2.3 Montaj de laborator pentru determinarea concentrației de saturație în oxigen a amestecurilor lichide utilizate în tunel

iar la atingerea temperaturii de regim s-a pus în funcție o pompă de laborator pentru recircularea lichidului din baia termostatică și îndreptarea unui jet de lichid înspre senzorul cu membrană al oximetrului.

Jetul trebuie să aibe viteza minimă de 0,3 m/s pentru ca măsurătoarea să fie corectă.

Datorită vitezei relativ mari a jetului, lichidul din jur este antrenat într-o mișcare ascendentă, producându-se o amestecare destul de violentă care antrenează lichidul din întreaga baie.

Astfel mereu alte părți ale lichidului ajung în contact cu atmosfera, și lichidul se saturează în aer. Saturația se constată atât la afișajul oximetrului, valoarea afișată pentru conținutul de oxigen rămânând constantă, cât și la displayul terminalului din laborator al calculatorului care afișează o valoare analogă constantă (în mV).

Aceste valori s-au reținut pentru toate amestecurile glicerină-apă, în câteva serii de măsurători extrem de laborioase. Ele sînt redată parțial în capitolul 3.

Aceste valori au stat apoi la baza reglării stării de saturație în camera de lucru a tunelului, la temperatura și presiunea din această cameră.

Măsurînd temperatura și presiunea din camera de lucru se poate determina valoarea de saturație cu ajutorul tabelelor alcătuite în aceste încercări preliminare, luînd valoarea la temperatura din camera de lucru a tunelului și recalculînd valoarea de saturație la presiunea din camera de lucru, din valoarea notată la presiune atmosferică, cu ajutorul legii lui Dalton.

În acest fel se obțin valorile pe care trebuie să le afișeze oximetrul în cadrul măsurătorilor cu diferitele amestecuri.

Modul în care se intervine asupra lichidului pentru a se obține starea de saturație, respectiv pentru a obține valorile de afișaj dorite, se prezintă în capitolul următor.

2.3 TUNELUL CU ACȚIUNE INTERMITENTA (BLOW-DOWN) PENTRU STUDIUL INCIPIENTEI CAVITATIONALE

Obținerea unor viteze mari în secțiunile de lucru ale tunelurilor hidrodinamice de cavitație este în general legată de cheltuieli energetice foarte mari. Se poate obține o reducere a acestora prin utilizarea tunelurilor cu acțiune intermitentă. La aceste tunele lichidul circulă între două rezervoare, un rezervor de alimentare și unul de recepție. Pentru măsurători, lichidul trece din rezervorul de alimentare în rezervorul de recepție circulând prin camera de lucru unde este montat profilul hidrodinamic sau un alt obiect pe care se produce incipiența cavitațională.

După golirea rezervorului de alimentare în rezervorul de recepție, este necesar un transfer al lichidului de lucru din nou în rezervorul de alimentare. După încheierea acestei operații se poate începe un nou ciclu de lucru.

În timpul fazei active pe lângă diferența de nivel dintre cele două rezervoare principale, contribuția esențială la obținerea unor viteze mari în camera de lucru este adusă de o pernă de aer comprimat, care apasă pe suprafața liberă a lichidului din rezervorul de alimentare. Scăderea nivelului lichidului în acest rezervor nu este însoțită și de o scădere a presiunii, deoarece prin intermediul unei valve de control, presiunea deasupra nivelului lichidului, reglată la valoarea dorită, este menținută constantă, respectiv continuu refăcută dintr-un rezervor de presiune constantă alimentat de un compresor.

La rândul ei presiunea din rezervorul de presiune constantă este menținută de un compresor pus în și scos din funcție de un manometru cu contact electric.

Rezervorul de recepție este legat atât de rezervorul de presiune constantă cât și de un rezervor de vid în care o pompă de vid poate crea un vid înaintat.

Cele două rezervoare sînt legate prin trei trasee de conducte:

Traseul principal superior (în figura 2.3.1 traseul mijlociu) conținînd în sensul dinspre rezervorul de alimentare înspre cel de recepție un confuzor, camera de lucru, un difuzor și o valvă cu comandă pneumatică. Fluxul prin camera de lucru se stabilește cînd această valvă este deschisă. Prin comandă automată se poate obține doar poziția complet deschis și complet închis a valvei, manual se pot realiza și poziții intermediare.

Traseul inferior, pe care se găsește o pompă cu ajutorul careia lichidul poate fi trecut din rezervorul de recepție din nou în cel de alimentare. Această pompă permite și funcționarea tunelului în circuit închis, dar vitezele obținute astfel au valori între 2 - 3 m/s, în timp ce funcționarea intermitentă cu presiune de aer permite obținerea unor viteze de pînă la 25 m/s.

Traseul secundar superior, care leagă cele două rezervoare principale în partea lor superioară și are rolul de a permite egalizarea presiunilor în cele două rezervoare.

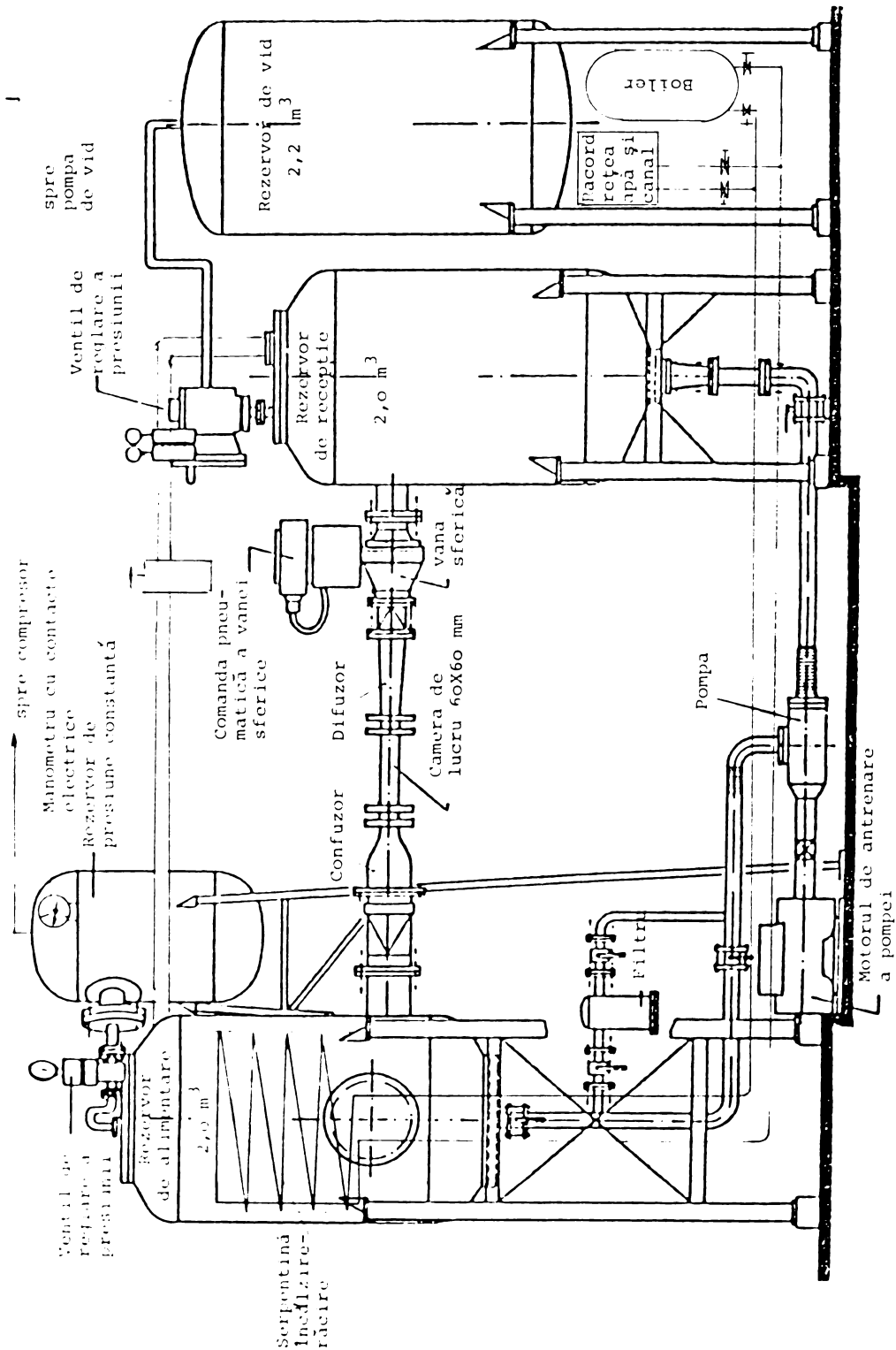


Fig. 2.3.1 Tunelul cu acțiune intermitentă a institutului "Oskar v. Miller" Oberrnach a TU München

Toate elementele tunelului, pompa, conductele, rezervoarele, armăturile și aparatele de măsură sînt confecționate din oțel inoxidabil sau alte materiale care nu suferă coroziune (camera de lucru din plexiglas).

În fig.2.3.1 se prezintă schematic tunelul cu acțiune intermitentă al Institutului Hidrotehnic "Oskar v. Miller" Obernach, al Universității Tehnice din München. Proiectarea și realizarea tunelului a avut loc sub conducerea Dr. Andreas Keller / 65 /.

Datorită limitelor de rezistență a camerei de lucru confecționată din plexiglas, presiunea statică în rezervorul de alimentare nu poate fi ridicată peste valoarea de 4 bar. Totuși această valoare conduce la valori ale presiunii diferențiale de 3 bar și viteze de peste 20 m/s în camera de lucru, ceea ce permite studierea incipienței cavitaționale într-un domeniu destul de larg al coeficientului de cavitație Sigma.

Pentru studiile de influență a vîscozității lichidului asupra incipienței cavitaționale, rezervorul de alimentare a fost dotat cu un schimbător de căldură, o serpentină din țevă de cupru, prin care circulă agentul termic. Pentru încălzire s-a folosit apă caldă dintr-un boiler, pentru răcire, apă din rețeaua de alimentare cu apă a institutului din Obernach, care nu se încălzește niciodată peste 13 grade Celsius.

Tipul de tunel cu funcționare intermitentă prezintă pe lângă avantajul consumului energetic redus, încă alte două avantaje majore pentru studii de incipiență cavitațională:

În primul rînd preistoria lichidului de lucru, conținutul de gaze și rezistența de rupere a lichidului pot fi stăpînite mai ușor decît în tunelele convenționale. Prin majorarea presiunii în rezervorul de alimentare, gaze nedizolvate pot fi trecute în stare de dizolvare, rezistența la rupere poate fi majorată. Prin puscare în vid, în rezervorul de recepție, lichidul se degazează. Prin recirculare lichidul se agită, ceea ce duce la evitarea formării unei rezistențe la rupere mai mari decît dorită. Astfel, în ansamblu lichidul poate fi condiționat în anumite limite după dorință, iar cînd proprietățile dorite au fost obținute se pot face încercările.

În al doilea rînd tunelul permite operarea cu cantități relativ mici de lichid, ceea ce în condițiile încercărilor cu lichide diferite de apă reprezintă un avantaj cert.

Desigur există și dezavantaje ale acestui tip de tunel. Astfel la presiuni ridicate (4 bar), în rezervorul de alimentare, necesare pentru obținerea unor viteze ridicate în camera de lucru, rezistența de rupere a lichidului crește considerabil în decurs de secunde (cca. 15 sec). Aceasta impune operarea foarte rapidă cu lichidul de lucru și terminarea măsurătorilor în acest răstimp ceea ce este posibil numai prin trecerea măsurătorilor pe calculator.

Drept corpuri de încercare s-au folosit profile simetrice NACA 65006. Pentru cuprinderea și a efectelor de scară ale mărimii (a extensiunii lineare) s-au încercat trei mărimi de profile, variînd de la o marime la alta, dimensiunea lineară cu factorul 2. Astfel s-au folosit profile cu lungimea corzii de 30, 60 și 120 mm.

Dupa cum s-a mai aratat, măsurătorile la tunel sînt în mare măsură automatizate și conduse de calculator. Viteza curentului se măsoară printr-o măsurătoare de presiune cu un traductor de presiune diferențială, între cele două secțiuni ale confuzorului. În valoarea presiunii intervine presiunea statică a coloanei de lichid din rezervorul de alimentare, presiune ce variază cu lichidul de lucru în funcție de densitatea (greutatea specifică) a acestuia. Aceasta impune o etalonare nouă la fiecare lichid de lucru, și introducerea măsurătorilor de etalonare, în programul de calcul al coeficientului de cavitație.

Presiunile măsurate cu traductoare piezoelectrice, și diferențele de presiuni se transmit unității centrale a calculatorului care calculează din aceste măsurători viteza curentului și valoarea lui Sigma Thoma. Valorile sînt înregistrate pe placa magnetică și pot fi chemate cu un program separat de prelucrare a datelor de măsurare.

Pentru a ne asigura împotriva pierderii datelor în urma unei intervenții străine asupra datelor, respectiv împotriva pierderii memoriei plăcii, zilnic după terminarea măsurătorilor s-a activat programul de prelucrare a datelor, notîndu-se pentru fiecare măsurătoare pe fișe de măsurători, valorile presiunii din camera de lucru, a vitezei și a lui Sigma Thoma.

În vederea efectuării măsurătorilor în momentul incipienței cavitației, se procedează astfel: se activează programul de măsurători al calculatorului și se aduc concomitent toate punctele de măsurare a diferiților parametri în stare de recepționare a semnalelor electrice ale aparatelor de măsură, fără a se efectua încă măsurători.

Cînd ecranul calculatorului afișează terminarea stării de pregătire, se dă comanda de deschidere a valvei pneumatice de pe conducta superioară principală punînd în contact rezervorul de alimentare cu cel de recepționare prin traseul camerei de lucru.

O rază laser-trigger (raza laser declanșatoare) pornește din exteriorul camerei de lucru, este orientată în lungul părții superioare a bordului de atac a profilului din camera de lucru, și părăsește camera de lucru în partea opusă intrării ei, fiind recepționată de un declanșator.

Odată cu deschiderea valvei pneumatice crește și viteza curentului din camera de lucru pentru ca la un moment dat să se inițieze cavitația. În momentul apariției primelor bule, raza laser trigger este întreruptă de acestea, declanșatorul nema recepționînd-o la ieșire. Acesta este semnalul de declanșare concomitentă a măsurătorilor în toate punctele de măsurare.

Consecutiv se poate da imediat comanda de închidere a valvei pneumatice, pentru a folosi cît mai puțin lichid. În acest fel se pot face, în cazuri favorabile, cu un plin al rezervorului de alimentare, pîna la zece măsurători ale lui Sigma Thoma pentru corpul instalat în camera de lucru.

În realitate aceasta este posibil doar la viteze mai mici, corespunzînd unor presiuni mai reduse în rezervorul de alimentare. Cînd se lucrează cu presiuni mari, după două -trei măsurători lichidul din rezervorul superior dobîndește o rezistență la

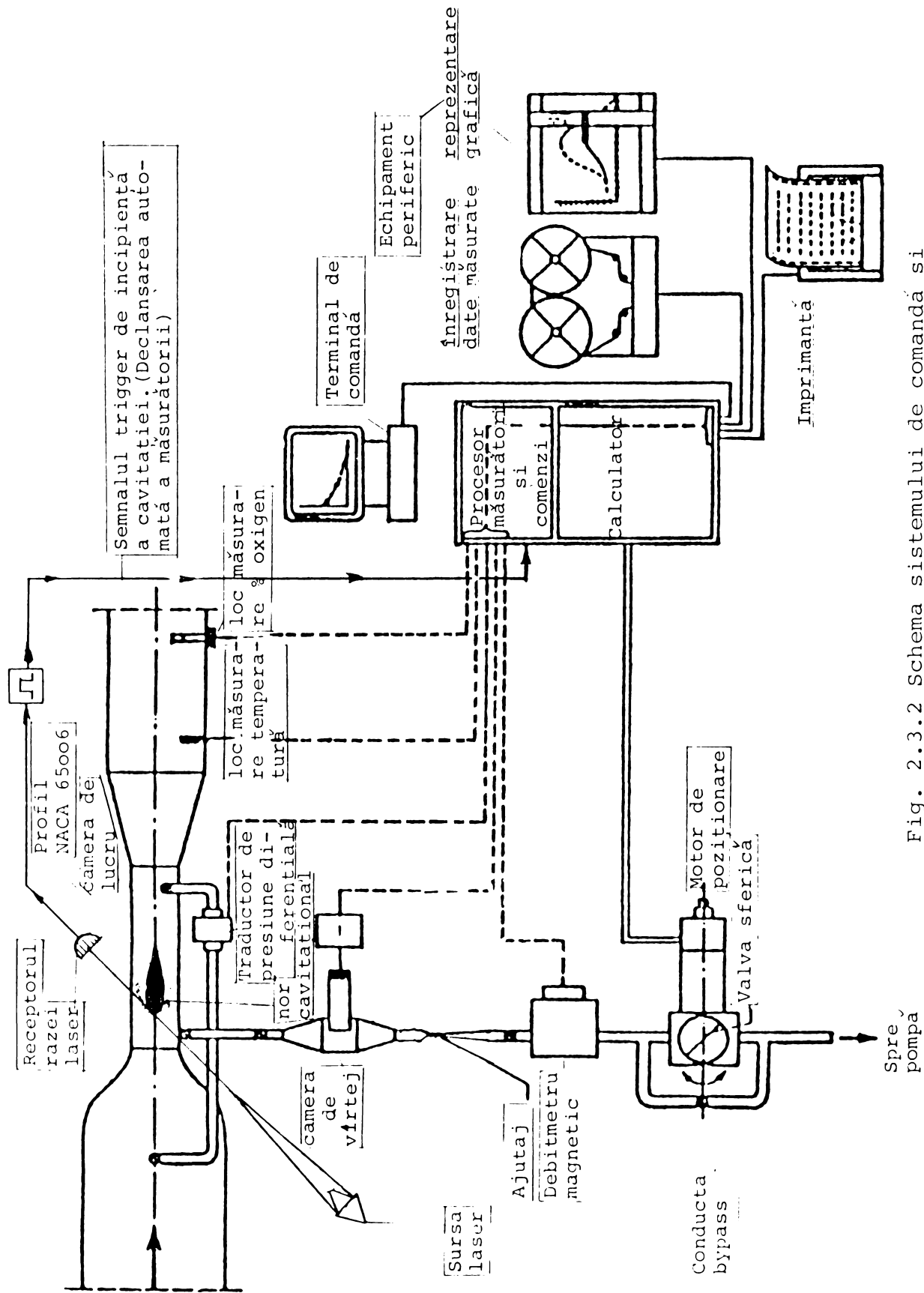


Fig. 2.3.2 Schema sistemului de comanda si masuratori a tunelului cu actiune intermitenta, TU München

rupere mărită, ceea ce pervertește total valoarea măsurată pentru Sigma Thoma.

În figura 2.3.2 se prezintă schematic sistemul de măsurători de la tunelul cu funcționare intermitentă.

Raza laser reprezentată în fig. 2.3.2 nu are traseu oblic după cum s-ar putea crede printr-o greșită interpretare a figurii, unde în privința reprezentării razei trigger s-a intenționat o reprezentare spațială. Raza intră lateral în camera de lucru, urmărește bordul de atac al profilului-model pe toată lățimea camerei de lucru și părăsește camera tot lateral.

Din figura 2.3.2 se poate vedea că pe lângă măsurătorile principale, se efectuează o serie de măsurători suplimentare asupra proprietăților și stării lichidului de lucru. Acestea sînt:

a. Rezistența la rupere în bar, cu un sistem dezvoltat de A. Keller și Matt/16 /constînd dintr-o cameră de vîrtej în care se suprapune un turbion central peste efectul de scădere a presiunii datorită unui tub Venturi. Instrumentul constituie o invenție a autorului amintit și nu poate fi descris mai pe larg aici. Măsurătorile cu cameră de vîrtej preced în general măsurătorile lui Sigma Thoma și nu se pot efectua în paralel cu acestea.

b. Conținutul de gaze al lichidului cu ajutorul unui oximetru, în % saturație sau în mg gaz / litru.

c. Temperatura lichidului de lucru în grade Celsius. (Asupra temperaturii s-a intervenit în cadrul încercărilor amestecurilor glicerină - apă numai în sensul menținerii ei constante cu ajutorul serpentinei de încălzire-răcire din rezervorul de alimentare)

Una din cele mai dificile operații din cadrul încercărilor a fost condiționarea lichidului pe bază informațiilor a, b, și c în așa fel încît măsurătorile să fie reproductibile și să prezinte un grad de certitudine suficient de ridicat.

Dacă la glicerină 100% s-a putut efectua doar măsurarea unui singur punct pe zi, pentru restabilirea calității lichidului fiind necesare minimum 20 ore, la amestecurile mai puțin concentrate, în special începînd cu 50% glicerină + 50% apă și în jos, modificarea stării lichidului sub acțiunea presiunii resp. a vidului a fost foarte rapidă. Am constatat că o calitate de lichid stabilită prin aerare sau desaerare, mai ales în condiții de presiune mare în rezervorul de alimentare sau la vid înaintat în rezervorul de recepție, se menține aproximativ timp de 10 secunde, măsurătorile efectuate în acest interval de timp fiind reproductibile și urmînd alura cunoscută de la încercările anterioare în apă. După depășirea acestui timp de la condiționarea lichidului nu se mai pot face măsurători corecte, fiind necesară o nouă condiționare.

În lucrări anterioare /15, 20, 66 / Keller, Eickmann și alții au stabilit la Institutul de Hidrotehnică "Oskar v. Miller" a Universității Tehnice München o dependență accentuată a coeficientului de cavitație Sigma Thoma de rezistența la rupere a lichidului. Acesta a fost motivul pentru dezvoltarea camerei de vîrtej despre care s-a vorbit mai sus la punctul a.

În cadrul măsurătorilor în amestecuri de glicerină și apă, care

au vîscozităţi pîna la 2 ordine de măriri mai mari decît apa, aparatul amîntit nu a putut fi folosit. Datorită vîscozităţii mari vîrtejul nici nu a apărut.

Pentru obţinerea totuşi a unor măsuraţi definite şi reproductibile s-a procedat la ajustarea valorii zero a rezistenţei la rupere a lichidului. Această valoare de zero nu constituie o constantă de material ci depinde de modul în care este definită.

S-a lucrat cu definiţia dată de Keller, asupra careia se va reveni în cap.4.2. Fără existenţa unei dovezi experimentale specifice s-a considerat că valoarea definită drept zero pentru rezistenţa la rupere corespunde cu apariţia cavitaţiei la presiunea de vaporizare a lichidului în condiţiile date. Reproductibilitatea măsurătorilor în amestecurile glicerină - apă precum şi alura asemănătoare a curbelor caracteristice cu cele determinate în apă par să confirme justetea definiţiei aplicate.

Efectuarea măsurătorilor după acest procedeu presupune însă cunoaşterea valorii de saturaţie a gazelor în diferitele lichide respectiv amestecuri cu care s-a lucrat.

Deoarece pentru amestecurile glicerină - apă aceste valori nu au fost cunoscute, s-a construit instalaţia experimentală auxiliară descrisă în subcapitolul 2.2 şi s-au efectuat măsurătorile prezentate acolo.

Conducerea lucrărilor experimentale pe calculator, presupune codificarea măsurătorilor, problemă tratată în cap. 4.2.

Programele de etalonare şi de măsurare au fost scrise în FORTRAN de Matt şi Eickmann / 19 / şi adaptate de autor pentru măsurători la lichide cu densităţi diferite, prin ample procese de etalonare la fiecare densitate, comunicate calculatorului în programul său de lucru.

Prelucrarea datelor experimentale s-a făcut fie imediat în laborator, fie la un terminal instalat în birou.

Pentru obţinerea unei vederi de ansamblu asupra multitudinii de fişe arhivate în memoria calculatorului, în vederea analizării valorilor măsurate, a comparării lor şi a eliminării celor deplasate mult faţă de medie, toate fişele memorizate electronic au fost copiate şi pe hîrtie.

Măsurătorile au fost conduse şi calculele efectuate cu un calculator Hewlett Packard HF System 1000, care a arhivat datele înregistrate pe discuri magnetice.

Declansarea măsurătorilor cu o rază laser-trigger s-a făcut utilizînd un laser Helium - Neon produs de firma Hughes (USA), model 32-25 HC, cu puterea de ieşire de 10 miliwatt.

În figurile 2.3.3, 2.3.4, şi 2.3.5 se prezintă imagini fotografice ale tunelului cu acţiune intermitentă de la Institutul de Hidrotehnica "Oskar v. Miller" Obernach, al Universităţii Tehnice München.

În fig. 2.3.3 se prezintă o imagine de ansamblu a tunelului. În fotografie se văd cele două rezervoare mari, rezervorul de ali -

mentare în stînga și la înălțime, rezervorul de recepție în dreapta și mai jos. Intre cele două rezervoare se poate observa traseul principal de lucru al tunelului, prezentat mai detaliat în fig. 2.3.4.

În fig. 2.3.3 se vede de asemeni rezervorul de presiune constantă, traseul superior de legătură dintre cele două rezervoare mari, folosit pentru egalizarea presiunilor în cele două rezervoare și executat din țevă de cupru, o porțiune a traseului inferior de legătură între rezervoarele principale, care venind de la pompă, conduce lichidul de lucru la rezervorul de alimentare trecîndu-l prin filtru, turul și returul sistemului de răcire și încălzire înrînd prin flanșa frontală în rezervorul de alimentare și sistemul pentru suspendarea aparatului de filmare ultrarapidă deasupra camerei de lucru (o tijă metalică groasă așezată vertical și prinsă rigid de platforma mobilă a macaralei care deserveste tunelul, pentru a putea fi adusă în poziția dorită).

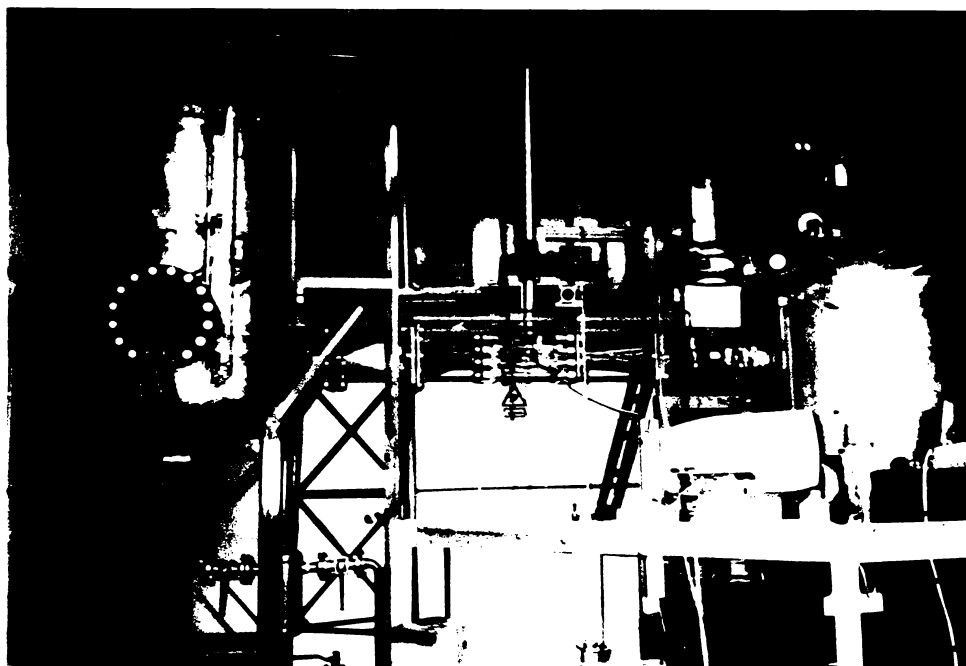


Fig. 2.3.3 Vedere de ansamblu asupra tunelului cu acțiune intermitentă a Institutului Hidrotehnic "Oskar von Miller" Cbernach a Universității Tehnice München

În figura 2.3.4 este prezentată fotografia traseului principal cuprinzînd în esență confuzorul, camera de lucru și difuzorul ramurei de măsurători a tunelului.

În camera de lucru din plexiglas este montat profilul la un anumit unghi de incidentă. Doza roșie montată pe peretele lateral al camerei de lucru emite raza laser-trigger dirijată în lungul părții superioare a bordului de atac al profilului asupra căruia se efectuează măsurătorile de Sigma Thoma incipientă. Pe partea opusă este prevăzut un semnal de avertizare pe fond galben care indică locul unde raza laser atinge peretele. În timpul

măsurătorilor este interzisă trecerea în zona de ieșire a laserului din camera de lucru.

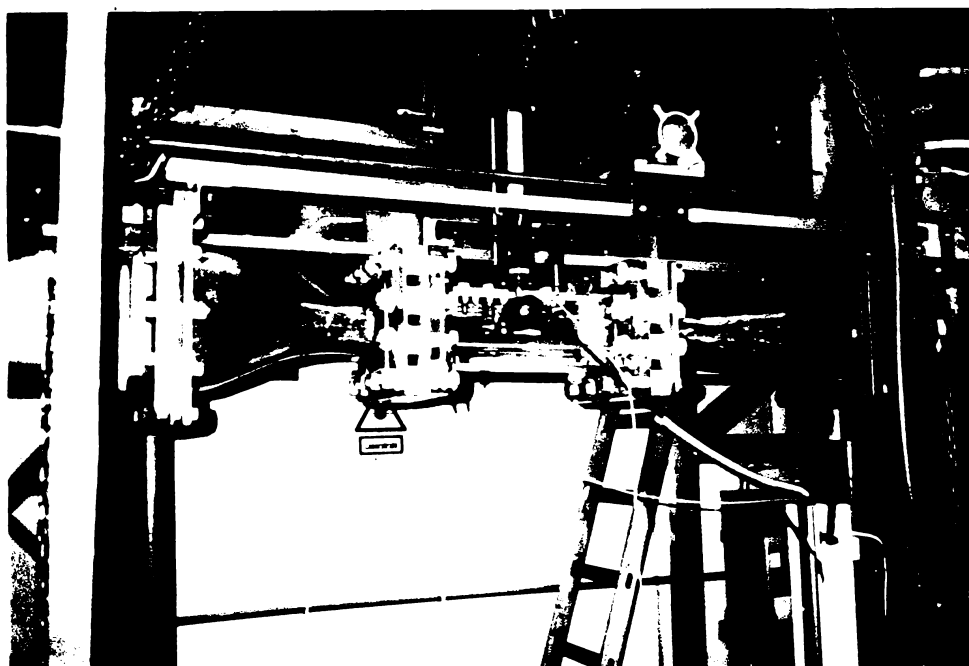


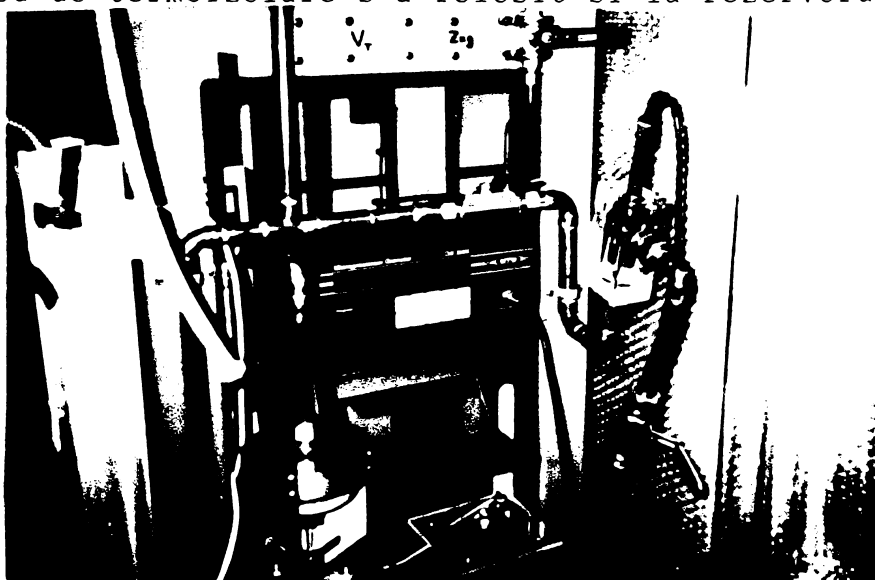
Fig. 2.3.4 Ramura principală activă a tunelului cu acțiune intermitentă.

În fig. 2.3.5 este prezentat sistemul de măsurare a conținutului de aer a lichidului de lucru care circulă în tunel. Pentru măsurători lichidul este trecut printr-o conductă bypass și un vas de plexiglas în care este montat electrodul de măsurare.

Măsurarea conținutului de aer se face intermitent, scurt timp înaintea măsurătorii principale (Sigma Thoma), apoi bypassul se închide pentru a nu se falsifica valorile măsurătorilor principale. Măsurătoarea de conținut de aer se conduce de la sonda cu electrodul de măsură la oximetru, vizibil deasemeni în figură.

În partea dreaptă a figurii se vede parțial rezervorul de recepție. De remarcat este modul de termoizolare cu folie având perne de aer. Același mod de termoizolare s-a folosit și la rezervorul de alimentare.

Fig. 2.3.5
Măsurarea conținutului de aer la lichidul din tunel



3. REZULTATELE INCERCARILOR PRELIMINARE PRIVIND VISCOZITATEA
AMESTECURILOR GLICERINA - APA SI SOLUBILITATEA AERULUI
IN ACESTE AMESTECURI LA DIFERITE TEMPERATURI

3.1 VISCOZITATEA AMESTECURILOR GLICERINA - APA

Cu tehnica experimentală descrisă la cap. 2.1, s-a determinat viscozitatea amestecurilor glicerina - apă descrise mai sus. Determinările cu viscozimetrul Hoeppler (cu bilă) au corespuns foarte bine cu cele efectuate cu viscozimetrul capilar Ostwald.

Rezultatele măsurătorilor sînt prezentate în Tab. 3.1.1

Tab. 3.1.1 Densitatea și viscozitatea amestecurilor glicerina - apă determinate în laboratorul de cavitație de la Obernach

Părți volumice		Densitatea	Viscozitate dinamică		Viscozitate cinematică	
Apă	Glicerina	determinată la balanța Kern	măsurată cu viscozimetrul cu bilă	calculată din determinările făcute la viscozimetrul capilar	măsurată la viscozimetrul capilar	calculată din determinările la viscozimetrul cu bilă
		g/cm ³	c.Poise		c.St.	
100	0	0,998	1,029	0,996	0,997	1,041
95	5	1,011	1,181	1,128	1,116	1,167
90	10	1,023	1,342	1,271	1,242	1,312
85	15	1,035	1,513	1,502	1,451	1,462
80	20	1,047	1,743	1,697	1,622	1,665
75	25	1,055	2,080	2,013	1,908	1,971
50	50	1,121	5,318	5,307	4,736	4,746
25	75	1,185	21,66	21,65	18,27	18,28
0	100	1,230	138,9	133,7	108,7	112,9

Factorul de majorare al viscozității cu creșterea conținutului de glicerina în apă este redat în Tab. 3.1.2

Tab. 3.1.2 Factorul de majorare a vîscozității la amestecurile glicerină - apă

Părți volumice de apă din conducta de apă de la Obernach	Părți volumice de glicerină chimic pură 86,5 % (rest apa)	Factorul de majorare a vîscozității	
		după măsurători la vîscozimetrul cu bilă	după măsurători la vîscozimetrul capilar
100	0	1	1
95	5	1,12	1,12
90	10	1,26	1,25
85	15	1,40	1,45
80	20	1,60	1,62
75	25	1,89	1,91
50	50	4,56	4,75
25	75	17,56	18,31
0	100	108,4	108,9

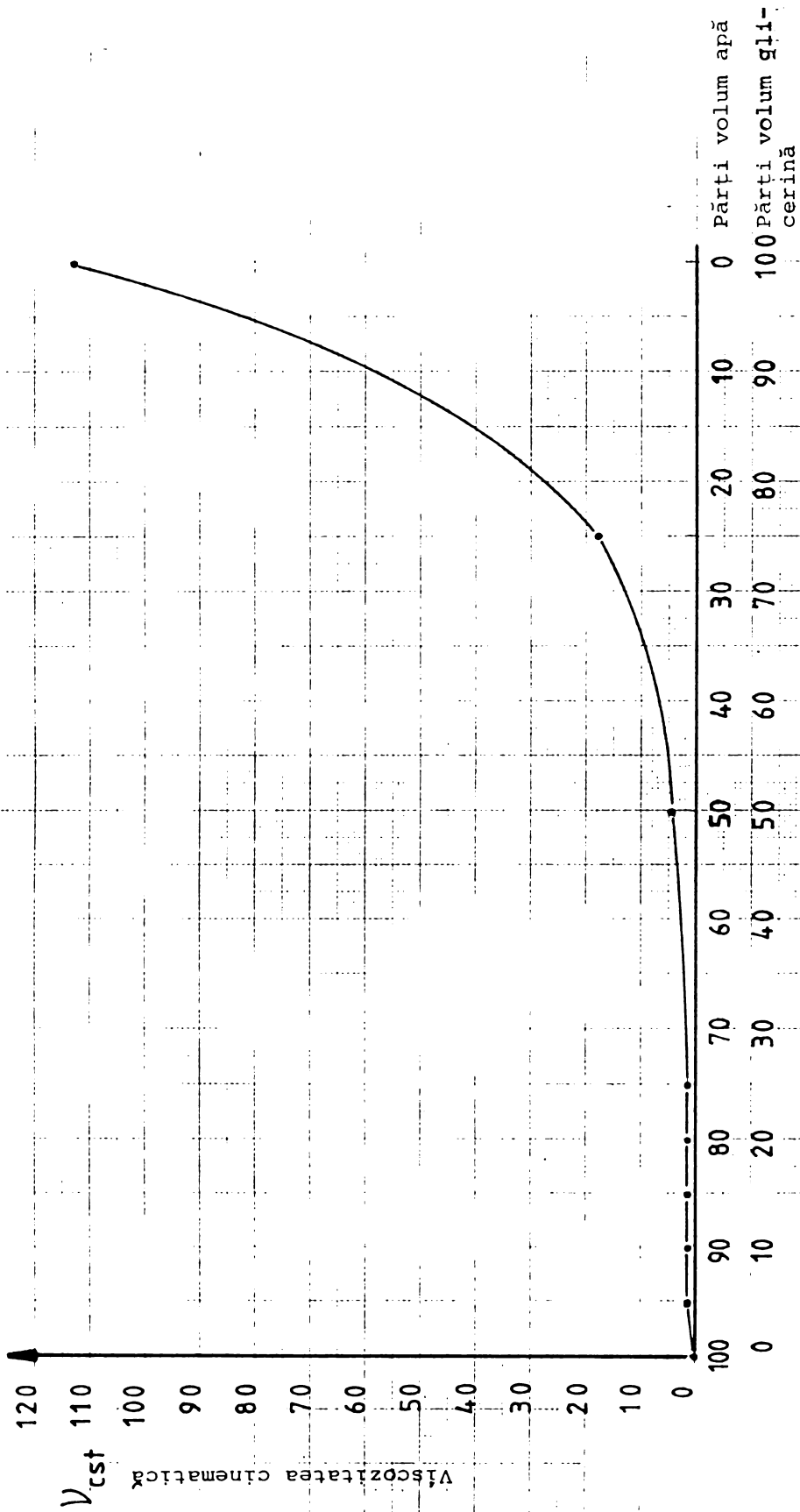
Utilizarea glicerinei în tunelul hidrodinamic nu este legată doar de probleme de manipulare și depozitare reglementate de norme precise / 67 /, îndepărtarea ei după utilizare se face numai de firme specializate și costă mai mult decît aprovizionarea.

Totuși am decis utilizarea ei datorită miscibilității bune cu apa, care permite o variere a vîscozității amestecului după dorință, și datorită densității relativ apropiate de cea a apei.

Unele rezerve pe care le-am avut în privința unor valori foarte diferite ale presiunii de vaporizare ale celor două lichide (mai joasă cu două ordine de mărime la glicerina 100 % fără rest de apă, fața de apă 100 %) pierd din acuitate prin faptul că și la concentrația de 100 % glicerină există în glicerina chimic pură utilizată de noi un rest de 13,5 % apă, care probabil aduce presiunea de vaporizare a lichidului la o valoare apropiată de cea a apei. Informații exacte în această direcție se pot aștepta doar aprofundarea cercetării pîna la nivel molecular.

Utilizarea unei glicerine deshidratate cu peste 87 % glicerină nu numai că ar fi fost extrem de costisitoare, dar nu ar fi permis efectuarea încercărilor datorită vîscozității extrem de ridicate. De altfel domeniile de vîscozitate mai mari decît cele investigate de noi prezintă interes numai în cazuri excepționale.

Variația vîscozității amestecurilor investigate este reprezentată grafic în Fig. 3.1.1



Apă = apă din conducta de alimentare
 a institutului din Obernach

Glicerină = glicerină chimic pură 86,5 %
 cu un rest de 13,5 % apă

Fig. 3.1.1 Variația viscozității cinematice la amestecuri glicerină - apă.
 (media determinărilor la viscosimetrul Hoeppler și viscosimetrul Ostwald)

3.2 Solubilitatea aerului în amestecurile glicerină - apă

Determinarea conținutului de aer în amestec

Măsurarea aerului în amestecurile glicerină - apă s-a făcut prin măsurarea conținutului de oxigen al amestecului. Măsurătorile s-au efectuat în instalația experimentală prezentată în cap. 2.2

S-au efectuat pentru fiecare amestec 5 pînă la 7 serii de măsurători. Rezultatele au fost bine reproductibile, între seriile de măsurători existînd diferențe de maximum 3 %. Economia de spațiu nu permite redarea tuturor seriilor de măsurători, în tabelele următoare se prezintă valorile medii pentru fiecare amestec cercetat.

Deoarece etalonarea oximetrului s-a putut face doar în apă saturată în aer dizolvat sau în aer saturat cu vapori de apă, (nu se construiesc în prezent oximetre etalonabile în alte medii, etalonarea trebuie făcută individual), și deoarece nu ne-a interesat conținutul absolut de oxigen respectiv aer în mg/litru, ci doar gradul de saturație în gaz al amestecului, s-au produs în instalația descrisă condiții de saturare a amestecului prin recircularea acestuia la atmosferă, în circuitul prezentat, și notarea unor valori măsurate după ce s-a stabilit un regim staționar din punct de vedere al tuturor măsurătorilor.

La glicerină 100%, viteza minimă a lichidului prescrisă la 0,3 m/sec cu care lichidul trebuie să atingă frontal electrodul de măsurare, nu a putut fi realizată în circuitul prezentat, datorită vîscozității mari a lichidului și în consecință a pierderilor mari prin frecare. De aceea valorile tabelate pentru această concentrație sînt doar orientative.

În cadrul măsurătorilor principale acest lucru nu deranjează deoarece glicerina are o solubilitate foarte scăzută pentru aer, care practic poate fi considerată întotdeauna drept satisfăcută. Problema este în acest caz nu aerarea glicerinei pentru atingerea solubilității ci desaerarea ei.

În cadrul seriilor de măsurători privind aerul dizolvat în amestecurile glicerină - apă, s-au reținut următoarele valori:

- temperatura în grade Celsius
- presiunea parțială a oxigenului în amestec, indicată direct de oximetru în mBar
- presiunea parțială a oxigenului măsurată de sistemul de măsurare al tunelului, (din mărimea de ieșire electrică a oximetrului) și indicată în mV pe ecranul terminalului pe care se conduc măsurătorile la tunel.

Din aceste valori se pot calcula, după legile termodinamicii, valorile de saturație la alte temperaturi și presiuni. Cunoșcînd presiunea și temperatura din camera de lucru a tunelului prin măsurarea continuă a acestora, se poate calcula valoarea de saturație a aerului în aceste condiții, și se poate condiționa lichidul în așa fel încît să aibe aceste valori. Oximetrul răcordat în timpul măsurătorilor principale la tunel arată dacă aceste condiții sînt respectate.

Tab. 3.2.1
Glicerină 100 % - Apă 0 %

Temperatura, în- dicația oximet- rului, grade Celsius	Presi- nea par- țială a oxigen- ului, în- dicație oximetru mBar	Presi- nea par- țială a oxigen- ului, în- dicație ecran mV	-	Temperatura, în- dicația oximet- rului, grade Celsius	Presi- nea par- țială a oxigen- ului, în- dicație oximetru mBar	Presi- nea par- țială a oxigen- ului, în- dicație ecran mV
20.00	57.5	2370	-	37.00	98.0	4002
20.00	57.4	2320	-	37.50	98.7	4047
22.00	62.9	2572	-	38.00	99.5	4052
22.50	65.0	2677	-	38.50	101.7	4157
23.00	66.0	2682	-	39.00	102.0	4157
25.24	68.0	2777	-	39.50	102.8	4207
27.50	73.4	2982	-	40.00	104.8	4247
28.00	74.9	3032	-	40.50	105.4	4302
28.50	76.4	3137	-	41.00	105.8	4307
29.00	77.5	3187	-	41.50	107.4	4357
29.75	79.1	3232	-	42.00	107.6	4407
30.00	79.5	3237	-	42.50	107.8	4412
30.20	80.0	3277	-	43.00	109.0	4457
30.50	81.3	3327	-	43.50	110.0	4515
31.00	83.1	3382	-	44.00	110.1	4510
31.50	84.2	3437	-	44.50	110.1	4510
32.00	85.8	3492	-	45.00	111.2	4515
32.50	86.3	3537	-	45.50	115.0	4770
33.00	86.4	3542	-	46.00	111.0	4515
33.50	87.3	3547	-	46.50	113.0	4610
34.00	88.4	3592	-	47.00	115.4	4720
34.50	92.1	3742	-	47.50	116.0	4770
34.50	95.1	3892	-	48.00	118.5	4820
34.50	93.7	3847	-	48.50	119.8	4925
35.50	95.0	3902	-	49.00	121.0	4915
36.00	96.2	3947	-	49.50	123.7	5070
36.50	97.1	3947	-	50.00	125.3	5130

Observație: glicerina pură, fără rest de apă, sau cu apă sub 0,5 % are o concentrație de saturație extrem de mică, egală cu 2,1 mg/litru la 20 grade Celsius și presiunea de 1013 mBar, una din cele mai mici valori la substanțe organice / 68 /. Valorile din tabel corespund glicerinei chimic pure 86,5 % cu 13,5 % apă.

Tab. 3.2.2
Amestec Glicerină 75 % - Apă 25 %

Tempera- tura, in- dicația oximet- rului, grade Celsius	Presiu- nea par- țială a oxigen- ului, in- dicație oximetru mBar	Presiu- nea par- țială a oxigen- ului, in- dicație ecran mV	-	Tempera- tura, in- dicația oximet- rului, grade Celsius	Presiu- nea par- țială a oxigen- ului, in- dicație oximetru mBar	Presiu- nea par- țială a oxigen- ului, in- dicație ecran mV
20.10	137.1	5570	-	23.40	140.5	5730
20.20	137.2	5570	-	23.50	140.6	5730
20.30	137.1	5570	-	23.60	140.7	5730
20.40	137.2	5570	-	23.70	140.9	5730
20.50	137.3	5570	-	23.80	141.1	5730
20.60	137.3	5570	-	23.90	141.2	5782
20.70	137.5	5570	-	24.00	141.4	5772
20.80	137.5	5620	-	24.10	141.4	5772
20.90	137.7	5620	-	24.20	141.5	5772
21.00	137.8	5620	-	24.30	141.7	5777
21.10	137.9	5620	-	24.40	141.9	5777
21.20	138.1	5620	-	24.50	142.0	5777
21.30	138.2	5620	-	24.60	142.1	5772
21.40	138.2	5620	-	24.70	142.2	5782
21.50	138.5	5620	-	24.80	142.3	5772
21.60	138.5	5620	-	24.90	142.5	5822
21.70	138.4	5615	-	25.00	142.6	5827
21.80	138.6	5620	-	25.10	142.7	5832
21.90	138.7	5665	-	25.20	142.8	5822
22.00	138.7	5620	-	25.30	142.9	5832
22.10	138.8	5660	-	25.40	143.1	5832
22.20	139.0	5670	-	25.50	143.1	5832
22.30	139.0	5670	-	25.60	143.3	5827
22.40	139.2	5670	-	25.70	143.4	5832
22.50	139.3	5670	-	25.80	143.5	5832
22.60	139.5	5670	-	25.90	143.7	5822
22.70	139.7	5670	-	26.00	143.7	5872
22.80	139.7	5670	-	26.10	143.9	5872
22.90	139.7	5670	-	26.20	144.0	5872
23.00	139.9	5720	-	26.30	144.2	5872
23.10	140.1	5730	-	26.40	144.4	5872
23.20	140.2	5730	-	26.50	144.5	5872
23.30	140.3	5730	-	26.60	144.6	5882

Continuarea tabelului pe pagina următoare

Continuarea tabelului din pagina precedentă (Tab. 3.2.2)
 Glicerină 75 % - Apă 25 %

Tempera- tura, in- dicația oximet- rului, grade Celsius	Presiu- nea par- tială a oxigen- ului, in- dicație oximetru mBar	Presiu- nea par- tială a oxigen- ului, in- dicație ecran mV	-	Tempera- tura, in- dicația oximet- rului, grade Celsius	Presiu- nea par- tială a oxigen- ului, in- dicație oximetru mBar	Presiu- nea par- tială a oxigen- ului, in- dicație ecran mV
26.70	144.8	5882	-	30.00	149.4	6077
26.80	144.9	5932	-	30.10	149.5	6077
26.90	145.1	5932	-	30.20	149.7	6082
27.00	145.3	5932	-	30.30	149.9	6092
27.10	145.5	5932	-	30.40	149.9	6092
27.20	145.7	5932	-	30.50	150.0	6132
27.30	145.7	5932	-	30.60	150.1	6132
27.40	145.9	5932	-	30.70	150.2	6132
27.50	146.0	5932	-	30.80	150.4	6132
27.60	146.2	5977	-	30.90	150.6	6132
27.70	146.3	5977	-	31.00	150.7	6132
27.80	146.4	5977	-	31.10	150.9	6137
27.90	146.5	5982	-	31.20	151.0	6132
28.00	146.6	5977	-	31.30	151.2	6132
28.10	146.7	5977	-	31.40	151.2	6192
28.20	146.8	5982	-	31.50	151.3	6182
28.30	147.0	5977	-	31.60	151.5	6182
28.40	147.1	5982	-	31.70	151.7	6177
28.50	147.2	5977	-	31.80	151.8	6182
28.60	147.4	5982	-	31.90	151.9	6182
28.70	147.5	6032	-	32.00	152.0	6187
28.80	147.7	6022	-	32.10	152.1	6182
28.90	147.8	6032	-	32.20	152.1	6182
29.00	147.9	6032	-	32.30	152.3	6182
29.10	148.1	6032	-	32.40	152.3	6182
29.20	148.2	6032	-	32.50	152.5	6232
29.30	148.3	6032	-	32.60	152.7	6252
29.40	148.4	6032	-	32.70	152.7	6232
29.50	148.5	6032	-	32.80	152.9	6237
29.60	148.7	6077	-	32.90	153.0	6242
29.70	148.8	6082	-	33.00	153.1	6232
29.80	149.1	6092	-	33.10	153.2	6237
29.90	149.2	6092	-	33.20	153.2	6232

Continuarea tabelului pe pagina următoare

Continuarea tabelului din pagina precedentă (Tab. 3.2.2)
 Glicerină 75 % - Apă 25 %

Temperatura, în- dicația oximē- rului, grade Celsius	Presi- nea par- tială a oxigen- ului, în- dicație oximētru mBar	Presi- nea par- tială a oxigen- ului, în- dicație ecran mV	-	Tempera- tura, în- dicația oximē- rului, grade Celsius	Presi- nea par- tială a oxigen- ului, în- dicație oximētru mBar	Presi- nea par- tială a oxigen- ului, în- dicație ecran mV
33.30	153.3	6232	-	36.60	156.8	6392
33.40	153.4	6232	-	36.70	156.8	6382
33.50	153.4	6237	-	36.80	156.9	6392
33.60	153.6	6232	-	36.90	156.9	6392
33.70	153.7	6292	-	37.00	156.9	6392
33.80	153.9	6292	-	37.10	156.8	6392
33.90	153.8	6292	-	37.20	156.8	6382
34.00	154.0	6292	-	37.30	156.8	6392
34.10	154.1	6282	-	37.40	156.8	6382
34.20	154.3	6282	-	37.50	156.8	6392
34.30	154.4	6292	-	37.60	156.8	6382
34.40	154.5	6292	-	37.70	156.9	6382
34.50	154.6	6292	-	37.80	156.9	6392
34.60	154.7	6292	-	37.90	156.8	6392
34.70	154.8	6292	-	38.00	156.9	6382
34.80	154.9	6292	-	38.20	156.5	6282
34.90	154.8	6292	-	38.30	156.3	6382
35.00	154.9	6282	-	38.80	156.1	6337
35.10	155.0	6342	-	38.90	156.1	6342
35.20	155.1	6332	-	39.00	157.3	6392
35.30	155.2	6342	-	39.10	157.2	6382
35.40	155.2	6342	-	39.20	157.2	6392
35.50	155.4	6337	-	39.30	156.9	6382
35.60	155.4	6332	-	39.40	156.8	6382
35.70	155.4	6337	-	39.50	156.7	6382
35.80	155.5	6337	-	39.60	159.3	6492
35.90	156.9	6392	-	39.70	159.3	6492
36.00	156.9	6392	-	39.80	159.2	6492
36.10	156.8	6387	-	39.90	159.1	6492
36.20	156.8	6387	-	40.00	159.2	6492
36.30	156.8	6392	-			
36.40	156.8	6382	-			
36.50	156.8	6382	-			

Tab. 3.2.3
Glicerină 50 % - Apá 50 %

Tempera- tura,in- dicația oximèt- rului, grade Celsius	Presiu- nea par- țială a oxigen- ului,in- dicație oximetru mBar	Presiu- nea par- țială a oxigen- ului,in- dicație ecran mV	-	Tempera- tura,in- dicația oximèt- rului grade Celsius	Presiu- nea par- țială a oxigen- ului,in- dicație oximetru mBar	Presiu- nea par- țială a oxigen- ului,in- dicație ecran mV
18.4	169.2	6917	-	21.1	172.6	7077
18.5	169.4	6922	-	21.2	172.7	7072
18.6	169.5	6932	-	21.3	172.8	7077
18.7	169.7	6922	-	21.4	172.9	7077
18.8	170.0	6972	-	21.5	173.1	7072
18.9	170.2	6972	-	21.6	173.2	7072
19.0	170.3	6972	-	21.7	173.3	7067
19.1	170.4	6977	-	21.8	173.4	7077
19.2	170.5	6972	-	21.9	173.5	7082
19.3	170.6	6982	-	22.0	173.6	7132
19.4	170.7	6967	-	22.1	173.8	7122
19.5	170.8	6972	-	22.2	173.8	7122
19.6	170.8	6977	-	22.3	174.0	7117
19.7	170.9	6982	-	22.4	174.1	7130
19.8	171.0	6972	-	22.5	174.2	7122
19.9	171.2	6977	-	22.6	174.4	7125
20.0	171.3	7032	-	22.7	174.5	7132
20.1	171.4	7027	-	22.8	174.5	7117
20.2	171.5	7032	-	22.9	174.7	7122
20.3	171.6	7022	-	23.0	174.8	7132
20.4	171.8	7032	-	23.1	175.0	7122
20.5	171.8	7022	-	23.2	175.0	7172
20.6	172.0	7032	-	23.3	175.1	7172
20.7	172.0	7027	-	23.4	175.3	7172
20.8	172.3	7027	-	23.5	175.3	7172
20.9	172.4	7022	-	23.6	175.4	7172
21.0	172.4	7027	-	23.7	175.5	7172

Continuarea tabelului pe pagina următoare

Continuarea tabelului din pagina precedentă (Tab. 3.2.3)
 Glicerină 50 % - Apă 50 %

Tempera- tura, in- dicația oximèt- rului, grade Celsius	Presiu- nea par- țială a oxigen- ului, in- dicație oximètru mBar	Presiu- nea par- țială a oxigen- ului, in- dicație ecran mV	-	Tempera- tura, in- dicația oximèt- rului grade Celsius	Presiu- nea par- țială a oxigen- ului, in- dicație oximètru mBar	Presiu- nea par- țială a oxigen- ului, in- dicație ecran mV
23.7	175.5	7172	-	26.4	178.0	7285
23.8	175.6	7180	-	26.5	178.0	7280
23.9	175.7	7172	-	26.6	178.0	7285
24.0	175.8	7182	-	26.7	178.1	7285
24.1	175.8	7182	-	26.8	178.2	7275
24.2	175.9	7172	-	26.9	178.4	7275
24.3	176.0	7177	-	27.0	178.5	7290
24.4	176.2	7185	-	27.1	178.6	7275
24.5	176.2	7232	-	27.2	178.7	7335
24.6	176.3	7227	-	27.3	178.8	7335
24.7	176.4	7230	-	27.4	178.8	7322
24.8	176.5	7227	-	27.5	178.9	7335
24.9	176.6	7232	-	27.6	179.0	7327
25.0	176.7	7232	-	27.7	179.1	7322
25.1	176.7	7232	-	27.8	179.2	7322
25.2	176.9	7232	-	27.9	179.3	7335
25.3	176.9	7227	-	28.0	179.5	7335
25.4	176.9	7225	-	28.1	179.6	7335
25.5	177.0	7222	-	28.2	179.6	7322
25.6	177.1	7225	-	28.3	179.7	7322
25.7	177.2	7232	-	28.4	179.8	7335
25.8	177.2	7235	-	28.5	179.8	7322
25.9	177.4	7232	-	28.6	179.9	7380
26.0	177.5	7272	-	28.7	180.2	7375
26.1	177.7	7282	-	28.8	180.2	7375
26.2	177.8	7272	-	28.9	180.2	7385
26.3	177.8	7275	-	29.0	180.3	7380

Tab. 3.2,4
Glicerină 25 % - Apă 75 %

Tempera- tura, in- dicația oximèt- rului, grade Celsius	Presiu- nea par- țială a òxigen- ului, in- dicație oximetru mBar	Presiu- nea par- țială a òxigen- ului, in- dicație ecran mV	- - - - - -	Tempera- tura, in- dicația oximèt- rului, grade Celsius	Presiu- nea par- țială a òxigen- ului, in- dicație oximetru mBar	Presiu- nea par- țială a òxigen- ului, in- dicație ecran mV
19.7	183.2	7475	-	23.8	193.6	7875
19.8	183.6	7475	-	23.9	193.8	7935
19.9	183.7	7520	-	24.0	193.9	7925
20.0	184.0	7535	-	24.1	194.2	7925
20.1	184.4	7535	-	24.2	194.3	7925
20.2	184.6	7515	-	24.3	194.6	7935
20.3	185.0	7575	-	24.4	194.7	7935
20.4	185.3	7575	-	24.5	194.9	7980
20.5	185.5	7575	-	24.6	195.0	7985
20.6	185.9	7575	-	24.7	195.2	7975
20.7	186.1	7620	-	24.8	195.4	7985
20.8	186.4	7635	-	24.9	195.5	7985
20.9	186.5	7620	-	25.0	195.9	7980
21.0	186.9	7625	-	25.1	196.1	7975
21.1	187.0	7625	-	25.2	196.3	8030
21.2	187.2	7625	-	25.3	196.5	8025
21.3	187.6	7695	-	25.4	196.8	8025
21.4	187.7	7695	-	25.5	197.0	8035
21.5	188.1	7695	-	25.6	197.1	8035
21.6	188.2	7665	-	25.7	197.3	8035
21.7	188.6	7695	-	25.8	197.4	8095
21.8	188.7	7720	-	25.9	197.5	8085
21.9	189.1	7725	-	26.0	197.7	8085
22.0	189.3	7725	-	26.1	197.8	8080
22.1	189.4	7725	-	26.2	198.1	8095
22.2	189.8	7725	-	26.3	198.2	8085
21.3	190.2	7780	-	26.4	198.5	8085
22.4	190.3	7785	-	26.5	198.7	8095
22.5	190.6	7780	-	26.6	198.8	8135
22.6	190.7	7780	-	26.7	199.0	8135
22.7	191.1	7757	-	26.8	199.1	8135
22.8	191.4	7835	-	26.9	199.3	8135
22.9	191.3	7820	-	27.0	199.5	8135
23.0	191.6	7825	-	27.1	199.7	8135
23.1	191.8	7825	-	27.2	199.8	8140
23.2	192.0	7835	-	27.3	199.9	8135
23.3	192.2	7835	-	27.4	200.0	8135
23.4	192.8	7880	-	27.5	200.3	8180
23.5	192.9	7880	-	27.6	200.4	8185
23.6	193.0	7875	-	27.7	200.4	8185
23.7	193.2	7875	-	27.8	200.6	8175

Continuarea tabelului pe pagina următoare

Continuarea tabelului din pagina precedentă (Tab. 3.2.4)
 Glicerină 25 % - Apă 75 %

Tempera- tura, in- dicația oximét- rului, grade Celsius	Presiu- nea par- tială a oxigen- ului, in- dicație oximétru mBar	Presiu- nea par- tială a oxigen- ului, in- dicație ecran mV	-	Tempera- tura, in- dicația oximét- rului, grade Celsius	Presiu- nea par- tială a oxigen- ului, in- dicație oximétru mBar	Presiu- nea par- tială a oxigen- ului, in- dicație ecran mV
27.9	200.7	8180	-	32.0	203.6	8342
28.0	200.8	8195	-	32.1	203.9	8295
28.1	200.9	8180	-	32.2	204.0	8295
28.2	201.1	8185	-	32.3	204.0	8295
28.3	201.2	8180	-	32.4	203.9	8295
28.4	201.3	8235	-	32.5	203.9	8295
28.5	201.4	8235	-	32.6	203.9	8295
28.6	201.6	8235	-	32.7	204.0	8295
28.7	201.7	8235	-	32.8	204.0	8295
28.8	201.9	8235	-	32.9	203.9	8342
28.9	201.8	8240	-	33.0	204.0	8342
29.0	202.1	8235	-	33.1	204.0	8285
29.1	202.1	8235	-	33.2	203.7	8295
29.2	202.2	8235	-	33.3	204.0	8280
29.3	202.3	8235	-	33.4	203.9	8285
29.4	202.4	8235	-	33.5	203.7	8285
29.5	202.5	8240	-	33.6	203.8	8285
29.6	202.6	8295	-	33.7	203.5	8285
29.7	202.6	8285	-	33.8	203.6	8280
29.8	202.9	8280	-	33.9	203.7	8280
29.9	202.8	8295	-	34.0	203.6	8337
30.0	203.0	8295	-	34.1	203.3	8275
30.1	203.1	8285	-	34.2	203.3	8295
30.2	203.0	8295	-	34.3	203.5	8285
30.3	203.1	8280	-	34.4	203.2	8280
30.4	203.1	8285	-	34.5	203.2	8285,
30.5	203.2	8285	-	34.6	203.1	8295
30.6	203.3	8295	-	34.7	203.0	8295
30.7	203.4	8285	-	34.8	203.0	8295
30.8	203.4	8295	-	34.9	202.7	8285
30.9	203.4	8280	-	35.0	202.6	8290
31.0	203.5	8295	-	35.1	202.6	8235
31.1	203.6	8295	-	35.2	202.6	8235
31.2	203.6	8295	-	35.3	202.5	8235
31.3	203.6	8285	-	35.4	202.2	8235
31.4	203.7	8295	-	35.5	202.2	8235
31.5	203.8	8342	-	35.6	202.1	8235
31.6	203.8	8295	-	35.7	201.8	8235
31.7	203.8	8185	-	35.8	201.8	8235
31.8	203.7	8285	-	35.9	201.7	8235
31.9	203.8	8285	-	36.0	202.0	8240

Observatie : Pentru apă 100 %, adica fără glicerină, valorile de saturatie se cunosc pe de o parte din literatură /61 /, pe de altă parte se pot măsura direct cu oximetrul racordat la tunel, etalonarea fiind făcută în apă.

4. INCIPIENTA CAVITATIEI IN AMESTECURI GLICERINA - APA DE DIFERITE CONCENTRATII

Pentru realizarea încercărilor în amestecuri glicerină - apă, tunelul cu acțiune intermitentă trebuia să fie umplut cu amestecul respectiv. Volumul de umplere optim al tunelului determinat prin încercări este de 1870 litri lichid.

Lucrând cu acest volum de lichid, după terminarea încercărilor la o mărime și incidență a profilului date, suprafața liberă a lichidului, cu vana sferică deschisă, se stabilește la circa 15 mm sub profil. Astfel prin îndepărtarea capacului superior al camerei de lucru accesul la profil pentru modificarea unghiului de incidență, respectiv pentru schimbarea profilului este cel mai simplu și expeditiv.

Pentru încercările de influență a vîscozității asupra incipienței cavității, principal se pot urma două căi:

- 1 - Introducerea lichidelor în ordinea crescîndă a vîscozității începînd cu apă 100% și terminînd cu glicerină 100% și
- 2 - Pornind cu glicerină 100 % și terminînd cu apă.

Prepararea amestecurilor în cantitatea arătată, în exteriorul tunelului ridică probleme foarte mari. De aceea am decis utilizarea posibilităților date de pompa de recirculare a tunelului, și prepararea amestecului chiar în tunel, prin introducerea celor două lichide în proporții stabilite anterior prin calcul.

Deși înclinația firească este de a începe cu apă și a merge cu vîscozitate crescîndă, acest mod de lucru este foarte neeconomic.

Pentru prepararea și utilizarea în tunel a unui amestec dat, o parte a lichidului existent în tunel trebuie evacuată. Numai astfel se creează loc pentru introducerea altui lichid.

Pornind de la apă, după încercări, o parte trebuie înlocuită cu glicerină. Pentru obținerea unui lichid tot mai concentrat în glicerină, o cantitate din lichidul existent în tunel, care conține deja glicerină, trebuie îndepărtată. La urmă, pentru a lucra cu glicerină 100 %, tot amestecul existent anterior în tunel trebuie evacuat și înlocuit cu o umplură completă de glicerină.

Dacă se lucrează pornind de la glicerină 100 %, și în continuare cu amestecuri obținute prin continua diluare cu apă a amestecului existent în tunel, necesarul de glicerină este de peste 2 ori mai mic (exact 48 % din necesarul pt. amestec cu glicerină crescătoare).

Prepararea amestecurilor în afara tunelului, nu elimină problema

arătată, la ultima concentrație, glicerină 100 %, trebuie folosit integral lichid nou.

Determinarea cantităților de lichid care trebuie introduse în tunel s-a făcut prin cântărire și recalcularea volumului cu ajutorul densității determinate anterior la balanța Kern, după cum s-a arătat.

După amestecarea în tunel a lichidelor, care s-a făcut fără nici o problemă și în timp mai scurt decât sperat, s-au extras probe pentru determinarea densității și viscozității amestecului. Valorile pentru amestecul din tunel au corespuns foarte bine cu cele determinate anterior pe cantități mici de amestec realizat cu precizie de laborator. Valorile măsurate sînt prezentate comparativ mai jos:

Tab. 4.0 Comparatie între valorile de densitate și viscozitate măsurate la amestecurile preparate în vitro pentru determinări și la amestecurile reale din tunelul cu acțiune intermitentă

Amestecul	Densitatea		Viscozitatea			
	g/cm ³		cinematică		dinamică	
	în vitro	în tunel	în vitro	în tunel	în vitro	în tunel
75 % gl. 25 % apă	1,185	1,1792	18,28	18,01	21,65	21,24
50 % gl. 50 % apă	1,1206	1,1217	4,735	4,828	5,31	5,41
25 % gl. 75 % apă	1,0553	1,0581	1,90779	1,953	2,0133	2,067

Pentru apă 100 % și glicerină 100 %, valorile lichidului din tunel corespund în mod automat cu cele determinate în vitro.

Comparația din Tab. 4.0 arată că prin procedeul descris s-a obținut în tunel cu precizie suficientă amestecul dorit.

4.1 METODA DE LUCRU, DIFICULTATI FUNDAMENTALE

În timpul măsurătorilor premergătoare, efectuate pentru determinarea vîscozității amestecurilor glicerină - apă, întîmplător vase cu amestecuri de diferite concentrații au rămas în laborator, unele la lumina zilei, altele închise în dulapul de laborator. Toate vasele, eprubete sau vase mai mari, au fost închise. S-a constatat cu surprindere formarea unor corpuri care fără îndoială pot influența considerabil incipiența cavitației.

În timpul încercărilor, mai ales la vîscozități ridicate, (concentrații mari de glicerină) măsurătorile au indicat o lipsă totală de reproductibilitate, obținîndu-se curbe pentru SIGMA - Thoma crescătoare, descrescătoare și paralele cu axa absciselor în funcție de viteza curentului.

Cele două observații de mai sus au condus la investigarea suplimentară a condițiilor în care trebuie efectuate lucrările experimentale pentru a obține rezultate corecte și reproductibile.

Formarea corpurilor gelatinoase în amestecurile de glicerină-apă

Constatarea incidentală a formării unor corpuri gelatinoase în resturile amestecurilor glicerină - apă rămase de la determinările de densitate și de vîscozitate ale amestecurilor, a condus la studierea sistematică a acestei probleme.

Importanța ei constă nu doar în perturbarea incipienței cavitaționale ci și în eventuala scoatere din funcție a întregului sistem experimental tunel - aparate de măsură.

Pentru studiul formării impurităților s-au preparat amestecuri glicerină - apă care au fost lăsate la lumina zilei și altele ținute în întuneric. S-a analizat situația amestecurilor după 8 săptămîni de la amestecare. Rezultatele sînt redată în Tab. 4.1.1

Corpurile gelatinoase pot constitui germeni suplimentari de cavitație și prezintă un pericol pentru instalație deoarece se fixează pe pereții interiori ai tunelului și ale aparatelor de măsură prin care circulă amestecul, de unde nu mai pot fi evacuate cu mijloace cunoscute.

Corpurile gelatinoase sînt prezentate în figurile 4.1.1 A și B. În fig. 4.1.1 B se prezintă în plus ansamblul de vase de laborator și de măsurare utilizate la prepararea și studiul amestecurilor glicerină - apă.

Discutînd acest fenomen cu specialiști din industria producătoare de pompe, am constatat că la o întreprindere din Germania și la una din Marea Britanie problema era cunoscută, construcția unor pompe volumice speciale fiind abandonată sau modificată din cauza apariției corpurilor gelatinoase în spații umplute din motive funcționale cu un amestec glicerină - apă.

Tab.4.1.1

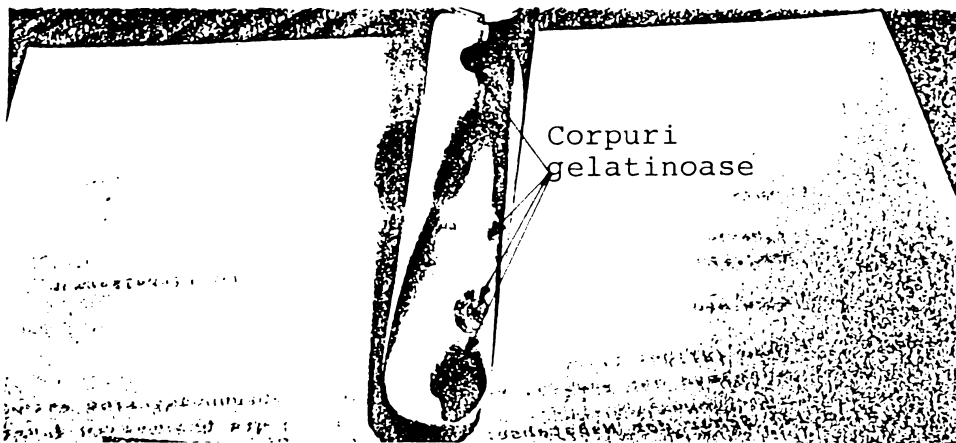
Formarea corpurilor gelatinoase în amestecuri glicerină - apă de concentrații diferite. Glicerină = glicerină chimic pură 86,5% cu 13,5% rest apă; Apă = apă din conducta de alimentare cu apă a Institutului "Oskar v. Miller" - Institutul de Hidrotehnica, Obernach

Raportul de amestec apă glicerină		Situația formării corpurilor gelatinoase după 8 săptămâni de la amestecare (amestecuri lăsate la lumina zilei)
0 %	apă	Nu se formează corpuri gelatinoase
100 %	glicerină	
25 %	apă	Nu se formează corpuri gelatinoase
75 %	glicerină	
50 %	apă	Nu se formează corpuri gelatinoase
50 %	glicerină	
75 %	apă	Formarea a numeroase corpuri gelatinoase în masa lichidului și pe pereții vasului inițial de mărimea capului unui ac de gămlie. Sferice și de forma unei pălării de ciupercă. Inițial fără culoare și străvezii, apoi alb-lăptoase, maronii și în final negre. Colorarea este însoțită de creșterea în mărime a corpului care se oprește la atingerea culorii negre. În fază finală dimensiunea de cca. ϕ 1cm
25 %	glicerină	
80 %	apă	Observatii asemănătoare ca la 75% / 25% dar formațiuni mai puține (1/4 față de situația descrisă acolo) și evoluție mai lentă numai pînă la culoarea gri închis-maroniu (nu negru).
20 %	glicerină	
85 %	apă	Ca la 80% / 20%
15 %	glicerină	
90 %	apă	Nu se formează corpuri gelatinoase
10 %	glicerină	
95 %	apă	Nu se formează corpuri gelatinoase
5 %	glicerină	

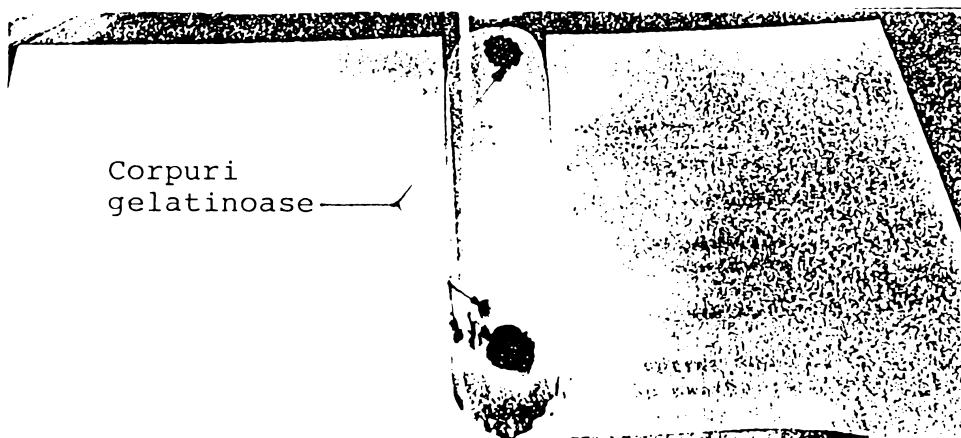
Amestecurile ținute la întuneric au prezentat de asemeni formațiuni de corpuri gelatinoase, dar evoluția a fost de cca. 10 ori mai lentă.

S-au preparat de asemeni amestecuri glicerină - apă distilată. Și aici a avut loc formarea corpurilor gelatinoase, dar evoluția a fost mult întârziată față de cea prezentată în tabel, iar mărimea finală a corpurilor nu a depășit cca. 2 mm, la atingerea culorii negre.

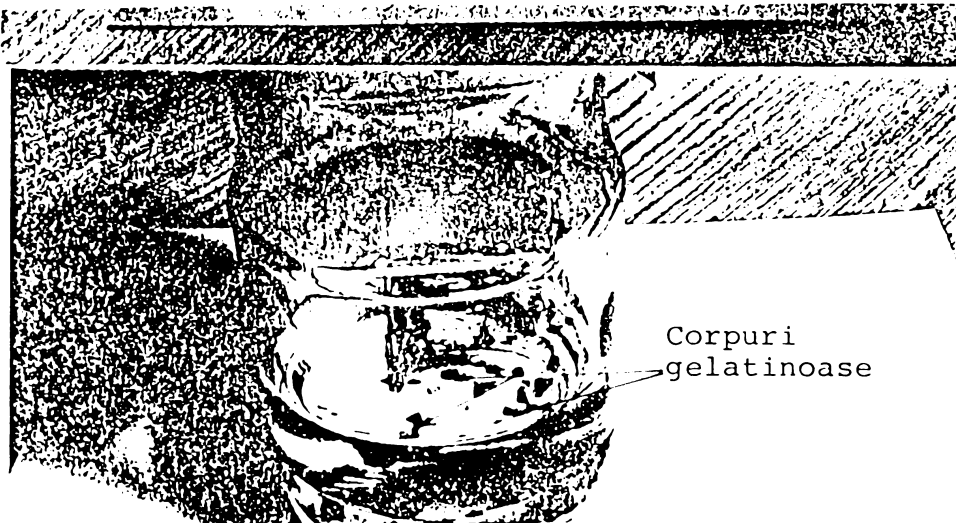
Producătorul glicerinei nu a putut da răspuns la întrebarea privind cauza și natura formării corpurilor gelatinoase.



Amestec glicerină - apă
 apă din conducta de alimentare Oberrach 75 %
 glicerină 86,5 % chimic pură, 25 %
 (amestec expus la lumina zilei în eprubetă)



Amestec glicerină - apă
 apă din conducta de alimentare Oberrach 80 %
 glicerină 86,5 % chimic pură, 20 %
 (amestec expus la lumina zilei în eprubetă)



Amestec glicerină - apă
 apă din conducta de alimentare de la Oberrach 75 %
 glicerină chimic pură 86,5 %
 (amestec expus la lumina zilei într-un vas de sticlă)

Fig. 4.1.1 Formarea corpurilor gelatinoase în amestecuri glicerină - apă.

Este evident că avem de-a face cu un proces biologic, glicerina constituind un factor care favorizează evoluția unor microorganisme din apa de la rețea, microorganisme care există în număr mult mai redus și în apa distilată.

S-a ridicat în final întrebarea cum se poate evita în timpul lucrărilor la tunelul intermitent procesul descris.

O alternativă ar fi fost utilizarea unei ape complet purificate de microorganisme. Apa dublu distilată nu satisface acest deziderat. Ar fi fost nevoie de apă tratată radiologic, extrem de costisitoare. În plus nu ar fi existat certitudinea absenței microorganismelor în tunel, din umpluturile anterioare ale acestuia.

Observând faptul că formarea corpurilor gelatinoase are loc doar într-un domeniu restrâns al raporturilor de amestec glicerină - apă și că practic doar amestecul 25 % glicerină + 75 % apă din cele periculoase prezintă interes pentru încercările în tunel, de asemenea că pentru formarea corpurilor este nevoie de un timp mai îndelungat, s-a decis utilizarea apei de rețea pentru amestec, operarea rapidă - cel mult timp de 1 săptămână - cu amestecul problematic, urmată de o spălare intensă și repetată a tunelului cu apă de rețea. S-a mizat și pe faptul că în afară camerei de lucru din plexiglas, tunelul este opac, deci influența luminii este extrem de redusă și s-a procedat la pornirea frecvența a tunelului fără scopuri de măsurare, doar pentru agitarea lichidului, în scopul evitării fixării unor formațiuni pe pereți. De asemenea s-a decis recurgerea la utilizarea unui filtru fin pentru întregul lichid, instalat astfel în circuit încât returnul din rezervorul de recepție în cel de alimentare să poată fi trecut prin filtru, pentru cazul că în scurtul răstimp fixat pentru încercările cu amestecul arătat, ar apărea realmente formațiuni de tipul celor descrise.

Lucrând cu amestecul amintit la sfârșitul încercărilor (ultima concentrație încercată), rapid și cu agitarea cel puțin de trei ori pe zi a întregului lichid, temuța formare și fixare a corpurilor gelatinoase a putut fi evitată complet.



Fig. 4.1.1 B

Influenta stării glicerinei respectiv a amestecului glicerină apă asupra corectitudinii și reproductibilității încercărilor

Fiind obișnuit cu utilizarea tunelului secvențial la măsurători în apă, unde stabilirea unui anumit conținut de aer prin aerare sub presiune sau desaerare în vid se obține în decurs de cel mult câteva minute și unde măsurătorile pot fi repetate la interval de timp scurt, s-a procedat inițial în mod asemănător și cu glicerina.

Rezultatul a fost că nici una din măsurători nu a fost reproductibilă și a existat o confuzie totală privind măsurătoarea valabilă.

Analizând aspectul glicerinei din tunel s-a constatat după prima trecere prin camera de lucru o colorare lăptoasă dată de prezența multor bule de aer mici. După cea de a doua trecere a glicerinei deveneau vizibile bule de aer mari. Corespunzător la prima trecere s-au măsurat valori mici pentru Sigma -Thoma, valori care au tot crescut cu cât creștea conținutul de aer al lichidului, fiind deosebit de pronunțate în domeniile vitezelor mici în camera de lucru, adică a presiunilor absolute mici în rezervorul de alimentare, presiuni care nu puteau produce trecerea aerului din starea liberă în stare dizolvată.

Ilustrarea acestui efect se face în figurile 4.1.2 - 4.1.7 unde sînt reprezentate valorile măsurate în glicerină 100 % cu istorie diferită.

Pentru încercările noastre a rezultat din constatarea descrisă o limitare drastică a posibilităților în timp. Cu apa se puteau trece în timpul unei zile de lucru pîna la 20 de umpluturi ale rezervorului de alimentare prin camera de lucru, cu un oarecare efort chiar și 30, adică se putea realiza numărul arătat de cicluri complete. În cazul glicerinei am constatat prin încercări că se poate realiza un singur ciclu pe zi. Refacerea calității glicerinei, eliminarea bulelor de aer, liniștirea completă a lichidului pîna la atingerea unor calități reproductibile este de minimum 20 ore.

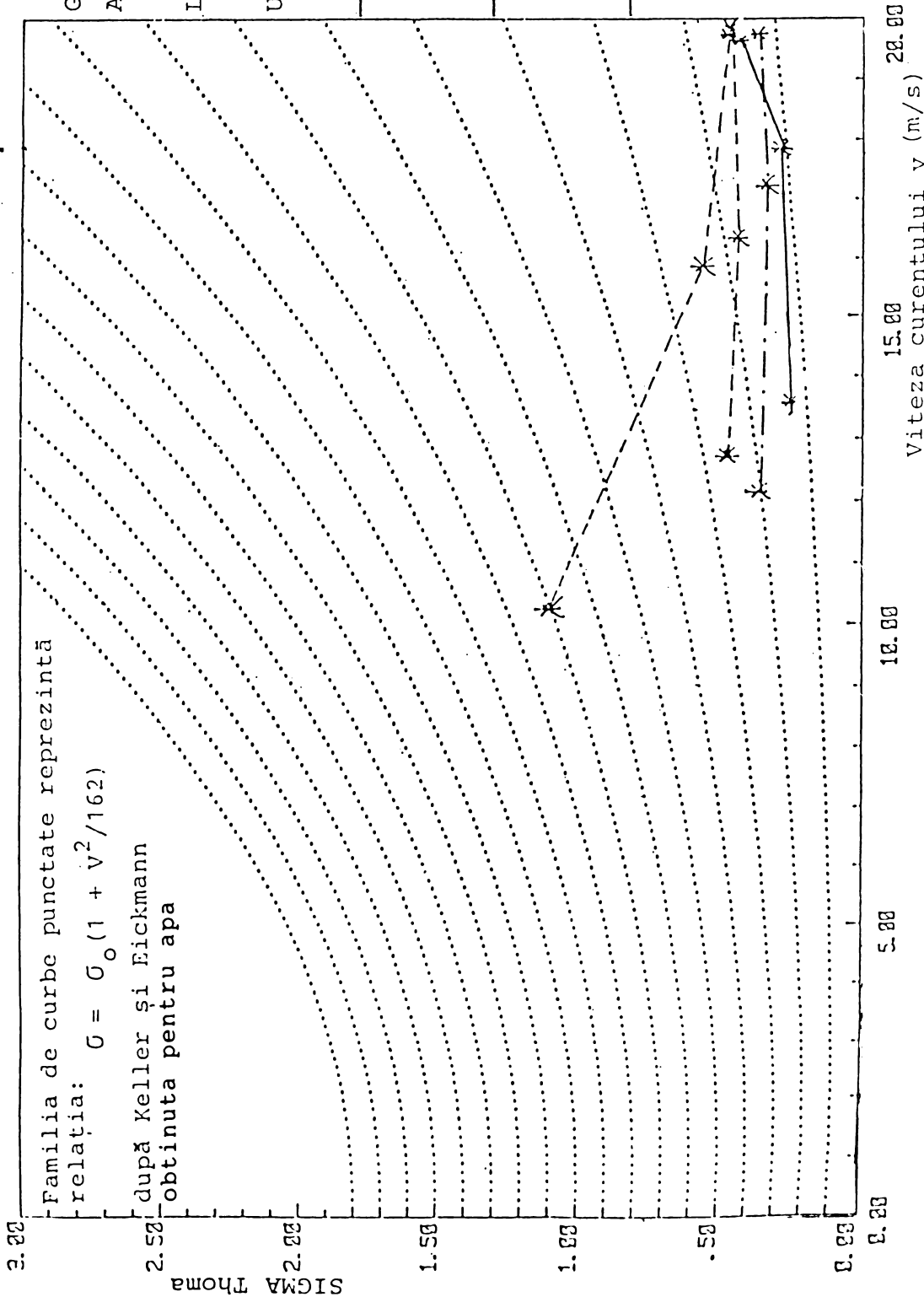
Astfel s-au realizat măsurători la fiecare început de zi într-un singur ciclu, tot restul timpului pîna a doua zi a fost necesar pentru restabilirea calității inițiale a lichidului.

La încercările cu apă, o încărcătură a rezervorului de alimentare s-a utilizat pentru 1 - 2 puncte măsurate, neexistînd tendința de economie de lichid de lucru. Avînd în vedere cîștigul de timp realizabil, s-a drămuț glicerina pentru fiecare punct măsurat în așa fel, încît cu o încărcătură a rezervorului de alimentare să se poată măsura 4 - 5 puncte. Dar și în acest fel măsurătorile la glicerină au necesitat cel puțin de 10 ori mai mult timp decît în apă.

După cunoașterea posibilităților de surmontare a dificultăților prezentate de măsurătorile în glicerină, s-a putut trece la măsurătorile propriu zise prezentate la 4.2.

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă

- Lichide utilizate :
- glicerină chimic pură 86,5 % , cu un rest de 13,5 % apă
 - apă din conducta de alimentare cu apă a Institutului Hidrotehnic "Oskar v. Miller" din Obernach, a Universităţii Tehnice München



Glicerină : 100 %
Apă : 0 %

Lungimea corzii profilului:
30 mm

Unghiul de incidență :
1 grad

glicerină neper-
turbată timp de
minimum 20 ore

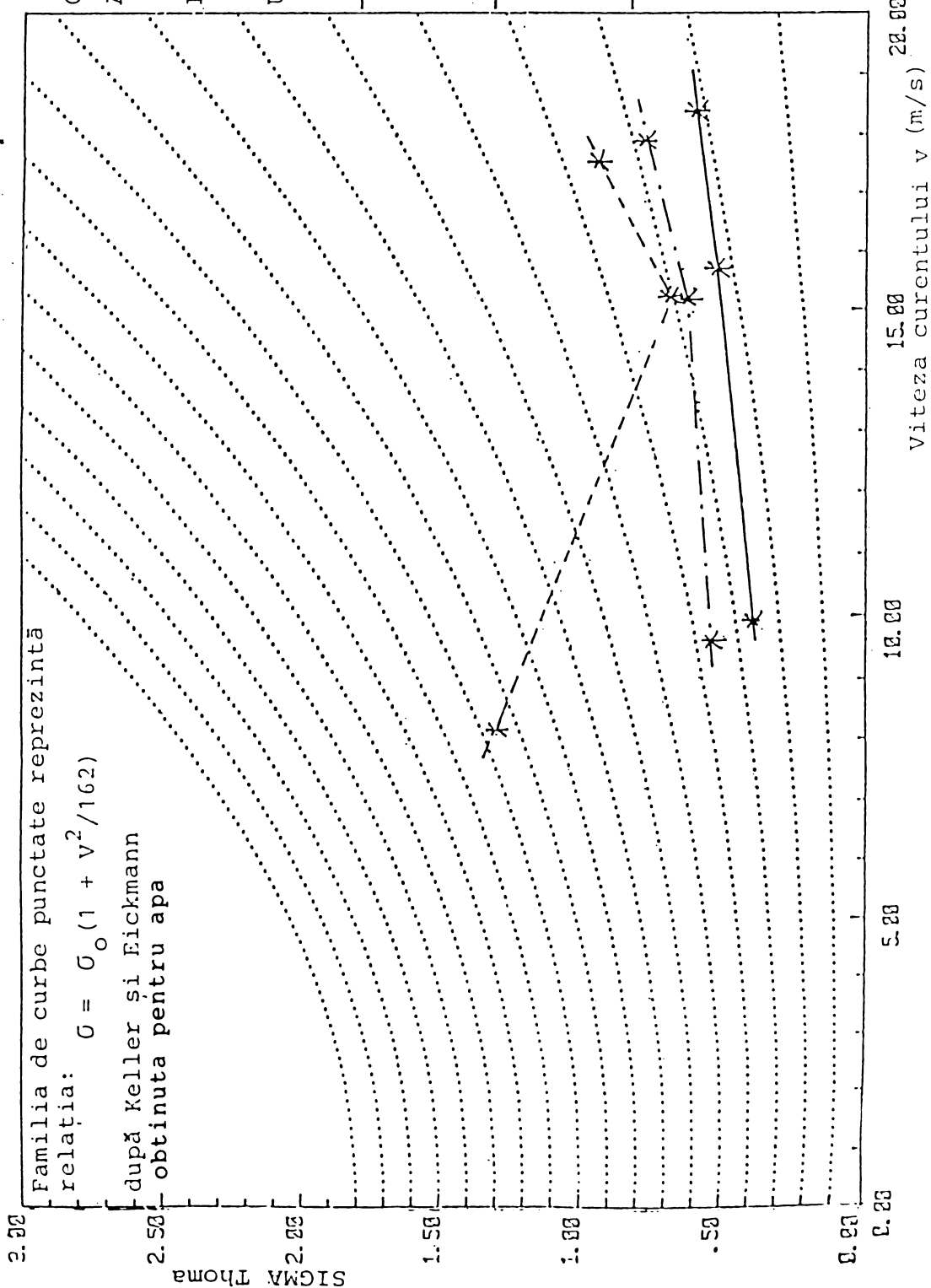
glicerină ușor per-
turbată, cu un nu-
măr redus de bule
mici

glicerină puternic
perturbată, cu nu-
meroase bule mici
și mari

Fig. 4.1.2

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă

- Lichide utilizate :
- glicerină chimic pură 86,5 % , cu un rest de 13,5 % apă
 - apă din conducta de alimentare cu apă a Institutului Hidrotehnic "Oskar v. Miller" din Obernach, a Universităţii Tehnice München



- Glicerină : 100 %
- Apă : 0 %
- Lungimea corzii profilului: 30 mm
- Unghiul de incidență : 2 grade
- glicerină neper-turbată timp de minimum 20 ore
- glicerină ușor per-turbată, cu un nu-măr redus de bule mici
- glicerină puternic perturbată, cu nu-meroase bule mici și mari

Fig. 4.1.3

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă

- Lichide utilizate :
- glicerină chimic pură 86,5 % , cu un rest de 13,5 % apă
 - apă din conducta de alimentare cu apă a Institutului Hidrotehnic "Oskar v. Miller" din Obernach, a Universităţii Tehnice München

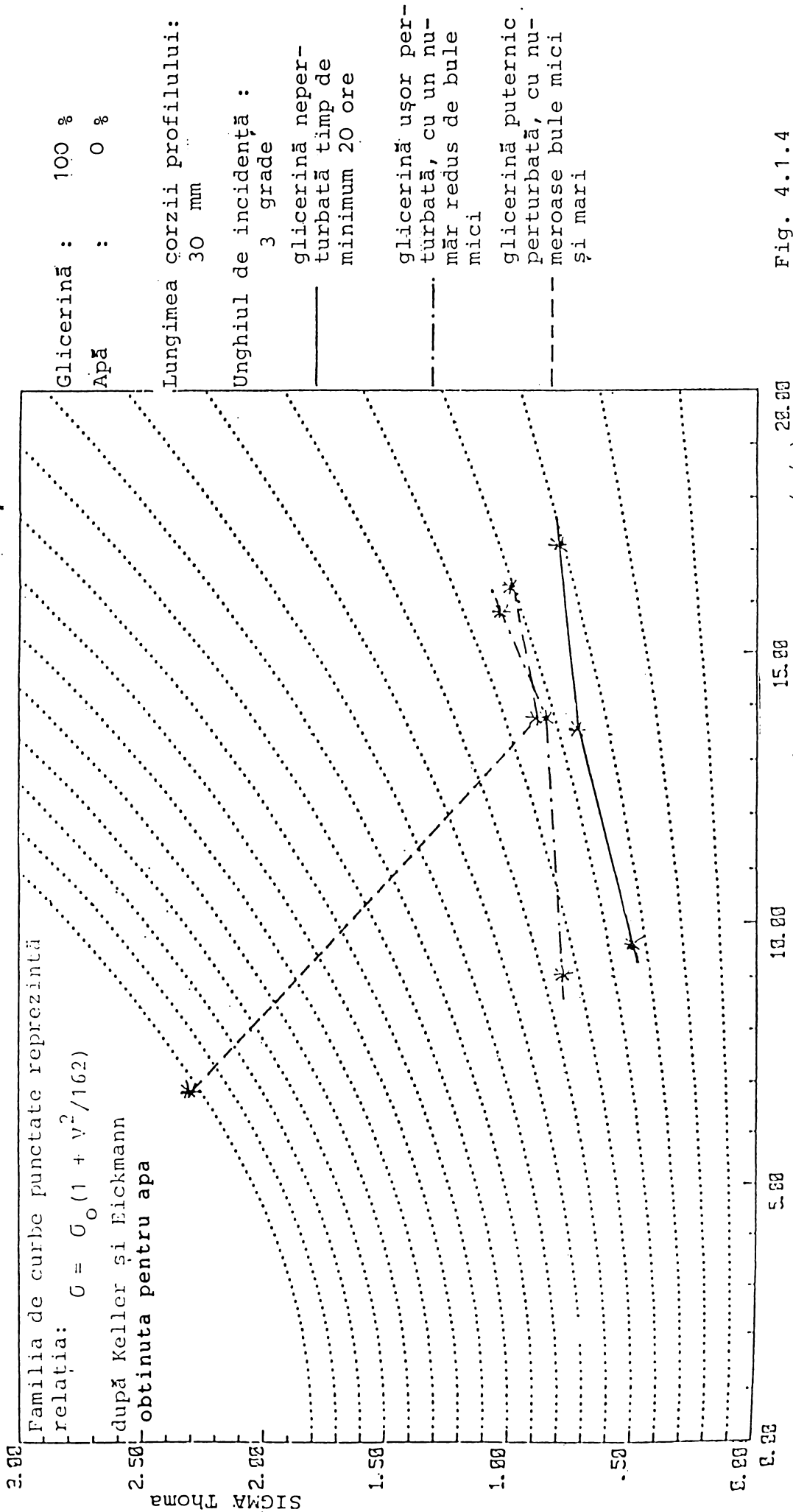
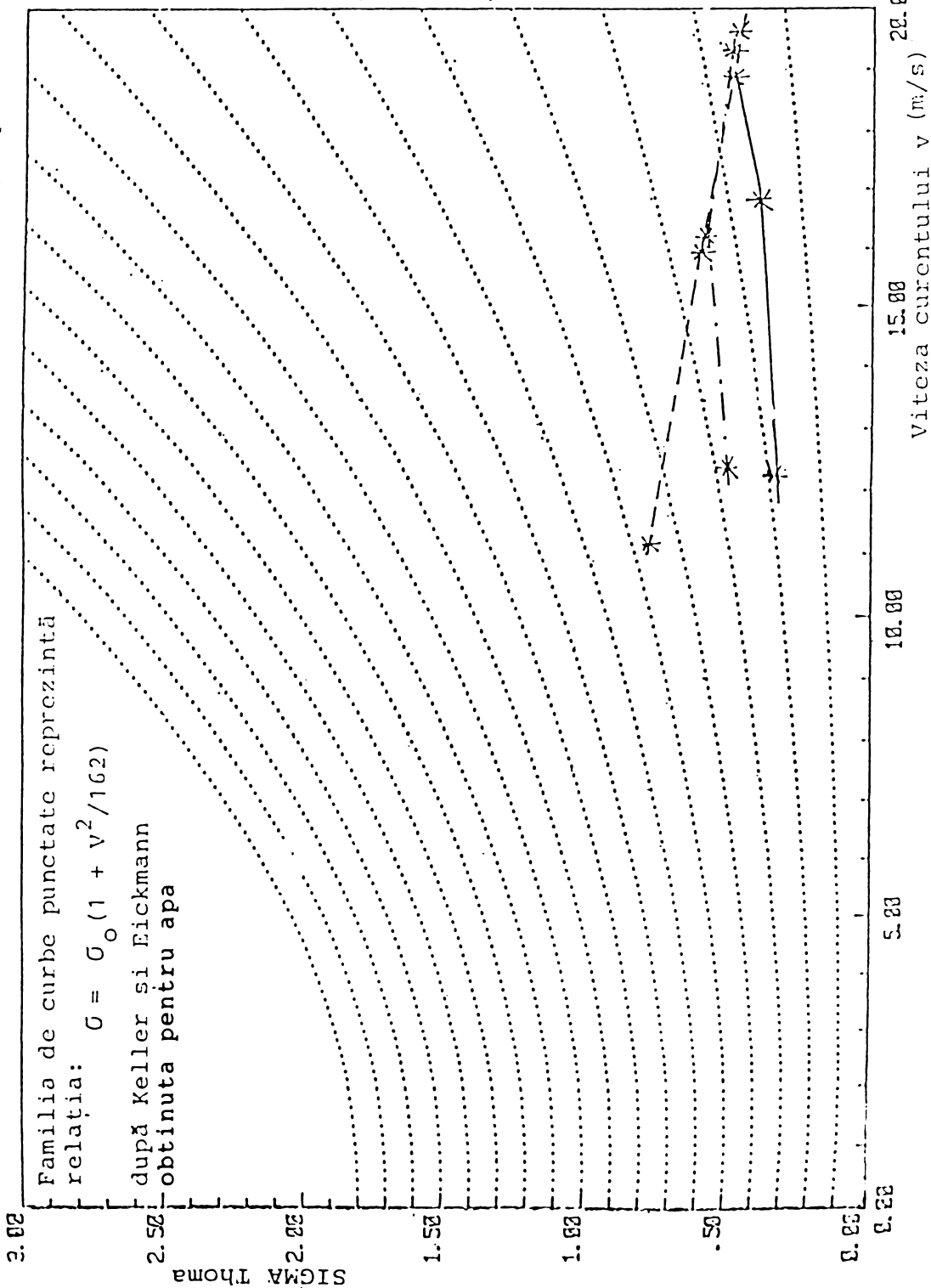


Fig. 4.1.4

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă

- Lichide utilizate :
- glicerină chimic pură 86,5 % , cu un rest de 13,5 % apă
 - apă din conducta de alimentare cu apă a Institutului Hidrotehnic "Oskar v. Miller" din Obernach, a Universităţii Tehnice München



Glicerină : 100 %
 Apă : 0 %

Lungimea corzii profilului: 60 mm

Unghiul de incidență : 1 grad

— glicerină neper-turbată timp de minimum 20 ore

— glicerină ușor per-turbată, cu un nu-măr redus de bule mici

--- glicerină puternic perturbată, cu nu-meroase bule mici și mari

Fig. 4.1.5

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă

- Lichide utilizate :
- glicerină chimic pură 86,5 % , cu un rest de 13,5 % apă
 - apă din conducta de alimentare cu apă a Institutului Hidrotehnic "Oskar v. Miller" din Obernach, a Universităţii Tehnice München

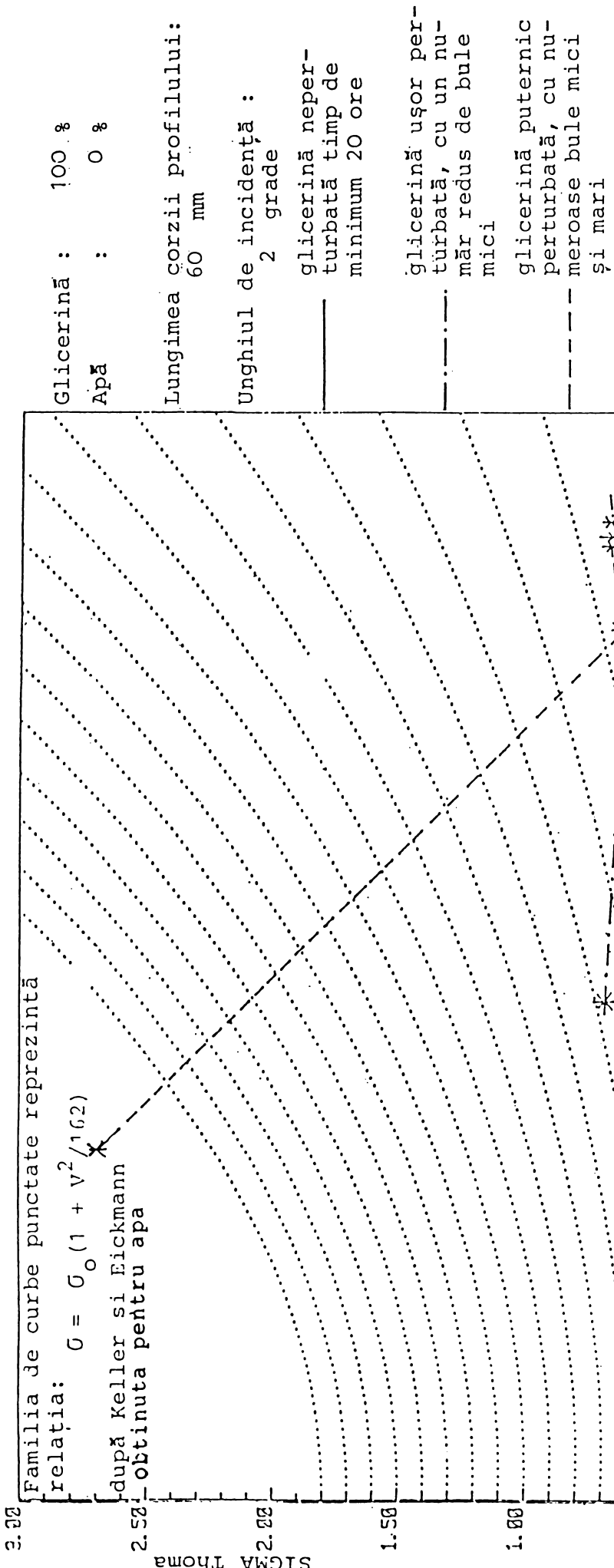


Fig. 4.1.6

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă

- glicerină chimic pură 86,5 % , cu un rest de 13,5 % apă

Lichide utilizate : - apă din conducta de alimentare cu apă a Institutului Hidrotehnic "Oskar v. Miller" din Obernach, a Universităţii Tehnice München

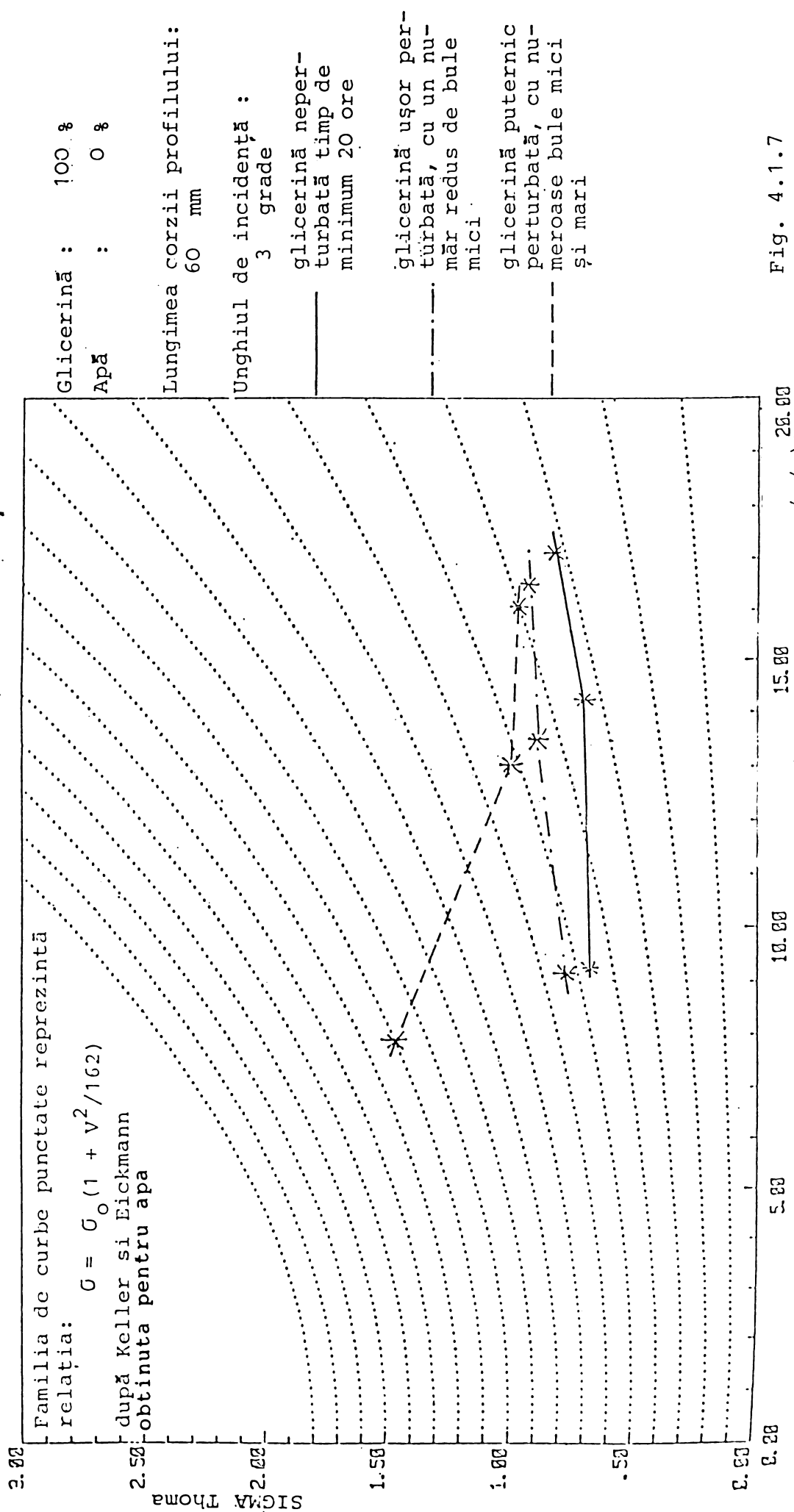


Fig. 4.1.7

4.2 INCIPIENTA CAVITATIEI PE PROFILE NACA 65006 IN AMESTECURI GLICERINA - APA LA TEMPERATURI CONSTANTE

In tunelul hidrodinamic prezentat în cap. 2, cu sistemul de măsurători prezentat tot acolo și cu metoda de lucru arătată la 4.1, s-au condus încercări în amestecurile glicerină - apă prezentate în cap. 3.

S-a masurat coeficientul de incipiență al cavității Sigma - Thoma / 10, 11 /:

$$\sigma_i = \frac{p_o - p_i}{1/2 \rho v_o^2} \quad (4.2.1)$$

p_o , v_o = presiunea respectiv viteza de la infinit amonte de corp

p_i = presiunea la care are loc incipiența cavității pe corp

ρ = densitatea lichidului

Măsurătorile s-au efectuat asupra unor profile simetrice NACA 65006 de trei mărimi, avînd lungimea corzii de 30, 60 respectiv 120 mm, fiecare la unghiurile de incidență de 1, 2 și 3 grade, în toate amestecurile glicerină - apă menționate, începînd cu glicerină 100% și terminînd cu apă 100%.

Codificarea măsurătorilor

Fiecare punct măsurat a fost codificat, astfel încît să poată fi recunoscute din numărul de cod, mărimea corzii, unghiul de incidență, mediul lichid și treapta de presiuni la care s-a făcut măsurătoarea. Prin treapta de presiune se înțelege presiunea absolută din rezervorul de alimentare și cea din rezervorul de recepție, respectiv diferența acestora, ca măsură aproximativă pentru prestabilirea vitezei din camera de lucru (măsurată exact în timpul încercărilor).

Codul fiecărei măsurători conține două litere și patru cifre:

- Prima literă indică natura măsurătorii, Z = măsurătoare de

tensiune de rupere a lichidului. C = măsurătoare de incipientă a cavității (SIGMA-Thoma).

- A doua literă indică mărimea corzii profilului, A = lungimea corzii egală cu 30 mm, B = lungimea corzii egală cu 60 mm, C = lungimea corzii egală cu 120 mm.

- Prima cifră indică unghiul de incidență, 1 = un grad, 2 = două grade, 3 = trei grade.

- A doua cifră indică vâscozitatea lichidului respectiv raportul de amestec apă/glicerină, 0 = apă 100%, 1 = 75% apă + 25% glicerină, 2 = 50% apă + 50% glicerină, 3 = 25% apă + 75% glicerină, 4 = 100% glicerină.

- A treia cifră indică treapta de presiune, ca măsură orientativă a vitezei, (viteza exactă rezultând în urma măsurătorii), 0 = 0 bar în rezervorul de alimentare și -0,8 bar (vid) în rezervorul de recepție, 1 = 1 bar în rezervorul de alimentare și 0 bar în cel de recepție, 2 = 2 bar în rezervorul de alimentare și 0,5 bar în cel de recepție, 3 = 3 bar în rezervorul de alimentare și 1 bar în rezervorul de recepție.

- A patra cifră indică numărul curent al măsurătorii multiple desfășurată într-o secvență unică. Conform programului, calculatorul admite maximum 12 repetări imediate ale măsurătorii unui punct.

Se afișează în final sub acelaș număr de cod toate măsurătorile individuale și media calculată din acestea. În mod obișnuit, numărul curent al măsurătorii sau cea de a patra cifră a codului este asociată la prelucrări ulterioare, cu media măsurătorilor individuale.

De regulă s-au repetat de două - trei ori măsurătorile multiple în condiții identice sau foarte apropiate, punctele trecute în grafice fiind deci o medie a mediilor determinate la fiecare punct codificat.

Pentru exemplificarea codificării se redau mai jos două exemple:

- ZC2103 înseamnă o măsurătoare de tensiune de rupere la profilul cu lungimea corzii de 120 mm montat la incidența de 2 grade, lichidul fiind amestecul 75% apă + 25% glicerină, presiunea din rezervorul de alimentare: 0 bar, din rezervorul de recepție -0.8 bar. Măsurătoarea este a treia măsurătoare multiplă în condiții asemănătoare.

- CB1410 înseamnă prima măsurătoare de incipientă a cavității la profilul cu lungimea corzii de 60 mm așezat la unghiul de incidență de un grad, în glicerină 100%, la presiunea de un bar în rezervorul de alimentare și 0 bar în cel de recepție.

Codificarea este de importanță majoră pentru arhivarea electronică a datelor de măsură și prelucrarea lor ulterioară. Am utilizat aceeași codificare și la filmările ultrarapide prezentate la Cap. 4.5.

Rezistența la rupere a lichidului

Inițial s-a intenționat măsurarea la fiecare amestec glicerină - apă și a tensiunii de rupere imediat premergător măsurătorii de incipiență cavitațională, cum s-a procedat de mai mult timp la măsurătorile în apă, în laboratorul din Obernach, după ce s-a constatat că incipiența cavităției este guvernată de rezistența la rupere a lichidului și necunoașterea acestui factor conduce la rezultate anarhice / 69, 70, 71 /. Măsurătoarea urma să se efectueze cu diuză cu virteje dezvoltată de A.P.Keller / 16 /.

S-a constatat însă că în glicerină și în amestecuri glicerină + apă, datorită vâscozității ridicate a lichidului, metoda nu este aplicabilă, deoarece în diuză nu mai are loc formarea virtejului central.

Pentru a lucra totuși în condiții cunoscute și repetabile, s-a decis să se lucreze la rezistența la rupere a lichidului egală cu zero, $Z = 0$. Această rezistență a fost definită ținându-se cont de următoarele:

Se cunoaște faptul că tendința spre cavitatie a unui lichid depinde în măsură considerabilă de conținutul de gaze și de preistoria acestuia. Lichide cu conținut de gaz ridicat și puternic agitate conțin bule de gaz de dimensiuni mari și în concentrație ridicată și nu dezvoltă din acest motiv, practic niciun fel de rezistență la rupere. Bulele cresc la intrarea în zone de presiune joasă a curentului mult înainte de atingerea presiunii de vaporizare a lichidului. Pe de altă parte lichide degazate și menținute mai mult timp în repaus, pot dezvolta o rezistență considerabilă la rupere, cavitatiea apărând doar la presiuni considerabil mai mici decât presiunea de vaporizare a lichidului.

Deci rezistența la rupere a unui lichid se poate abate atât în sens pozitiv cât și negativ de la ruperea la atingerea presiunii de vaporizare. A. Keller definește rezistența la rupere egală cu zero, $Z = 0$, drept starea lichidului la care incipiența cavitatiei are loc dacă concentrația gazelor dizolvate în lichid corespunde saturației pentru presiunea din camera de lucru, lichidul fiind agitat înainte de măsurătoare.

Urmiind această definiție, amestecul glicerină - apă din tunel a fost adus înainte de măsurătoare de incipiență a cavitatiei întotdeauna la starea $Z = 0$, ajustind conținutul de aer al lichidului din rezervorul de alimentare prin aerare sau desaerare în așa fel încât la trecerea prin camera de lucru să se atingă valoarea de saturație corespunzătoare presiunii de acolo. Această presiune se cunoaște din multiple încercări anterioare la toate treptele de presiune menționate la descrierea codificării încercărilor, iar recalcularea valorilor de saturație se poate face simplu cu ajutorul legii lui Dalton.

Cele de mai sus explică importanța măsurătorilor auxiliare efectuate de autorul tezei asupra concentrației de saturație a aerului în amestecurile de glicerină - apă de concentrații și la temperaturi diferite, descrise la 2.2 și 3.2.

Linistirea în timp a lichidului în cazul glicerinei 100 % și a amestecurilor concentrate în glicerină nu contravine dezi-

deratelor enunțate mai sus. S-a urmărit prin aceasta aducerea lichidului dintr-o stare cu rezistență la rupere negativă (bule de aer eliminate foarte lent) la starea $Z = 0$.

Variația coeficientului de incipiență a cavitatiei în funcție de viteza curentului, la diferite valori ale viscozității lichidului

Rezultatele principale obținute la măsurătorile de incipiență a cavitatiei sînt prezentate în figurile 4.2.1 pîna la 4.2.9. În aceste reprezentări curbele sînt trasate printre puncte și nu prin puncte, cum se procedea la Obernach pentru evidențierea mai vizibilă a abaterilor de la forma ideală, mod în care s-au publicat rezultatele pentru apă și glicerina în literatură / 20, 9 /.

La reprezentarea curbelor SIGMA-Thoma / viteză, au fost luate în considerare doar punctele la care a existat certitudinea că reprezintă cavitație și nu pseudocavitație. După cum s-a arătat, ele reprezintă o medie a mediilor obținute în general din trei cicluri de cîte 6 - 12 măsurători pentru acelaș punct.

Măsurătorile de viteză au fost corectate pentru a ține cont de efectul de perete, care se face observat clar la profilul mare cu $L = 120$ mm, dar într-o oarecare măsură și la profilul de mărime mijlocie $L = 60$ mm. Factorul de corecție cu care s-a înmulțit viteza a fost în cazul profilului mare de 1,1 iar în cazul celui mijlociu de 1,035.

Rezultatele confirmă cercetările anterioare efectuate la Obernach în apă de rețea / 17, 18, 19, 20/ în privința efectului vitezei și a mărimei corpului expus la cavitație, iar curbele așa cum sînt trasate corect printre puncte, confirmă influența rezistenței de rupere a lichidului, ele încadrîndu-se cu bună aproximație în alura curbelor de egală rezistență la rupere $Z = 0$, după Eickmann și Keller, determinată în apă.

Se constată în toate cazurile că viscozitatea majorată constituie un element de frînare a apariției cavitatiei, efect asupra caruia se va reveni în capitolul 4.3.

După cum era de așteptat, efectul viscozității se face simțit cu creșterea unghiului de incidență, adică cu cît corpul ia o poziție mai nehidrodinamică.

INCIPIENȚA CAVITĂȚII LA RPOFILE NACA 650006

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă ; influența vîscozității

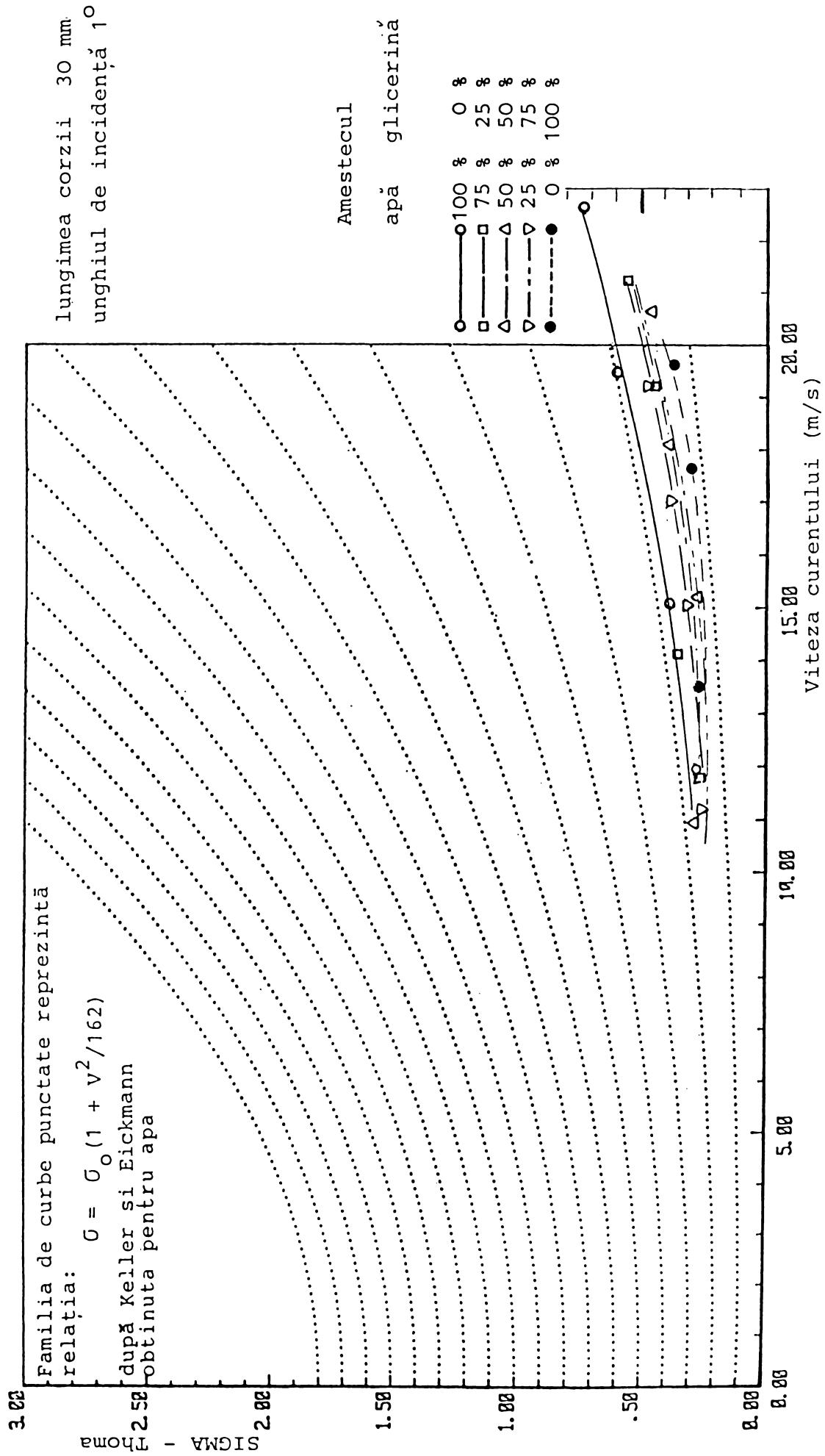


Fig. 4.2.1

INCIPIENTA CAVITATIEI LA PROFILE NACA 65006

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă ; influența viscozității

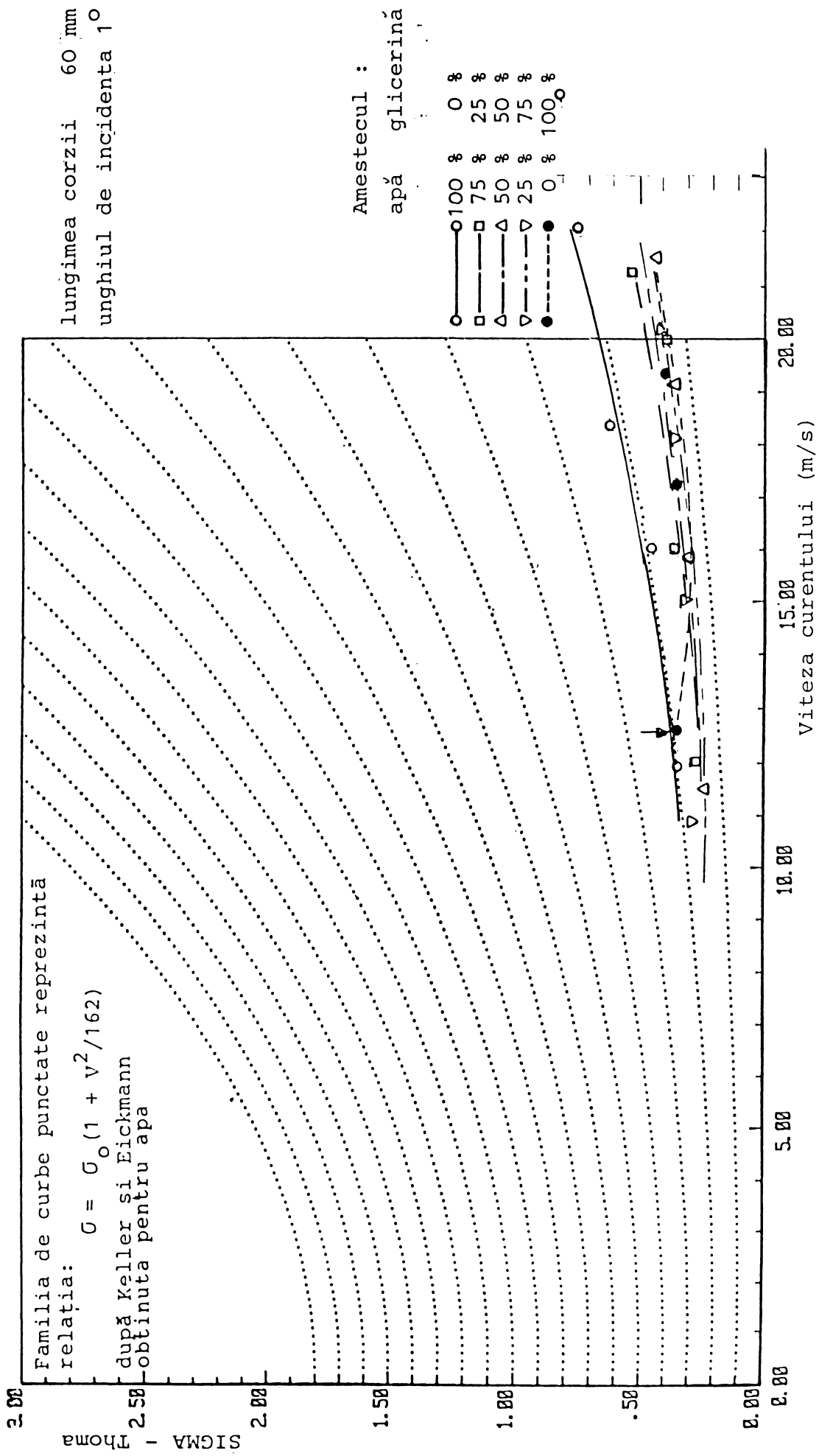


Fig. 4.2.2

INCIPIENTA CAVITATIEI LA PROFILE NACA 65006

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă ; influența viscozității

Familia de curbe punctate reprezintă

relația:
$$\sigma = \sigma_0 (1 + V^2 / 162)$$

după Keller și Eickmann
obținută pentru apă

lungimea corzii 120 mm
unghiul de incidență 1°

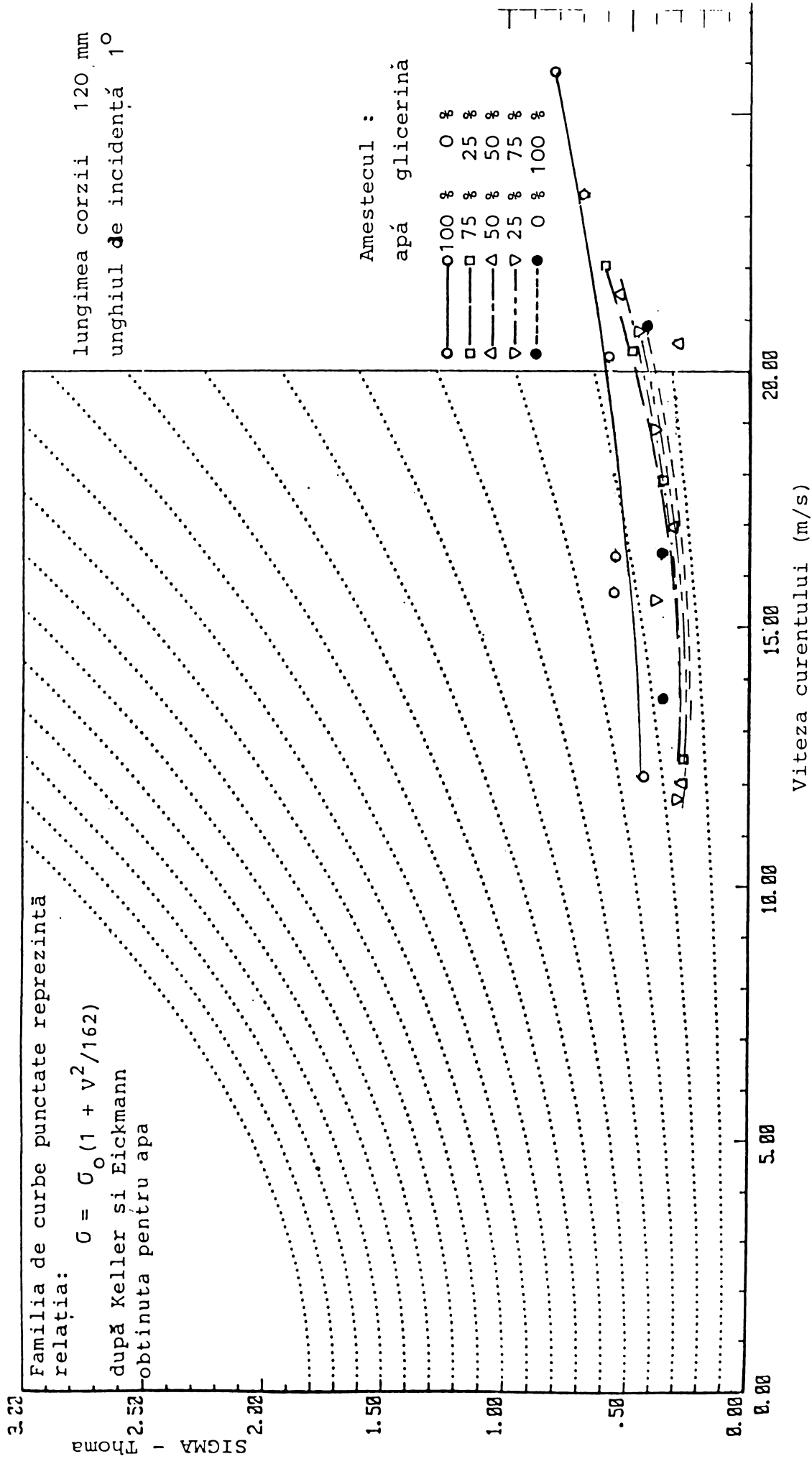


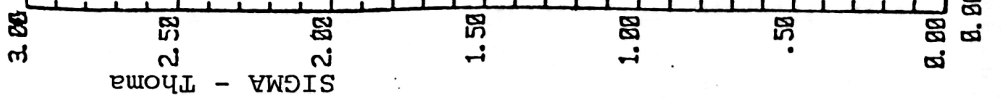
Fig. 4.2.3

INCIPIENTA CAVITATIEI LA PROFILE NACA 65006

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă ; influența viscozității

Familia de curbe punctate reprezintă

relația: $\sigma = \sigma_0 (1 + V^2/162)$
după Keller și Eickmann
obținută pentru apă



lungimea corzii 30 mm
unghiul de incidență 2°

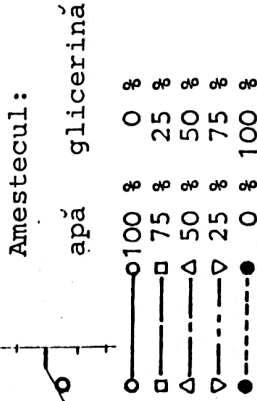
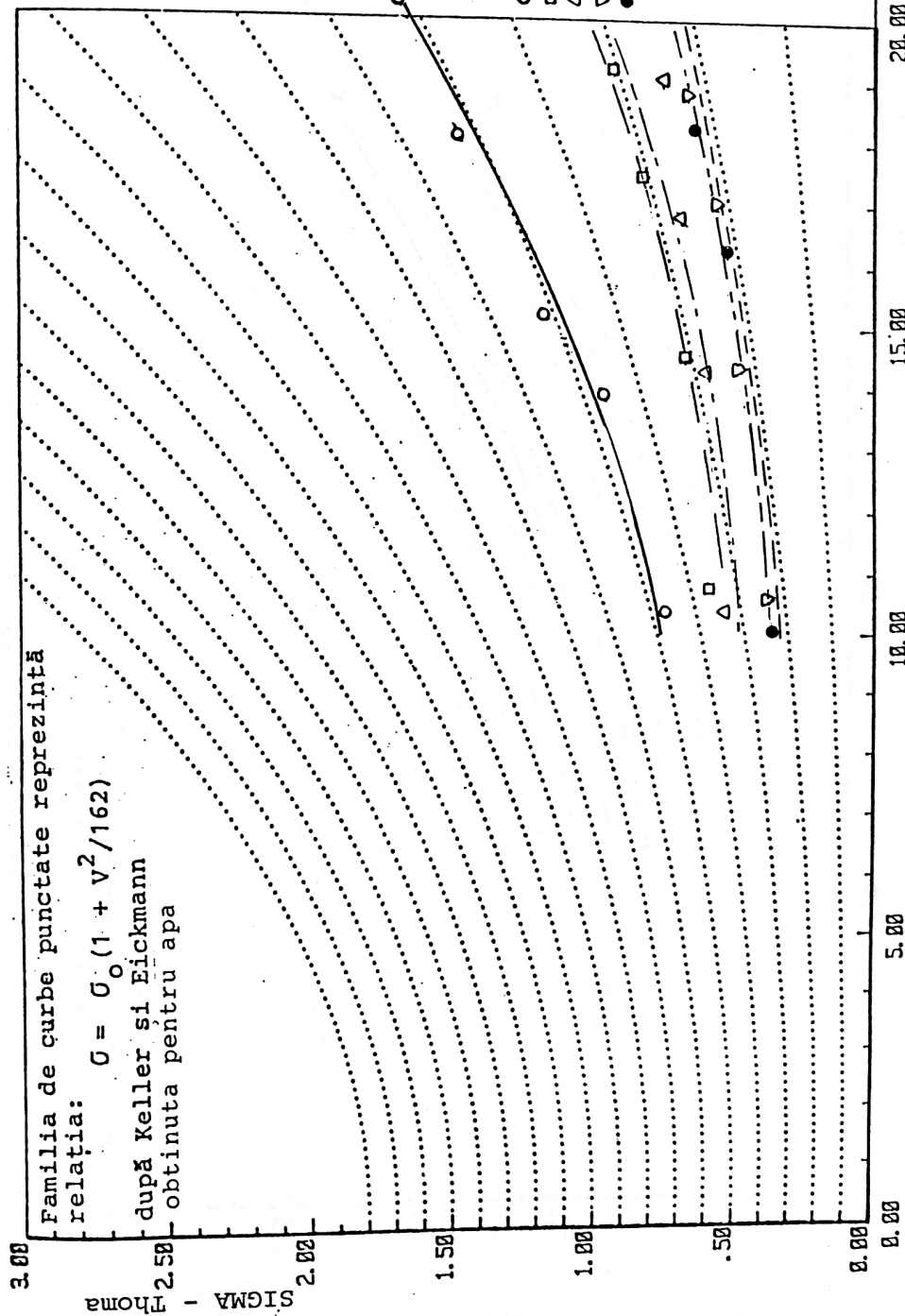


Fig. 4.2.4

INCIPIENTA CAVITATIEI LA PROFILE NACA 65006

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă ; influența vîscozității



lungimea corzii 60 mm
unghiul de incidență 2°

Amestecul :
apa glicerină

- 100 % 0 %
- 75 % 25 %
- △ 50 % 50 %
- ▽ 25 % 75 %
- 0 % 100 %

Viteza Curentului (m/s)

Fig. 4.2.5

INCIPIENTA CAVITATIEI LA PROFILE NACA 65006
 Cercetarea efectelor de scară în amestecuri
 glicerină - apă ; influența viscozității

Familia de curbe punctate reprezintă
 relația: $\sigma = \sigma_0 (1 + V^2/162)$
 după Keller și Eickmann
 obținută pentru apă

lungimea corzii 120 mm
 unghiul de incidență 2°

Amestecul :
 apă glicerina

- 100 % 0 %
- 75 % 25 %
- △ 50 % 50 %
- ▽ 25 % 75 %
- 0 % 100 %

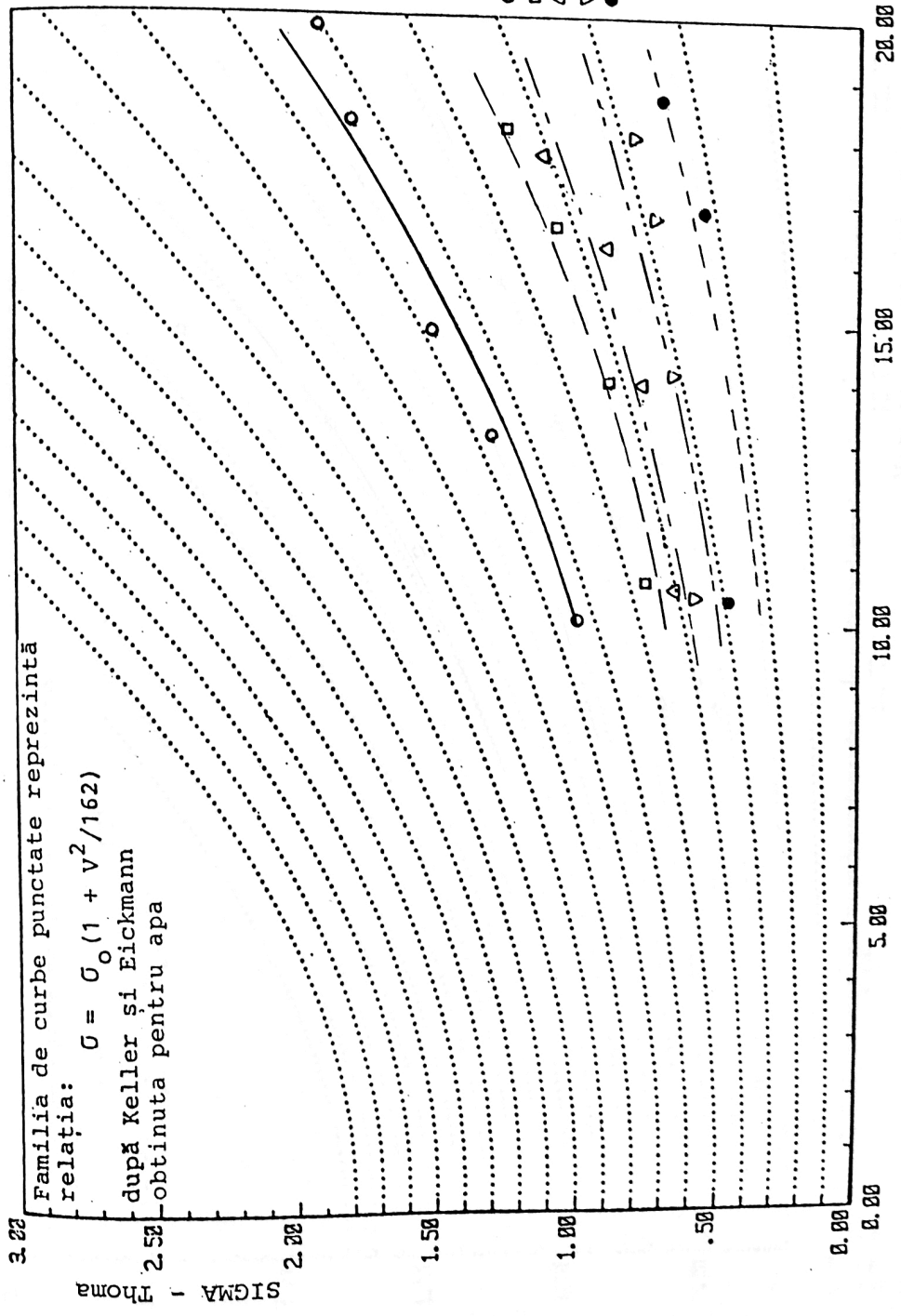


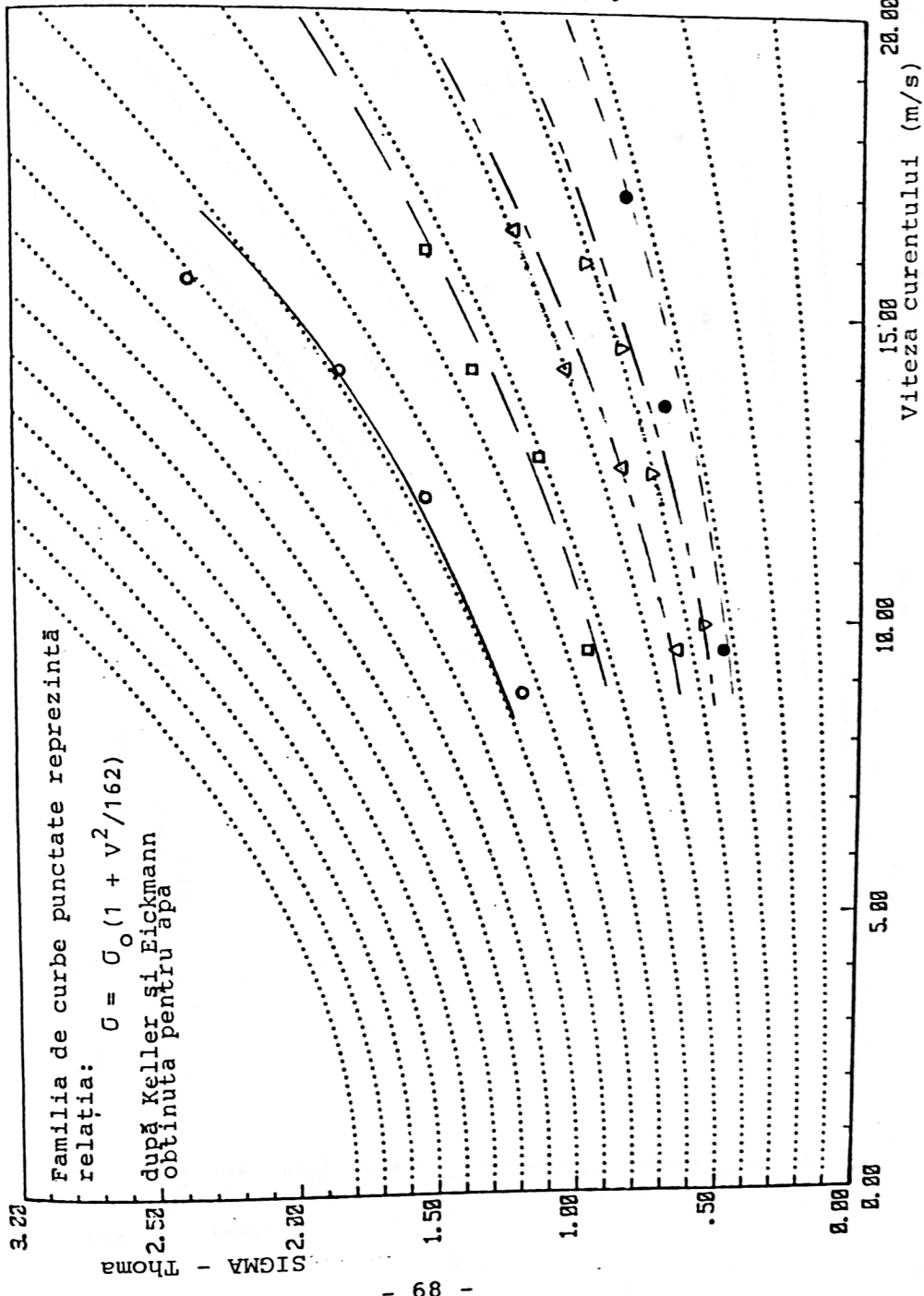
Fig. 4.2.6 Viteza curentului (m/s)

INCIPIENTA CAVITATIEI LA PROFILE NACA 65006
 Cercetarea efectelor de scară în amestecuri
 glicerină - apă ; influența viscozității

Familia de curbe punctate reprezintă

relația: $G = G_0 (1 + V^2/162)$

după Keller și Eickmann
 obținută pentru apă



lungimea corzii 30 mm
 unghiul de incidentă 3°

Amestecul :
 apă glicerină

○	○	100 %	○	%
□	□	75 %	□	%
△	△	50 %	△	%
▽	▽	25 %	▽	%
●	●	0 %	●	100 %

Viteza curentului (m/s) 20.00
 15.00
 10.00
 5.00
 0.00

Fig. 4.2.7

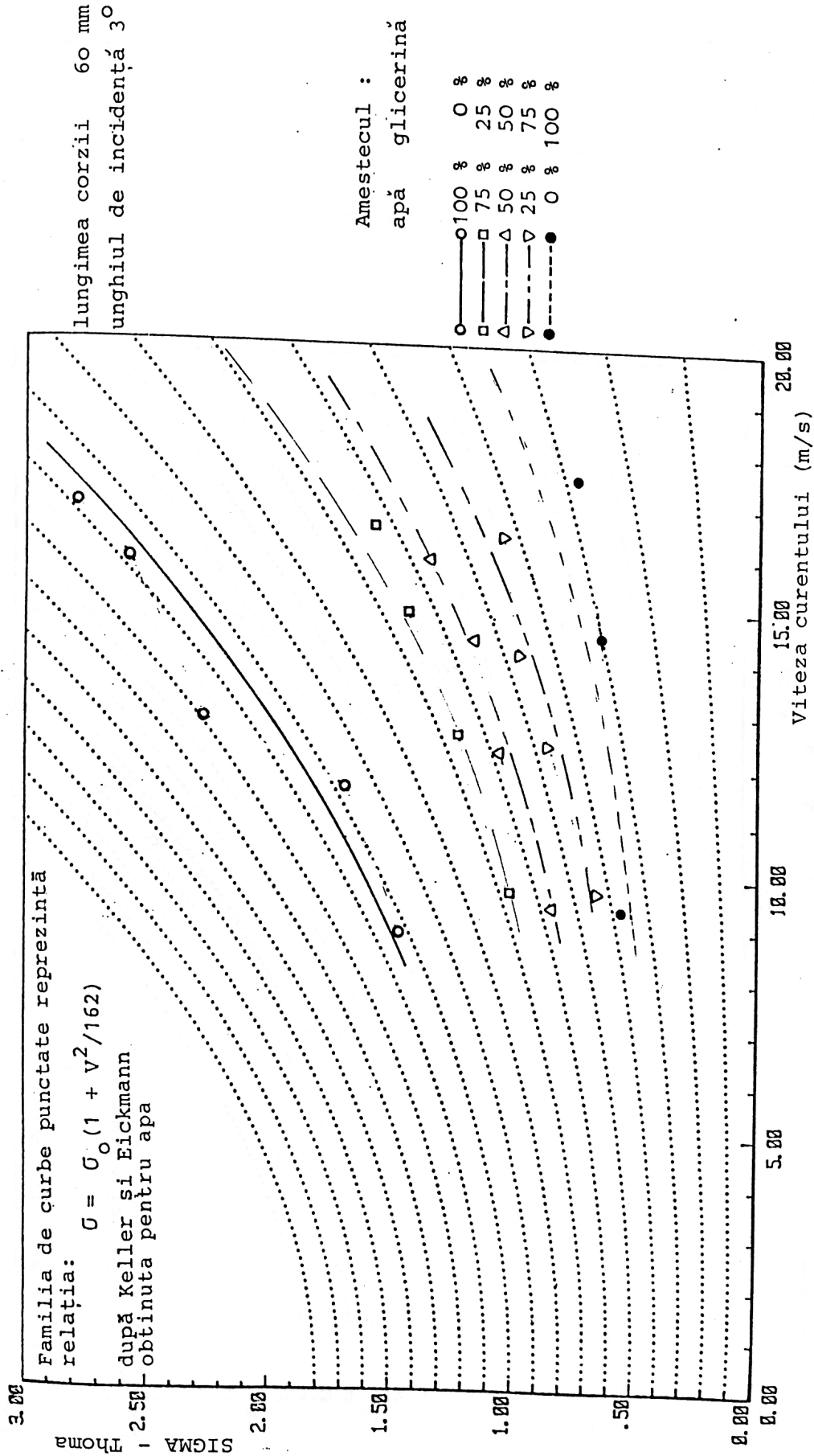
INCIPIENTA CAVITATIEI LA PROFILE NACA 65006

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă ; influența viscozității

Familia de curbe punctate reprezintă

relația: $\sigma = \sigma_0 (1 + V^2/162)$

după Keller și Eickmann
obținuta pentru apă



lungimea cozii 60 mm
unghiul de incidență 3°

Amestecul :
apă glicerină

- 100 %
- 75 %
- △ 50 %
- ▽ 25 %
- 0 %

Viteza curentului (m/s)

Fig. 4.2.8

INCIPIENTA CAVITATIEI LA PROFILE NACA 65006

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă ; influența viscozității

Familia de curbe punctate reprezintă

relația: $\sigma = \sigma_0 (1 + v^2/162)$

după Keller și Eickmann
obținuta pentru apă

lungimea corzii 120 mm
unghiul de incidență 3°

Amestecul :
apă glicerină

- 100 %
- 75 %
- △ 50 %
- ▽ 25 %
- 0 %

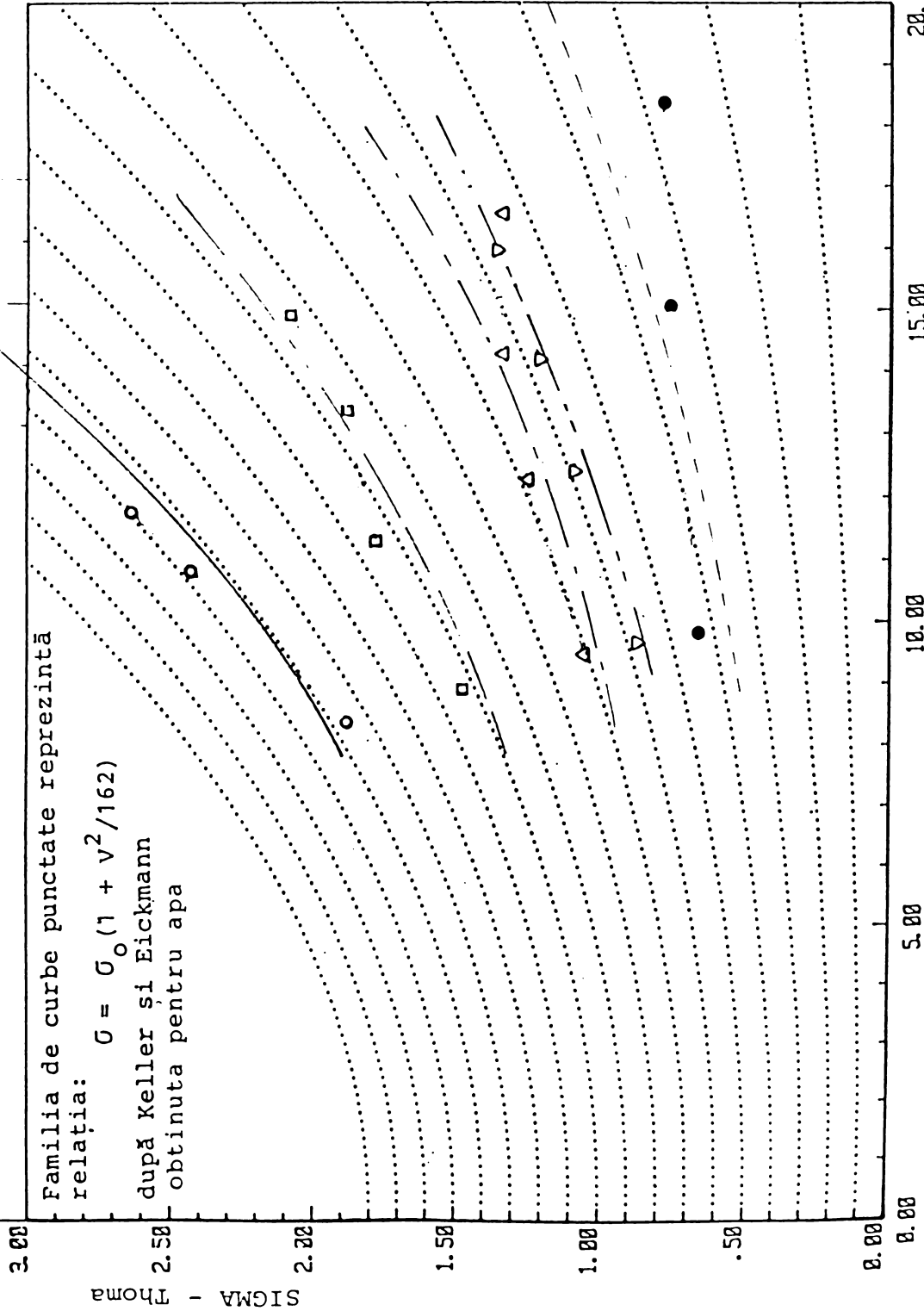


Fig. 4.2.9

4.3 INFLUENTA VISCOZITATII ASUPRA INCIPIENTEI CAVITATIEI

Deși influența viscozității este evidentă în curbele Sigma incipientă - viteză, fig.4.2.1 - 4.2.9, din aceste reprezentări nu rezultă direct cuantificarea acestei influențe. Pentru a obține informația cantitativă dorită, cât și pentru prelucrări ulterioare în legătură cu cifra Reynolds, cap. 4.4, s-a procedat la prelucrarea grafică a rezultatelor de la capitolul anterior.

În acest scop s-au extrapolat curbele Sigma - viteză într-un domeniu restrâns pînă la viteza de 20 m/sec, și s-au intersectat aceste curbe cu verticale de viteză constantă.

Punctele de intersecție obținute, marcate cu roșu în Fig. 4.4.1, 4.4.2, și 4.4.3 au fost tabelate pentru prelucrare în Tab. 4.4.1, 4.4.2, și 4.4.3.

Aceste grafice și tabele servesc atât la prelucrările privind influența viscozității, făcute în prezentul capitol, cât și în capitolul următor.

S-au prelucrat datele de la toate trei marimile de profil încercate, dar numai la incidența de 3 grade. Aceasta mai ales deoarece la această incidență influența viscozității este marcantă și afectată de erori mai mici decît la incidențele de 2 sau de 1 grad.

Extrăgînd din tabele valorile corelate Sigma - viscozitate la viteze parametric constante, se obțin curbe ca cele prezentate în Fig. 4.3.1. care arată direct variația lui Sigma cu viscozitatea.

Discuțînd aceste rezultate ale lucrării în colectivul de cavitație al institutului din Obernach, s-au propus de alți membri ai colectivului diferite modele matematice pentru descrierea acestei variații, cu favorizarea descrierii variației printr-un polinom.

Analizînd forma curbelor din fig. 4.3.1, autorul tezei a propus o relație exponențială cu exponent negativ pentru descrierea legii de variație a coeficientului de incipientă a cavitației cu viscozitatea, la viteză constantă:

$$\frac{\sigma_{\nu_b}}{\sigma_{\nu_a}} = e^{-\left(1 - \frac{\nu_a}{\nu_b}\right)^m} \quad (4.3.1)$$

unde

σ_{ν_b} = coeficientul de incipientă a cavitației în lichidul cu viscozitatea ν_b

σ_{ν_a} = coeficientul de incipientă a cavitației în lichidul cu viscozitatea ν_a

m = un exponent probabil caracteristic formei corpului.

Aplicînd această relație în forma

$$\sigma_{\nu_b} = \sigma_{\nu_a} \cdot e^{-\left(1 - \frac{\nu_a}{\nu_b}\right)^m} \quad (4.3.2)$$

pentru calcularea valorilor Sigma incipientă în amestecurile utilizate pentru măsurători, există posibilitatea verificării valorilor calculate pentru Sigma incipientă cu cele măsurate în tunel.

Valoarea exponentului m stabilită într-o primă aproximație la 2 / 8, 9 /, a fost verificată de autor ulterior pe un număr mare de valori măsurate și stabilită la:

$$m = 1,5$$

pentru toate profilele NACA 65006 încercate.

Păstrarea constantă a valorii lui m, sau modul cum variază acesta, poate fi determinat doar prin încercarea și a altor forme de corpuri în lichide cu viscozități diferite.

Comparatia între valorile calculate și măsurate ale lui Sigma incipientă în lichide cu viscozități diferite se face în Tab. 4.3.1, 4.3.2 și 4.3.3 și în Fig. 4.3.2, 4.3.3, și 4.3.4.

Reprezentarea grafică a variației Sigma - viscozitate măsurată și calculată, se face în aceste din urmă diagrame în mod adimensional.

Se constată pentru toate mărimile de profil, că foarte multe puncte calculate se suprapun peste cele măsurate și că acolo unde aceasta nu este cazul, punctul calculat poate fi deasupra sau dedesubtul celui măsurat, ceea ce indică clar că descrierea matematică făcută cu legea exponențială (4.3.1) respectiv (4.3.2) este corectă.

Abateri mai mari s-au obținut doar la un singur punct marcat colorat în Fig. 4.3.4, acolo unde pentru starea de calcul, viscozitatea a diferit cu două ordine de mărime de viscozitatea corespunzătoare stării inițiale, adică pentru glicerină 100% recalculat din apă 100% și aceasta doar la profilul cu lungimea cozii de 120 mm.

La acest punct există indoieli mai degrabă în privința valorii măsurate, deoarece măsurătorile în glicerină 100% au fost extrem de anevoioase și însoțite de incertitudinile documentate în graficele din fig. 4.1.2 pînă la 4.1.7, iar valorile măsurate pentru profilul mare sînt afectate puternic de efecte de perete / 72 /.

Se poate trage concluzia că legea propusă descrie foarte bine variația coeficientului de incipientă a cavitației cu viscozitatea lichidului.

Profilul NACA 65006

Lungimea cozii 30 mm
Unghiul de incidență 3°

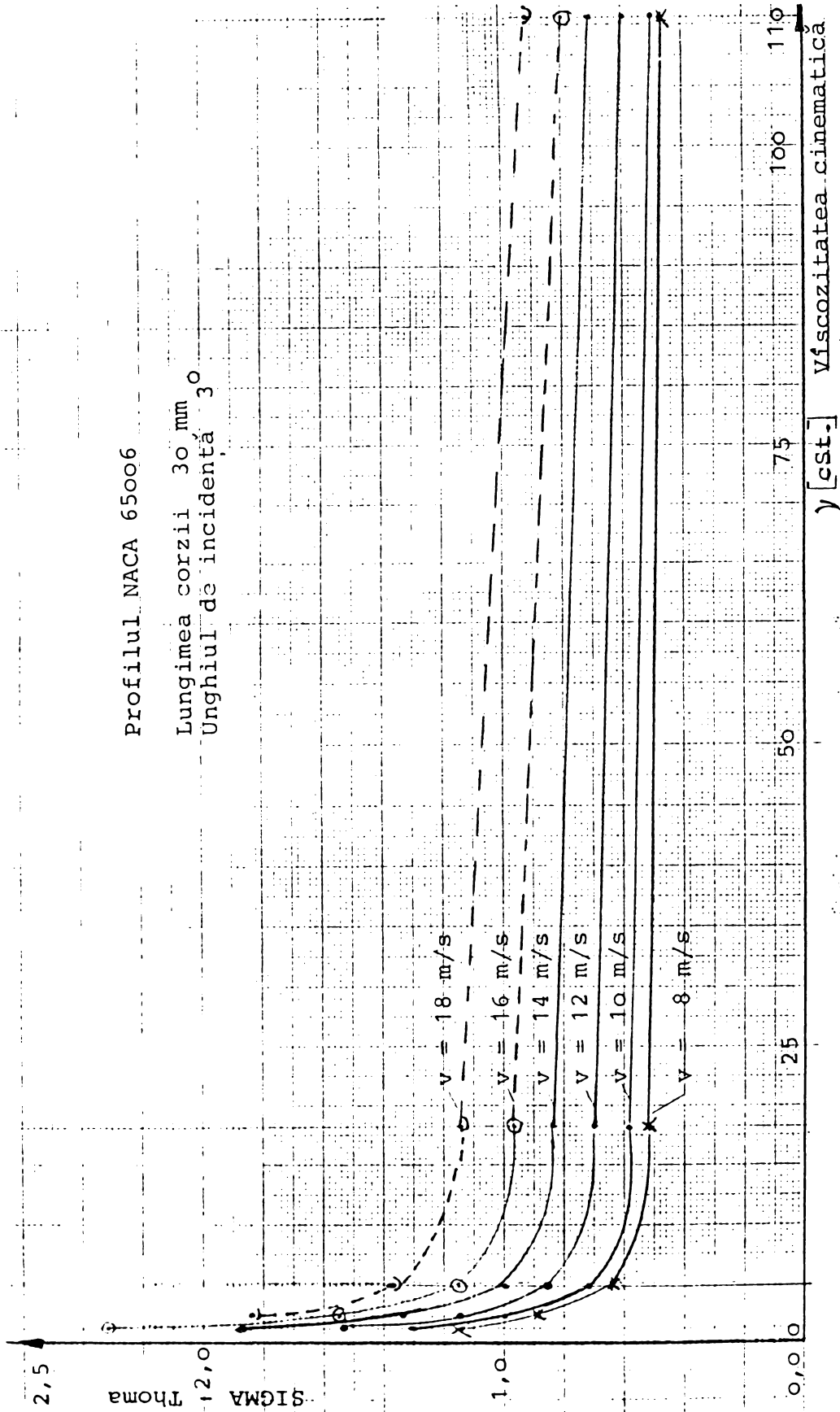


Fig. 4.3.1 Variația coeficientului de Cavitație SIGMA - Thoma în funcție de viscozitatea lichidului, la viteze parametric constante.

Tab. 4.3.1 Influența vîscozității asupra incipienței cavității la profile NACA 65006. Lungimea corzii 30 mm, Unghiul de incidență 3 grade

$$\sigma_{\gamma_b} = \sigma_{\gamma_a} \cdot e^{-\left(1 - \frac{\nu_a}{\nu_b}\right)^m}$$

ν_1	= 0,9977 cSt. (apă 100 % + glicerină 0 %), starea	1
ν_2	= 1,9537 cSt. (apă 75 % + glicerină 25 %), starea	2
ν_3	= 4,828 cSt. (apă 50 % + glicerină 50 %), starea	3
ν_4	= 18,01 cSt. (apă 25 % + glicerină 75 %), starea	4
ν_5	= 108,69 cSt. (apă 0 % + glicerină 100 %), starea	5

Pornind dela apă ca stare de vîscozitate de referință, se obțin următoarele raporturi între vîscozități:

a = 1 ; b = 1	$\nu_1 / \nu_1 = 1$
a = 1 ; b = 2	$\nu_1 / \nu_2 = 0,51067$
a = 1 ; b = 3	$\nu_1 / \nu_3 = 0,20665$
a = 1 ; b = 4	$\nu_1 / \nu_4 = 0,055397$
a = 1 ; b = 5	$\nu_1 / \nu_5 = 0,009179$

Cu valoarea exponentului $m = 1,5$ se obțin din relația de recalculare a coeficientului de cavitație SIGMA-Thoma pentru lichide cu alte vîscozități, valorile de calcul de mai jos. Spre comparație sînt trecute și valorile măsurate ale lui SIGMA-Thoma.

Viteza curentului	Starea de vîscozitate	SIGMA-Thoma măsurat, stare de referință	SIGMA-Thoma calculat pt. lichidul cu altă vîscozitate	SIGMA-Thoma măsurat pt. lichidul cu altă vîscozitate
9 m/s	1	1,29	1,29	1,29
	2	1,29	0,91	0,91
	3	1,29	0,64	0,64
	4	1,29	0,52	0,52
	5	1,29	0,48	0,46
15 m/s	1	2,00	2,00	2,00
	2	2,00	1,42	1,40
	3	2,00	0,98	1,04
	4	2,00	0,80	0,83
	5	2,00	0,74	0,70
20 m/s	1	3,20	3,20	3,20
	2	3,20	2,27	2,00
	3	3,20	1,58	1,58
	4	3,20	1,27	1,26
	5	3,20	1,19	1,05

Tab. 4.3.2 Influența vîscozității asupra incipienței cavității la profile NACA 65006. Lungimea corzii 60 mm, Unghiul' de incidentă 3 grade

$$\sigma_{\nu_b} = \sigma_{\nu_a} \cdot e^{-\left(1 - \frac{\nu_a}{\nu_b}\right)^m}$$

- $\nu_1 = 0,9977$ cSt. (apă 100 % + glicerină 0 %), starea 1
- $\nu_2 = 1,9537$ cSt. (apă 75 % + glicerină 25 %), starea 2
- $\nu_3 = 4,828$ cSt. (apă 50 % + glicerină 50 %), starea 3
- $\nu_4 = 18,01$ cSt. (apă 25 % + glicerină 75 %), starea 4
- $\nu_5 = 108,69$ cSt. (apă 0 % + glicerină 100 %), starea 5

Pornind dela apă ca stare de vîscozitate de referință, se obțin următoarele raporturi între vîscozități:

a = 1 ; b = 1	$\nu_1 / \nu_1 = 1$
a = 1 ; b = 2	$\nu_1 / \nu_2 = 0,51067$
a = 1 ; b = 3	$\nu_1 / \nu_3 = 0,20665$
a = 1 ; b = 4	$\nu_1 / \nu_4 = 0,055397$
a = 1 ; b = 5	$\nu_1 / \nu_5 = 0,009179$

Cu valoarea exponentului $m = 1,5$ se obțin din relația de recalculare a coeficientului de cavitație SIGMA-Thoma pentru lichide cu alte vîscozități, valorile de calcul de mai jos. Spre comparație sînt trecute și valorile măsurate ale lui SIGMA-Thoma.

Viteza curentului	Starea de vîscozitate	SIGMA-Thoma măsurat, stare de referință	SIGMA-Thoma calculat pt. lichidul cu altă vîscozitate	SIGMA-Thoma măsurat pt. lichidul cu altă vîscozitate
9 m/s	1	1,50	1,50	1,50
	2	1,50	1,06	0,97
	3	1,50	0,74	0,81
	4	1,50	0,60	0,65
	5	1,50	0,55	0,49
15 m/s	1	2,36	2,36	2,36
	2	2,36	1,67	1,49
	3	2,36	1,16	1,26
	4	2,36	0,94	1,00
	5	2,36	0,88	0,75
20 m/s	1	3,50	3,50	3,50
	2	3,50	2,48	2,24
	3	3,50	1,73	1,88
	4	3,50	1,40	1,53
	5	3,50	1,30	1,14

Tab. 4.3.3 Influența viscozității asupra incipienței cavității la profile NACA 65006. Lungimea corzii 120 mm, Unghiul de incidență 3 grade

$$\sigma_{\nu_b} = \sigma_{\nu_a} \cdot e^{-\left(1 - \frac{\nu_a}{\nu_b}\right)^m}$$

ν_1	= 0,9977 cSt. (apă 100 % + glicerină 0 %), starea	1
ν_2	= 1,9537 cSt. (apă 75 % + glicerină 25 %), starea	2
ν_3	= 4,828 cSt. (apă 50 % + glicerină 50 %), starea	3
ν_4	= 18,01 cSt. (apă 25 % + glicerină 75 %), starea	4
ν_5	= 108,69 cSt. (apă 0 % + glicerină 100 %), starea	5

Pornind de la apă ca stare de viscozitate de referință, se obțin următoarele raporturi între viscozități:

a = 1 ; b = 1	$\nu_1 / \nu_1 = 1$
a = 1 ; b = 2	$\nu_1 / \nu_2 = 0,51067$
a = 1 ; b = 3	$\nu_1 / \nu_3 = 0,20665$
a = 1 ; b = 4	$\nu_1 / \nu_4 = 0,055397$
a = 1 ; b = 5	$\nu_1 / \nu_5 = 0,009179$

Cu valoarea exponentului $m = 1,5$ se obțin din relația de recalculare a coeficientului de cavitație SIGMA-Thoma pentru lichide cu alte viscozități, valorile de calcul de mai jos. Spre comparație sînt trecute și valorile măsurate ale lui SIGMA-Thoma.

Viteza curentului	Starea de viscozitate	SIGMA-Thoma măsurat, stare de referință	SIGMA-Thoma calculat pt. lichidul cu altă viscozitate	SIGMA-Thoma măsurat pt. lichidul cu altă viscozitate
9 m/s	1	2,05	2,05	2,05
	2	2,05	1,45	1,41
	3	2,05	1,01	0,97
	4	2,05	0,81	0,80
	5	2,05	0,76	0,52
13 m/s	1	2,79	2,79	2,79
	2	2,79	1,98	1,87
	3	2,79	1,37	1,25
	4	2,79	1,11	1,08
	5	2,79	1,04	0,70
17 m/s	1	3,76	3,76	3,76
	2	3,76	2,67	2,52
	3	3,76	1,85	1,70
	4	3,76	1,50	1,46
	5	3,76	1,40	0,94

Profil NACA 65006, lungimea corzii 30 mm, unghiul de incidentă 3 grade

Variația coeficientului de cavitație SIGMA-Thoma cu vîscozitatea lichidului. Comparatie între valorile măsurate experimental și cele calculate cu dependența funcțională stabilită în prezenta teză.

- o - valori calculate
- x - valori măsurate
- ⊗ - valori calculate și măsurate suprapuse

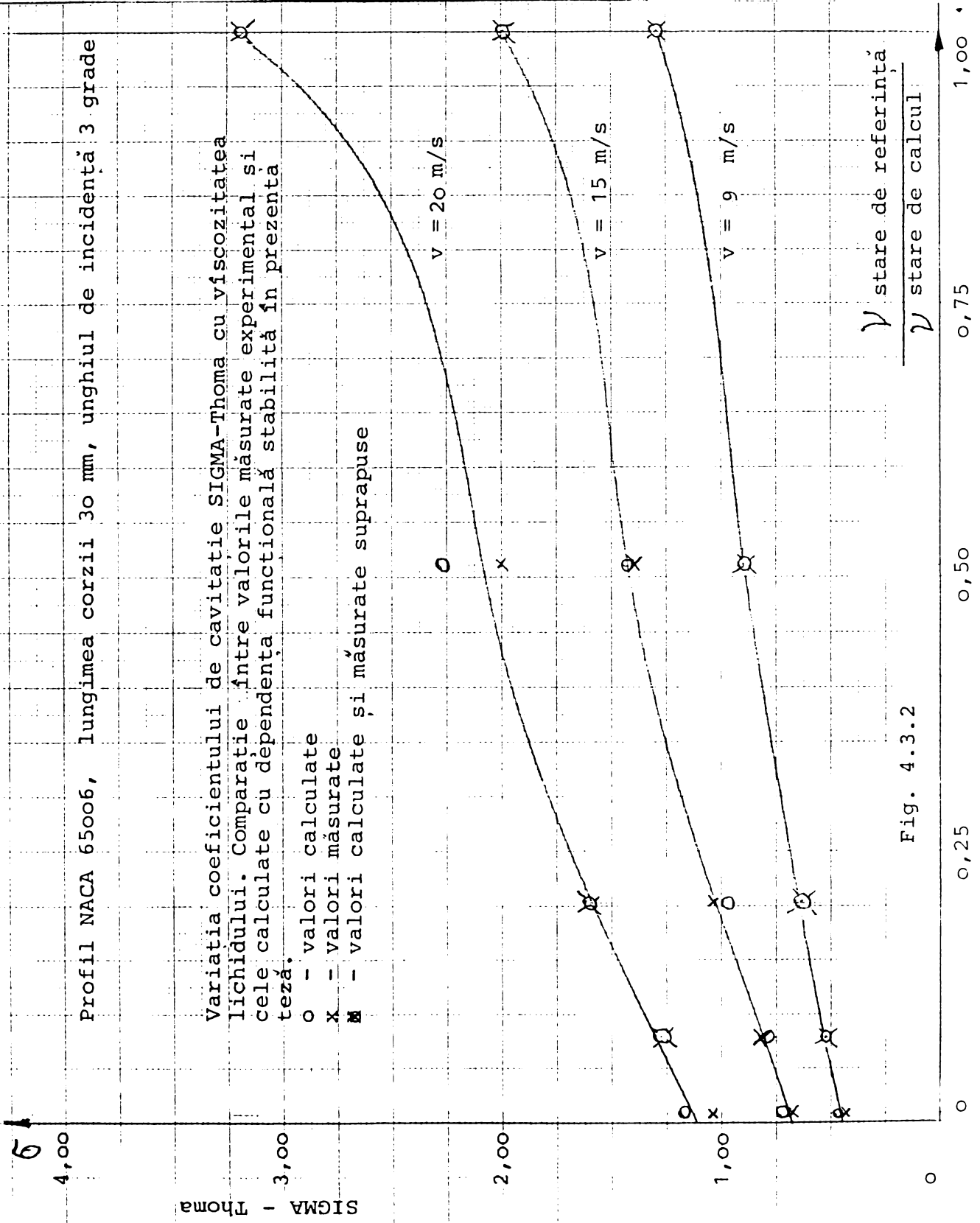


Fig. 4.3.2

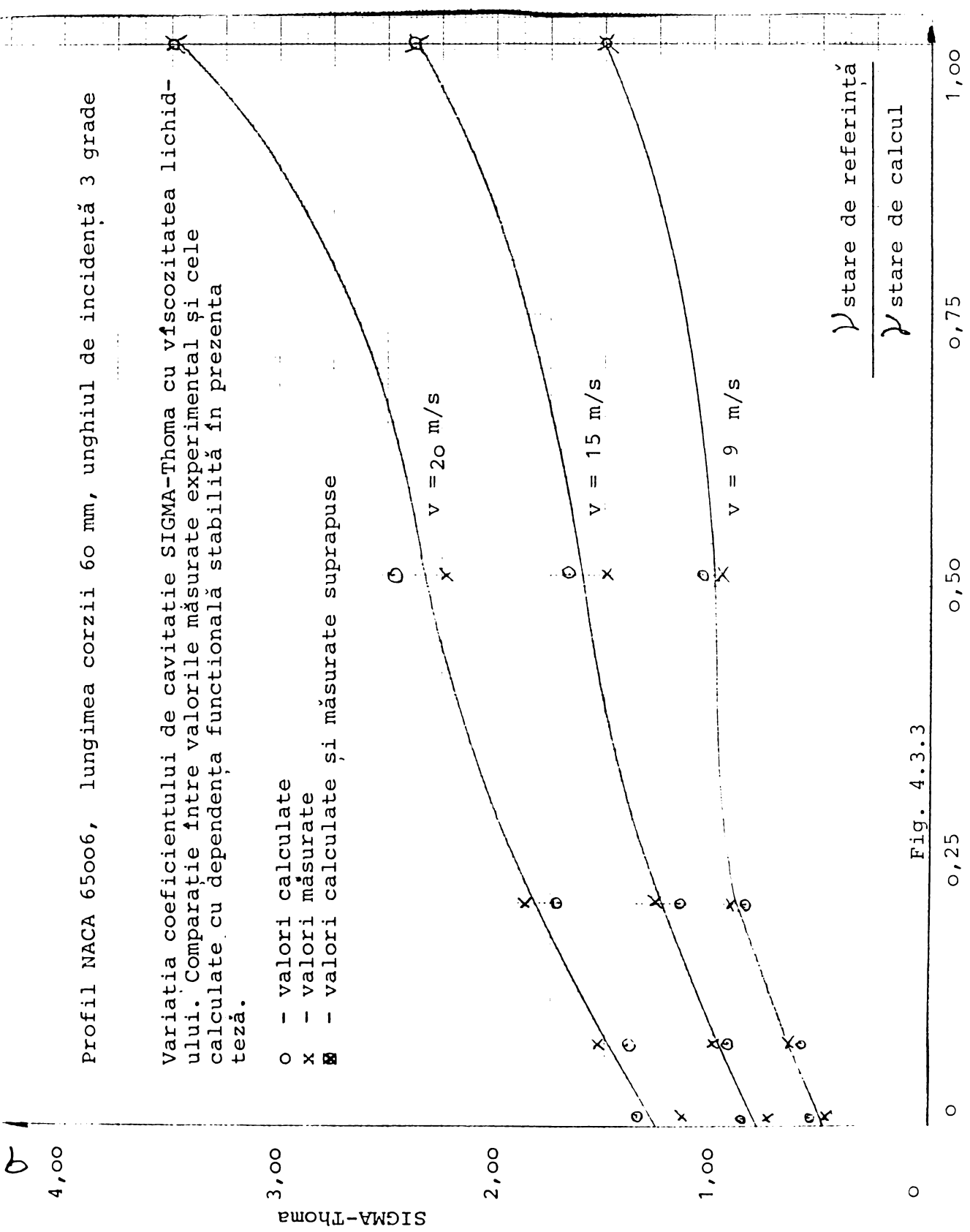


Fig. 4.3.3

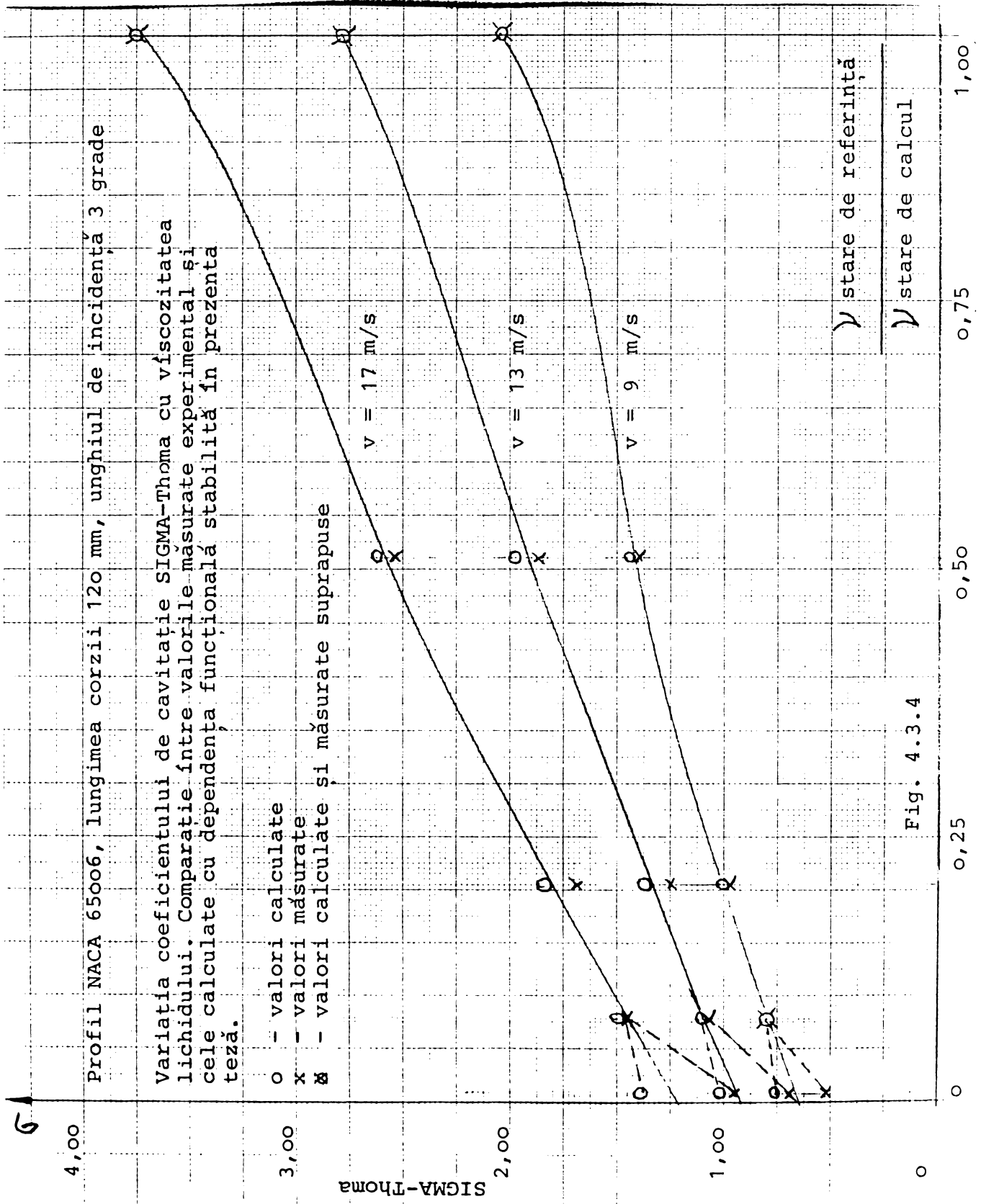


Fig. 4.3.4

4.4 CORELAȚIA DINTRE SIGMA THOMA ȘI CIFRA REYNOLDS

Cifra Reynolds se formează din trei mărimi caracteristice.

$$Re = \frac{v L}{\nu} \quad (4.4.1)$$

v = viteza curentului

L = dimensiunea lineară caracteristică corpului studiat, în acest caz lungimea corzii profilului

ν = vîscozitatea cinematică a lichidului

Pentru a găsi corelația Sigma-Re din cadrul experimentelor noastre, am utilizat curbele Sigma-viteză prezentate în subcapitolul 4.2.

Ridicînd curbe de viteză constantă (verticale) se obțin puncte de intersecție cu caracteristicile Sigma-viteză corespunzătoare incipienței cavitației.

Fiecare punct de intersecție are o valoare Sigma citibilă fără dificultăți pe ordonată, viteza corespunzătoare abscisei, vîscozitatea corespunzătoare amestecului glicerină-apă caruia îi corespunde curba caracteristică și dimensiunea lineară caracteristică mării profilului încercat (lungimea corzii). Astfel, pentru fiecare punct se poate calcula cifra Re corespunzătoare.

În fig.4.4.1, 4.4.2, și 4.4.3 se ilustrează procedeul grafic folosit pentru calculul asocierii valorilor Sigma - Re, utilizînd exemplificativ doar rezultatele măsurătorilor obținute pe cele trei mărimi de profile la unghiul de incidență de 3 grade, la care diferențele sînt puse mult mai bine în evidență decît la incidențele de 1 sau 2 grade.

Pentru punctele de intersecție marcate în cele trei figuri amintite, se extrag valorile Sigma, viteză, lungimea corzii, și vîscozitatea cinematică, și se calculează valoarea corespunzătoare a cifrei Reynolds. Aceste date sînt reținute în tabelele 4.4.1, 4.4.2, și 4.4.3 din care se aleg selectiv valori pentru trei feluri de reprezentare a variației Sigma funcție de Re.

1. Variația Sigma funcție de Re la viteză și mărime constante și vîscozitate variabilă, se obține asociînd într-o curbă valorile corespunzătoare punctelor de intersecție de pe cîte o verticală a celor trei figuri 4.4.1, 4.4.2, și 4.4.3. Se obțin astfel o serie de curbe cu cel mult 5 puncte fiecare, corespunzător numărului de valori ale vîscozității utilizate în încercări, provenind din încercarea a cinci amestecuri glicerină - apă (fig.4.4.4, 4.4.5 și 4.4.6).

2. Variația Sigma funcție de Re la viteză și vîscozitate constantă și lungimea corzii variabilă, se obține asociind într-o curbă punctele corespunzătoare aceleiași vîscozități și viteze, extragînd din fiecare din figurile 4.4.1, 4.4.2 și 4.4.3, cite un punct pentru această curbă. Se obțin doar trei puncte pentru fiecare curbă, corespunzătoare numărului de dimensiuni lineare utilizate la încercări, adică trei lungimi de coardă încercate (fig. 4.4.7, 4.4.8, 4.4.9, 4.4.10 și 4.4.11).

3. Variația Sigma funcție de Re la vîscozitate și mărime constantă a profilului și viteză variabilă, se obține asociind într-o curbă valorile corespunzătoare punctelor de intersecție în lungul a cite unei caracteristici din figurile 4.4.1, 4.4.2 și 4.4.3. Se obține cel mai mare număr de puncte pentru reprezentare, egal cu numărul de puncte de intersecție de pe caracteristica respectivă, dependent doar de desimea verticalelor de viteză constantă cu care se face prelucrarea grafică. Rezultă figurile 4.4.12, 4.4.13, și 4.4.14

Din figurile 4.4.4 - 4.4.14 se constată că alura variației Sigma - Reynolds este specifică factorului care variază în componenta cifrei Re.

Din tabelele de valori și din ansamblul reprezentărilor grafice se constată de asemeni, după cum era de așteptat, că nu există o corespondență univocă Sigma-Re, în sensul că unei valori a cifrei Reynolds să-i corespundă, pentru o geometrie a corpului dată, o valoare unică a coeficientului de cavitație Sigma Thoma incipient. Unei cifre Re îi pot corespunde mai multe valori ale lui Sigma, respectiv aceluiși Sigma corespund de regulă mai multe valori ale cifrei Re.

Această precizare este importantă, deoarece în literatură /73,74,75/ se vorbește de dependența Sigma-Reynolds ca și cînd ar fi o funcție cu unicitate clară, fără a se insista asupra faptului că determinările se referă doar la variația vitezei și a dimensiunii lineare caracteristice din expresia cifrei Reynolds.

O verificare a rezultatelor obținute de noi pe profilele NACA 6 5 0 0 6 la corpuri cu alte geometrii, rămîne rezervată cercetărilor viitoare, împreună cu o eventuală aprofundare teoretică a variației Sigma-Re.

Rezultatele prezentate pe baza cercetărilor noastre în literatură / 9 / și în prezenta lucrare, deși nu constituie o rezolvare definitivă și exhaustivă a problematicii, contribuie totuși esențial la o stăpînire mai bună a relațiilor de scară, respectiv la transpunerea mai sigură a rezultatelor de la model la mărimea naturală. Aceasta se referă atît la recalcularea coeficientului de cavitație de la scară la model, cît și la potrivirea unei cifre Reynolds corecte la model în funcție de cifra Reynolds a mărîmii naturale.

Utilizînd legea de variație a coeficientului de incipientă a cavitației Sigma cu vîscozitatea, (4.3.2), și ecuația de definiție a criteriului Reynolds (4.4.1), se poate calcula simplu valoarea Sigma la o altă valoare a lui Re pentru acelaș corp, aceeași viteză a curentului dar lichid cu vîscozitate diferită:

$$\sigma_{Re_1} = \frac{v L}{\nu_1} \quad (4.4.2)$$

$$\sigma_{Re_2} = \frac{v L}{\nu_2} \quad (4.4.3)$$

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{Re_2}{Re_1} \quad (4.4.4)$$

și corespunzător

$$\sigma_{Re_2} = \sigma_{Re_1} \cdot e^{-\left(1 - \frac{Re_2}{Re_1}\right)^m} \quad (4.4.5)$$

Stabilirea legilor de variație ale lui Sigma incipientă cu viteza și dimensiunea corpului pe care apare cavitația, se poate face pentru cazul particular al profilelor simetrice NACA 65006, din rezultatele primare prezentate în cap. 4.2. Aceste legi vor conduce la posibilități de calcul ale lui Sigma în condițiile când Re variază datorită vitezei sau când se utilizează un profil cu lungime de coardă mai mare sau mai mică. Ansamblul celor trei legi de variație va conduce în final la o relație cuprinzătoare Sigma incipientă - cifra Reynolds, rezultat rezervat unor străduințe viitoare.

INCIPIENTA CAVITATIEI LA PROFILE NACA 65006

Cercetarea efectelor de scara in amestecuri glicerina - apă ; influența viscozității

Familia de curbe punctate reprezintă

relația: $\sigma = \sigma_0 (1 + V^2/162)$

după Keller și Eickmann
obținuta pentru apă

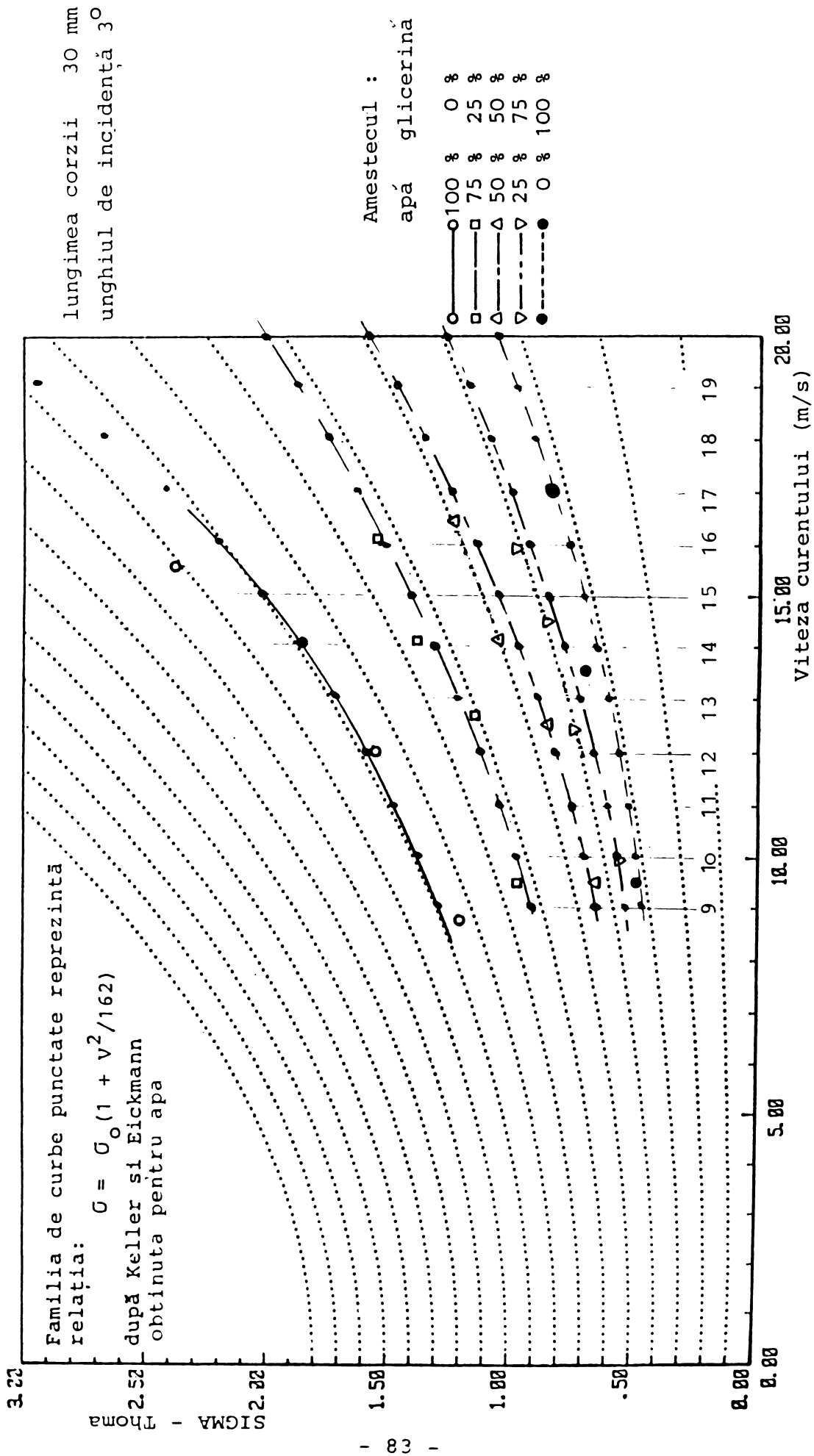


fig. 4.4.1

INCIPIENTA CAVITATIEI LA PROFILE NACA 65006

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerina - apă ; influența viscozității

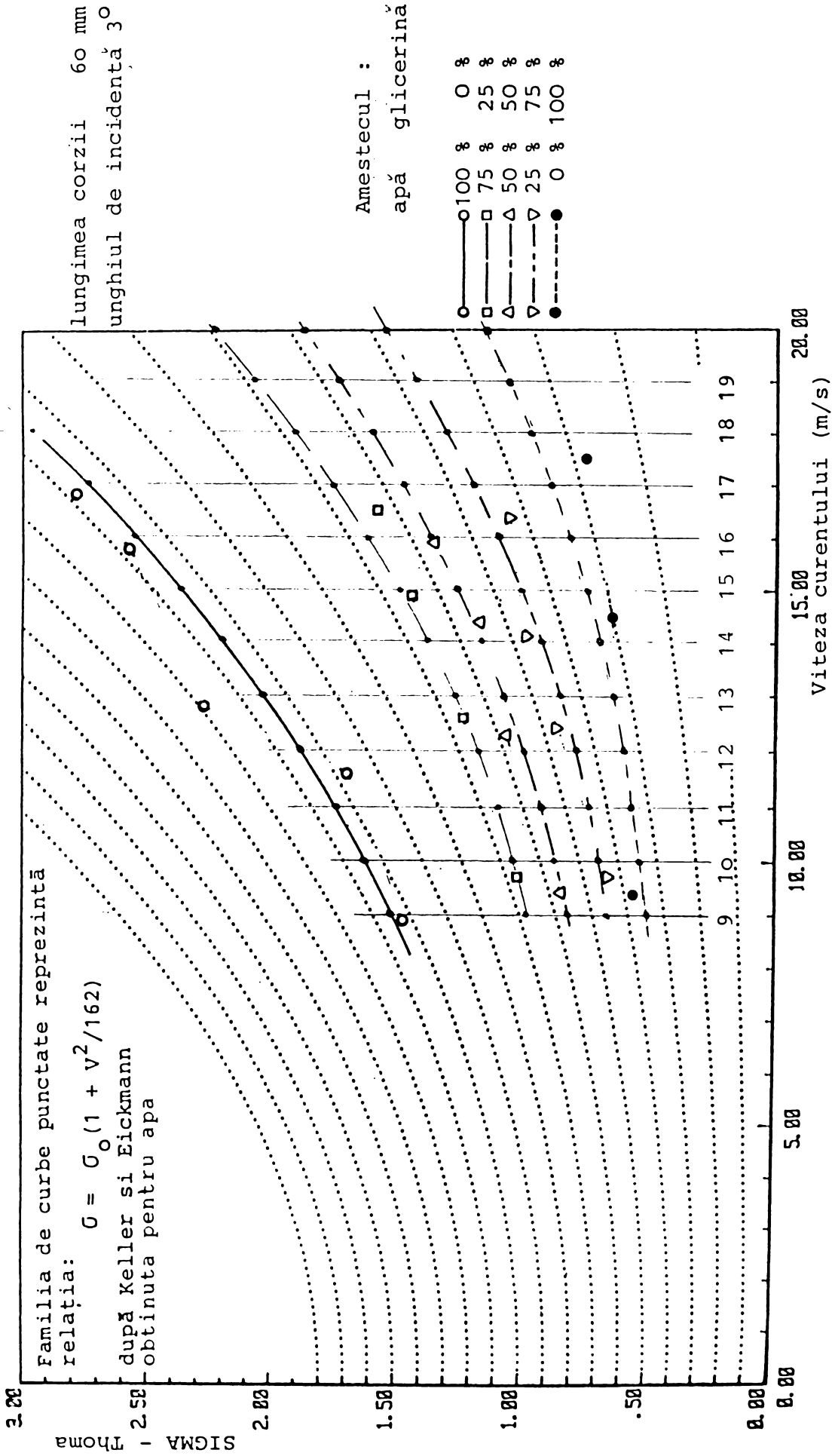


fig. 4.4.2

INCIPIENTA CAVITATIEI LA PROFILE NACA 65006

Cercetarea efectelor de scară în amestecuri glicerină - apă ; influența vîscozității

Familia de curbe punctate reprezintă

$$\sigma = \sigma_0 (1 + v^2/162)$$

după Keller și Eickmann
obținuta pentru apa

lungimea corzii 120 mm
unghiul de incidență 3°

Amestecul :

apă glicerina

○ 100 % 0 %
□ 75 % 25 %
△ 50 % 50 %
▽ 25 % 75 %
● 0 % 100 %

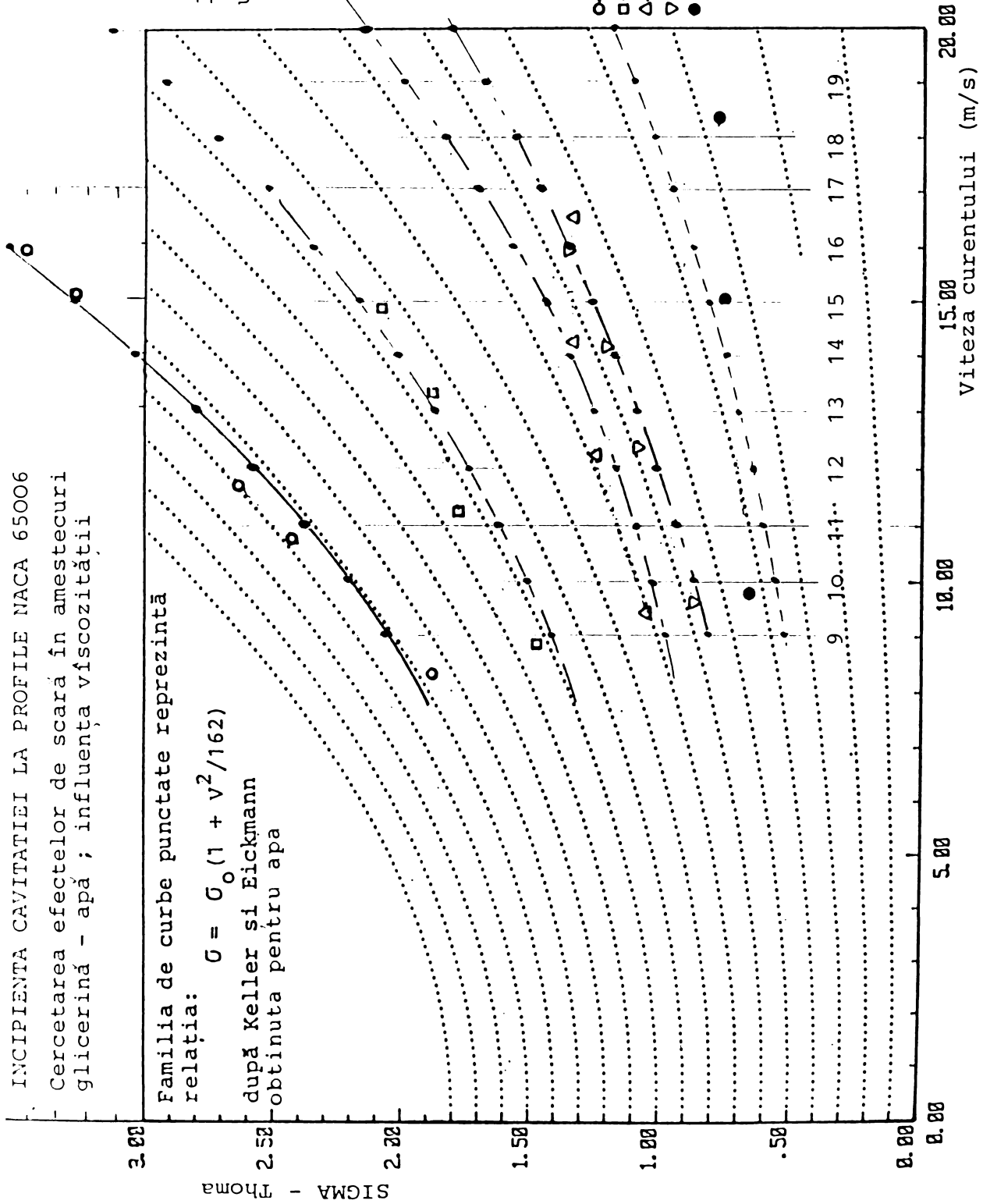


fig. 4.4.3

Tab. 4.4.1 Corelația dintre Sigma Thoma și cifra Reynolds, la profilul NACA 65006 cu lungimea corzii de 30 mm la unghiul de incidență de 3 grade.

vite- za m/s	Sigma Thoma						Cifra Reynolds					
	apă glice- rină	100% apă glice- rină	75% apă glice- rină	50% apă glice- rină	25% apă glice- rină	0% apă glice- rină	apă glice- rină	100% apă glice- rină	75% apă glice- rină	50% apă glice- rină	25% apă glice- rină	0% apă glice- rină
9	1,29	0,91	0,52	0,64	0,52	0,46	270.622	138.199	55.924	14.992	2.484	
10	1,38	0,96	0,55	0,69	0,55	0,48	300.691	153.555	62.138	16.657	2.760	
11	1,48	1,03	0,60	0,74	0,60	0,50	330.761	168.910	68.351	18.323	3.036	
12	1,59	1,12	0,65	0,80	0,65	0,55	360.829	184.266	74.565	19.989	3.312	
13	1,71	1,20	0,70	0,88	0,70	0,59	390.899	199.621	80.779	21.655	3.588	
14	1,86	1,30	0,77	0,96	0,77	0,62	420.968	214.977	86.993	23.320	3.864	
15	2,00	1,40	0,83	1,04	0,83	0,70	451.037	230.332	93.206	24.986	4.140	
16	2,20	1,51	0,91	1,12	0,91	0,76	481.106	245.688	99.420	26.652	4.416	
17	2,42	1,61	1,00	1,22	1,00	0,81	511.176	261.043	105.634	28.318	4.692	
18	2,67	1,75	1,09	1,35	1,09	0,90	541.245	276.399	111.848	29.983	4.968	
19	2,94	1,88	1,16	1,45	1,16	0,98	571.314	291.754	118.061	31.649	5.244	
20	3,20	2,00	1,26	1,58	1,26	1,05	601.383	307.109	124.275	33.315	5.520	

Viscozitățile corespunzătoare amestecurilor glicerină - apă sînt:

Amestecul apă & glicerină %	100	75	50	25	0
	0	25	50	75	100
Viscozitatea cinematică cSt.	0,9977	1,9537	4,828	18,01	108,69

Tab. 4.4.2 Corelația dintre Sigma Thoma și cifra Reynolds, la profilul NACA 65006 cu lungimea corzii de 60 mm la unghiul de incidentă de 3 grade.

vite- za m/s	Sigma Thoma				Cifra Reynolds					
	apă glice- rină	75% apă glice- rină	50% apă glice- rină	25% apă glice- rină	0% apă glice- rină	100% apă glice- rină	75% apă glice- rină	50% apă glice- rină	25% apă glice- rină	0%
9	1,50	0,97	0,81	0,65	0,49	541.245	276.399	111.848	29.983	4.968
10	1,61	1,03	0,85	0,69	0,52	601.383	307.109	124.275	33.315	5.520
11	1,74	1,10	0,92	0,73	0,56	661.521	337.821	136.703	36.646	6.072
12	1,89	1,18	1,00	0,79	0,60	721.660	368.531	149.130	39.978	6.624
13	2,02	1,26	1,08	0,84	0,64	781.798	399.242	161.558	43.369	7.176
14	2,20	1,38	1,16	0,91	0,70	841.936	429.953	173.985	46.641	7.728
15	2,36	1,49	1,26	1,00	0,75	902.075	460.664	186.413	49.972	8.280
16	2,54	1,60	1,36	1,10	0,81	962.213	491.375	198.840	53.304	8.832
17	2,74	1,75	1,48	1,20	0,89	1.022.351	522.086	211.268	56.635	9.384
18	2,97	1,90	1,60	1,30	0,96	1.082.490	552.797	223.695	59.967	9.936
19	3,16	2,07	1,73	1,41	1,05	1.142.628	583.508	236.123	63.298	10.488
20	3,50	2,24	1,88	1,53	1,14	1.202.766	614.219	248.550	66.630	11.040

Viscozitățile corespunzătoare amestecurilor glicerină - apă sînt:

Amestecul apă % glicerină %	100	75	50	25	0
	0	25	50	75	100
Viscozitatea cinematică cSt.	0,9977	1,9537	4,828	18,01	108,69

Tab. 4.4.3 Corelația dintre Sigma Thoma și cifra Reynolds, la profilul NACA 65006 cu lungimea corzii de 120 mm la unghiul de incidentă de 3 grade.

vite- za m/s	Sigma Thoma					Cifra Reynolds				
	apă glice- rină	100% apă glice- rină	75% apă glice- rină	50% apă glice- rină	25% apă glice- rină	0% apă glice- rină	100% apă glice- rină	75% apă glice- rină	50% apă glice- rină	25% apă glice- rină
9	2,05	1,41	0,97	0,80	0,52	1.082.489	552.797	233.695	59.967	9.936
10	2,21	1,51	1,02	0,86	0,56	1.202.766	614.219	248.550	66.630	11.041
11	2,38	1,62	1,09	0,93	0,60	1.323.043	675.641	273.405	73.293	12.145
12	2,57	1,74	1,16	1,00	0,65	1.443.320	737.063	298.260	79.956	13.249
13	2,79	1,87	1,25	1,08	0,70	1.563.596	798.485	323.115	86.619	14.353
14	3,01	2,00	1,34	1,17	0,75	1.683.873	859.907	347.970	93.282	15.457
15	3,23	2,15	1,43	1,26	0,81	1.804.150	921.328	372.825	99.944	16.561
16	3,48	2,33	1,56	1,35	0,88	1.924.426	982.751	397.680	106.607	17.665
17	3,76	2,52	1,70	1,46	0,94	2.044.703	1.044.173	422.535	113.270	18.769
18	-	2,70	1,82	1,55	1,00	-	1.105.596	447.390	119.933	19.873
19	-	2,91	1,98	1,68	1,09	-	1.167.016	472.245	126.596	20.977
20	-	3,11	2,12	1,80	1,18	-	1.228.438	497.100	133.259	22.081

Viscozitățile corespunzătoare amestecurilor glicerina - apă sînt:

Amestecul apă % glicerina %	100 0	75		50		25	
		75	25	50	25	75	100
Viscozitatea cinematica cSt.	0,9977	1,9537	4,828	18,01	108,69		

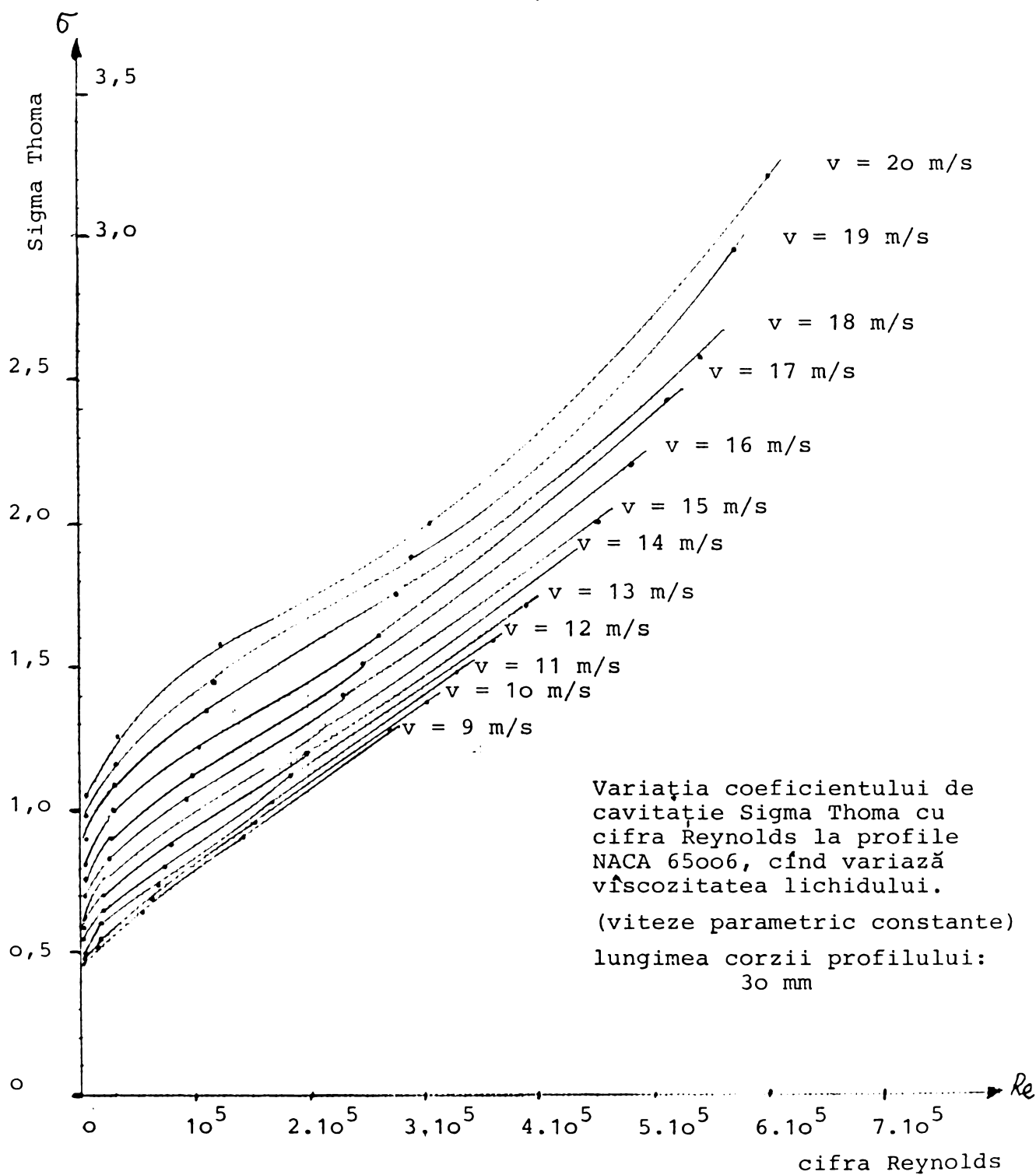
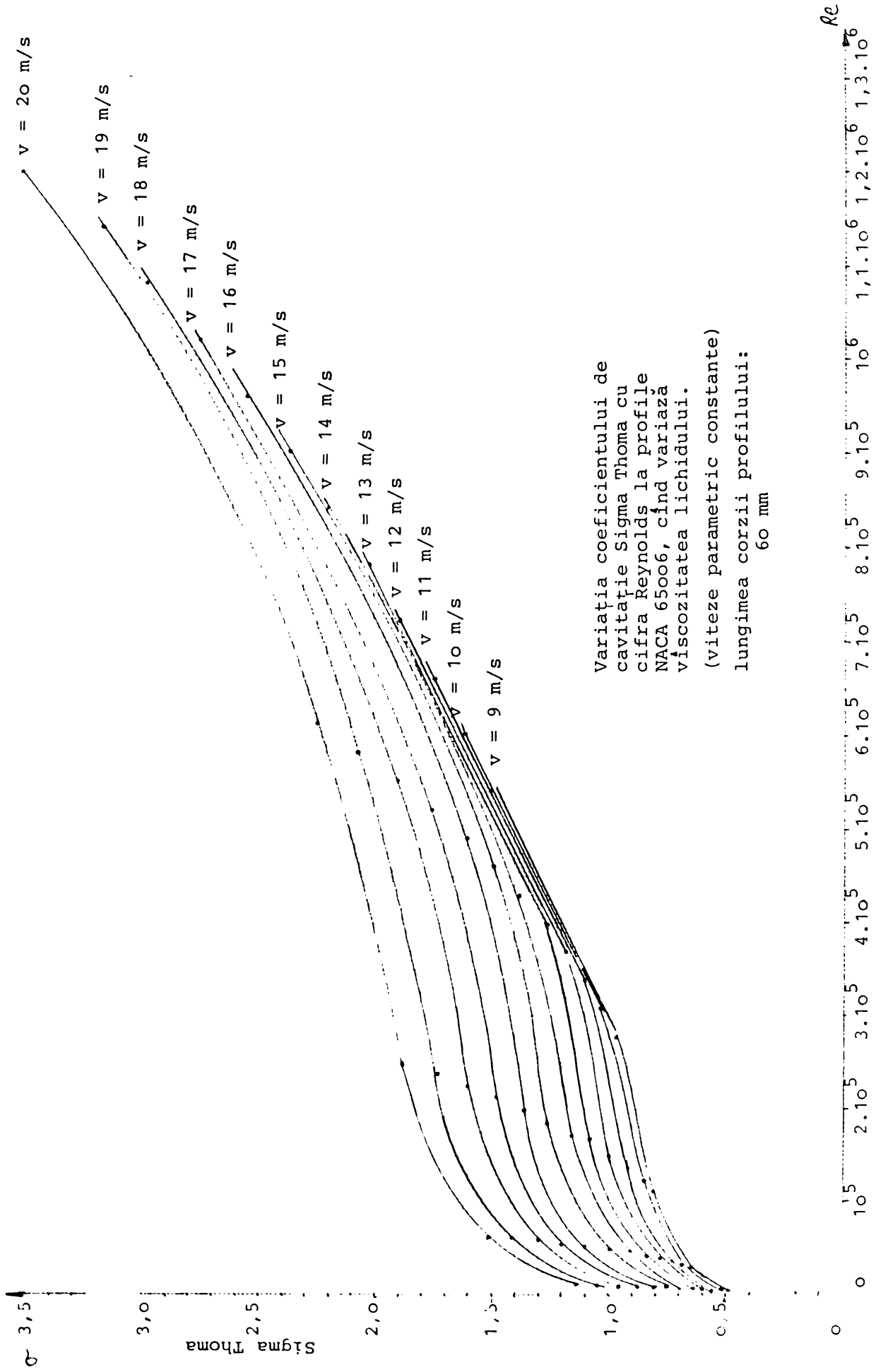


fig. 4.4.4



Variația coeficientului de
cavitatie Sigma Thoma cu
cifra Reynolds la profile
NACA 65006, când variază
viteza lichidului.
(viteze parametric constante)
lungimea cozii profilului:
60 mm

cifra Reynolds

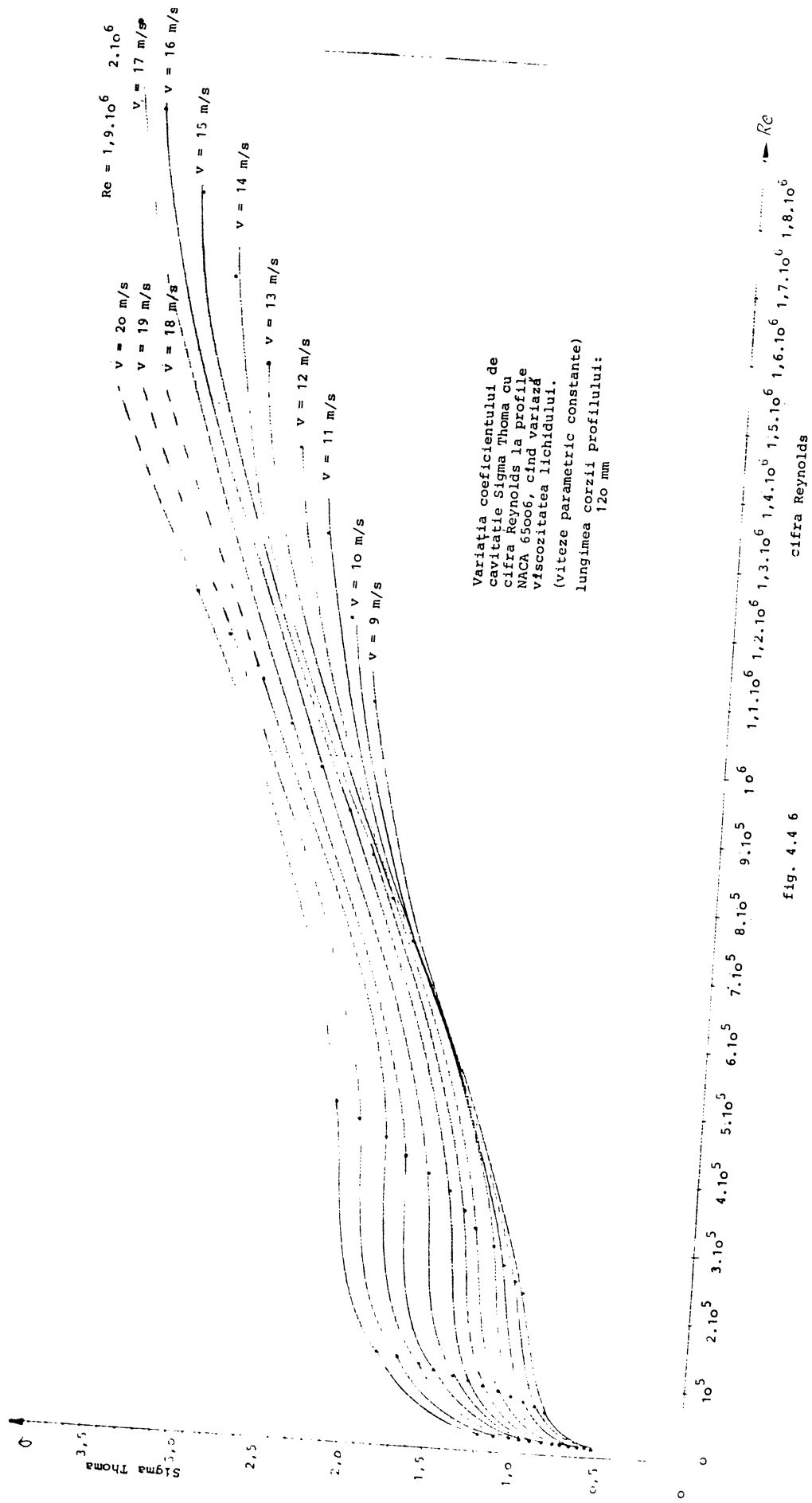
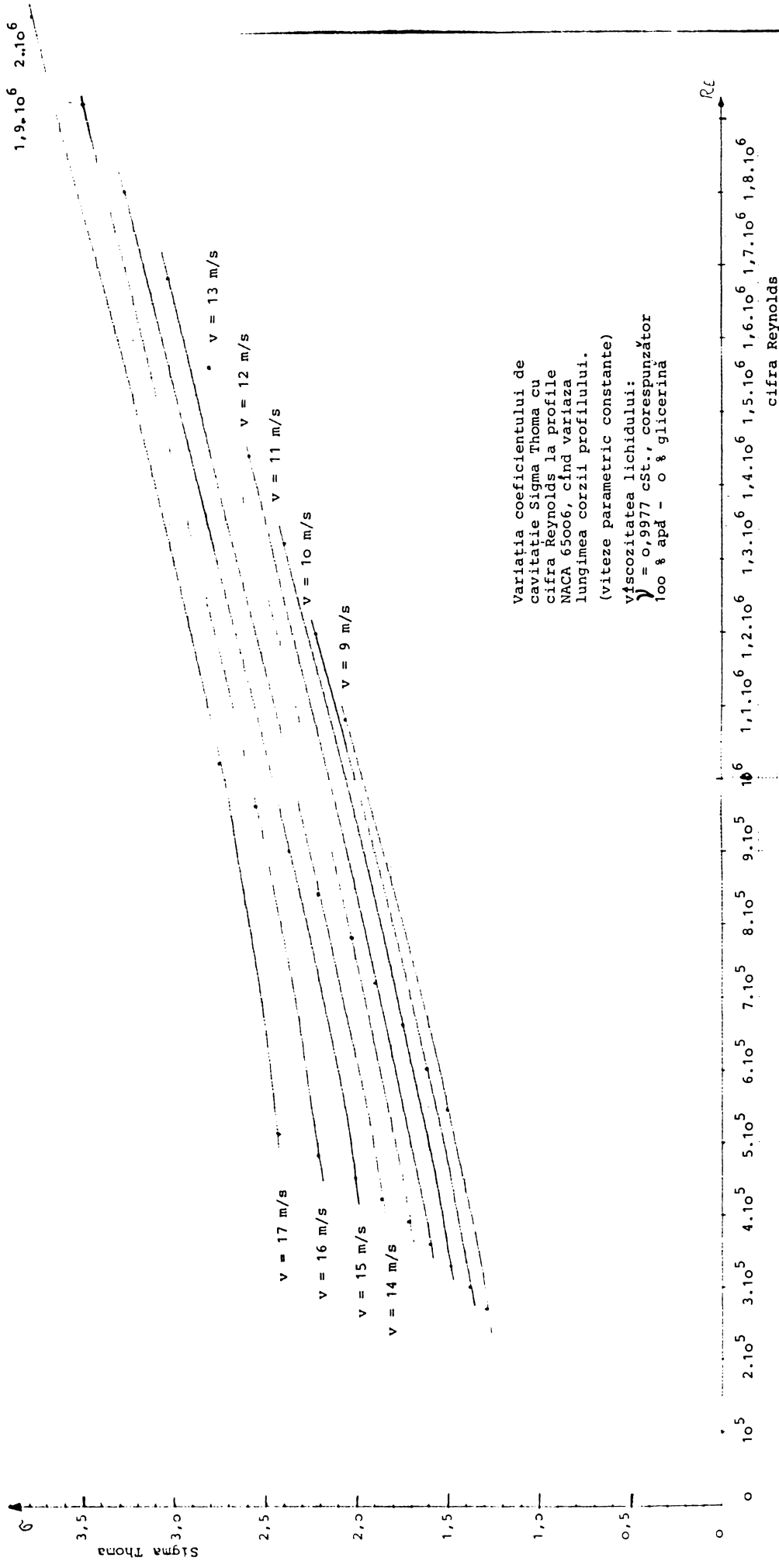


fig. 4.4 6



Variația coeficientului de
 cavitație Sigma Thoma cu
 cifra Reynolds la profile
 NACA 65006, cînd variază
 lungimea corzii profilului.
 (viteze parametric constante)
 viscozitatea lichidului:
 $\nu = 0,9977 \text{ cSt.}$, corespunzător
 100 % apă - 0 % glicerina

fig. 4.4.7

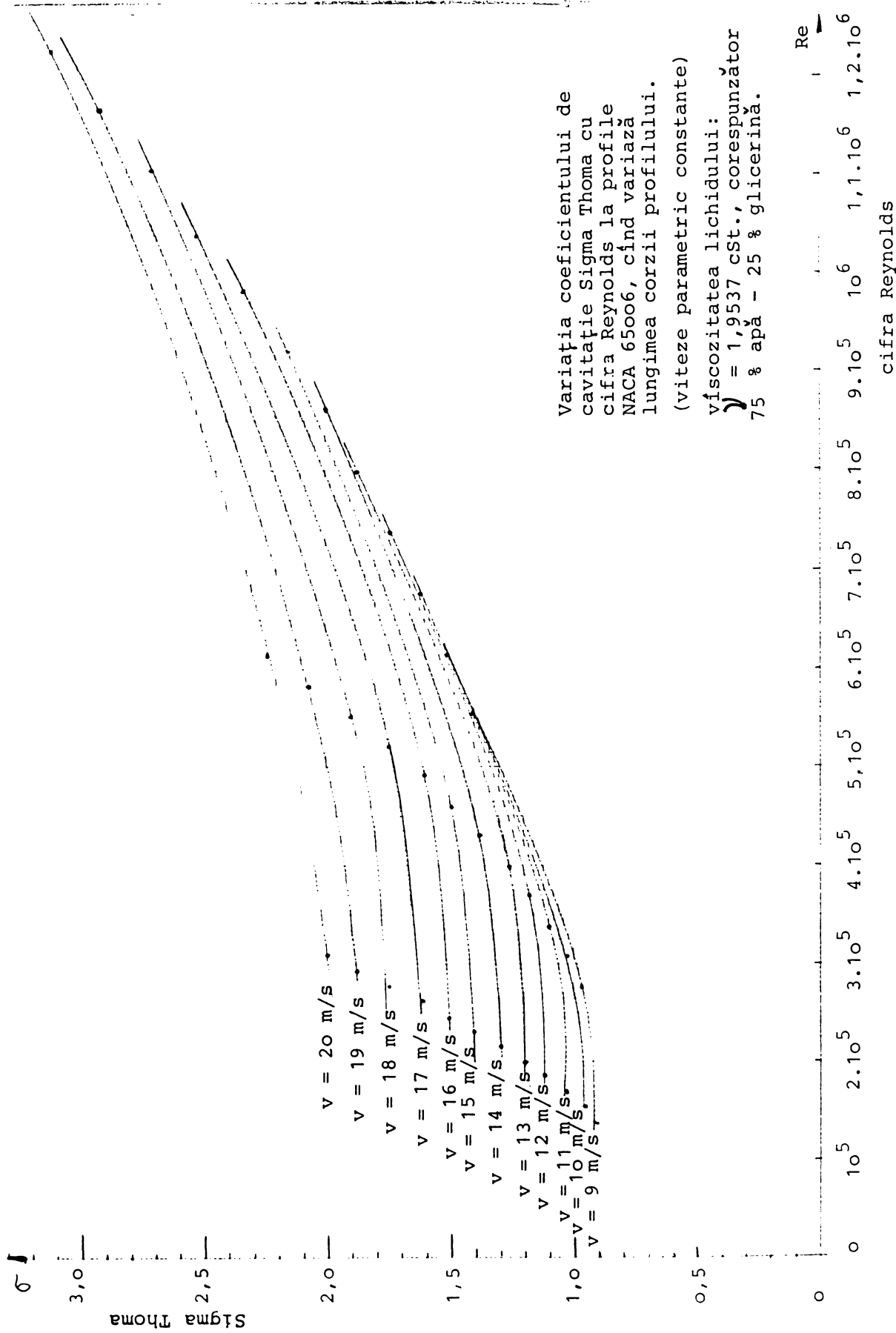


fig. 4.4.8

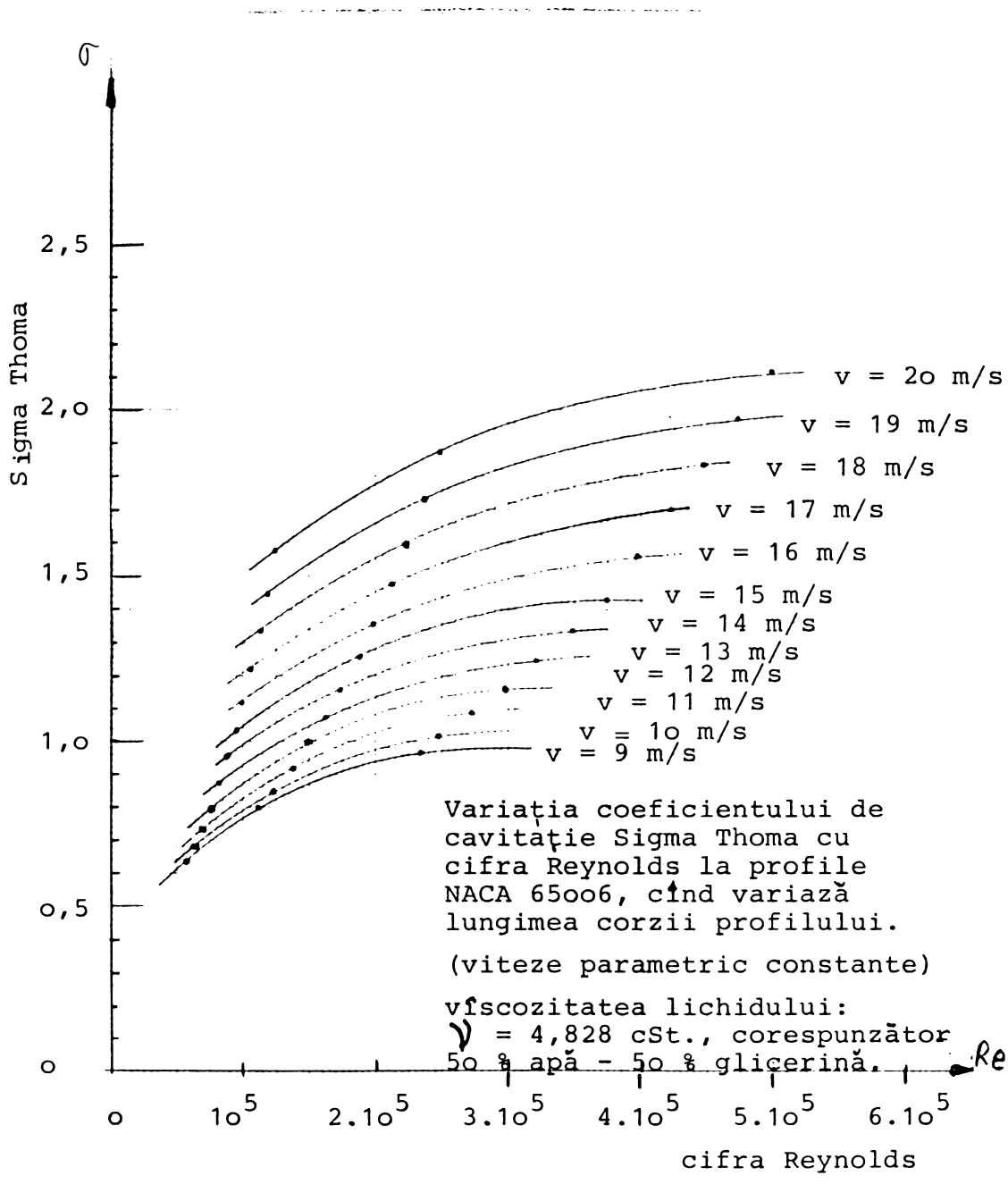


fig. 4.4.9

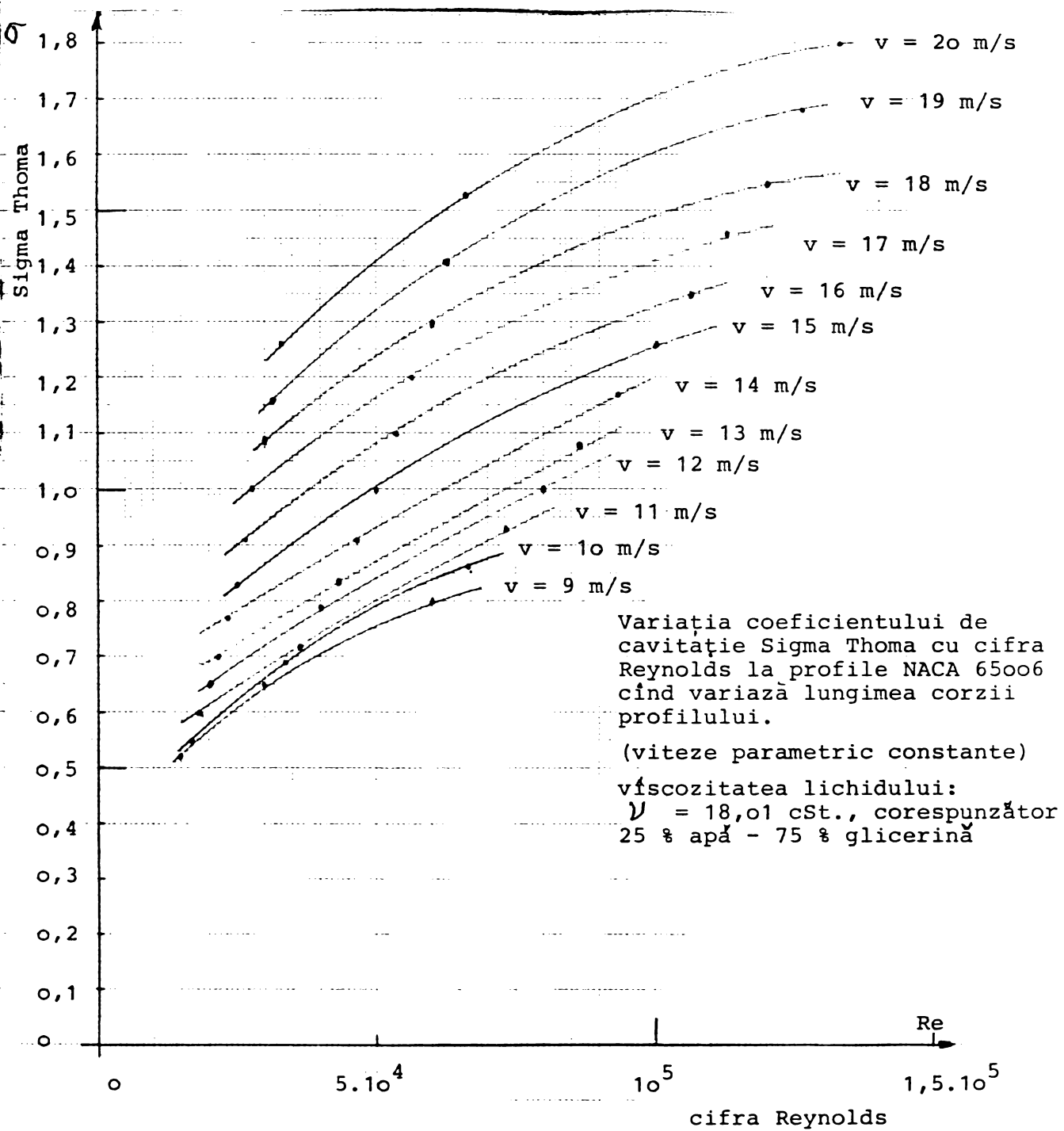


fig. 4.4.10

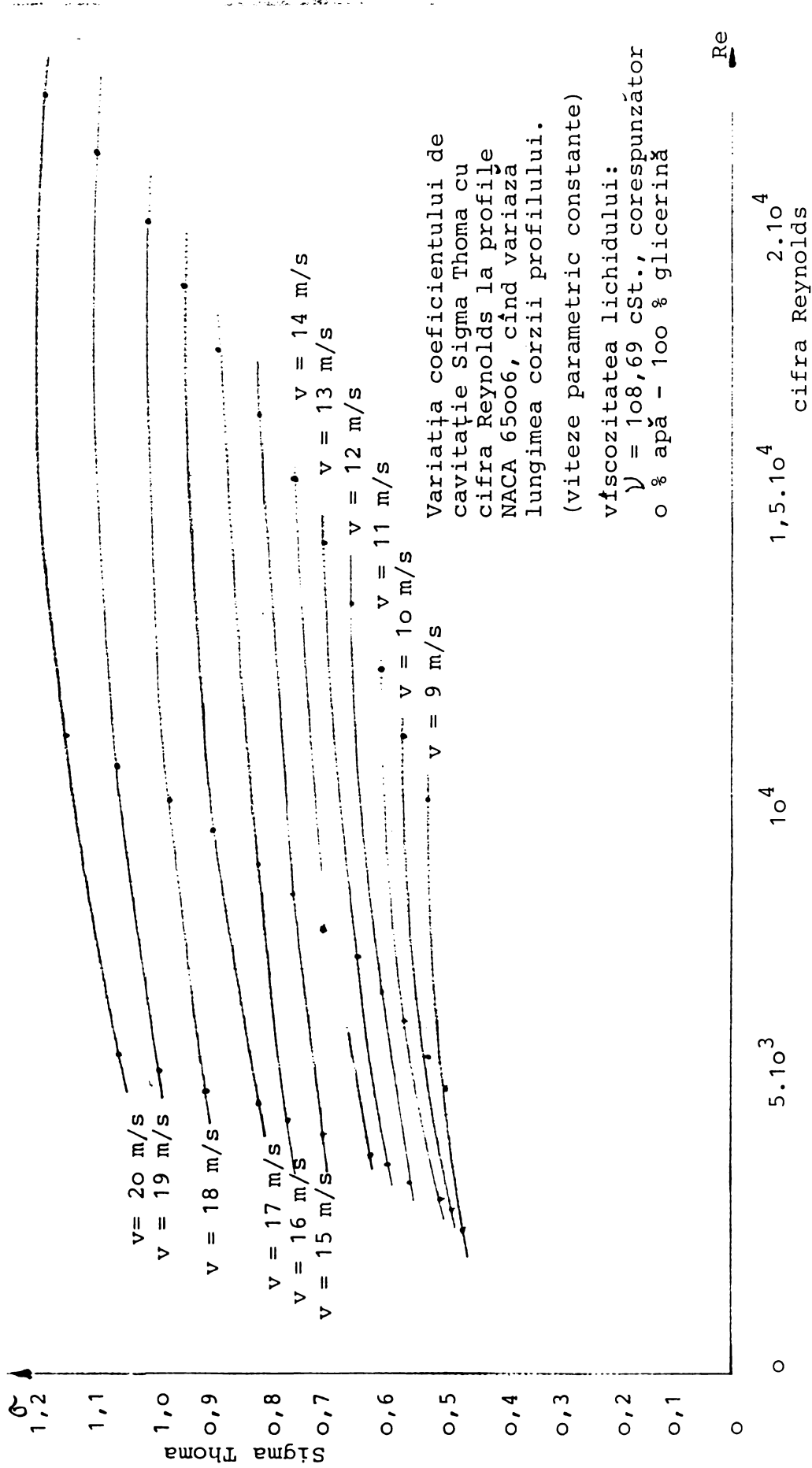
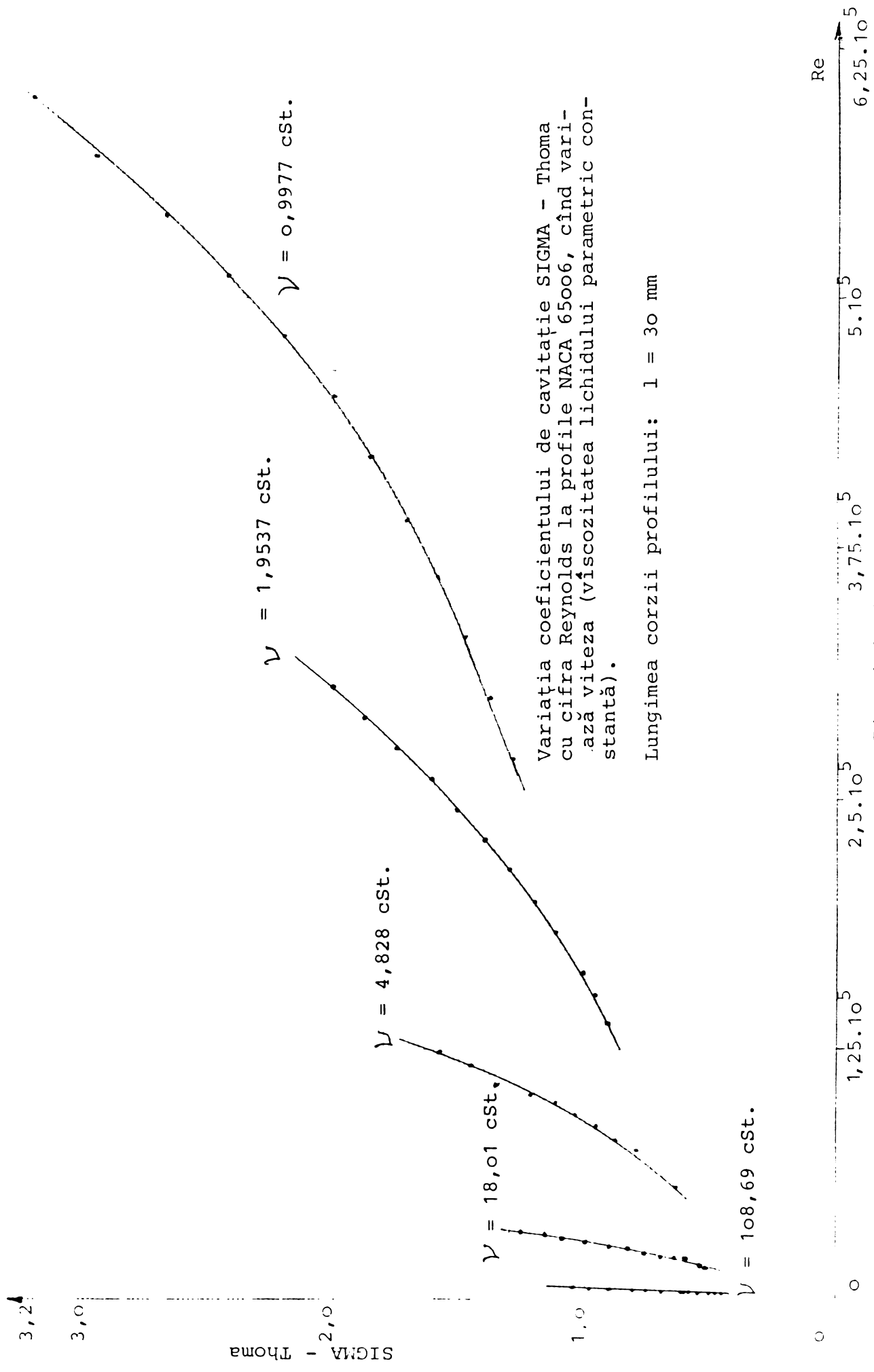


fig. 4.4.11



Variația coeficientului de cavitație SIGMA - Thoma cu cifra Reynolds la profilele NACA 65006, când variază viteza (vâscozitatea lichidului parametric constantă).

Lungimea corzii profilului: $l = 30 \text{ mm}$

Fig. 4.4 12

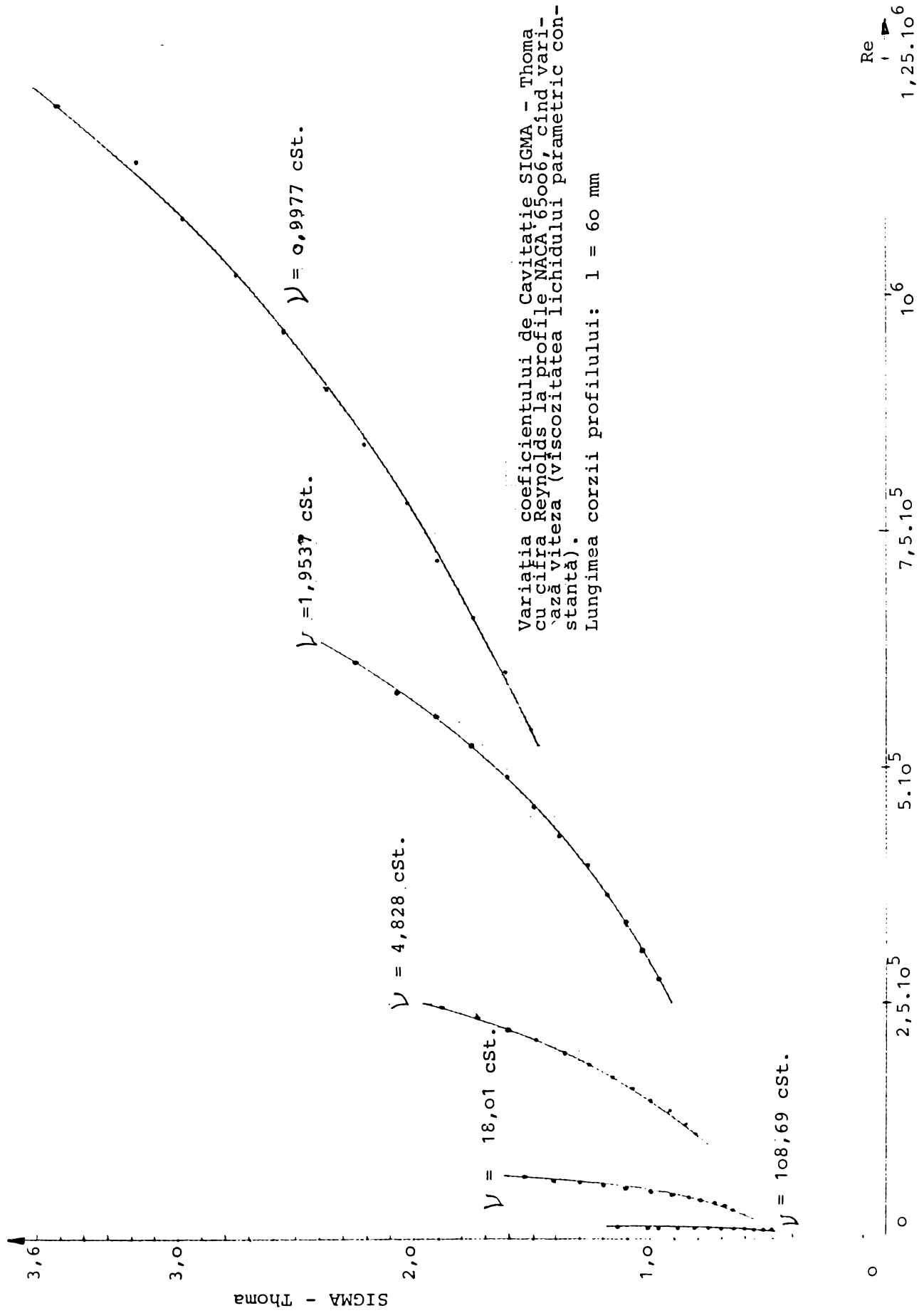


Fig. 4.4.13

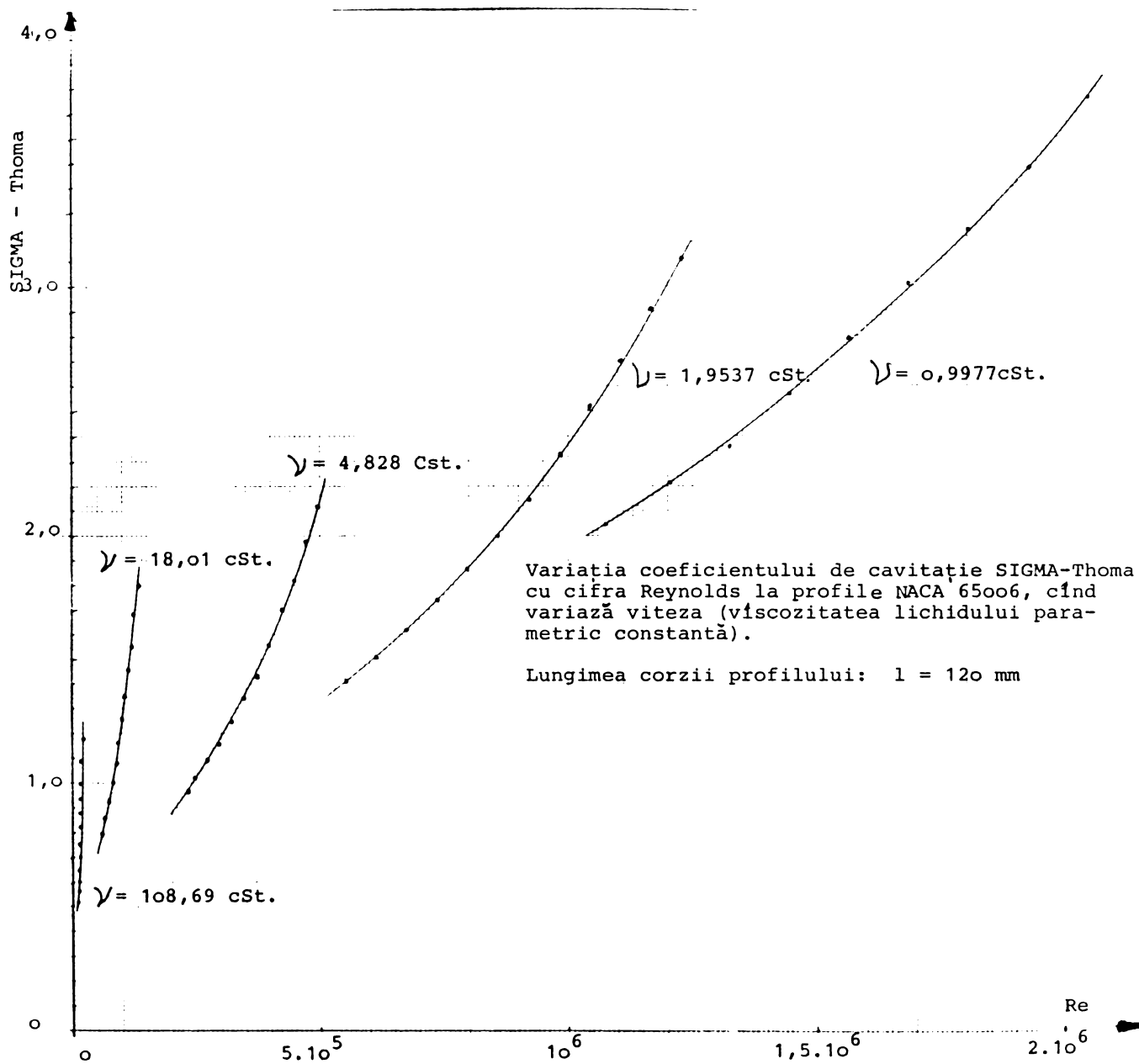


Fig. 4.4.14

4.5 FILMAREA INCIPIENȚEI CAVITAȚIEI LA VÎSCOZITĂȚI DIFERITE ALE LICHIDULUI DE LUCRU

Pentru a obține o imagine asupra desfășurării incipienței cavitaționale la vîscozități diferite ale lichidului, s-a procedat la filmarea ultrarapidă a incipienței respectiv a fazei imediat următoare incipienței. S-a ales pentru aceasta profilul de mărime mijlocie, NACA 65006 cu lungimea corzii de 60 mm.

Pentru filmare s-a utilizat aparatul de filmare ultrarapidă HITACHI HIGH SPEED MOTION ANALYSIS CAMERA, Model 16 HM HIMAC prezentat în Fig. 4.5.1 și Fig. 4.5.2.

Filmele realizate în alb-negru și color, dintre care cele 12 filme color prezentate în Tab. 4.5.1 și Fig. 4.5.3 reprezintă documentarea cinematografică completă a fenomenului în limitele cercetărilor noastre experimentale, au fost realizate în următoarele condiții:

Distanța între planul filmului și subiect:	61	cm
Viteza de filmare:	7000	imagini/sec
Distanța focală a lentilei	35	mm
Blenda	2,8	
Iluminare:	5000	Watt
	220	Volt

realizarea iluminării:

2	lămpi	BOLEX	a	1000	Watt
				220	Volt
2	lămpi	OSRAM	a	1000	Watt
				220	Volt
1	lampă	JETLUX		1000	Watt
				200	Volt

lămpile au fost amplasate în jurul subiectului, profilul din camera de lucru, aproximativ în vîrfurile unui pentagon, distanța între fiecare lampă și subiect fiind de aproximativ 30 cm, iar unghiul format între axa de iluminare a fiecărei lămpi (axa lampă-subiect) și axa principală lentilă - subiect a fost de 45 grade.

Intensitatea de iluminare, măsurată pe subiect, a fost de 140.000 Lux, stabilită prin încercări pornind de la 80.000 Lux.

Pentru filmare s-a utilizat film KODAK EKTACHROME de tip Video News Film High Speed SO - 251, Estar Base, și anume:

SO - 251 - 031 - 3103; 16 2R 7620(3000) EI; SP 430; CAT 158 3368

Viteza de filmare de 7000 imagini pe secundă corespunde aproximativ cu frecvența optimă dată de relația / 76 / :

$$F_{\text{opt.}} = \frac{M V \cos \theta}{K d} \quad (4.5.1)$$

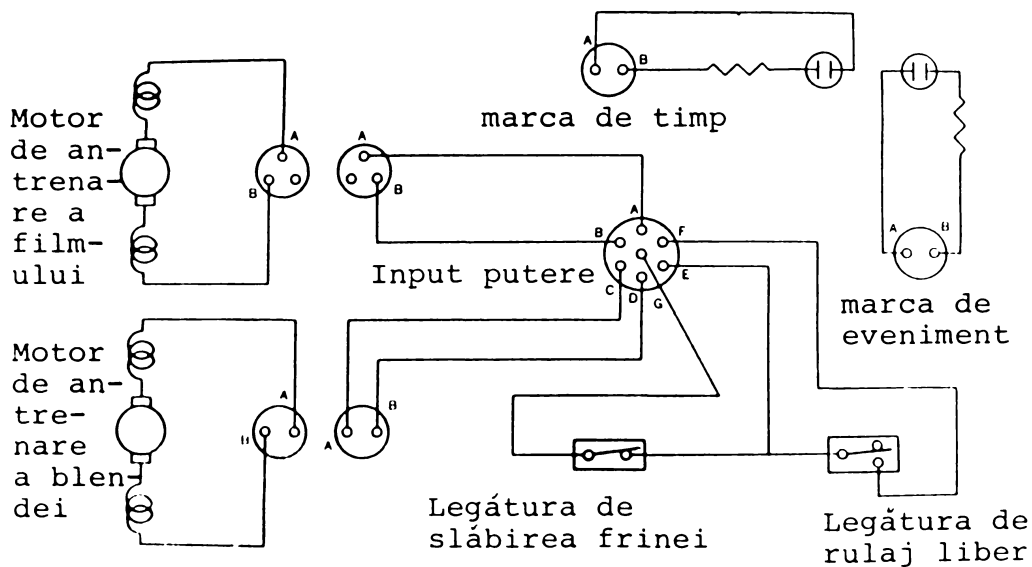
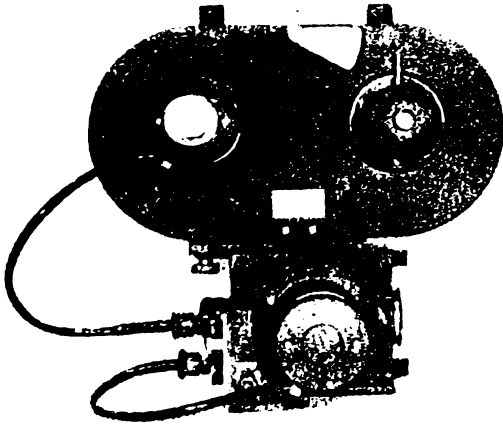
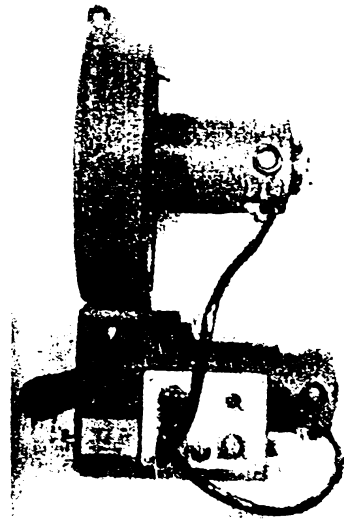
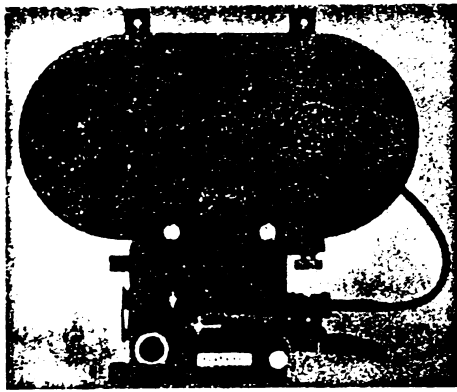


Fig. 4.5.1 Vederea de ansamblu a aparatului de filmare ultrarapidă și schema legăturilor electrice. Camera de filmare poartă atașat magazia de film și motorul de deschidere a blendei.
(Hitachi High Speed Motion Analysis Camera, Model 16 HM HIMAC)

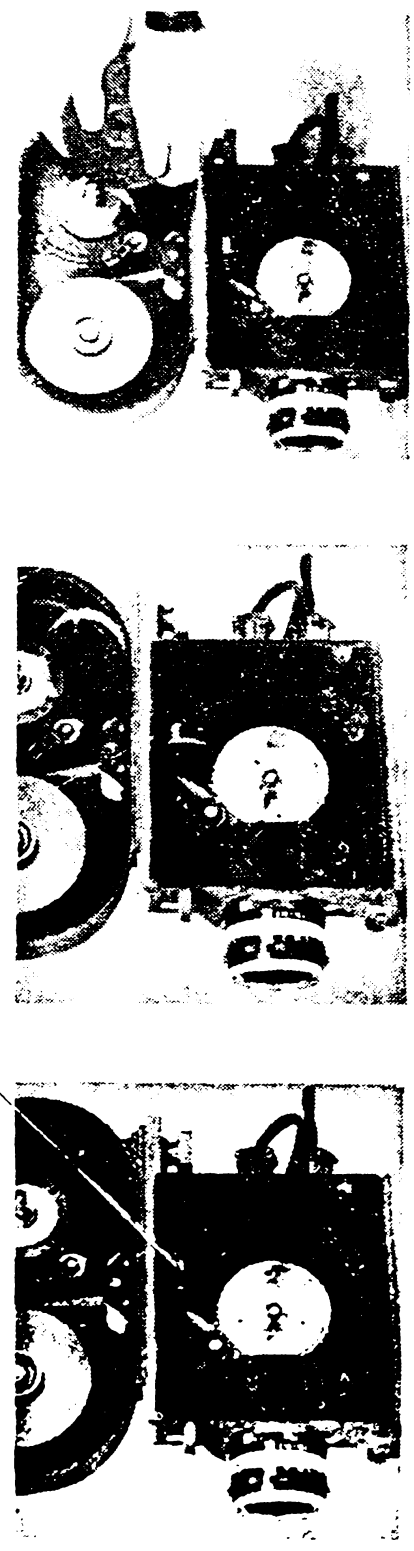
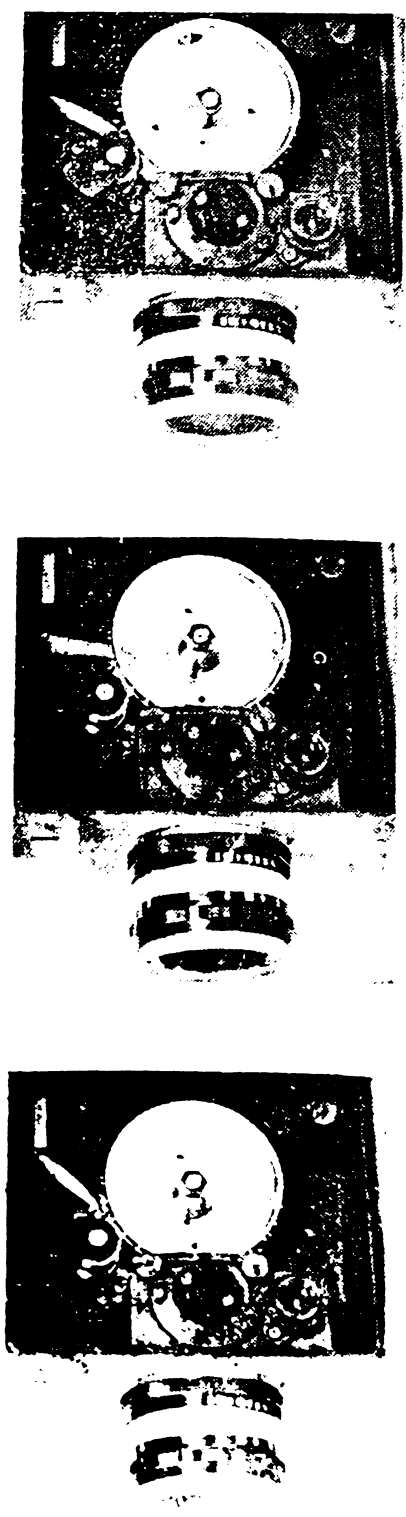


Fig. 4.5.2 Vedere asupra camerei de filmare si a magaziei de film, ambele deschise

Tab 4.5.1

Incercări de incipientă cavitațională în amestecuri glicerină - apă, filmate cu aparatura de filmare pentru analiza mișcărilor de viteză mare, "Hitachi High Speed Motion Analysis Camera"

Denumirea codificată a încercării (file)	Raportul de amestec glicerină % apă %	Unghiul de incidență grade	Viteza lichidului m/s	Presiunea în camera de lucru bar	Viscozitatea lichidului cSt
CB 1112	25 % gl. 75 % apă	1	16,587	0,463	1,95
CB 2112	25 % gl. 75 % apă	2	14,866	0,732	1,95
CB 3112	25 % gl. 75 % apă	3	13,100	1,000	1,95
CB 1213	50 % gl. 50 % apă	1	15,926	0,399	4,75
CB 2213	50 % gl. 50 % apă	2	14,412	0,701	4,75
CB 3212	50 % gl. 50 % apă	3	12,594	0,884	4,75
CB 1302	75 % gl. 25 % apă	1	11,485	0,202	18,25
CB 2301	75 % gl. 25 % apă	2	11,058	0,262	18,25
CB 3315	75 % gl. 25 % apă	3	12,600	0,876	18,25
CB 1411	100 % gl. 0 % apă	1	12,627	0,393	110,00
CB 2420	100 % gl. 0 % apă	2	13,000	1,000	110,00
CB 3405	100 % gl. 0 % apă	3	8,000	0,500	110,00

unde:

- M - scara de reprezentare = $b/B = h/H$
- B - lățimea imaginii reale a subiectului în mm
- H - înălțimea imaginii reale a subiectului în mm
- b - lățimea negativului de pe film în mm
- h - înălțimea negativului de pe film în mm
- V - viteza obiectului în mm/sec
- θ - unghiul format între planul filmului și axa de mișcare
- K - constanta de închidere a aparatului = 5
- d - cercul de dispersie al filmului, sau neclaritatea admisibilă pe negativ ca rezultat al mișcării subiectului = 0,02-0,05 mm

Se observă că în funcție de viteza curentului frecvența optimă se modifică. În cadrul filmărilor făcute pentru incipienta cavității la diferite vâscozități, s-a păstrat frecvența convenabilă de 7000 imagini/secundă la toate vitezele.

Factorul de lungire al timpului la privirea filmului, se obține raportînd numărul de imagini pe secundă cu care s-a realizat filmarea la numărul de imagini pe secundă cu care se face proiectarea:

$$T_{\text{lungire timp}} = \frac{F_{\text{filmare}}}{F_{\text{proiectare}}} \quad (4.5.2)$$

cu:

- F_{filmare} - frecvența de filmare, imagini/sec
- $F_{\text{proiectare}}$ - frecvența de proiectare, imagini /sec

Dacă la proiectare se utilizează viteza normală de proiectare de 24 imagini /secundă, se obține pentru filmele realizate factorul de lungire al timpului de

$$T_{\text{lungire timp}} = \frac{7.000}{24} = 291, (6)$$

deci la privirea filmelor, evenimentele se desfășoară într-un timp de aproape 300 ori mai lung decît în realitate.

Cu aparatura și în condițiile descrise s-a realizat pentru fiecare din stările codificate (vezi cap. 4.2) cîte un film de cca. 36 metri lungime. Secvențe din fiecare film sînt prezentate în fig. 4.5.3. În afară de aceasta s-a tăiat și asamblat un film cu cîte aproximativ 4,5 metri din fiecare din cele 12 filme color constituind documentația cinematografică de bază a incipienței cavitaționale la vîscozități diferite. S-au ales secvențe caracteristice și s-a realizat o lungime totală de aproximativ 50 metri film, pentru a obține un timp de vizionare suficient pentru formarea unei imagini corecte asupra desfășurării fenomenului, dar nu inutil de lung.

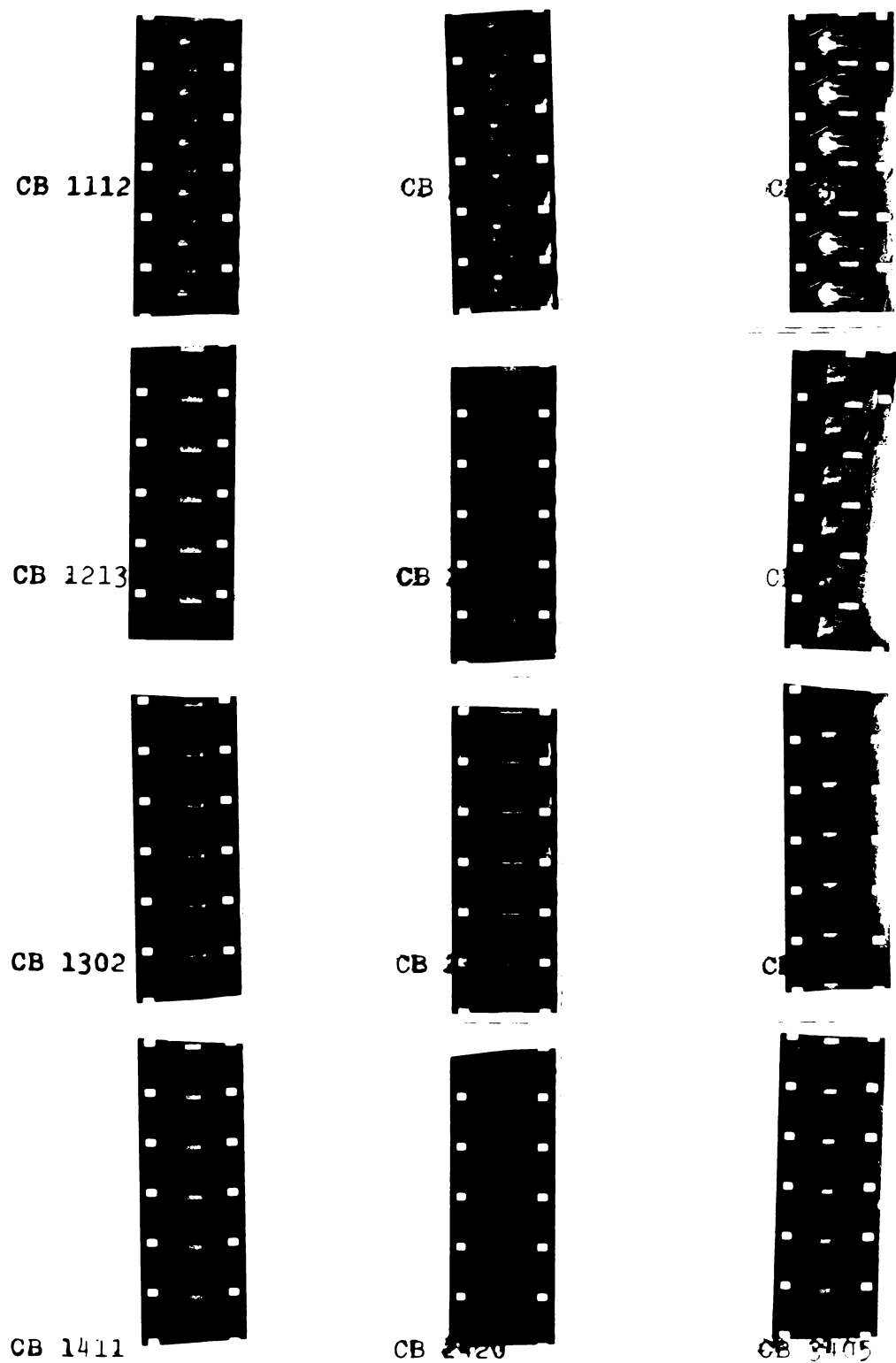


Fig. 4.5.3 Secvențe de filmare ultrarapidă a incipientei cavitaționale în amestecuri glicerină - apă de concentrații diferite. (Codificarea corespunde cu cea prezentată în cap. 4.2 și în Tab. 4.5.1)

Spre deosebire de declanșarea automată a măsurătorilor de incipiență a cavitației prin raza laser-trigger descrisă anterior, declanșarea filmării s-a făcut manual. În decurs de fracțiuni de secundă s-au declanșat consecutiv: 1 - iluminatul subiectului, 2 - vana sferică cu comandă pneumatică care închide respectiv deschide calea între rezervorul de alimentare și cel de recepție, 3 - aparatul de filmare ultrarapidă.

Avînd în vedere că întregul proces de filmare a unei situații la o vîscozitate dată durează cu puțin mai mult decît 1 (una) secundă, nu în toate cazurile s-a putut filma exact incipiența fenomenului, în unele cazuri cavitația fiind deja dezvoltată în momentul filmării. Astfel nici corespondența stării filmate cu viteza indicată în Tab. 4.5.1 nu este riguroasă. Vitezele indicate în acest tabel corespund riguros incipienței cavitaționale și au fost determinate prin măsurători automate paralele, nu simultane, conduse pe calculator și declanșate de raza laser-trigger.

S-a încercat o combinație a măsurătorilor conduse de laserul - trigger cu filmarea ultrarapidă. Încercarea nu a avut succes deoarece iluminatul puternic necesar pentru filmare a perturbat total funcționarea corectă a triggerului, care pur și simplu nu a mai declanșat măsurătoarea.

Un alt neajuns al documentației cinematografice este calitatea inegală a celor 12 filme menționate. Unele sînt de o calitate excepțională, altele la limita sau sub limita de calitate, printr-o neclaritate mai mare decît admisibilă și o iluminare mai puțin bună.

Neclaritatea provine dintr-o prea mică profunzime de claritate, avînd în vedere că pentru filmare a fost interesantă întreaga zonă cuprinsă între peretele superior al camerei de lucru și extradusul profilului și nu doar un singur plan. O altă cauză rezidă într-o fixare nu suficient de rigidă a aparatului de filmare.

În ciuda deficiențelor semnalate, filmele realizate documentează elocvent efectul de întîrziere al incipienței cavitaționale cu creșterea vîscozității, și desfășurarea fenomenului tot mai încetinită.

S-au filmat secvențe cu cavitație atașată la bordul de atac, altele cu cavitație atașată la bordul de fugă, și deasemeni bule călătoare. În puține cazuri prin cîmpul de filmare au trecut și bule provenind din amonte de camera de lucru și reprezentînd pseudocavitație. Deschiderea și alungirea bulelor de acest fel care ajung la bordul de atac al profilului este deosebit de spectaculoasă. O privire atentă a filmelor arată și bule pseudocavitaționale care trec deasupra profilului prin cîmpul de filmare.

În sfîrșit, se poate observa deosebit de bine și fenomenul de rebound la bulele ce se desprind de pe bordul de fugă și pleacă înspre aval, adică fenomenul de descreștere a bulelor urmată de o nouă creștere, repetat ciclic cu intensitate descreșcătoare pînă la dispariția bulei. Fenomenul a fost descris teoretic și observat experimental de mai mulți autori între care M. O. Popoviciu și I. Anton, /77,78,79,80 / la bule generate prin scînteii electrice.

5. INSTALAȚIA EXPERIMENTALĂ PENTRU CERCETAREA EROZIUNII CAVITAȚIONALE ÎN MEDII DIFERITE DE APĂ

Pentru a studia modul în care influențează natura lichidului procesul de eroziune cavitațională, s-au efectuat cercetări experimentale cu ajutorul unei instalații magnetostrictive. Acest tip de instalație a fost utilizat pentru prima dată de Gaines / 81 / în 1932. Ulterior metoda a devenit cea mai răspândită pentru determinarea rezistenței materialelor la eroziunea cavitațională, deși prezintă o serie de deficiențe dintre care cea mai importantă este aceea a naturii cavitației, care în instalația magnetostrictivă este vibratorie și prin aceasta diferită de cavitația din cele mai multe cazuri practice. Avantajele metodei constau într-o intensitate mare a atacului cavitațional, reducerea considerabilă în consecință a timpului de încercare și consumul energetic redus în comparație cu toate celelalte metode.

Metoda de producere magnetostrictivă a cavitației a fost standardizată în Statele Unite ale Americii, primul standard datînd din 1958 / 82 /. În urma unei acțiuni inițiate de Prof. F.G. Hammitt, care a constatat în încercarea simultană a unor probe din aceeași bară de metal în mai multe laboratoare din Statele Unite ale Americii și Europa, așa numitul "Round Robin Test", în anii '70 s-a trecut în Statele Unite la o nouă și mai amplă standardizare a condițiilor de producere a cavitației în instalații vibratorii / 83, 84 /. Caracteristic noilor condiții standard, este mai ales mărirea frecvenței de vibrație a probelor de la 8 la 20 Kcicli, devenită posibilă prin utilizarea instalațiilor de vibrație piezoelectrice în locul celor magnetostrictive.

Un avantaj specific instalațiilor de producere a eroziunii cavitaționale pe cale vibratorie este faptul că permit utilizarea unei cantități reduse de lichid, ceea ce este de primă importanță cînd se folosesc alte lichide decît apa din rețeaua de alimentare cu apă.

Analizînd condițiile în care are loc cavitația vibratorie, H. H. Piltz / 4 / arată că implozia bulelor cavitaționale are loc în condiții care corespund în linii mari celor admise în cadrul analizei făcute de Lord Rayleigh / 85 /, dar că există totuși unele diferențe care ar putea influența presiunea de impact.

În figura 5.1 este prezentat după H.H. Piltz aspectul mișcării lichidului și a unor bule cavitaționale în vasul în care are loc mișcarea vibratorie. Desenul rezumă observații fotografice ample ale tuturor fazelor de mișcare din vas. Observația arată că nu toate bulele cavitaționale care se formează în timpul cursei ascendente a probei se surpă în timpul cursei descendente, unele intră într-o mișcare care descrie o pîlnie întoarsă și răsfîrîntă, avînd în final o mișcare ascendentă pe marginea vasului, altele ocupă poziții quasi stabile pe o suprafață de forma unui disc inelar în jurul probei.

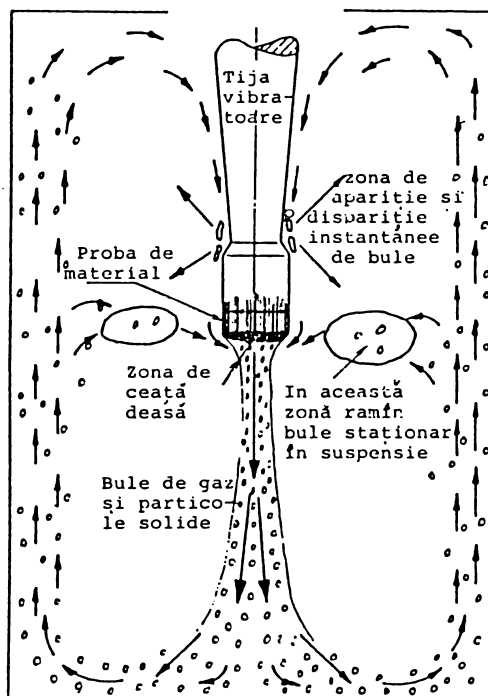
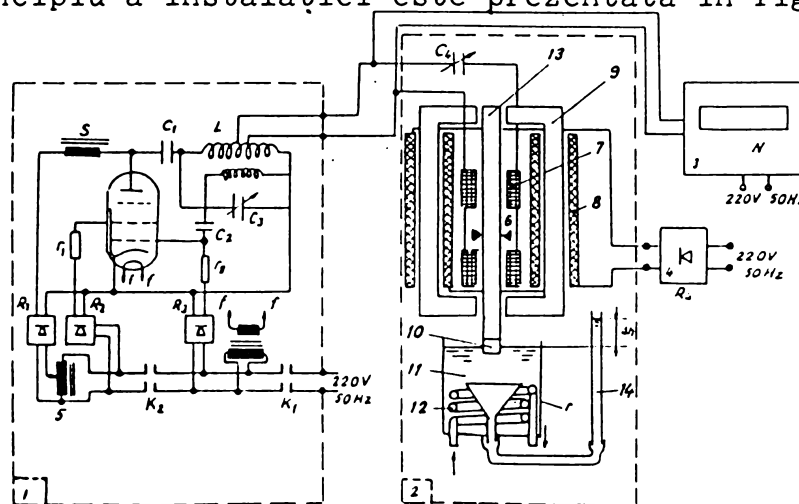


Fig. 5.1 Mișcarea în vasul cu lichid, la cavitația vibratorie, după H.H. Piltz.

5.1 INSTALAȚIA MAGNETOSTRICTIVĂ A LABORATORULUI DE MAȘINI HIDRAULICE TIMIȘOARA

În cadrul laboratorului de mașini hidraulice Timișoara, o instalație magnetostrictivă a fost proiectată și executată de I. Potencz, M. Hrelescu / 86/ și alții. Instalația corespunde primului standard USA și utilizează efectul de alungire și contracție a barelor de nichel în cimpuri magnetice de înaltă frecvență /45/.

Schema de principiu a instalației este prezentată în fig.5.1.1



1 - Generatorul de putere. 2 - Vibratorul magnetostrictiv. 3 - Numărător electronic. 4 - Redresor. 5 - Autotransformator. 6 - Suportul tijei de nichel. 7 - Bobine de curent alternativ. 8 - Bobina de curent continuu. 9 - Jug magnetic. 10 - Proba de material. 11 - Vas de lucru. 12 - Spirala de răcire. 13 - Tija de nichel. 14 - Tub piezometric. L - C₃ Circuit oscilant

Fig. 5.1.1 Instalația de magnetostricțiune a laboratorului de mașini hidraulice Timișoara

Instalația constă dintr-un generator de înaltă frecvență, cu puterea maximă de ieșire de 0,5 Kw a curentului alternativ produs, cu frecvența de ieșire reglabilă între 6.000 Hz și 10.000 Hz și un vibrator magnetostrictiv compus dintr-un tub de nichel fixat pe un suport în câmpul magnetic pulsator.

Câmpul magnetic este creat de curentul alternativ provenind din generatorul de înaltă frecvență, și de curentul continuu care circulă în două bobine ce înconjoară jugul magnetic în interiorul căruia se găsește tubul de nichel. Curentul pentru alimentarea bobinelor de curent continuu provine de la un redresor cu tensiune reglabilă.

Sub acțiunea câmpului magnetic tija de nichel se alungește și se contractă periodic, cu frecvența câmpului magnetic. Pentru a obține o amplitudine mare a contracțiilor, peste câmpul magnetic alternativ se suprapune un câmp continuu, obținându-se un câmp rezultat de amplitudine dublă la aceeași frecvență.

Frecvența proprie de oscilație a tubului de nichel depinde de lungimea sa l și de viteza sunetului în nichel c_{Ni} .

Astfel :

$$f_{\text{ propr. tija}} = \frac{c_{Ni}}{2 \cdot l} \quad (5.1.1)$$

Viteza sunetului în nichel este : $c_{Ni} = 4785 \text{ m/s}$.

Asupra frecvenței proprii a tije de nichel influențează în mare măsură și greutatea probei și a capului de fixare a acesteia, dispus la capătul inferior al tije.

Sistemul de fixare al tubului trebuie amplasat în nodul de oscilație a sistemului "tub de nichel + cap de fixare a probei + probă".

Pentru obținerea unor amplitudini de oscilație suficient de mari în vederea producerii eroziunii cavitaționale, este necesară acordarea frecvenței câmpului alternativ, deci a generatorului, la frecvența de rezonanță a ansamblului "tub de nichel + cap de fixare a probei + probă". Aceasta implică automat funcționarea permanentă a ansamblului la frecvența de rezonanță a sistemului, ceea ce duce la fenomene de oboseală a tije de nichel și necesitatea schimbării ei frecvente.

Bobinele de curent alternativ prezintă inductivități mari care trebuie compensate printr-o capacitate, ceea ce duce la formarea unui alt circuit acordat la aceeași frecvență.

Mentținerea constantă a amplitudinii se obține prin reglarea fină a tensiunii de ieșire a generatorului cu ajutorul unui autotransformator care intervine asupra intensității curentului alternativ și implicit asupra intensității câmpului magnetic pulsatoriu.

Fixarea probei pe tubul de nichel se face prin intermediul unui cap de fixare fig.5.1.2

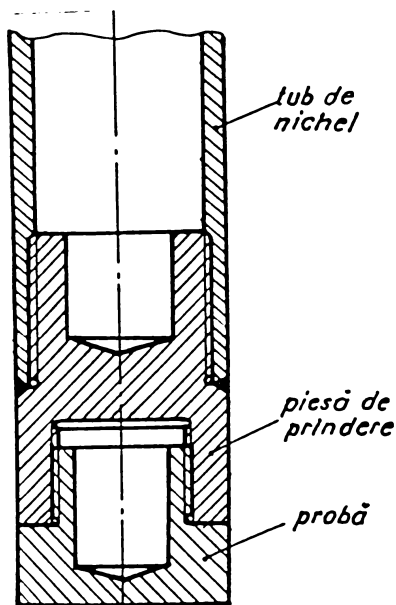


fig. 5.1.2

Capul de fixare al probei de material în tija de nichel

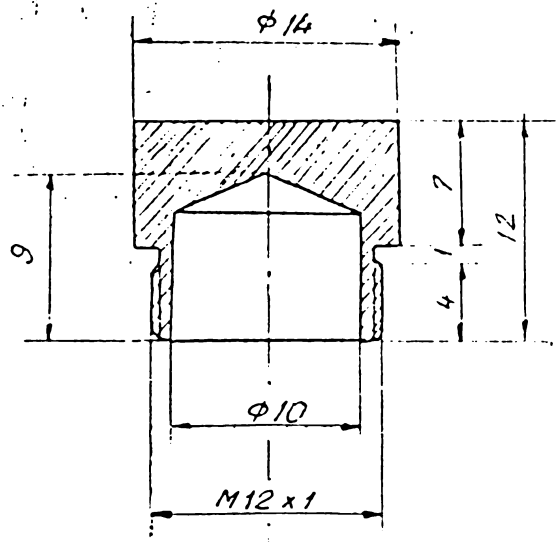


fig. 5.1.3

Proba de material fixată la capătul tijei de nichel

Capul de fixare este înșurubat în tub și fixat prin lipituri tari. Rolul său este de a permite o montare și demontare rapidă a probei cu asigurarea unei rigidități suficiente, fără a se ajunge la deteriorarea filetelui din tubul de nichel, tăiat în peretele foarte subțire a acestui tub.

Datorită cîmpului magnetic pulsatoriu intens, în tubul de nichel se induc curenți Foucault, ceea ce duce la o puternică încălzire a tubului. Aceasta trebuie compensată cu un sistem de răcire adecvat, pentru a nu se ajunge la transmiterea căldurii la probă și efectuarea în consecință a încercărilor în condiții de temperatură incerte, și pentru a nu se ajunge la pierderea proprietăților magnetostrictive ale tubului de nichel, care are loc la 400 grade Celsius și care conduce la reducerea tot mai pronunțată, pînă la încetarea completă, a mișcărilor vibratorii.

Răcirea se face prin proiectarea unor jeturi de apă pe peretele interior al tubului, înspre capătul de sus al acestuia. Apa se scurge pe suprafața interioară a tubului și este absorbită la capătul de jos al acestuia de un ejector cu jet de apă.

Tubul de nichel utilizat la instalația de la Laboratorul de mașini hidraulice din Timișoara are lungimea de 305 mm, diametrul exterior de 14 mm și grosimea peretelui de 1mm.

Proba de lucru este prezentată în fig. 5.1.3. Suprafața frontală a probei, expusă atacului cavitațional, se prelucrează mecanic prin rectificare. Apoi probele se șlefuiesc cu hîrtie de finețe crescătoare, pentru a fi lustruite în final cu o suspensie de aluminiu.

În acest fel s-a obținut o suprafață cu luciu de oglindă, avînd rugozității de cca. 0,1 microni, similară cu cea a probelor metalografice.

Adîncimea de scufundare a probei (imersarea) în lichidul de lucru s-a ales de 4 mm, ceea ce corespunde standardului după care se fac încercările.

Alegerea și măsurarea frecvenței și mai ales a amplitudinii vibrațiilor au constituit probleme dificile. Dacă pentru încercări se alege o amplitudine prea mică, eroziunea cavitațională nu apare la probă. Dacă în schimb amplitudinea este prea mare, tija de nichel suferă o deteriorare rapidă. În literatură /82,,87/ se indică pentru amplitudine valori optime între 75 și 90 microni.

Măsurarea amplitudinii la instalația laboratorului de mașini hidraulice Timișoara se face culegând presiunea sonică sub proba în vibrație, într-o pîlnie și conducînd-o spre un piezometru. Denivelarea piezometrului este o măsură a amplitudinii vibrațiilor. Pentru utilizarea acestui sistem în vederea măsurătorilor de amplitudine a fost necesară o etalonare care s-a făcut cu un microscop optic instalat vis a vis de o sursă de lumină, la înălțimea capătului probei. Microscopul optic a măsurat exact amplitudinea vibrațiilor, într-un domeniu în jurul valorii dorite, iar concomitent s-a înregistrat indicația piezometrului. Ulterior măsurătorile s-au făcut numai cu piezometrul.

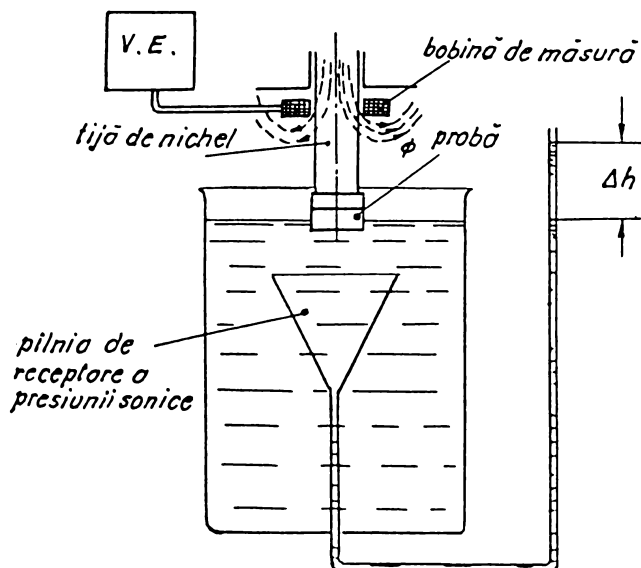


fig. 5.1.4 Vasul de lucru cu pîlnie pentru colectarea presiunii sonice

Frecvența vibrațiilor rezultă din (5.1.1). Valoarea calculată din această relație este de $f = 7.844$ Hz.

În realitate, datorită prezenței probei și a suportului de fixare a acesteia în tijă, precum și datorită influenței circulației apei de răcire în corpul tijei, această frecvență este mai redusă, și instalația lucrează la rezonanță la frecvența de 7.000 ± 100 Hz. Măsurarea frecvenței se face secvențial cu ajutorul unui frecvențmetru și global, prin contorizarea numărului total de mișcări ale tijei vibratoare într-un interval de timp dat (cronometrat) și împărțirea acestuia la timpul exprimat în secunde. În mod normal, între cele două feluri de măsurători există diferențe sub 1%.

La această frecvență, amplitudinea maximă obținută la instalația vibratorie are valoarea de 94 microni, situîndu-se la limita superioară a domeniului amplitudinilor recomandate. La această valoare, piezometrul pentru presiunea sonică indică valoarea de 21 mm coloană apă, pentru presiunea captată de pîlnia așezată sub probă. (Este de remarcat că aceasta reprezintă o valoare analogă, pentru măsurarea amplitudinii, și că presiunea sonică la capătul tijei vibratoare este mult mai mare).

Caracteristicile instalației magnetostrictive a laboratorului de mașini hidraulice Timișoara.

Din frecvența reală de 7.000 Hz. rezultă perioada unei vibrații:

$$T = \frac{1}{\nu} = 14,28 \cdot 10^{-5} \text{ sec.} \quad (5.1.2)$$

Dubla amplitudine a vibrațiilor este $A' = 94$ microni, și amplitudinea simplă $A = 47$ microni.

Pulsația omega este :

$$\omega = \frac{2 \pi}{T} = 2 \pi \nu \quad (5.1.3)$$

$$\omega = 43,98 \cdot 10^3 \text{ rad/sec}$$

Viteza și accelerația probei au un caracter pulsatoriu :

$$\text{Viteza :} \quad v = \omega A \sin(\omega t + \varphi) \quad (5.1.4)$$

$$\text{Viteza maximă:} \quad v_{\max} = \omega A \quad (5.1.5)$$

$$\text{Viteza medie :} \quad v_{\text{med}} = \frac{v_{\max}}{2} \quad (5.1.6)$$

Valorile vitezei maxime și medii sînt :

$$v_{\max} = 43,98 \cdot 10^3 \cdot 47 \cdot 10^{-6} = 2,067 \text{ m/sec}$$

$$v_{\text{med}} = 1,033 \text{ m/sec}$$

Accelerația tijei de nichel este :

$$a = \omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) \quad (5.1.7)$$

iar accelerația maximă :

$$a_{\max} = \omega^2 A \quad (5.1.8)$$

$$a_{\max} = 90,917 \cdot 10^3 \text{ m/sec}^2 = 9268 \text{ g} \quad (\text{g} = \text{accelerația gravitației})$$

Deși vitezele cu care se mișcă vibratorul sînt relativ mici, accelerațiile sînt extrem de mari.

Presiunea sonică alternantă este :

$$p_s = x \omega \rho c \cos \omega \left(t - \frac{m}{c} \right) \quad (5.1.9)$$

unde :

p_s = presiunea sonică

x = elongația

ρ = densitatea lichidului

c = viteza sunetului în lichidul de lucru

ω = pulsația mișcării vibratorii

t = timpul

m = masa care vibrează

Presiunea sonică maximă rezultă pentru valoarea unitară a funcției cosinus :

$$p_{s \max} = A \omega \rho c \quad (5.1.10)$$

$$p_{s \max} = 47 \cdot 10^{-6} \cdot 43,98 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 340 = 702.832 \text{ Pa} = 7.02832 \text{ bar}$$

Condiția de apariție a cavităției este / 88 / :

$$p_{\text{stat}} - p_{s \max} < p_{\text{vap}} \quad (5.1.11)$$

Această condiție este satisfăcută pe suprafața probei vibratorii, rămânând satisfăcută și la amplitudini mai mici ale vibrațiilor decât amplitudinea normală de lucru. Aceasta este confirmată și de constatările practice : cavităția apare la amplitudini considerabil mai mici decât 94 microni, dar nu produce eroziune. La atingerea parametrilor de lucru are loc o creștere bruscă a intensității eroziunii cavitaționale.

Trebuie arătat că relațiile 5.1.9 și 5.1.10 sînt strict valabile doar pentru unde plane cu lungime de undă mică în comparație cu dimensiunile generatorului sonic. De asemeni ele se referă la medii omogene, condiție neîndeplinită în vasul de probă unde se află în permanență un mediu bifazic lichid - bule cavitaționale.

Pentru studii în medii diferite de apă, mai ales în medii chimice cu grad de toxicitate mai mult sau mai puțin pronunțat, instalația existentă în laboratorul de mașini hidraulice Timișoara a fost completată cu un sistem de ventilare, astfel încît eventuale gaze puse în libertate la suprafața vasului de lucru să nu pătrundă în incintă, ci să fie evacuate imediat înspre exterior. În plus s-a conceput un nou vas de lucru fig. 5.6, cu un alt sistem de răcire, cu lichidul de răcire condus printre pereții a două vase de sticlă concentrice, și un nou sistem de măsurare a amplitudinii. Se utilizează în acest scop o bobină de măsură montată în jurul tubului de nichel. În bobină se induce tensiuni electromotoare proporționale cu fluxul ce se închide prin bobină, în

funcție de amplitudinea de vibrație a probei. Aceasta a făcut necesară o nouă etalonare, dar a permis pînă la urmă măsurarea convenabilă a amplitudinii, la un voltmetru care măsoară tensiunea din bobină.

Măsurătorile de temperatură în lichidul de lucru se fac în vasul utilizat pentru apă, prin imersarea unui termometru. Pentru evitarea imersării termometrului în lichide agresive, s-a modificat măsurătoarea cu termometrul, montîndu-se un termoelement într-un tub de sticlă cu ulei (pentru a oferi sistemului o oarecare inerție termică) iar tubul se montează apoi în vasul cu lichidul de lucru. Termoelementul este legat de un Ohmmetru care indică rezistența electrică, convertită la rîndul ei în temperatură.

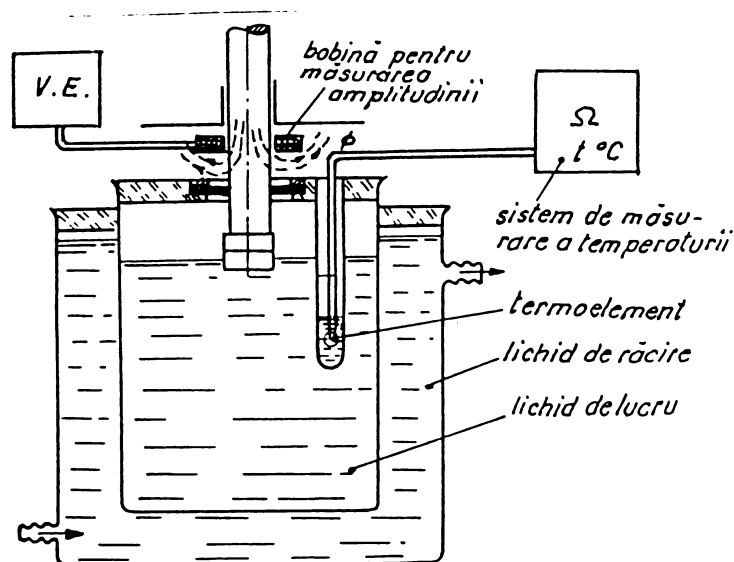


fig. 5.1.5 Vasul cu lichidul de lucru pentru lichide chimic agresive

5.2 CONDITIONAREA, CÎNTĂRIREA ȘI PĂSTRAREA PROBELOR

Deoarece în special în perioada de incubație pierderea de material este foarte redusă, determinarea pierderilor de material trebuie făcute cu mare exactitate, ceea ce ridică unele probleme.

Pe de o parte prin înșurubarea și deșurubarea probelor sînt imaginabile mici pierderi de greutate. Pe de altă parte, eroziunea cavitațională produce o suprafață spongioasă a probei, în care poate să rămînă lichid de lucru, ceea ce duce la determinarea incorectă a greutății probei.

Pentru a vedea în ce măsură operațiunile de înșurubare și deșurubare a probei influențează greutatea, s-au cîntărit mai multe probe înainte și după înșurubare - deșurubare, fără a supune probele atacului cavitațional. Eventuale diferențe de greutate s-ar fi datorat în acest caz acestor operațiuni. S-a constatat însă că la nici una din probe montarea și demontarea nu a produs diferență de greutate, nici cînd operațiunea s-a repetat de pînă la cinci ori.

De aici s-a tras concluzia că modificarea greutateii nu este influențată de operațiunile de montare - demontare a probei.

Nu acelaș lucru se poate spune despre condiționarea probelor pentru cîntărire după atacul cavitațional. Atenția ne-a fost atrasă asupra acestui lucru cînd am constatat că probe cîntărite și păstrate apoi peste noapte în exicator au devenit mai ușoare.

În consecință s-a stabilit un mod de tratare, uscare și păstrare a probelor care să asigure în măsura cea mai înaltă posibilă o determinare exactă a pierderilor de greutate. Astfel probele extrase din aparatul magnetostrictiv au fost spălate mai întăi în apă curentă, apoi în apă distilată. S-a continuat apoi cu o spălare în acetonă, urmată de o spălare în eter. În mod obișnuit a urmat o uscare în jet de aer, cu care s-a terminat condiționarea probelor. La unele probe eliminarea lichidului remanent în crăpături nu a fost suficientă, caz în care probele au fost introduse într-o instalație de exicare în vid la o temperatură ceva mai ridicată decît cea a mediului înconjurător (40 grade C).

Cu aceste măsuri s-au obținut greutăți reproductibile la toate probele și în toate mediile lichide.

Determinarea pierderilor gravimetrice s-a făcut la o balanță microanalitică cu precizia de 0,00001 grame. În cadrul studiilor făcute în prezenta teză, este suficientă stabilirea pierderilor de greutate, căci nu interesează primordial comportarea materialului ci a lichidului de lucru. În alte cazuri o transformare a pierderilor de greutate în pierderi de volum este absolut necesară, în special cînd se compară comportarea la eroziunea cavitațională a unor materiale cu greutăți specifice sensibil diferite. În acest caz, la materialul cu greutate specifică mică s-ar putea ajunge la concluzia falsă a unei comportări deosebit de bune, dacă pierderea gravimetrică nu ar fi convertită în pierdere volumică.

Păstrarea probelor după cîntărire, în vederea utilizării lor în continuare, s-a făcut în exicatoare și în cazuri speciale în aparatul de deshidratare în vid prezentat în fig. 5.2.1 / 89 /.

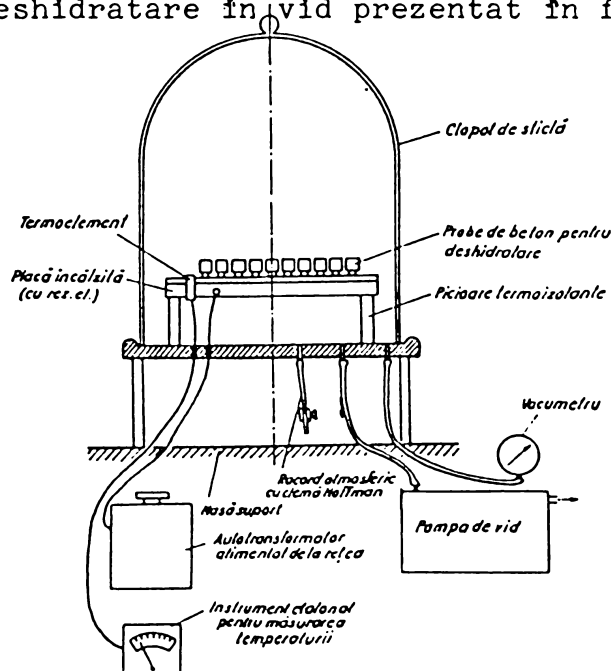


fig. 5.2.1 Instalație pentru deshidratarea în vid a probelor de eroziune cavitațională

6 EROZIUNEA CAVITATIONALĂ ÎN MEDII DIFERITE DE APĂ

Investigarea eroziunii cavitaționale în medii diferite de apă s-a făcut în instalația experimentală descrisă în capitolul precedent. În vederea unei eventuale corelări posibile cu proprietăți ale lichidelor, s-au utilizat medii lichide cu unele proprietăți fizice cunoscute.

S-a explorat astfel practic întreaga scară de solubilitate a unor săruri în apă, și întregul domeniu de diluție al unor acizi și baze. Au fost investigate și unele substanțe organice./90, 91, 94/

Totalitatea lichidelor investigate este prezentată în Tab. 6.0.1

Tab 6.0.1 Medii lichide investigate

Substanța dizolvată în apă distilată		Concentrația %									
Hidroxid de sodiu	NaOH	10	20								
Clorură de sodiu	NaCl	5	10	15	20	25					
Sulfat de sodiu	Na ₂ .SO ₄	3	6	9	12	14					
Sulfat de amoniu	(NH ₄) ₂ .SO ₄	10	20	30	40						
Acid sulfuric	H ₂ .SO ₄	10	20	30	40	50	60	70	80		
Acid acetic	CH ₃ .COOH	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90 98
Aldehidă formică	HCHO	10	20	30	40						
Furfurol											
Fenol		5									

Au fost supuse eroziunii cavitaționale probe din două oțeluri inoxidabile cunoscute și utilizate pentru rezistența lor deosebită la cavitație. Utilizarea oțelurilor inoxidabile deși a necesitat un timp de atac mult mai îndelungat decât alte materiale, a fost aleasă pentru a elimina în măsură posibilă efectele coroziunii chimice în cadrul atacului cavitațional.

Cele două oțeluri denumite convențional "W4" și "W6" au în compo-

nenta lor elementele de aliere prezentate în Tab. 6.0.2

Tab. 6.0.2 Elementele de aliere în % ale oțelurilor "W4" și "W6"

	C	Cr	Ni	Mo	Nb	Mn	Si	S	P	Cu
"W4"	0,06	18,03	9,75	2,16	0,024	1,37	1,40	0,009	0,026	-
"W6"	0,07	19,85	25,40	2,60	-	1,28	1,16	-	-	2,38

Deși nu se intenționează studierea rezistenței celor două oțeluri la eroziunea cavitațională și capacitatea erozivă a lichidelor, se prezintă totuși în Tab. 6.0.3 caracteristicile mecanice ale materialelor, există astfel posibilitați de comparație între ele cât și cu alte materiale.

Tab. 6.0.3 Caracteristici mecanice ale oțelurilor "W4" și "W6"

	Rezistența la curgere	Rezistența la rupere	Intindere procent.	Contractie procent.	Reziliență W	KCV 30/2
	daN/mm ²	daN/mm ²	%	%	daJ	daJ/cm ²
"W4"	27,95	57,95	50	57,70	26,73	33,40
"W6"	25,10	53,45	39	52,95	26,40	32,97

Valorile din Tab 6.0.2 și Tab 6.0.3 reprezintă valori medii determinate pe un număr mare de bare din cele două oțeluri turnate, bare din care s-au confecționat probele în decursul perioadei îndelungate în care s-au efectuat încercările.

6.1 INCERCARI DE EROZIUNE CAVITATIONALA IN SOLUTII DE DIFERITE CONCENTRATII ALE UNOR SUBSTANTE CHIMICE, CURBELE PRIMARE DE PIERDERI GRAVIMETRICE SI DE VITEZA A EROZIUNII CAVITATIONALE

Utilizând tehnica experimentală descrisă în capitolul 5, materialele prezentate anterior au fost supuse atacului cavitațional ridicându-se pentru fiecare material în fiecare mediu curbele caracteristice de eroziune cavitațională / 92, 93, 95, 96 /.

Aceste curbe de pierdere gravimetrică și de viteză a eroziunii cavitaționale s-au prezentat în figurile 6.1.1 a și b pînă la 6.1.19 a și b.

Deoarece scopul lucrării constă în compararea influenței mediilor lichide asupra eroziunii cavitaționale și nu în compararea comportării unor materiale diferite atacate prin cavitație, s-a putut utiliza reprezentarea directă a pierderilor gravimetrice și nu a fost necesară recalcularea acestora în pierderi volumice.

Curbele prezintă alura caracteristică unor materiale cu înaltă rezistență la cavitație și coroziune în toate mediile de încercare, avînd un palier lung al curbei de viteză a eroziunii.

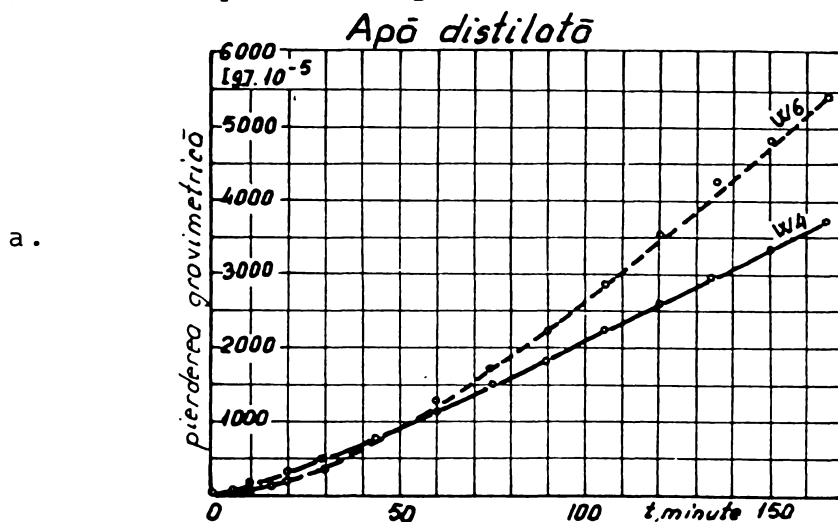
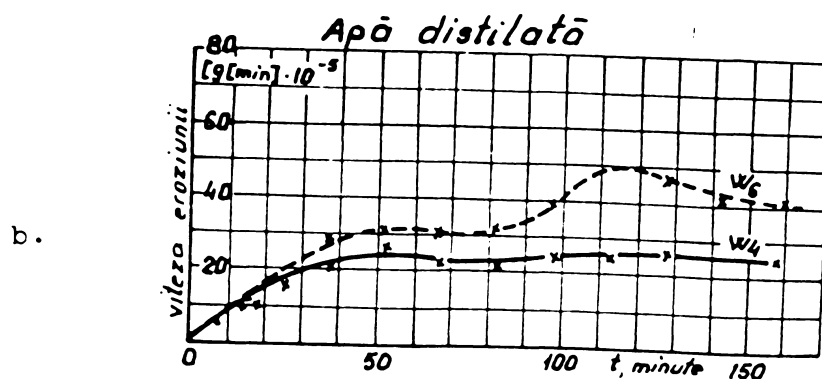


Fig. 6.1.1
a și b



a.

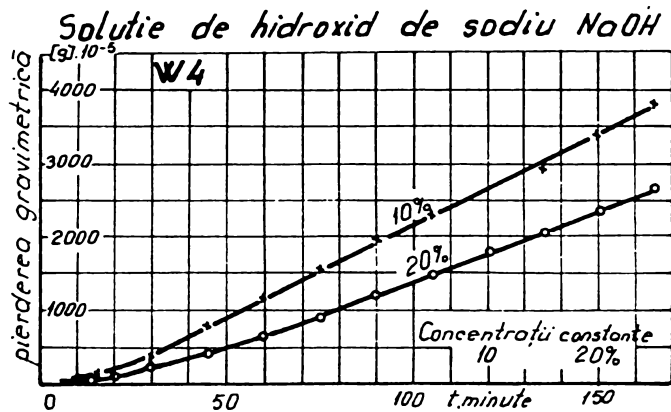
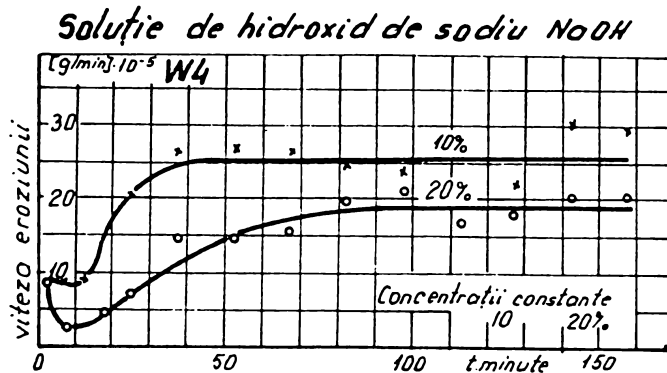


Fig. 6.1.2
a și b

b.



a.

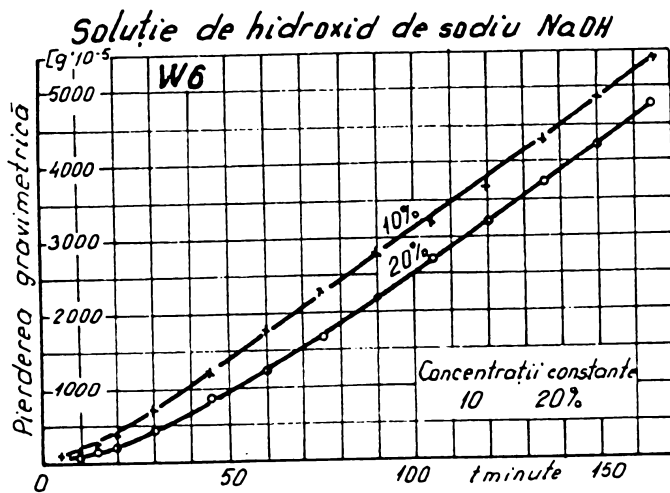
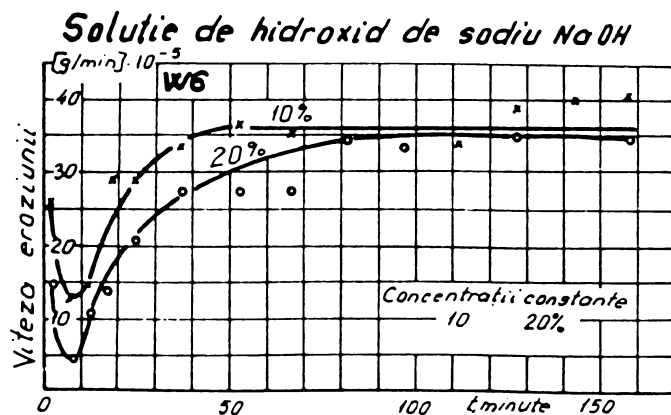


Fig. 6.1.3
a și b

b.



Soluție de clorură de sodiu NaCl

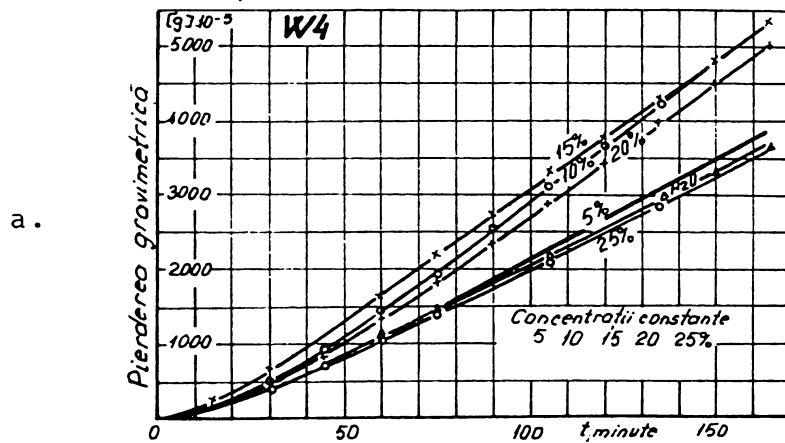
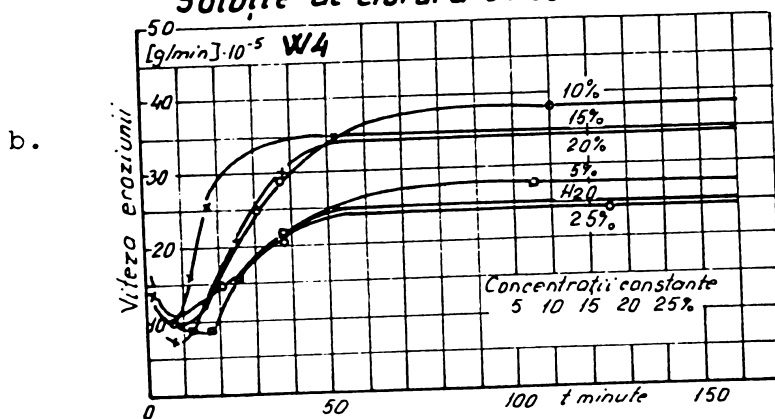


Fig. 6.1.4
a și b

Soluție de clorură de sodiu NaCl



Soluție de clorură de sodiu NaCl

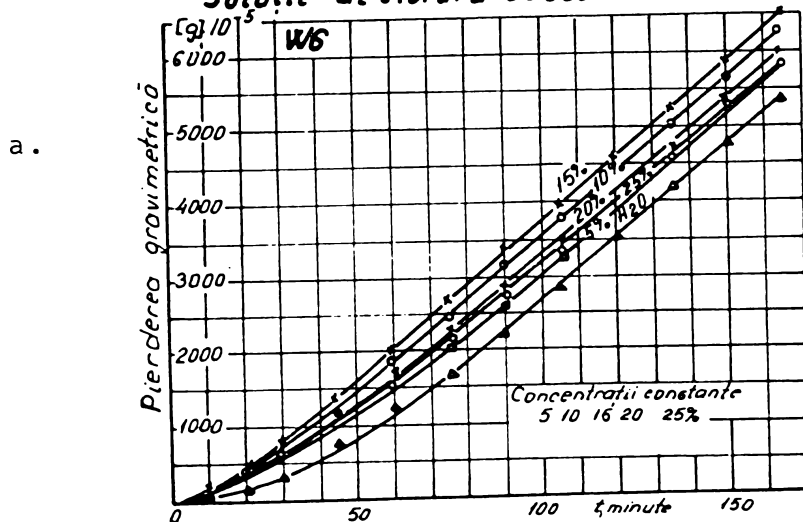
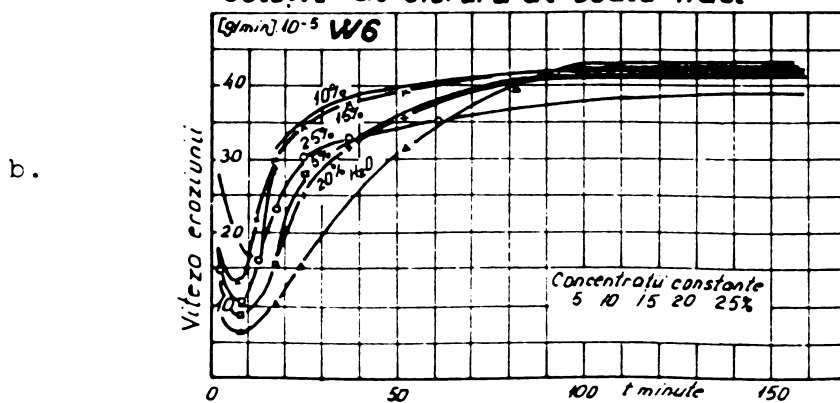
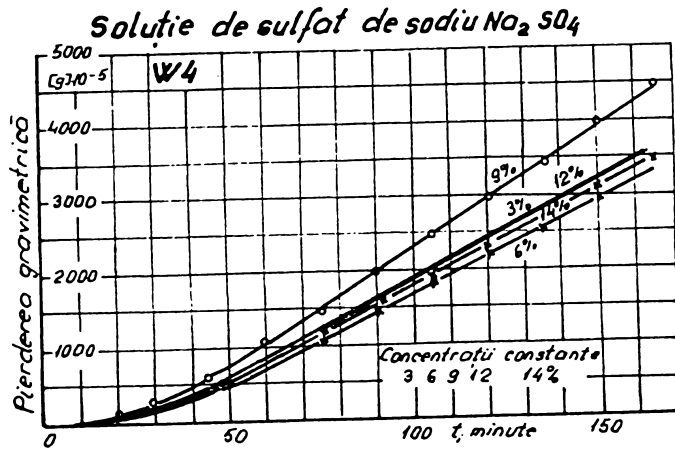


Fig. 6.1.5
a și b

Soluție de clorură de sodiu NaCl



a.



b.

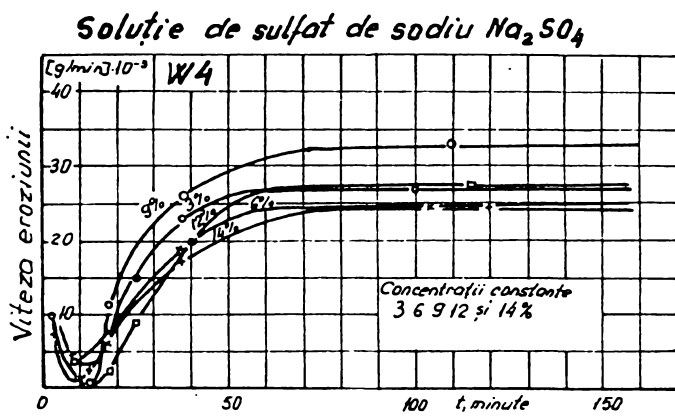
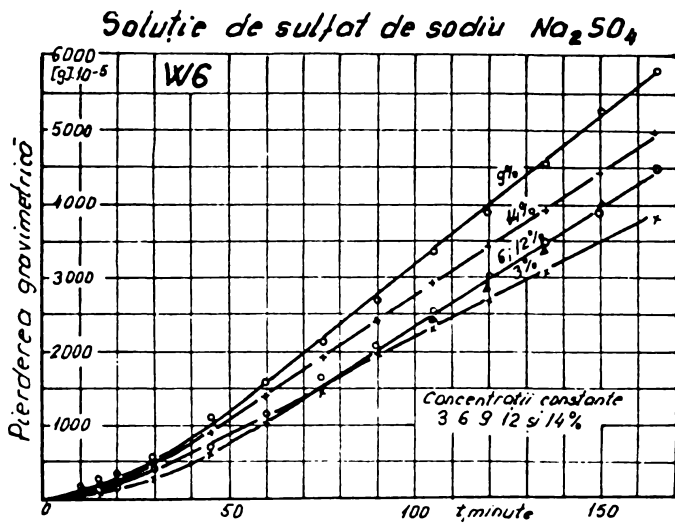


Fig. 6.1.6
a și b

a.



b.

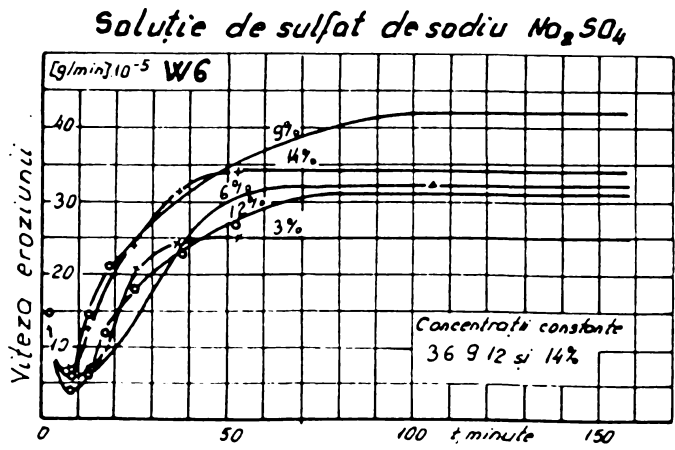


Fig. 6.1.7
a și b

Soluție de sulfat de amoniu $(NH_4)_2 SO_4$

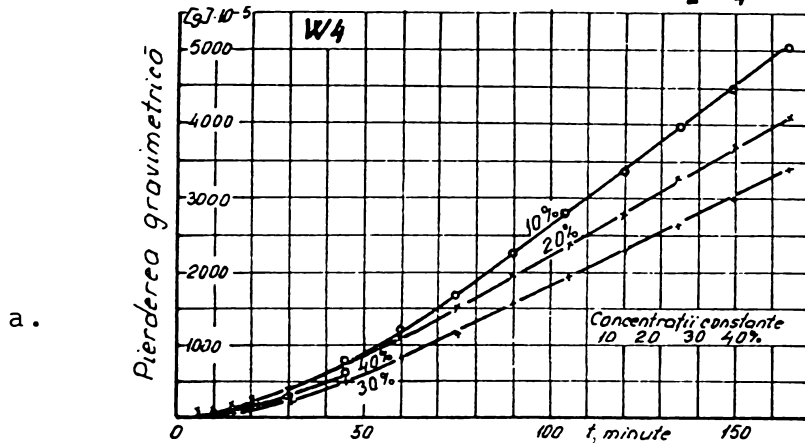


Fig. 6.1.8
a și b

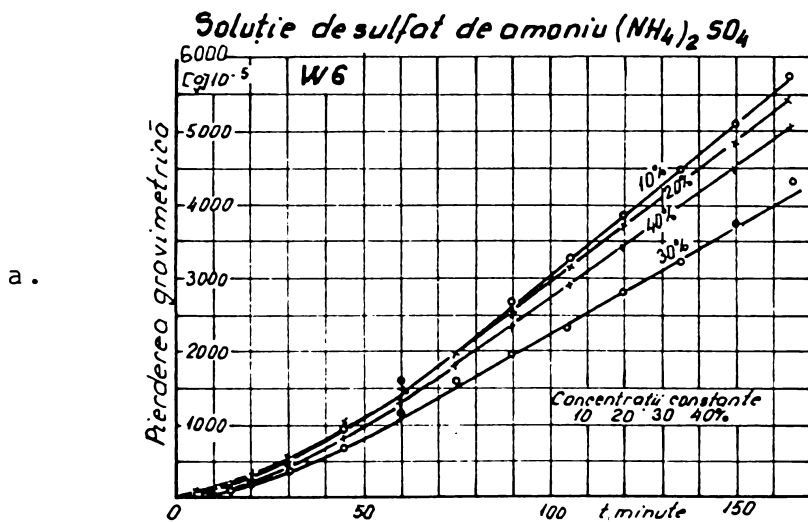
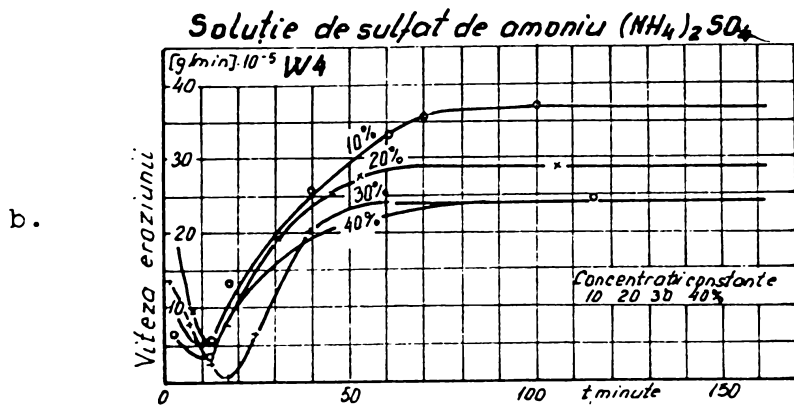
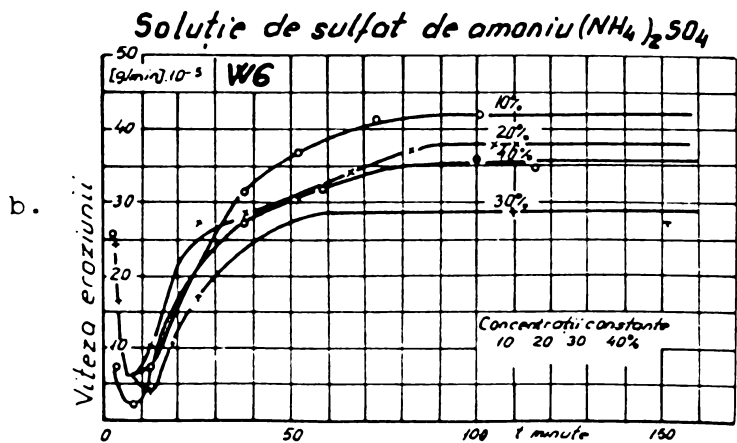


Fig. 6.1.9
a și b



Acid sulfuric H_2SO_4

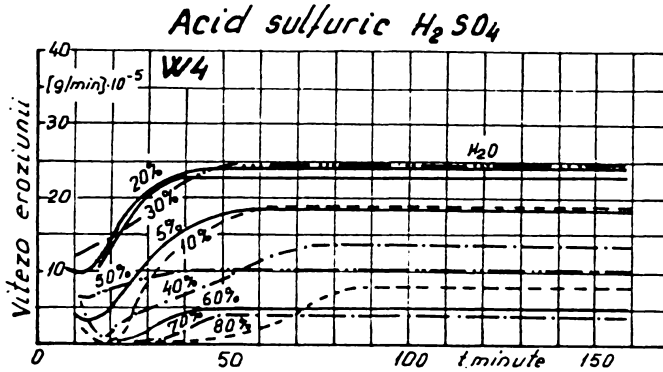
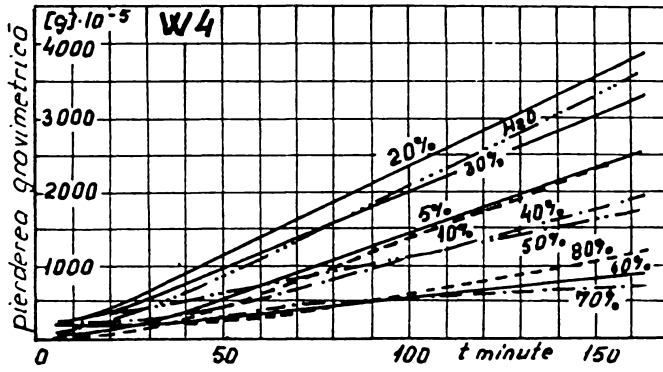


Fig. 6.1.10
a și b

Acid sulfuric H_2SO_4

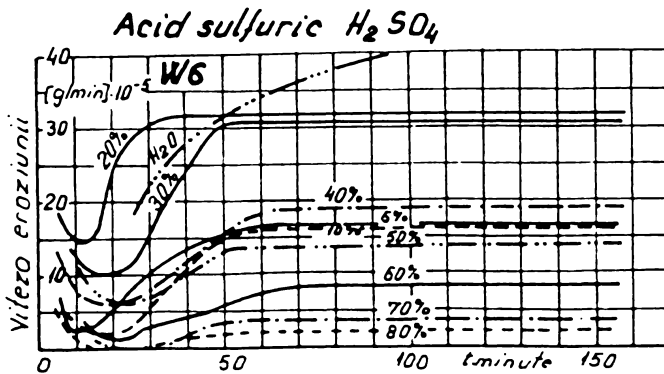
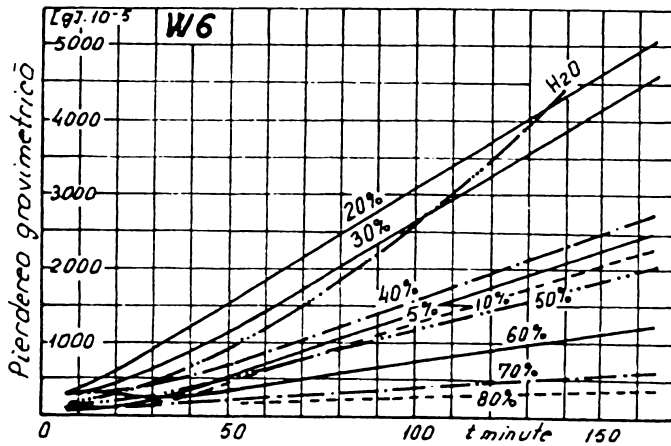


Fig. 6.1.11
a și b

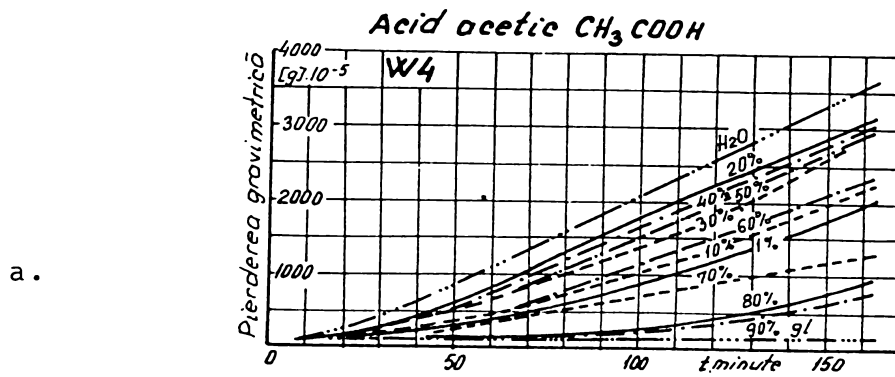


Fig. 6.1.12
a și b

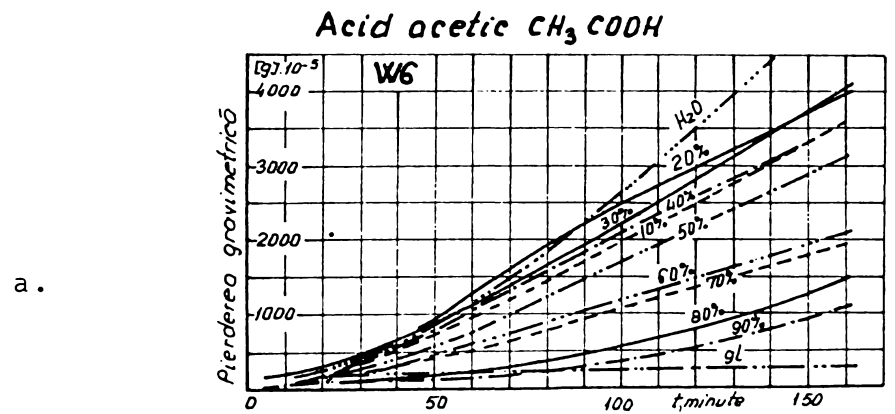
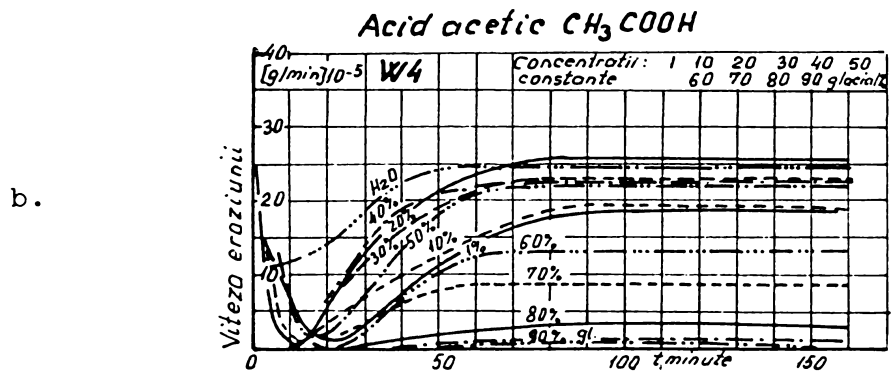
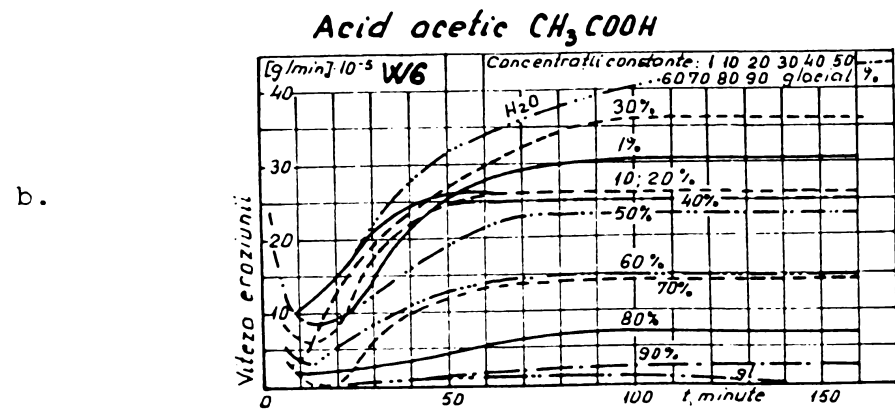


Fig. 6.1.13
a și b



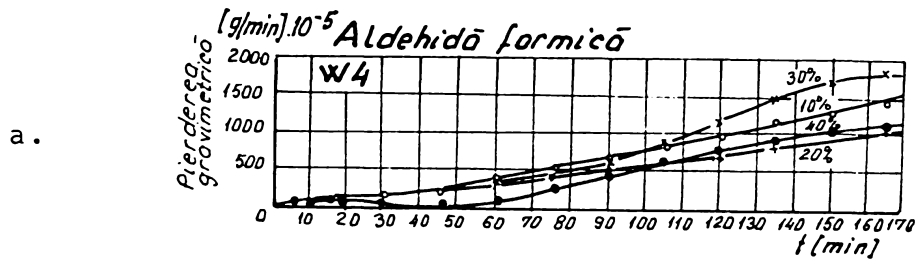


Fig. 6.1.14
a și b

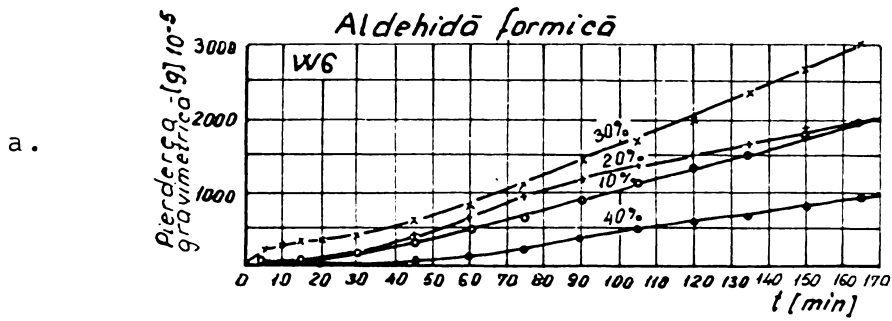
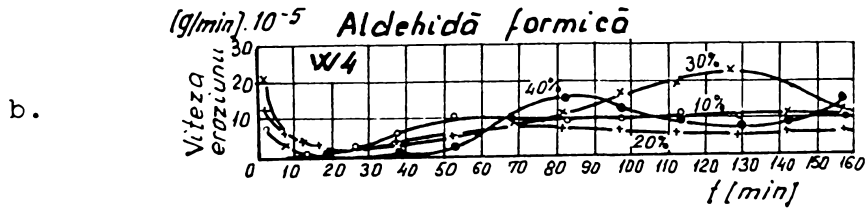
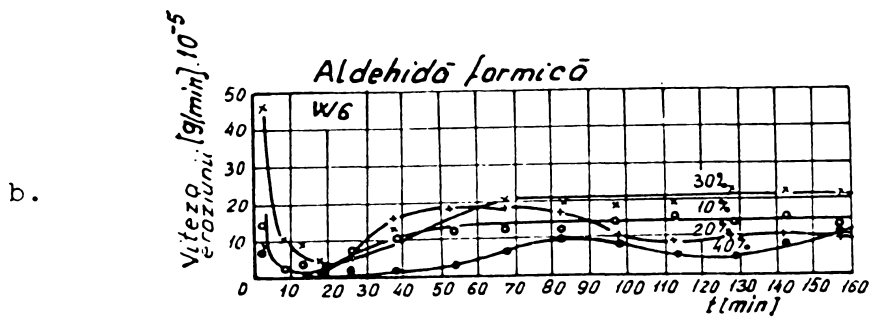


Fig. 6.1.15
a și b



FURFUROL

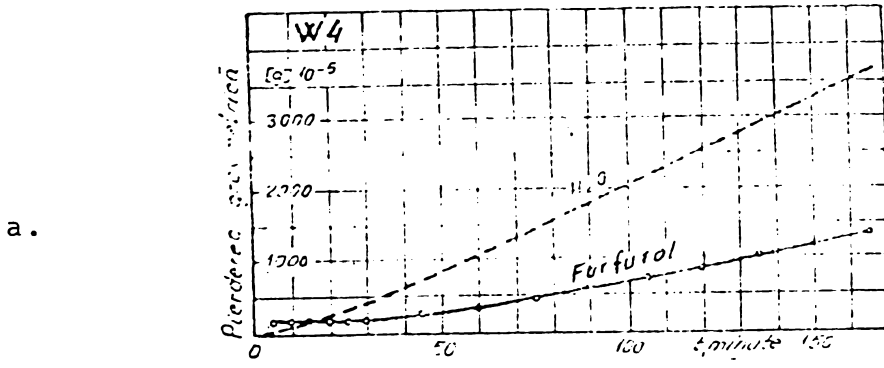
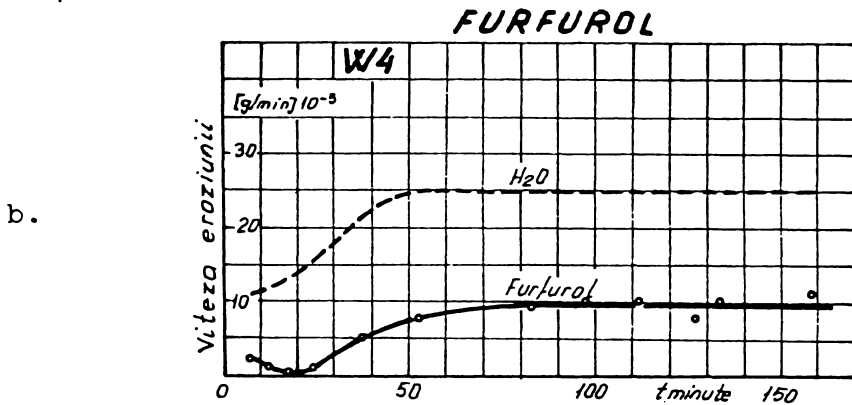


Fig. 6.1.16
a și b



FURFUROL

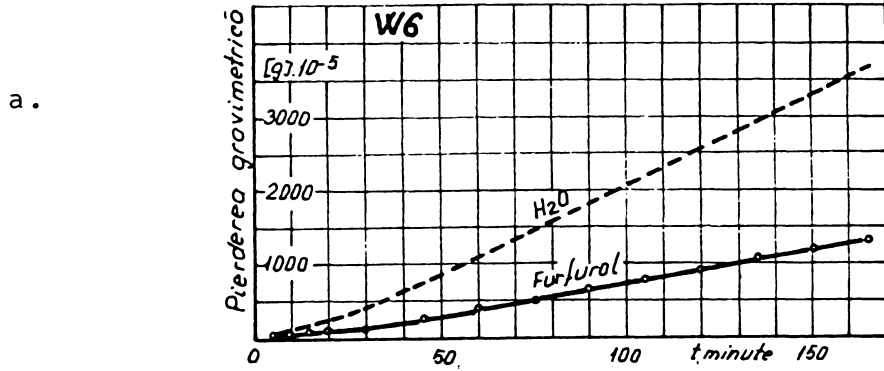
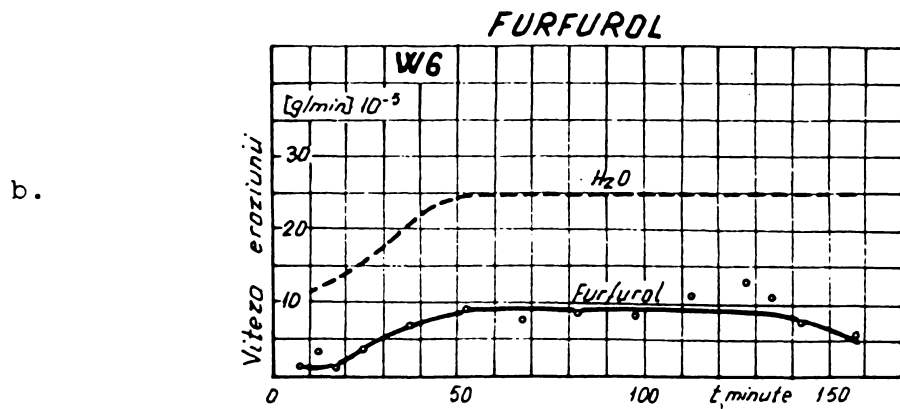


Fig. 6.1.17
a și b



FENOL 5%

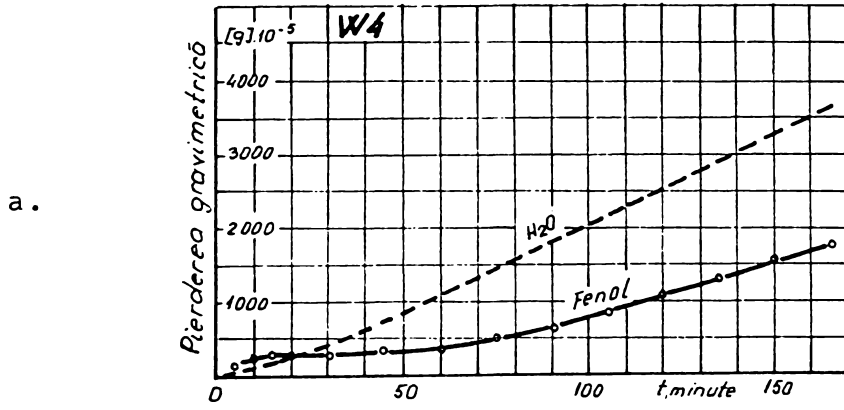


Fig.6.1.18
a și b

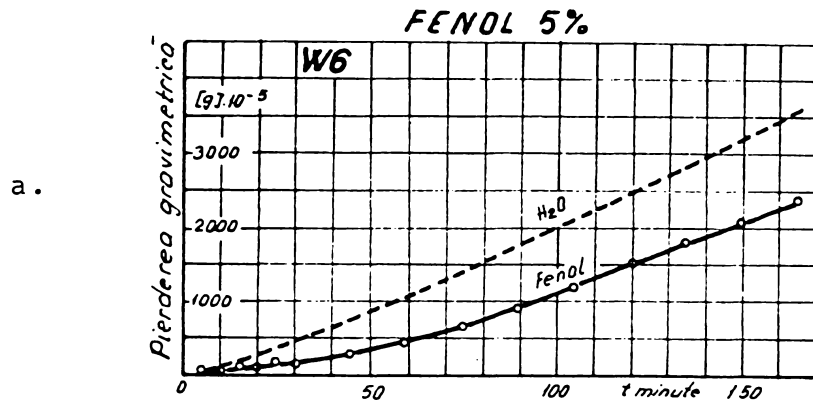
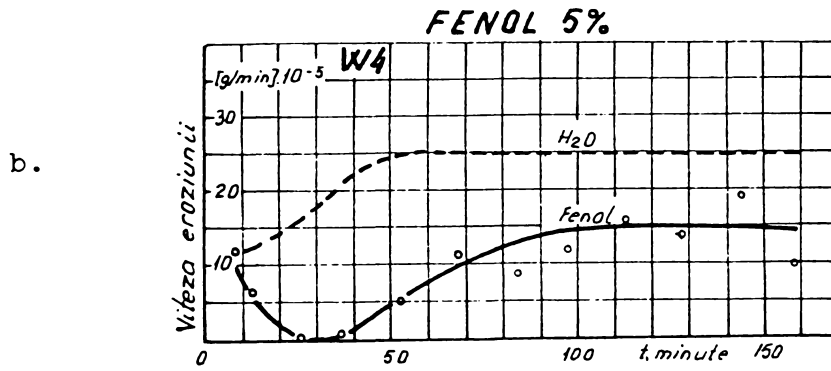
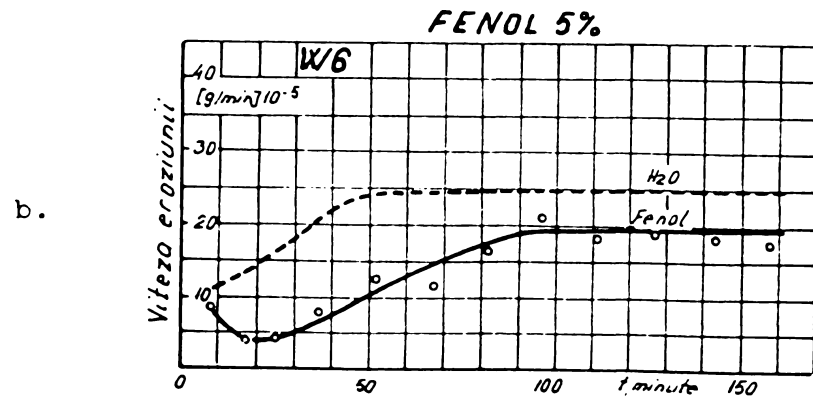


Fig. 6.1.19
a și b



Curbele caracteristice de pierderi gravimetrice și de viteză a eroziunii cavitaționale deduse din cele anterioare (respectiv curbele obținute din valorile recalulate ale pierderilor volumice) servesc în general la compararea și alegerea materialelor pentru utilizări practice în conformitate cu standarde sau norme interne ale laboratoarelor de cavitație.

În cadrul acestei lucrări urmărindu-se efectele lichidului respectiv a proprietăților acestuia asupra eroziunii cavitaționale, este necesar un mod de prelucrare suplimentar al curbelor caracteristice în așa fel încât să fie pusă în evidență influența lichidului.

6.2 ASPECTUL EVOLUTIEI ÎN TIMP A PROBELOR ERODATE, MODELE CARACTERISTICE DE DISTRUGERE

Pentru a culege în timpul lucrărilor experimentale un maximum de date privind eroziunea cavitațională în diferite medii lichide, la fiecare extragere pentru cântărire probele au fost fotografiate la un microscop. Fotografiile executate după negativele 24 x 36 reprezintă proba respectiv zona distrusă a probei mărită de 4 ori.

Spațiul limitat al acestei lucrări a permis redarea doar a unei foarte mici părți a fotografiilor realizate. Totuși documentația fotografică a evoluției eroziunii în diferite lichide prezentată în figurile 6.2.1 pînă la 6.2.71 oferă o imagine sugestivă a dinamicii fenomenului de eroziune.

Fară a se putea face corelări cu proprietățile lichidelor, se constată o diferență clară în felul în care începe și evoluează eroziunea cavitațională în lichide diferite și uneori în lichide de aceeași natură dar cu altă concentrație.

Este probabil că felul în care începe și evoluează eroziunea să depindă de condițiile de încercare, în mod deosebit de forma și dimensiunile vasului în care se imersează probele vibratorii, acestea fiind hotărâtoare pentru direcția mișcărilor lichidului în vas.

Pe de altă parte dinamica bulelor cavitaționale în lichidul de încercare este cea care determină prin numărul, mărimea și energia bulelor care se surpă modelul distrugerii suprafeței probei.

În procesul de surpare al bulelor cavitaționale un rol mare îl joacă unele proprietăți ale lichidului care nu au putut fi măsurate în laboratorul de magnetostricțiune și care de asemenea nu au fost găsite în tabelele din literatură ca de exemplu viteza sunetului în lichidele de încercare. Toate acestea îngreunează în mod deosebit interpretarea cauzelor care conduc la modelele diferite de distrugere pe suprafețele probelor.



Fig. 6.2.1
Acid sulfuric 5 %
Material W4
Timp de atac 5 min

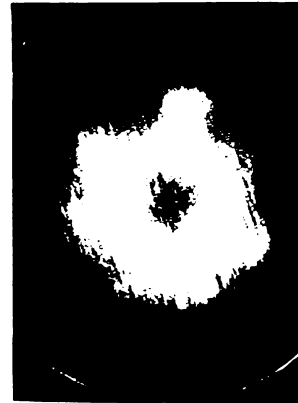


Fig. 6.2.3
Acid sulfuric 5 %
Material W4
Timp de atac 30 min



Fig. 6.2.2
Acid sulfuric 5 %
Material W4
Timp de atac 20 min



Fig. 6.2.4
Acid sulfuric 5 %
Material W4
Timp de atac 45 min

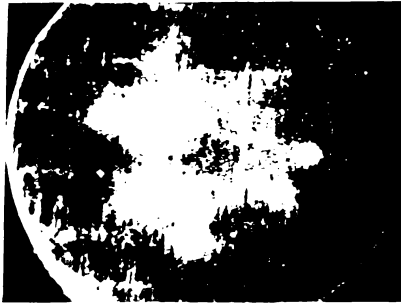


Fig. 6.2.5
Acid sulfuric 5%
Material W6
Timp de atac 5 min.

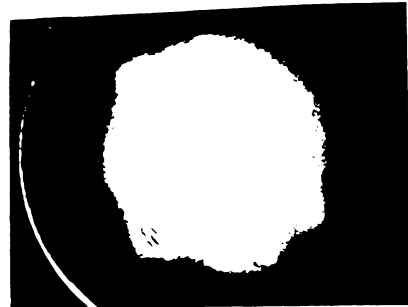


Fig. 6.2.7
Acid sulfuric 5%
Material W6
Timp de atac 75 min.

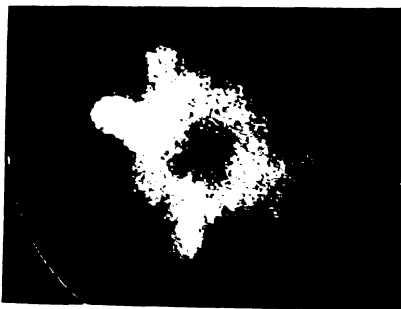


Fig. 6.2.6
Acid sulfuric 5%
Material W6
Timp de atac 20 min.

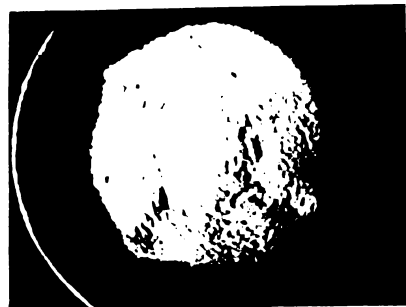


Fig. 6.2.9
Acid sulfuric 5 %
Material W6
Timp de atac 165 min.



Fig. 6.2.8
Acid sulfuric 5 %
Material W6
Timp de atac 30 min.



Fig. 6.2.10
Acid acetic 50 %
Material W4
Timp de atac 20 min.



Fig. 6.2.12
Acid acetic 50 %
Material W4
Timp de atac 105 min.

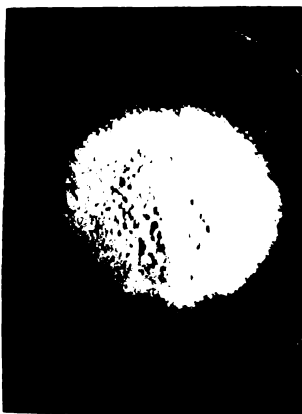


Fig. 6.2.11
Acid acetic 50 %
Material W4
Timp de atac 75 min.

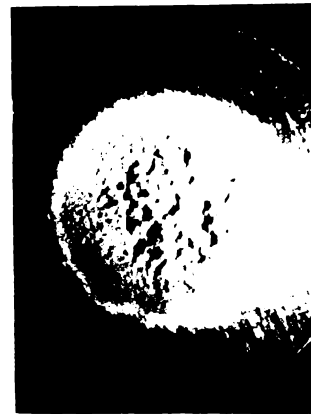


Fig. 6.2.13
Acid acetic 50 %
Material W4
Timp de atac 165 min

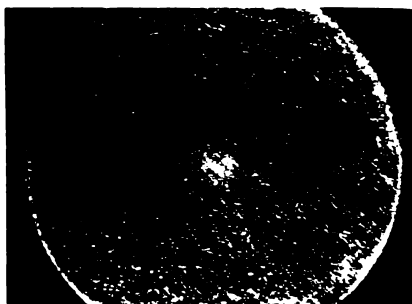


Fig. 6.2.14
Acid acetic 70%
Material W4
Timp de atac 5 min



Fig. 6.2.15
Acid acetic 70%
Material W4
Timp de atac 20 min



Fig. 6.2.16
Acid acetic 70%
Material W4
Timp de atac 150 min

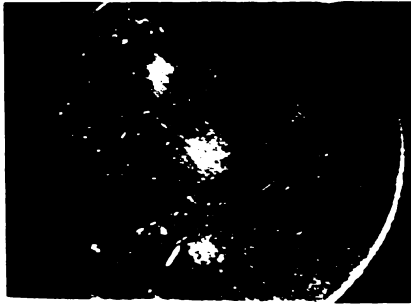


Fig. 6.2.17
Acid acetic 80%
Material W4
Timp de atac 15 min



Fig. 6.2.20
Acid acetic 80%
Material W4
Timp de atac 90 min

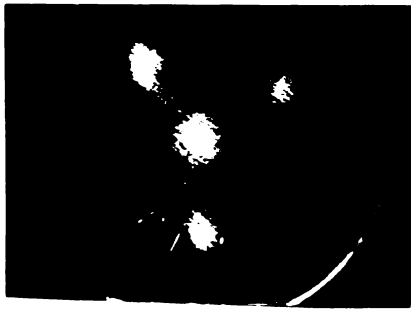


Fig. 6.2.18
Acid acetic 80%
Material W4
Timp de atac 30 min

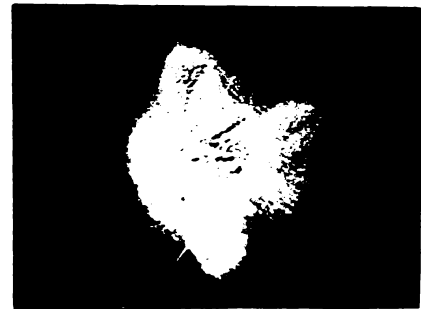


Fig. 6.2.21
Acid acetic 80%
Material W4
Timp de atac 120 min

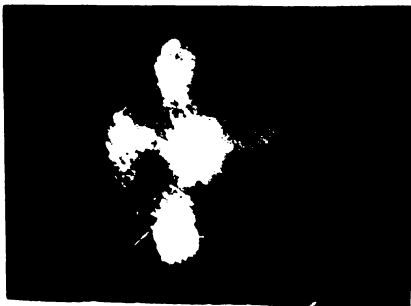


Fig. 6.2.19
Acid acetic 80%
Material W4
Timp de atac 60 min



Fig. 6.2.22
Acid acetic 80%
Material W4
Timp de atac 165 min



Fig. 6.2.23
Acid acetic 80%
Material W6
Timp de atac 10 min

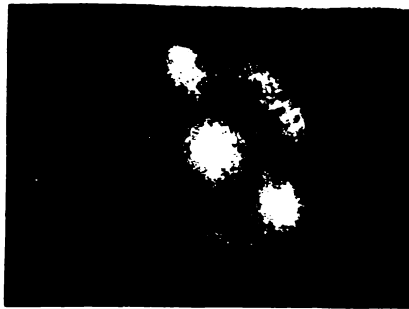


Fig. 6.2.24
Acid acetic 80%
Material W6
Timp de atac 30 min



Fig. 6.2.25
Acid acetic 80%
Material W6
Timp de atac 165 min

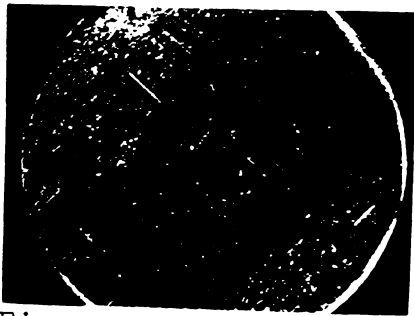


Fig. 6.2.26
Acid acetic glacial
Material W4
Timp de atac 10 min

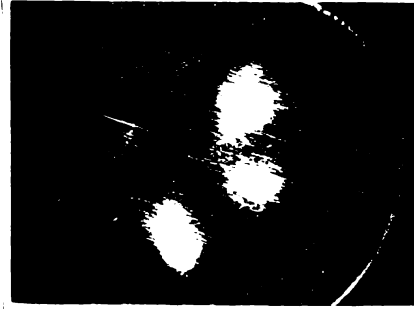


Fig. 6.2.30
Acid acetic glacial
Material W4
Timp de atac 90 min

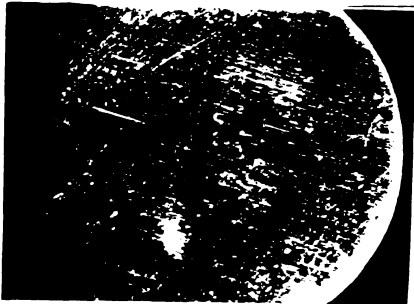


Fig. 6.2.27
Acid acetic glacial
Material W4
Timp de atac 20 min

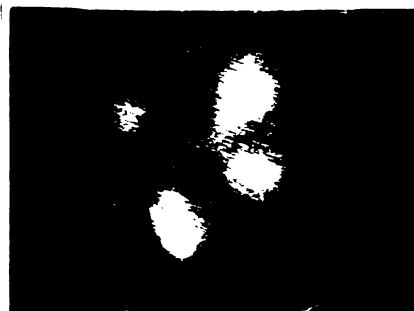


Fig. 6.2.31
Acid acetic glacial
Material W4
Timp de atac 120 min

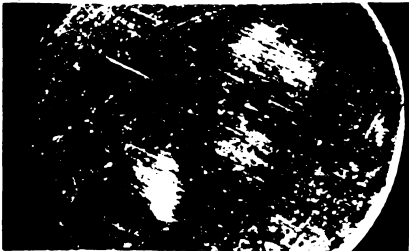


Fig. 6.2.28
Acid acetic glacial
Material W4
Timp de atac 30 min

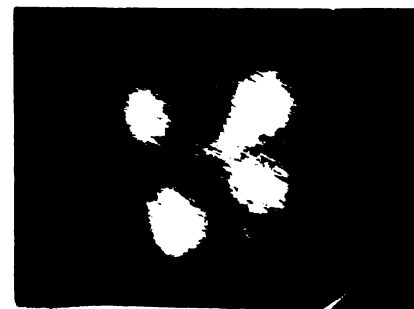


Fig. 6.2.32
Acid acetic glacial
Material W4
Timp de atac 165 min



Fig. 6.2.29
Acid acetic glacial
Material W4
Timp de atac 60 min

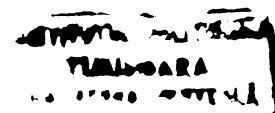




Fig. 6.2.33
Hidroxid de sodiu 10%
Material W4
Timp de atac 10 min



Fig. 6.2.35
Hidroxid de sodiu 20%
Material W4
Timp de atac 10 min

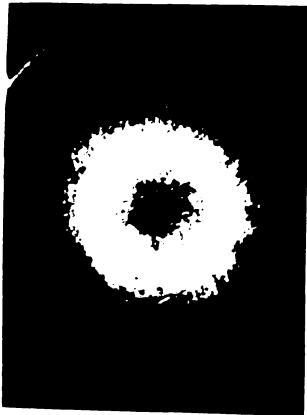


Fig. 6.2.34
Hidroxid de sodiu 10%
Material W6
Timp de atac 10 min



Fig. 6.2.36
Hidroxid de sodiu 20%
Material W6
Timp de atac 10 min

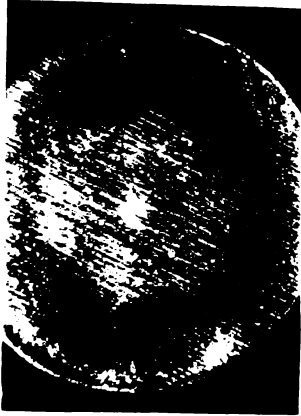


Fig. 6.2.37
Clorură de sodiu 5%
Material W4
Timp de atac 10 min



Fig. 6.2.39
Clorură de sodiu 5%
Material W4
Timp de atac 20 min



Fig. 6.2.38
Clorură de sodiu 5%
Material W4
Timp de atac 15 min



Fig. 6.2.40
Clorură de sodiu 5%
Material W4
Timp de atac 30 min



Fig. 6.2.41
Clorură de sodiu 20%
Material W4
Timp de atac 15 min

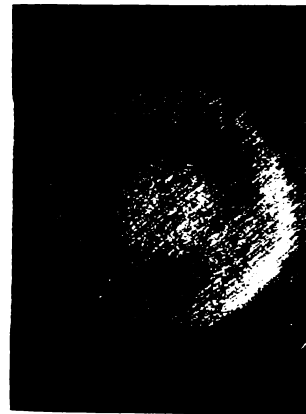


Fig. 6.2.43
Clorură de sodiu 20%
Material W4
Timp de atac 30 min



Fig. 6.2.42
Clorură de sodiu 20%
Material W4
Timp de atac 20 min



Fig. 6.2.44
Clorură de sodiu 20%
Material W4
Timp de atac 45 min

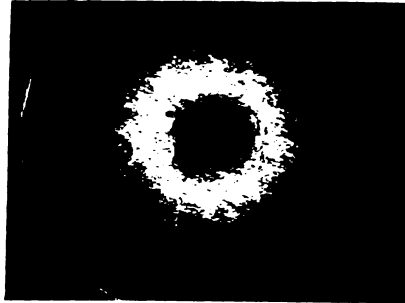


Fig. 6.2.45
Sulfat de sodiu 12%
Material W4
Timp de atac 20 min



Fig. 6.2.46
Sulfat de sodiu 12%
Material W4
Timp de atac 165 min

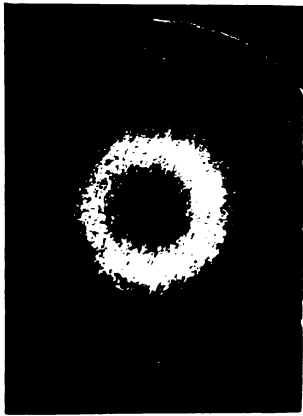


Fig. 6.2.47
Sulfat de amoniu 10%
Material W4
Timp de atac 10 min



Fig. 6.2.49
Sulfat de amoniu 10%
Material W6
Timp de atac 10 min

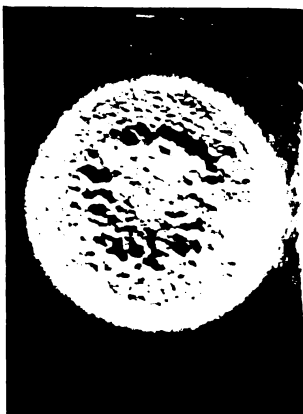


Fig. 6.2.48
Sulfat de amoniu 10%
Material W4
Timp de atac 165 min



Fig. 6.2.50
Sulfat de amoniu 10%
Material W6
Timp de atac 165 min



Fig. 6.2.51
Aldehidă formică 40%
Material W4
Timp de atac 30 min

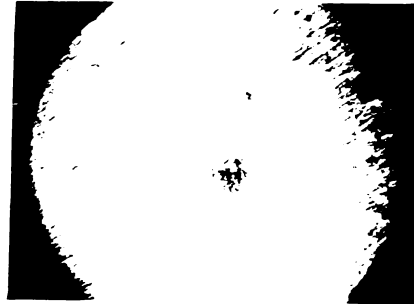


Fig. 6.2.53
Aldehidă formică 40%
Material W6
Timp de atac 30 min

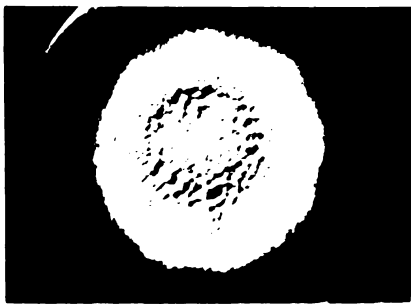


Fig. 6.2.52
Aldehidă formică 40%
Material W4
Timp de atac 150 min



Fig. 6.2.54
Aldehidă formică 40%
Material W6
Timp de atac 150 min



Fig. 6.2.55
Fenol 5%
Material W4
Timp de atac 15 min

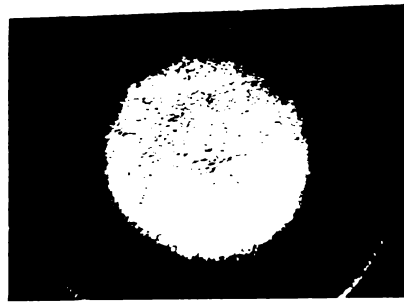


Fig. 6.2.59
Fenol 5%
Material W4
Timp de atac 90 min



Fig. 6.2.56
Fenol 5%
Material W4
Timp de atac 20 min

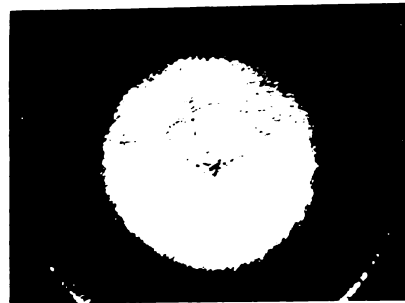


Fig. 6.2.60
Fenol 5%
Material W4
Timp de atac 120 min



Fig. 6.2.57
Fenol 5%
Material W4
Timp de atac 45 min



Fig. 6.2.61
Fenol 5%
Material W4
Timp de atac 165 min



Fig. 6.2.58
Fenol 5%
Material W4
Timp de atac 60 min

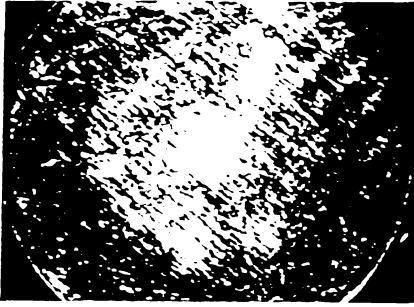


Fig. 6.2.62
Furfurol
Material W4
Timp de atac 10 min

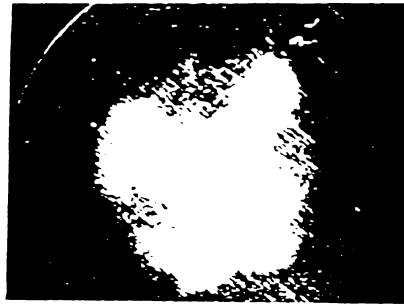


Fig. 6.2.65
Furfurol
Material W4
Timp de atac 45 min



Fig. 6.2.63
Furfurol
Material W4
Timp de atac 20 min

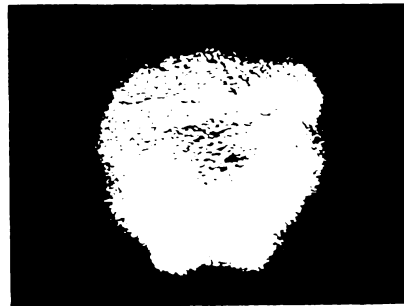


Fig. 6.2.66
Furfurol
Material W4
Timp de atac 75 min



Fig. 6.2.64
Furfurol
Material W4
Timp de atac 30 min

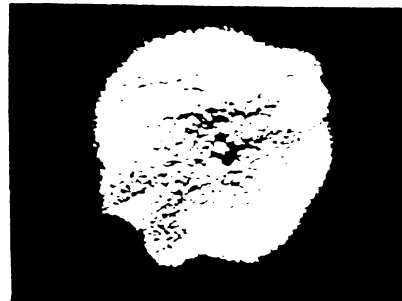


Fig. 6.2.67
Furfurol
Material W4
Timp de atac 105 min

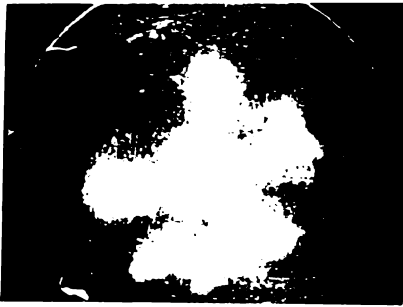


Fig. 6.2.68
Furfurol
Material W6
Timp de atac 20 min

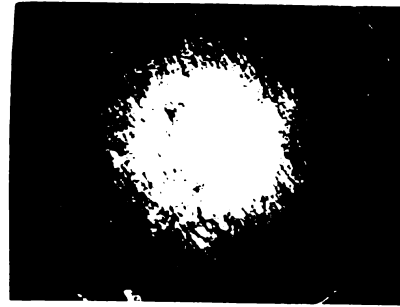


Fig. 6.2.70
Fenol 5%
Material W6
Timp de atac 20 min

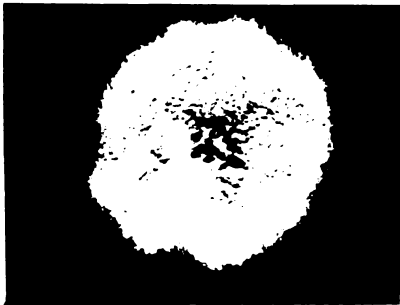


Fig. 6.2.69
Furfurol
Material W6
Timp de atac 165 min

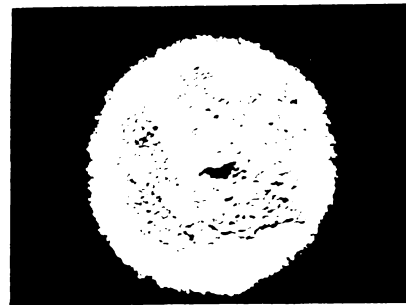
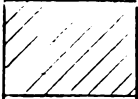




Fig. 6.2.71
Fenol 5%
Material W6
Timp de atac 165 min

eroziune puțin adîncă 

eroziune medie 

eroziune adîncă 

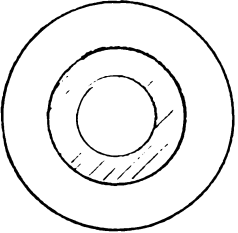
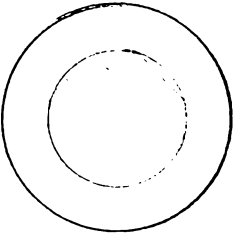
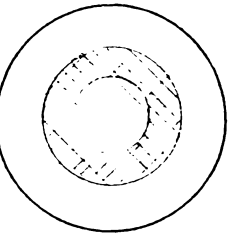
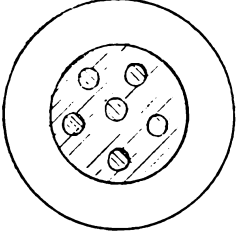
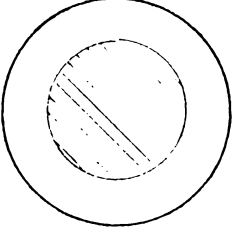
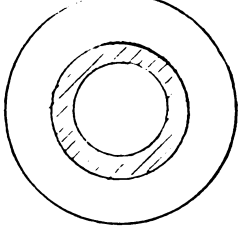
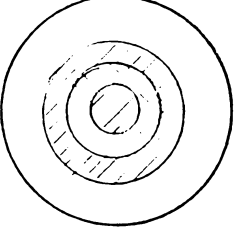
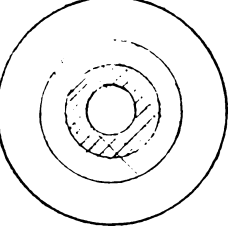
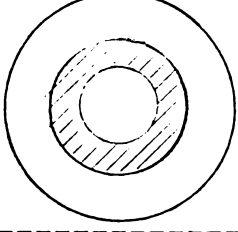
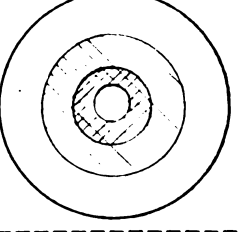
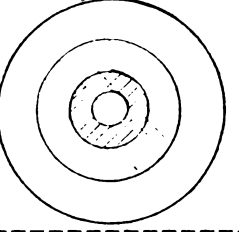
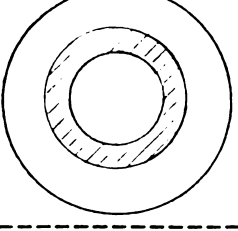
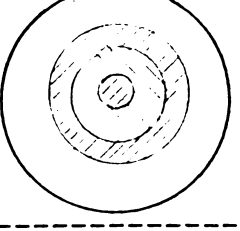
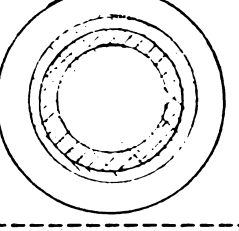
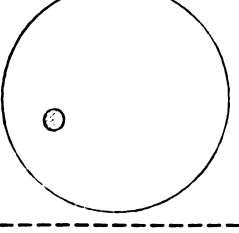
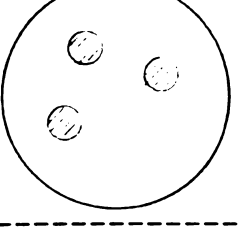
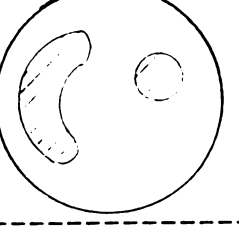
Material	Mediul lichid	Atac inițial 5 min- 20 min	Faza de erodare mijlocie 60 min - 120 min	Faza de erodare avansată 150 min- 165 min	Nr. model
W 6	Apă distilată				1
W 4	Soluție Na Cl 5 %			Nu s-a fotografiat	2
W 4	Soluții Na Cl 10 % și SO_4Na_2 12 %				3
W 4	Soluție Na Cl 15 %				4
W 4	Soluții Na Cl 20 % și Na Cl 25 %				5
W 6	Acid acetic glacial CH_3COOH				6

Fig. 6.2.72 Schematizarea unor modele caracteristice de evoluție a eroziunii cavitaționale magnetostrictive, (după studiul fotografic din Fig. 6.2.1 - Fig. 6.2.71)

A

Material	Mediul lichid	eroziune			Nr. model
		puțin adîncă	medie	adîncă	
		Atac initial 5 min- 20 min	Faza de erodare mijlocie 60 min - 120 min	Faza de erodare avansată 150 min- 165 min	
W 4	Acid acetic glacial CH ₃ COOH				7
W 4 W 6	Acid acetic CH ₃ COOH 80 % și 90 %				8
W 4 W 6	Acid acetic CH ₃ COOH 70 % - W4 60 % - W6				9
W 4 W 6	Acid acetic CH ₃ COOH 60 % - W4 50 % și 70 % - W6				10
W 4	Acid acetic CH ₃ COOH 50 %				11
W 4 W 6	Acid acetic CH ₃ COOH 1 %, 10 % 20 % 30 % 40 %				12

Fig. 6.2.72 Schematizarea unor modele caracteristice de evoluție a eroziunii cavitaționale magnetostrictive, (după studiul fotografic din Fig. 6.2.1 - Fig. 6.2.71)
B

În Figurile 6.2.72 A și 6.2.72 B s-a încercat o sistematizare a aspectului suprafețelor probelor atacate de cavitație.

S-au ales în acest scop imaginile cele mai caracteristice din seriile de fotografii executate, și s-au reprezentat schematic aspectele probelor după un atac inițial, la mijlocul perioadei de atac, și după terminarea atacului.

Pentru ilustrarea atacului în faza sa inițială, s-a ales prima fotografie în ordinea cronologică a atacului, pe care se poate constata clar modelul de eroziune. În funcție de materialul probei și de mediul lichid, aceasta a corespuns unui timp de atac între 5 și 20 de minute.

Aspectul suprafeței distruse a probei s-a reținut pentru un timp de atac mediu, alegând imagini caracteristice ale probelor atacate între 60 și 120 minute.

Imaginea după terminarea atacului cavitațional a fost reținută de la proba cu aspectul cel mai caracteristic al fiecărei serii. Ea corespunde unui timp de atac de 150 respectiv 165 minute.

Se constată că principial există două modele pentru suprafața distrusă :

1. Modelul cu distrugerea cea mai intensă pe un cerc concentric cu marginea probei și centrul probei mult mai slab erodat.
2. Modelul de distrugere cu eroziunea cea mai pronunțată în centrul probei.

Majoritatea modelelor fac parte din prima categorie. Modelele 6 și 7 ilustrează faze timpurii ale acestui tip de distrugere. Eroziunea este extrem de lentă, prelungirea atacului peste timpul de atac practicat de noi ar fi dus la formarea unui inel erodat.

Modelele 8, 9, și 11 sînt de tipul 2. Modelul 10 este hibrid, în primele faze de tip 1, în final de tip 2.

Probele fiind confecționate din același material, W4 respectiv W6, diferența tipului de distrugere provine din acțiunea specifică a lichidului.

Astfel un rol primordial îl joacă numărul și mărimea bulelor cavitaționale. Pentru norul cavitațional care se formează pe suprafața probei, specific ca formă și cu bule de dimensiuni diferite la lichide diferite, nu s-a găsit o corelare satisfăcătoare cu proprietățile lichidului / 36 /.

Asemănător nu se poate găsi o corelare a aspectului distrugerilor cu aceste proprietăți.

6.3 INFLUENTA CONCENTRAȚIEI SOLUȚIILOR ASUPRA EROZIUNII CAVITATIONALE

O primă constatare asupra influenței concentrației la soluțiile apoase ale unor substanțe chimice se poate face pe baza documentației fotografice a distrugerii probelor, prezentată anterior.

Totuși aspectul probei distruse dă numai o imagine globală mai mult calitativă sau în cel mai bun caz foarte grosieră din punct de vedere cantitativ al eroziunii în mediul lichid respectiv.

Pentru a vedea cum variază cantitativ eroziunea la diferite concentrații ale soluțiilor apoase, am procedat la prelucrarea curbelor primare de eroziune cavitațională.

În esență prelucrarea a constat în notarea unei mărimi caracteristice a eroziunii cavitaționale la un anumit timp de atac, respectiv la sfârșitul atacului, pentru fiecare lichid în care s-au făcut studii de eroziune cavitațională, adică pentru toate valorile concentrațiilor soluțiilor apoase în care s-au făcut încercări.

Parametrul care se alege pentru reprezentare poate fi unul luat direct din curbele caracteristice primare ale eroziunii cavitaționale, adică pierderea gravimetrică sau viteza eroziunii la un anumit timp de atac, sau poate rezulta dintr-o prelucrare a acestora. Se poate utiliza înclinația curbei pierderilor gravimetrice în zona ei liniară unde atacul cavitațional este dezvoltat complet, exprimată prin tangenta unghiului făcut de această curbă cu abscisa, valoarea de palier a curbei de viteză a eroziunii sau un alt criteriu utilizat pentru caracterizarea rezistenței materialelor la eroziune cavitațională. Aplicat aceluiași material în lichide diferite, criteriul caracterizează lichidul din punct de vedere al proprietăților sale la eroziune cavitațională.

Astfel se poate utiliza criteriul integral enunțat de autorul tezei /92,97/, care ține cont de întreaga eroziune începând cu perioada de incubație și pînă la momentul de atac la care se caracterizează materialul erodat respectiv capacitatea de erodare a lichidului.

Criteriul utilizează volumul mediu erodat de la începutul atacului cavitațional pînă la timpul de atac τ și se exprimă:

$$\bar{V} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} v(t) dt \quad (6.3.1)$$

Volumul mediu erodat se obține practic prin planimetrarea curbelor de pierderi volumice, volumul mediu erodat fiind suprafața închisă de abscisă, curba pierderilor gravimetrice și o verticală dusă din abscisa corespunzătoare timpului de atac pentru care se face determinarea pînă la curba pierderilor volumice.

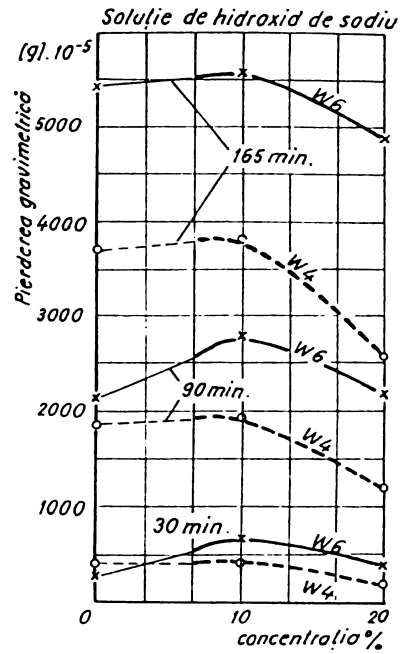


Fig. 6.3.1

Evoluția eroziunii cavitaționale în soluții de hidroxid de sodiu de concentrații diferite

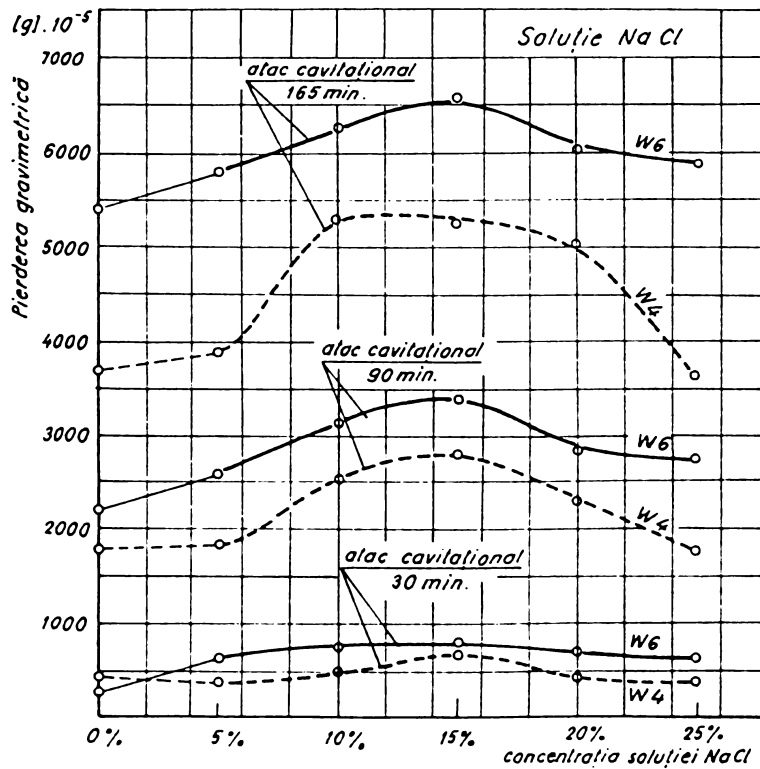


Fig. 6.3.2

Evoluția eroziunii cavitaționale în soluții de clorură de sodiu de concentrații diferite

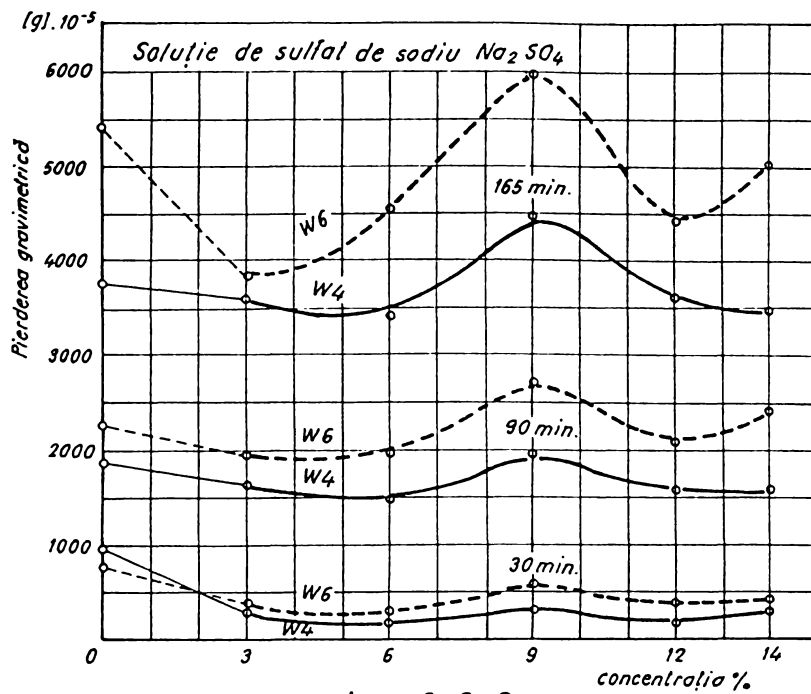


Fig. 6.3.3

Evoluția eroziunii cavitaționale în soluții de sulfat de sodiu de concentrații diferite

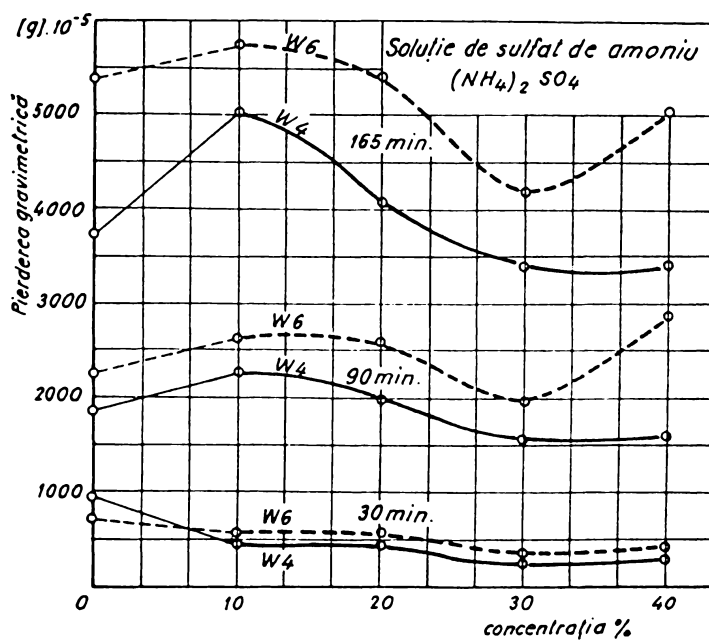


Fig. 6.3.4

Evoluția eroziunii cavitaționale în soluții de sulfat de sodiu de concentrații diferite

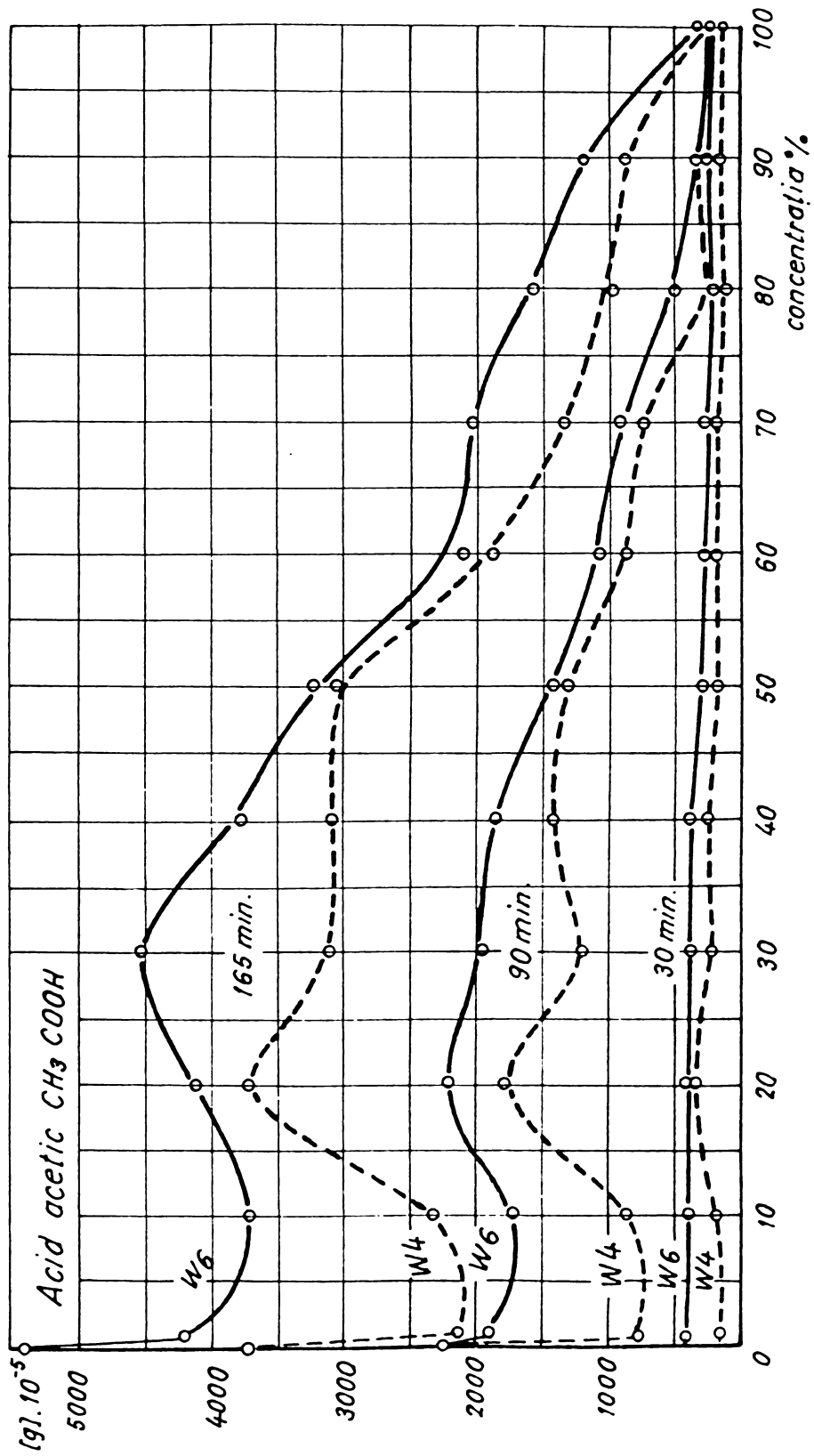


Fig. 6.3.5
Evoluția eroziunii cavitaționale în acid acetic de concentrații diferite

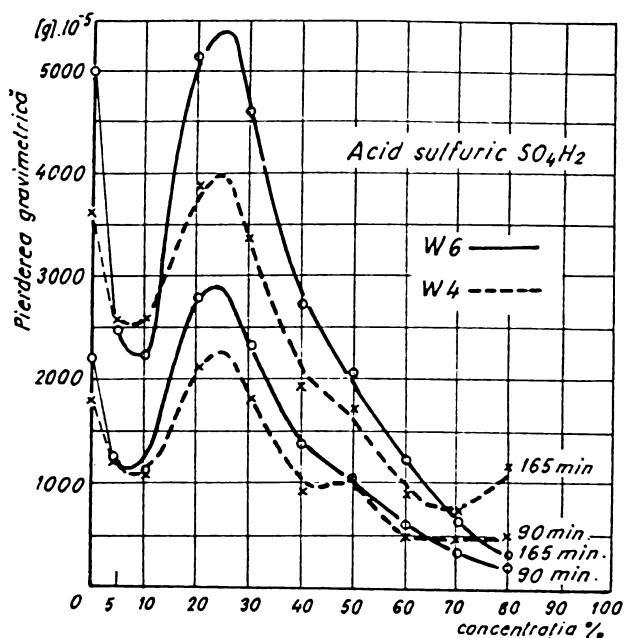


Fig. 6.3.6

Evoluția eroziunii cavitaționale în acid sulfuric de concentrații diferite

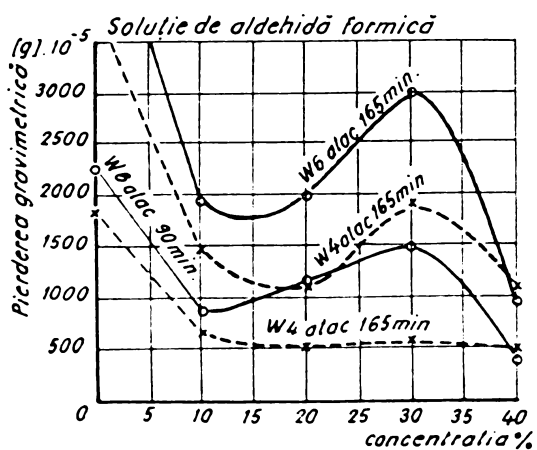


Fig. 6.3.7

Evoluția eroziunii cavitaționale în aldehida formică de concentrații diferite

Renunțând la prelucrări mai pretentioase s-au reprezentat, direct din curbele primare de eroziune cavitațională, valorile pierderilor gravimetrice la sfârșitul perioadei de incubație, la mijlocul intervalului de timp al atacului magnetostrictiv și la sfârșitul acestui atac.

Punctele amintite au fost reunite în diagrame ridicate pentru fiecare substanță chimică avînd în abscisă concentrația soluției și în ordonată timpul de atac magnetostrictiv.

Pentru mediile lichide la care eroziunea cavitațională a fost studiată în mai multe concentrații (cel puțin două), rezultatele sînt reprezentate în figurile 6.3.1 pîna la 6.3.7.

Concentrația de zero corespunde rezultatelor în apă distilată și este trecută la toate lichidele studiate-

Se constată că există foarte puține valori de concentrație la care eroziunea să fie mai pronunțată decît în apă, adică la care lichidul să prezinte o erozivitate mai mare.

O erozivitate mai pronunțată a lichidului a fost constatată la soluțiile de clorură de sodiu în întregul domeniu între 0 și 20 %. Această constatare explică eroziunea pronunțată a elicilor navale în apa de mare / 28 /.

În rest există vîrfuri singulare în diagramele eroziunii cavitaționale în funcție de concentrația soluțiilor, care însă nu prezintă o importanță deosebită: hidroxid de sodiu la concentrația de 10 %, soluția de sulfat de sodiu la concentrația de 9 %, soluția de sulfat de amoniu la concentrația de 10 %, acidul sulfuric la o concentrație între 20 și 30 %.

Deși în punctele respectiv zonele amintite lichidul prezintă o erozivitate mai pronunțată decît apa, creșterea erozivitătii nu este dramatică ea situîndu-se sub o valoare de 10 % și într-o zonă restrînsă a valorilor concentrațiilor.

Rezultatele prezentate în curbele eroziune - concentrație prezintă înainte de toate o importanță practică:

Constructorii de elici navale pot estima eroziunea în apa sărată de mare (cu concentrații diferite în diferite mări și oceane) cunoscînd eroziunea în apă dulce, întreprinderile industriei chimice producătoare a substanțelor cuprinse în studiul nostru au posibilitatea să aleagă o concentrație de transport a lichidului mai puțin agresivă din punct de vedere al cavitației, constructorii de pompe de chimie pot trage concluzii asupra comportării la eroziunea cavitațională a pompelor în mediile studiate pe baza cunoașterii comportării pompelor în apă.

Este interesant de remarcat că la lichidele studiate s-a găsit o evoluție analogă a curbelor eroziune - concentrație pe grupuri de substanțe: soluțiile de săruri cu un maxim clar al cărui poziție diferă de la o sare la alta în domeniul de solubilitate, acizii cu o ramură descrescătoare în zona concentrațiilor mici, apoi un maxim în jurul concentrației de 30 % și o ramură pronunțată descrescătoare înspre concentrațiile mari.

7. INCERCARI DE CORELARE A INTENSITATII EROZIUNII CAVITATIONALE CU PROPRIETATILE LICHIDULUI.

Pentru evitarea sau cel puțin reducerea considerabilă a efectului coroziunii în cadrul procesului de distrugere cavitațională, încercările în diferitele lichide s-au făcut cu oțeluri inoxidabile după cum s-a mai arătat.

Au fost alese oțelurile W4 și W6 datorită rezistenței lor foarte ridicate la coroziune.

În figurile 7.0.1 a, b, și c se prezintă diagramele de coroziune ale acestor oțeluri după Berg / 98 /.

Curbele din aceste diagrame prezintă pătrunderea coroziunii în material. Este reprezentată adâncimea de pătrundere în milimetri în timp de un an, în funcție de temperatură și de concentrația substanței.

Se vede că în acid sulfuric și acetic, la toate concentrațiile, la temperatura de 20 grade Celsius adâncimea de pătrundere a coroziunii este mai mică decât 0,1 mm/an. Excepție face doar concentrația de 70 % a acidului sulfuric în care materialul W6 prezintă o adâncime de pătrundere nesemnificativ mai mare decât valoarea amintită, care însă fără îndoială poate fi considerată egală cu 0,1 mm/an.

Din diagrame asemănătoare pentru soluții de săruri în apă, care pentru motive de economie de spațiu nu se mai prezintă aici, am dedus că cele două oțeluri sînt foarte rezistente la coroziune și le-am ales pentru studiul influenței lichidului asupra distrugerii cavitaționale.

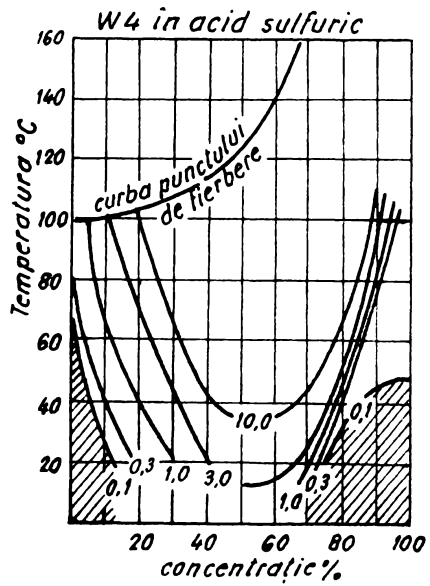
Desigur față de constatările de mai sus trebuie exprimate și unele rezerve. Ele provin din condițiile specifice încercărilor magnetostrictive de eroziune cavitațională și din condițiile specifice fenomenului de distrugere.

Astfel este cert că vibrația probei magnetostrictive favorizează coroziunea față de situația unor probe imersate static în lichidul de încercare pentru care au fost ridicate diagramele din fig. 7.0.1 a, b, și c.

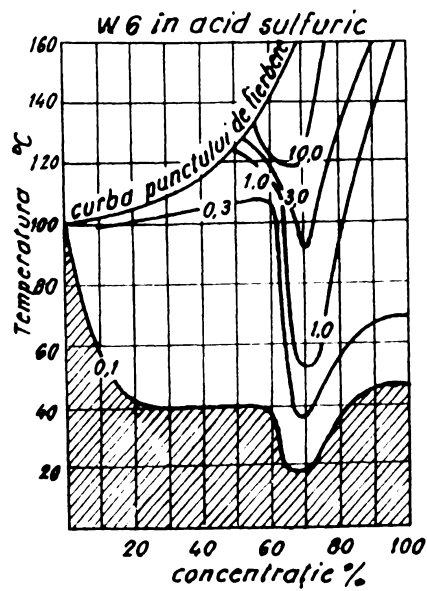
De asemenea temperaturile care se produc cel puțin în câteva puncte ale suprafeței probei pe timp foarte scurt, depășesc cu mult temperatura mediului ambiant la care ne-am referit în constatările de mai sus.

Pe de altă parte timpul relativ scurt de încercare de 165 minute reprezintă doar aproximativ 0,03 % dintr-un an, timp cît au fost încercate static probele de către Berg.

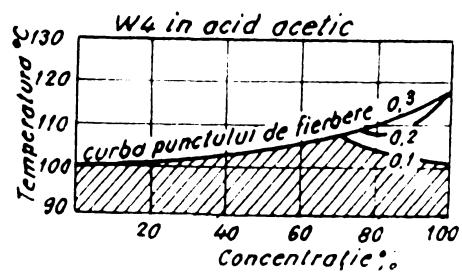
Se poate presupune din motivele enunțate că distrugerea probelor se datorește mai ales acțiunii erozive și mai puțin a celei corozive a lichidului de lucru.



a.



b.



c.

Fig. 7.0.1
 Adâncimea de pătrundere a coroziei
 statice în material în mm/an, după
 Berg / 98 /

7.1 INCERCARI DE CORELARE A EROZIUNII CU PROPRIETATILE FIZICE ALE LICHIDELOR

Stabilirea certă a dependenței eroziunii cavitaționale de anumite proprietăți fizice ale lichidelor presupune pe de-o parte cunoașterea exactă a acestor proprietăți la lichidele utilizate, pe de altă parte posibilitatea varierii unei anumite proprietăți cu menținerea constantă a tuturor celorlalte.

Nici unul din dezideratele enunțate mai sus nu a fost îndeplinit, în cadrul studiilor de eroziune cavitațională în diferite lichide, întreprins de noi.

Pentru a obține totuși o oarecare imagine asupra modului în care proprietățile lichidului intervin în eroziunea cavitațională am recurs la date de literatură. Beneficiind de faptul că o serie de proprietăți fizice ale substanțelor utilizate de noi, respectiv ale soluțiilor apoase ale acestor substanțe la concentrații diferite sînt tabelate în literatură / 99 /, am prezentat grafic aceste proprietăți în funcție de concentrație.

Am obținut astfel diagramele din figurile 7.1.1 pîna la 7.1.6, în care este cuprinsă variația în funcție de concentrație a următoarelor proprietăți fizice ale lichidelor:

- densitatea ρ la 20 grade Celsius în Kg/mc
- vîscozitatea cinematică ν la 20 grade Celsius în cSt.
- conductanța electrică specifică γ la 20 grade Celsius în mmho/cm
- tensiunea superficială σ în dyne /cm

(Nu pentru toate substanțele încercate s-au găsit date în literatură, iar pentru cele reprezentate nu la toate s-au găsit tabele cu toate proprietățile amintite mai sus)

Din diagrame se vede că în general toate proprietățile variază de la o concentrație la alta, dar că există totuși în unele cazuri o diferență pronunțată privind intensitatea variației. Diagramele, la care scările s-au ales după criteriul posibilității de reprezentare într-un spațiu restrîns a variației tuturor proprietăților cunoscute, trebuie analizate cu grijă, variația procentuală a mărimilor reprezentate în funcție de concentrație fiind extrem de diferită de la o proprietate la alta.

O indicație calitativă asupra influenței proprietăților fizice reprezentate se poate obține analizînd simultan variația eroziunii cavitaționale și variația proprietăților fizice ale lichidului de-a lungul diferitelor valori ale concentrației lichidului în care s-a produs distrugerea cavitațională.

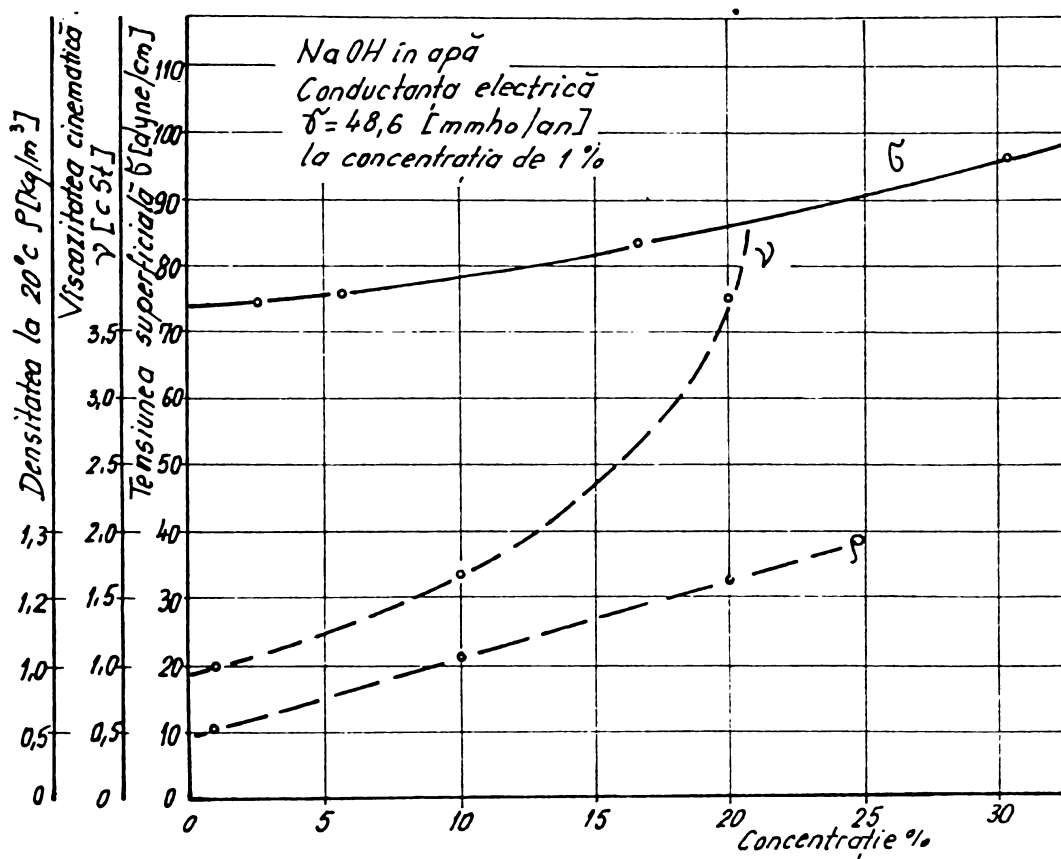


Fig. 7.1.1
Variația unor proprietăți fizice ale soluțiilor apoase de hidroxid de sodiu, după date tabelate din literatură / 99 /

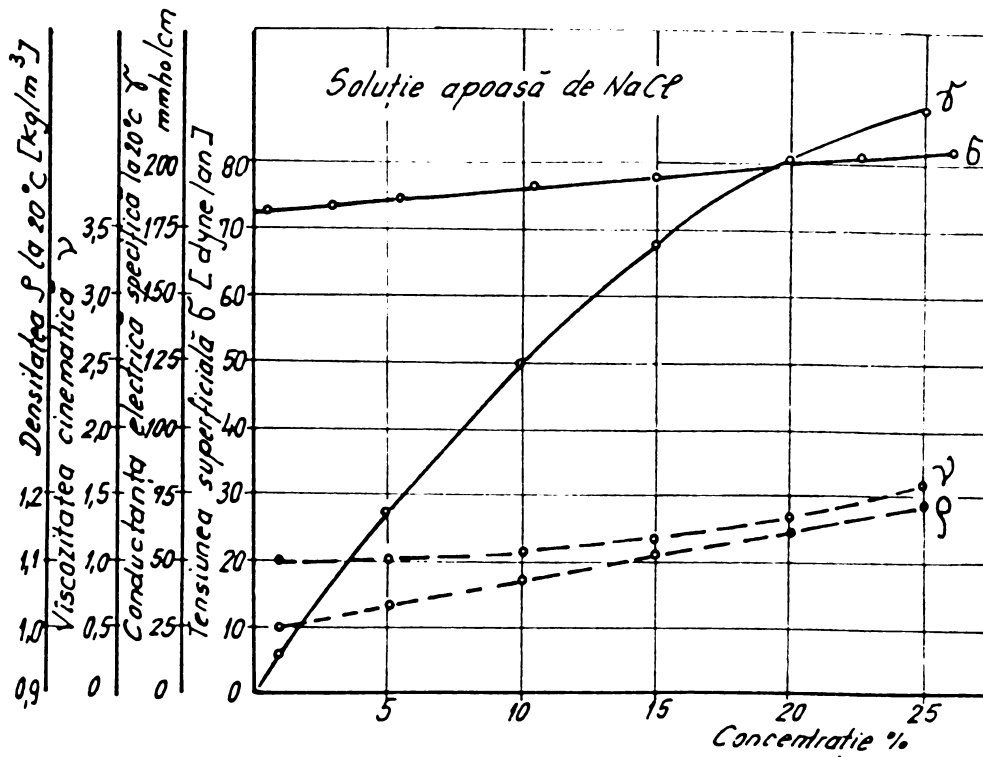


Fig. 7.1.2
Variația unor proprietăți fizice ale soluțiilor apoase de clorură de sodiu, după date tabelate din literatură / 99 /

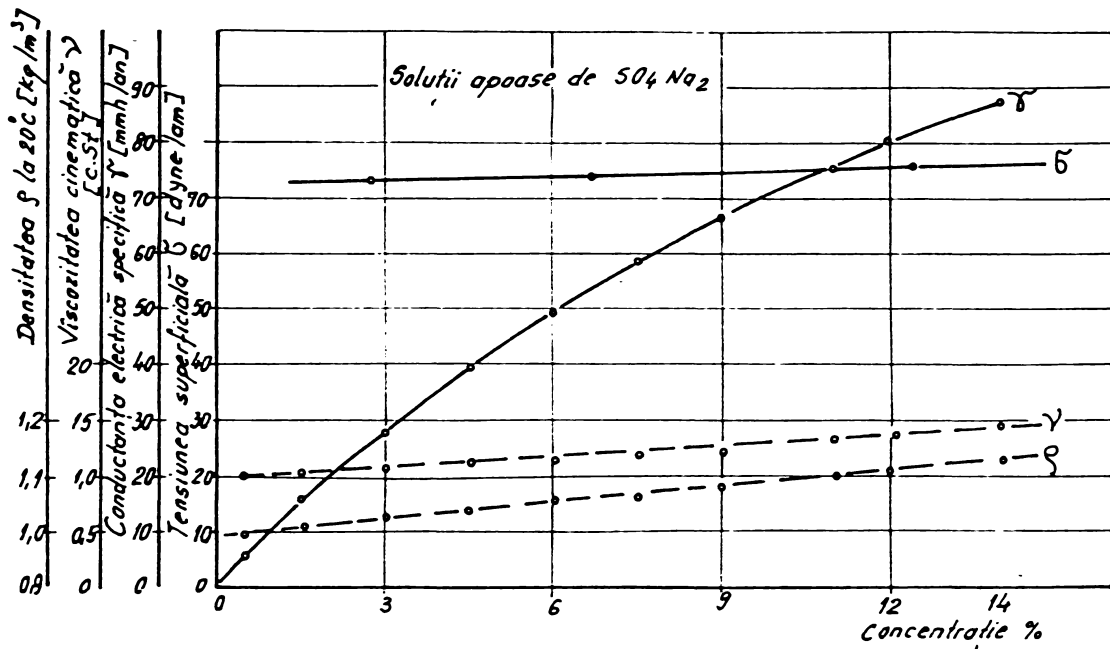


Fig. 7.1.3
 Variația unor proprietăți fizice ale soluțiilor apoase de sulfat de sodiu după date tabelate din literatură / 99 /

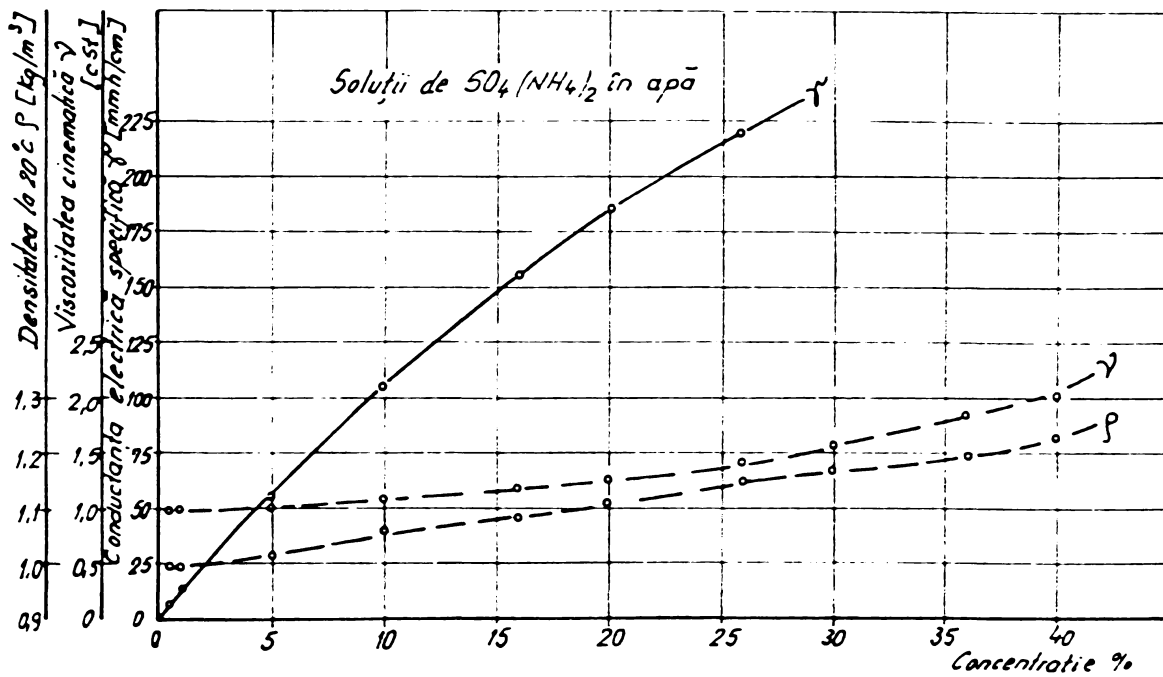


Fig. 7.1.4
 Variația unor proprietăți fizice ale soluțiilor apoase de sulfat de amoniu, după date tabelate din literatură / 99 /

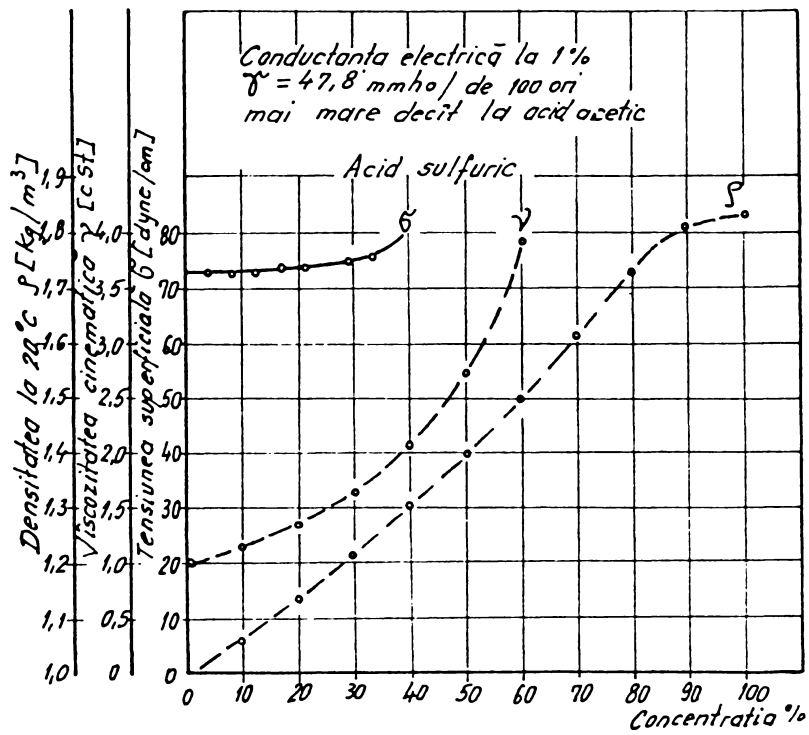


Fig. 7.1.5
 Variația unor proprietăți fizice
 ale acidului sulfuric de concen-
 trații diferite, după date tabe-
 late din literatură / 99 /

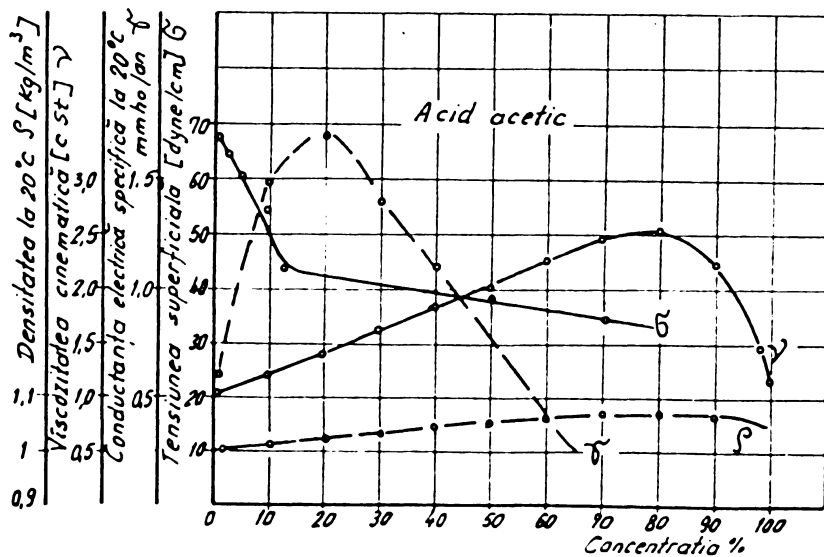
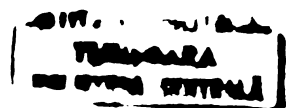


Fig. 7.1.6
 Variația unor proprietăți fizice ale
 acidului acetic de concentrații dife-
 rite, după date tabelate din litera-
 tură / 99 /



Dintre lichidele studiate deosebit de interesant a fost acidul acetic.

Eroziunea cavitațională în acest acid a fost studiată într-un număr mare de concentrații, de la o concentrație slabă de 1 % pînă la acidul acetic glacial.

Aspectul foarte variat al suprafeței distruse a probei atacată cavitațional în acid acetic ne-a determinat să încercăm o corelare între proprietățile fizice ale lichidului și parametrii principali ai eroziunii cavitaționale la acest acid.

Astfel cunoscînd la diferite concentrații ale acidului acetic valorile pentru pierderea gravimetrică și pentru viteza eroziunii cavitaționale pe de o parte și cele ale proprietăților fizice enumerate pe de altă parte, s-au putut ridica diagrame de corelare.

Diagramele de corelare s-au reprezentat pentru cazul corelării pierderilor gravimetrice cu proprietățile lichidului la două valori ale acestor pierderi și anume pentru valorile pierderilor gravimetrice măsurate după un atac cavitațional de 60 minute și după un atac de 120 minute.

Diagramele de corelare a vitezei eroziunii cavitaționale cu proprietățile fizice ale lichidului s-au făcut pentru valoarea de palier a vitezei de eroziune.

În figurile 7.1.7 a, b, c, d și e precum și în 7.1.8 a, b, c, d și e se prezintă diagramele amintite mai sus. În aceste figuri materialul W4 a fost notat cu A, și W6 cu B. La reprezentarea densității și vîscozității dinamice s-au utilizat valori adimensionale prin raportarea valorii curente la valoarea inițială.

Deoarece curbele proprietăților fizice ale lichidului nu sînt monotone în lungul intervalului de concentrații, curbele de corelare prezintă ramuri întoarse pentru densitate, vîscozitate și conductanța electrică atît în cazul corelării cu pierderea gravimetrică, figurile 7.1.7 c, d, și e, cît și pentru corelarea cu viteza pierderii gravimetrice, figurile 7.1.8 c, d și e.

Curbele de corelare ale tensiunii superficiale cu pierderile gravimetrice și cu viteza eroziunii cavitaționale nu prezintă ramuri întoarse, deoarece în întregul interval de concentrații ale acidului acetic tensiunea superficială variază monoton crescător.

Menționăm încă odată că diagramele de corelare prezentate nu reprezintă exprimarea grafică a unei dependențe funcționale între mărimile reprezentate. Aceasta ar fi fost valabil doar în cazul în care ar fi existat posibilitatea varierii unei singure proprietăți fizice a lichidului cu menținerea constantă a tuturor celorlalte.

Trebuie observat de asemeni că atît pierderea gravimetrică cît și viteza eroziunii se reduce monoton în partea finală a domeniului de concentrații (concentrații mari, înspre acid acetic glacial) deși în acest domeniu de concentrații vîscozitatea și

greutatea specifică a lichidului își inversează modul de variație. O explicație a acestei observații ar putea fi reducerea importanței relative a acestor două proprietăți în comparație cu scăderea accentuată a valorii presiunii de vaporizare a lichidului la lichidul pur nediluat cu apă.

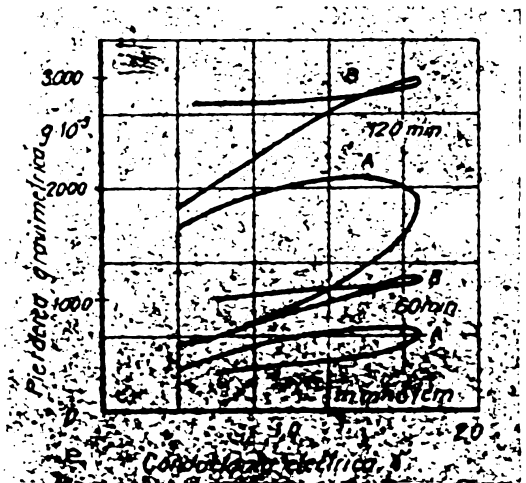
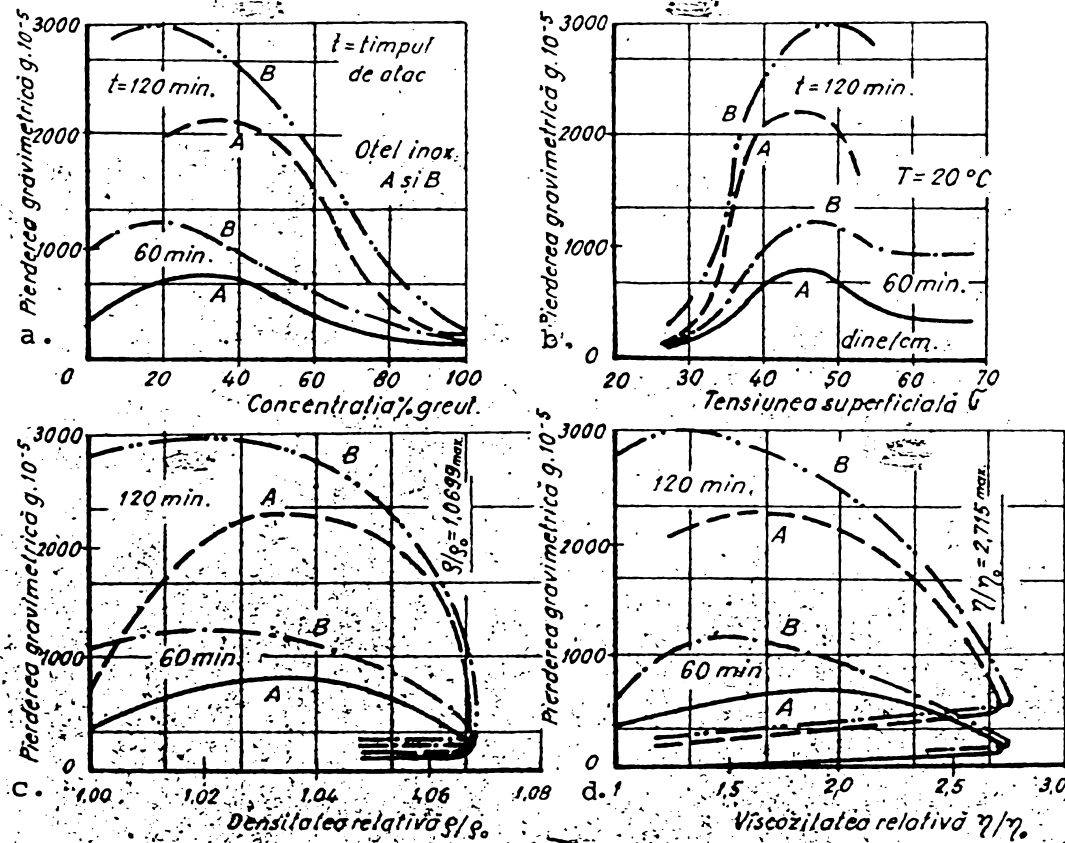


Fig. 7.1.7
a, b, c, d, și e

Corelarea unor proprietăți fizice ale acidului acetic de concentrații diferite cu pierderile gravimetrice după un atac cavitațional de 60 respectiv 120 minute. Pentru materiale s-a notat:

- W4 = A
- W6 = B

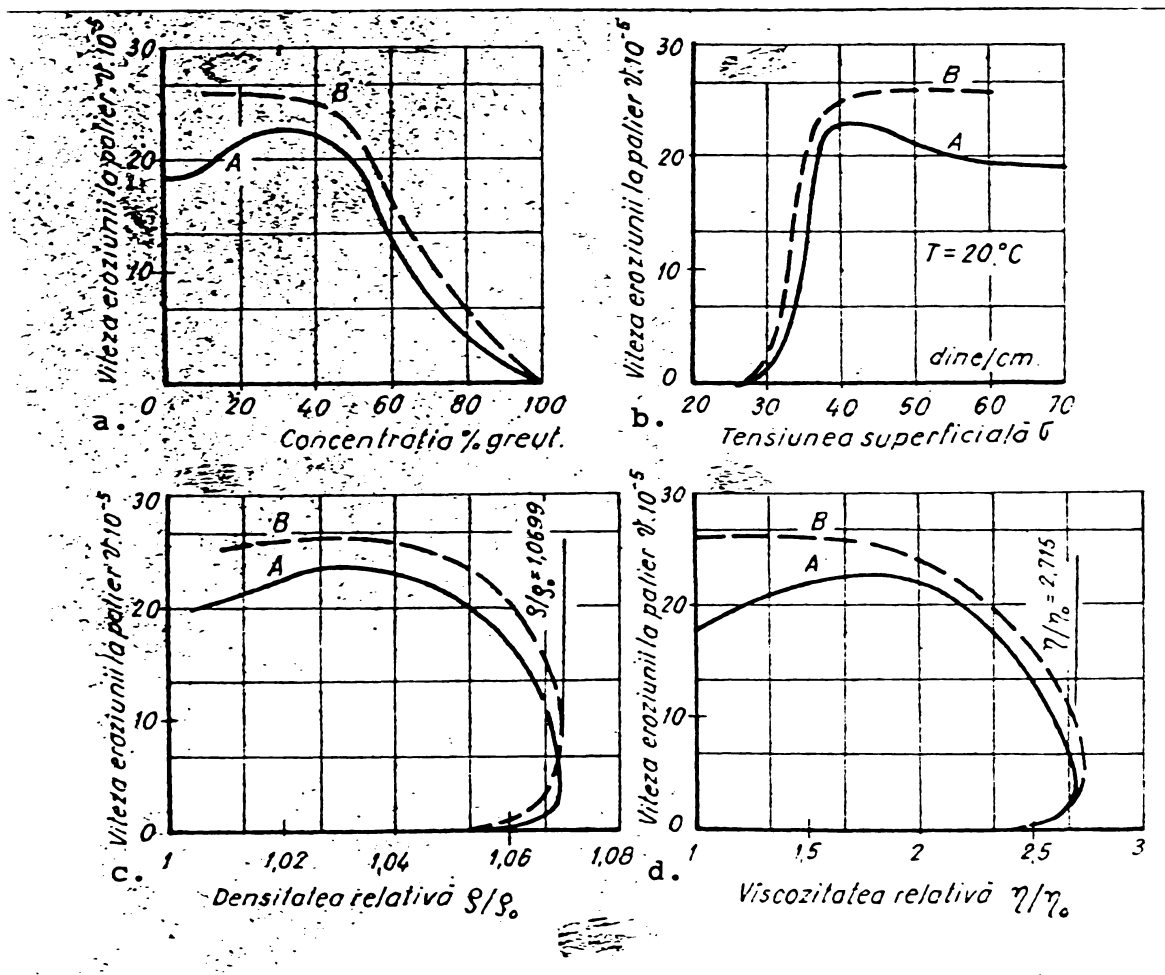


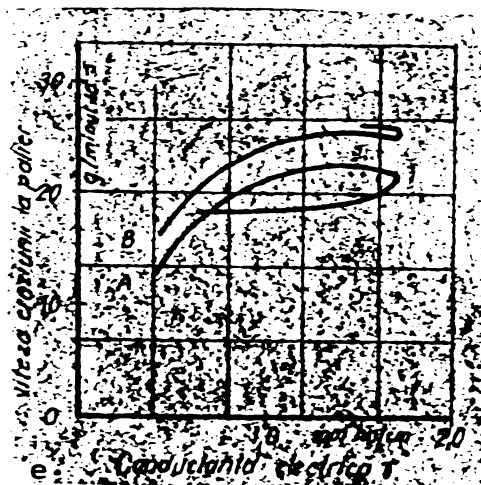
Fig. 7.1.8
a, b, c, d și e

Corelarea unor proprietăți fizice ale acidului acetic de concentrații diferite cu viteza eroziunii cavitaționale (valcarea de palier).

Pentru materialele s-a notat :

W4 = A

W6 = B



Din diagramele de corelare se constată o reducere a distrugerii cavitaționale la creșterea viscosității lichidului, explicabilă prin frinarea incipienței adică a formării bulelor, descrisă în capitolul 4.

Excepția amintită deja, care apare la capătul intervalului de concentrație înspre concentrații mari, are cauze fizico-chimice complexe legate de particularitățile acidului acetic - o combinație slabă, neionizabilă, la valoarea concentrației de 77 %, datorită unei legături de hidrogen între o moleculă de acid și una de apă, având ca rezultat o ionizare slabă în domeniile de concentrație învecinate.

Influența favorizantă a densității lichidului asupra distrugerii cavitaționale nu a putut fi pusă în evidență. Este probabil că pentru o evidențiere a ei ar fi fost necesară o variație mult mai pronunțată decât cea pe care am cuprins-o în cadrul lucrărilor cu lichidele de lucru utilizate de noi, de exemplu prin utilizarea mercurului sau a unor aliaje lichide. Astfel din curba de corelare a eroziunii cu densitatea relativă în nici un caz nu poate fi trasă concluzia reducerii eroziunii cavitaționale cu creșterea densității.

Se constată în concluzie că nici în cazul existenței unor diagrame de corelare a eroziunii cavitaționale cu unele proprietăți fizice ale lichidelor, nu pot fi trase concluzii certe asupra modului în care proprietățile fizice influențează procesul de distrugere. Această constatare se poate aplica și unor cercetări publicate anterior în literatură /100/. Plesset a constatat la studiul eroziunii cavitaționale în amestecuri glicerină-apă o creștere pronunțată a eroziunii cavitaționale în zona finală a domeniului de concentrație, înspre glicerină 100 %. Aceasta este greu de explicat. Densitatea lichidului crește doar nesemnificativ în schimb vâscozitatea crește extrem de rapid în acest domeniu. Ar fi de așteptat o reducere considerabilă a eroziunii și nu o creștere a ei în zona concentrațiilor mari de glicerină.

Este probabil ca intensitatea cu care influențează o anumită proprietate fizică a lichidului procesul de distrugere să nu fie aceeași în întregul interval de concentrații, și este cert că fiecare lichid prezintă aspecte caracteristice specifice.

Deasemeni este sigur că în cadrul studierii factorilor ce influențează distrugerea nu poate fi evitată analiza influenței vitezei sunetului în lichidul de lucru / 101, 102 /.

7.2 CAPACITATEA EROZIVA A LICHIDELOR

Pentru caracterizarea globală a modului în care eroziunea cavitațională se produce într-un anumit lichid, se poate utiliza un criteriu enunțat în /90/, raportînd valoarea măsurată pentru un parametru caracteristic al eroziunii cavitaționale în lichidul de lucru, la valoarea măsurată pentru același parametru în apă. În principiu se pot utiliza toți parametrii cu care se caracterizează cantitativ eroziunea cavitațională, pierderile gravimetrice după un anumit timp de atac, volumul mediu erodat sau viteza eroziunii la palier.

$$C_{\text{lichid}} = \frac{\Delta G_{\text{lichid}}}{\Delta G_{\text{apă}}} \quad (7.2.1)$$

Evoluția aproape paralelă a curbelor de eroziune cavitațională pentru cele două materiale încercate, în lungul concentrațiilor diferite ale diferitelor lichide, duce la valori foarte apropiate ale acestei "capacități erozive" a lichidelor, determinată pe două materiale diferite. Validitatea criteriului trebuie însă verificată și cu ajutorul altor materiale cu proprietăți mult diferite față de cele două oțeluri inoxidabile.

În ansamblu lucrarea constituie o contribuție la elucidarea influenței proprietăților lichidului, în mod special al vîscozității, asupra incipienței și eroziunii cavitaționale. Astfel ea reprezintă o completare adusă pe calea cercetării experimentale, la investigații ample efectuate preponderent pe cale teoretică / 104, 105, 106 /.

În cadrul unor încercări premergătoare, efectuate în montaje experimentale realizate de autor, prezentate în capitolul 2 al lucrării, s-au determinat vîscozitățile glicerinei și a amestecurilor glicerină - apă, utilizate ulterior în tunelul hidrodinamic, precum și valorile de saturație ale aerului în aceste amestecuri.

Măsurătorile pentru vîscozitate s-au efectuat în două vîscozimetre cu principii de funcționare diferite, ambele testate la temperatura de 20 grade Celsius, pentru glicerină și amestecuri glicerină-apă, și la temperaturi de la 20 la 40 grade Celsius pentru apă. Rezultatele foarte apropiate, obținute prin cele două metode de măsurare, au permis ridicarea curbei de variație a vîscozității în funcție de concentrație pentru valori ale acesteia din urmă, cuprinse între 0 și 86,5 %. S-a constatat o creștere a vîscozității cu două ordine de mărime în acest interval.

Intr-un alt montaj experimental s-au determinat valorile de saturație în aer, pentru amestecurile cu care s-a lucrat ulterior în tunel. Pentru fiecare amestec s-au făcut 5 pînă la 7 serii de măsurători între 20 și 40 grade Celsius, reținîndu-se tabelar seriile de valori.

Cunoscînd concentrația de oxigen corespunzătoare saturației în aer a lichidelor și vîscozitatea acestora, în tunelul hidrodinamic secvențial al Institutului de hidrotehnică "Oskar von Miller" din Obernach s-au efectuat ample serii de măsurători pe profile NACA 65006.

S-a lucrat la trei valori ale unghiului de incidență, trei valori ale lungimii corzii, cinci valori ale vîscozității lichidului și viteze ale curentului situate între 8 m/s și 20 m/s. Aceste investigații constituie primele lucrări experimentale efectuate cu glicerină într-un tunel hidrodinamic.

Pentru efectuarea măsurătorilor conduse pe calculator, a fost necesară reetalonarea tuturor instrumentelor de măsură cu toate lichidele vehiculate, și adaptarea corespunzătoare, a programelor de etalonare și de măsurare, în funcție de proprietățile amestecurilor. Acestea s-au referit în special la densitatea și vîscozitatea lichidului, precum și la valoarea de saturație pentru aer resp. oxigen în fiecare amestec.

Un prim rezultat al măsurătorilor principale prezentate în capitolul 4, îl constituie curbele primare de incipiență a

cavitației, în care este reprezentat Sigma Thoma incipientă în funcție de viteza curentului, pentru fiecare mărime de profil și unghi de incidență, la vîscozitate parametric constantă.

Cea mai importantă concluzie a acestor reprezentări constă în evidențierea influenței selective a vîscozității asupra incipienței cavitaționale. Se vede într-adevăr clar, că la incidența de un grad, diferența dintre curbele corespunzătoare unor vîscozități diferite, este mai mică decît la incidența de două grade și mult mai mică decît la trei grade.

Este practic sigur că la incidența nulă diferențele ar fi fost și mai mici, dacă nu chiar insesizabile, cel puțin în domeniul vitezelor la care au fost efectuate măsurătorile.

Rezultatele constituie astfel o confirmare experimentală a ipotezei emisă de F. G. Hammit / 7 /, asupra magnitudinii diferite cu care vîscozitatea intervine în procesul incipienței cavitației. Această influență este redusă la corpuri cu formă hidrodinamică bună, datorită lipsei sau a întîrzierii desprinderilor și considerabil mai mare la corpurile mai puțin hidrodinamice, la care desprinderile apar foarte repede. În cazul profilelor simetrice NACA 65006, configurația din camera de lucru este favorabilă din punct de vedere hidrodinamic la incidența nulă. Cu creșterea unghiului de incidență ea devine tot mai nefavorabilă, corespunzător influența vîscozității devine mai mare.

Prelucrarea curbelor primare de incipiență cavitațională pentru configurații asemenea, adică profile asemenea și unghiuri de incidență egale, cu varierea lungimii corzii, a vîscozității și a vitezei curentului, a condus la o altă concluzie importantă a lucrării, permițînd punerea în evidență a unei legi exponențiale de variație a coeficientului de incipiență a cavitației Sigma Thoma cu vîscozitatea lichidului.

Pentru verificarea corectitudinii cu care legea găsită descrie realitatea, s-au reprezentat punctele măsurate pentru Sigma-Thoma și punctele calculate pentru diferite valori ale vîscozității lichidului.

Din reprezentare rezultă că pentru punctele măsurate și cele calculate se obține practic aceeași curbă, ceea ce demonstrează corectitudinea descrierii matematice făcute.

Dacă această legitate se schimbă la alte configurații hidrodinamice, și modul în care apare această schimbare trebuie investigat în viitor.

Merită de remarcat faptul care rezultă din considerațiile de mai sus, că incipiența cavitației și deci valoarea coeficientului Sigma-Thoma, determinat în condiții corecte, adică lucrînd cu lichide de vîscozitate egală și cu aceeași rezistență la rupere, reprezintă o măsură a "hidrodinamicității" corpului sau structurii hidraulice pentru care se face măsurătoarea. Cu cît valoarea coeficientului de incipiență a cavitației este mai mic, cu atît mai favorabil este corpul din punct de vedere hidrodinamic.

O concluzie importantă a cercetărilor experimentale asupra incipienței cavitaționale în glicerină și amestecuri de glicerină cu apă, constă în confirmarea influenței determinante a tensiunii de rupere a lichidului. La această concluzie se ajunge prin comparația curbelor primare de incipiență obținute, cu aceleași curbe determinate anterior în apă, cu măsurarea tensiunii de rupere a apei din tunel. Pentru tensiunea de rupere nulă (conform definiției prezentată în lucrare), alura curbelor caracteristice este identică. Aceasta arată că și la glicerină și amestecurile acesteia cu apa, incipiența cavitației este guvernată de rezistența la rupere a lichidului. Extrem de interesantă ar fi, în acest context, găsirea unei eventuale corelații între tensiunea de rupere și vîscozitatea lichidului, ambele fiind determinate de forțele intermoleculare.

Deoarece în timpul lucrărilor toți factorii componenți ai numărului Reynolds au fost variați, se pot trage concluzii asupra modului de variație a lui Sigma-Thoma în funcție de Re, pentru variația fiecărui factor în parte.

Drept concluzie principală a acestei analize se desprinde constatarea că nu există o corelare clară univocă sau biunivocă, între valoarea coeficientului de incipiență a cavitației și numărul Reynolds.

Nu doar pentru configurații hidrodinamice diferite, ci și pentru configurații asemenea și chiar pentru una și aceeași configurație, o anumită valoare a lui Sigma se obține la valori Re diferite, după cum la aceeași valoare a lui Re pot fi măsurate valori diferite pentru coeficientul de cavitație.

Pentru cazul în care variația cifrei Reynolds se obține prin varierea vîscozității lichidului, la profilul mic, cu lungimea corzii de 30 mm, se obțin curbe de variație quasi paralele Sigma-Re pentru diferite viteze parametriche ale curentului. Curbele se îndeasă în zona vitezelor mici și a cifrelor Re mici și se răresc la viteze mai mari. Incepînd cu valoarea $Re = 2,5 \cdot 10^5$ se schițează o convergență a curbelor corespunzînd domeniului de viteze 9 m/s - 12 m/s, ceea ce indică descreșterea ponderii relative a vitezei în dependența Sigma-Re în această zonă.

Acelaș lucru se poate observa și în curbele trasate pentru profilele cu lungimea corzii de 60, respectiv 120 mm. Tendința descrisă se păstrează pînă la valoarea de aproximativ $Re = 8 \cdot 10^5$. La creșterea în continuare a numărului Re, obținută în acest caz prin scăderea vîscozității, curbele Sigma-Re se îndepărtează unele de celelalte și la valori mai mici ale vitezei, indicînd creșterea ponderii vitezei în corelația dintre coeficientul de cavitație și numărul Reynolds.

Pentru analiza variației Sigma - Re în cazul varierii lungimii corzii profilului, reprezentările grafice au trebuit să se sprijine pe doar trei puncte pentru fiecare curbă, deoarece lucrările din tunel s-au limitat la trei valori ale lungimii corzii profilului. Curbele permit concluzii asemănătoare cu cele anterioare. Ponderele vitezei crește cu valoarea ei, ea este relativ redusă în jurul valorii $Re = 5 \cdot 10^5$. Surprinzătoare apare schimbarea concavității curbelor Sigma-Re

În reprezentările corespunzătoare unor vîscozități mai mari și atenuarea concavității pînă aproape la dispariție, în reprezentarea corespunzătoare vîscozității maxime la care s-au făcut încercările.

În sfîrșit cînd variația cifrei Reynolds se obține prin varierea vitezei, curbele Sigma-Re sînt întru totul asemănătoare pentru cele trei lungimi de coardă utilizate. La valori mari ale vîscozității corespunzînd unor valori mici pentru numărul Re, panta curbelor este mare. Ea scade considerabil cu scăderea vîscozității, înspre valori mai mari ale lui Re. Aceasta indică o pondere a vitezei în corelația Sigma-Re, cu atît mai mare cu cît vîscozitatea lichidului este mai ridicată.

În partea consacrată eroziunii cavitaționale, se prezintă mai întîi instalația de cavitație magnetostrictivă a Catedrei de Mașini Hidraulice de la Facultatea de Mecanică a Universității Tehnice Timișoara, și metodele de lucru utilizate. Merită relevate modul original de tratare al probelor înainte de cîntărire și de păstrare a lor într-un spațiu vidat și încălzit la 40 grade Celsius.

În capitolul 6 sînt prezentate rezultatele încercărilor de eroziune cavitațională efectuate pe probe din două oțeluri inoxidabile, deosebit de rezistente la coroziune, în medii lichide diferite, baze, soluții apoase de săruri, acizi și substanțe organice.

Un studiu fotografic al suprafeței probelor distruse, făcut prin reținerea imaginii fiecărei probe, la fiecare extracție pentru cîntărire, scoate în evidență două modele caracteristice de distrugere: unul cu eroziunea concentrată pe un cerc concentric cu marginea probei și centrul slab sau deloc distrus, și unul cu distrugeri maxime în chiar centrul suprafeței frontale a probei. A putut fi pus în evidență și un model hibrid, la care distrugerea prezintă în primă fază aspectele caracteristice ale primului model evoluînd apoi înspre cel de al doilea.

În unele din lichidele utilizate, au fost făcute încercări anterioare de către alți autori. Acestea s-au efectuat de regulă la o singură concentrație a lichidului, de obicei mică (acid sulfuric, clorură de sodiu). Parcurgerea întregului domeniu de concentrații, respectiv de solubilitate, constituie o noutate, care permite ridicarea unor curbe de variație a eroziunii de-a lungul întregului domeniu.

Aceste curbe au importanță practică, de exemplu pentru alegerea unei concentrații de transport hidraulic în conducte, astfel încît sistemul de transport să fie mai puțin afectat de eroziunea cavitațională. Ele permit deasemeni concluzionarea asupra comportării la distrugerea cavitațională în lichidul pentru care au fost ridicate, dacă se cunoaște comportarea materialului în apă.

Din analiza tuturor acestor curbe, se poate trage concluzia, că unele grupe de lichide prezintă similarități în evoluția eroziunii de-a lungul intervalului de concentrații. Acest lucru se remarcă îndeosebi la acidul sulfuric și acidul ace-

tic. La începutul intervalului de concentrații eroziunea se reduce la ambele pînă la un minim intermediar, crește apoi pînă la un maxim și scade în sfîrșit la valori foarte mici în zona concentrațiilor ridicate.

O oarecare similaritate se poate constata și la soluțiile de săruri în apă. Pentru a stabili dacă aceste similarități au natură legică, este nevoie de investigații ample într-un număr mult mai mare de lichide.

Utilizînd date publicate tabelar în literatură, în capitolul 7 al lucrării se trasează curbele de variație ale unor proprietăți fizice ale lichidelor în care s-au făcut încercările de eroziune cavitațională, în funcție de concentrație.

Există astfel posibilitatea comparării evoluției eroziunii, cu evoluția acestor proprietăți, pe întregul interval de concentrații în care s-au făcut încercările.

O prelucrare mai amplă a acestor corelări este făcută pentru acidul acetic, la care pentru caracterizarea eroziunii se utilizează atît pierderea gravimetrică cît și viteza eroziunii la atingerea valorii de palier.

Datorită variației concomitente a tuturor proprietăților fizice ale lichidelor, nu pot fi trase concluzii atît de clare ca în cazul studiilor de incipiență a cavitației din această lucrare. Se poate concluziona totuși cu suficientă siguranță, că o creștere a vîscozității lichidului duce la scăderea distrugerilor cavitaționale în lichidul respectiv.

Influența densității nu rezultă destul de clar, deoarece variația ei este foarte mică de-a lungul întregului interval de concentrații ale lichidelor studiate.

Analizînd toate datele rezultate din încercări și găsite în literatură, se poate trage deasemeni cu prudență concluzia unei creșteri a eroziunii, la creșterea conductanței electrice a lichidelor.

Deoarece cu datele obținute nu există posibilitatea scrierii unei legi cantitative pentru eroziunea cavitațională în funcție de proprietățile fizice ale lichidelor, se propune caracterizarea capacității erozive a lichidului printr-o cifră globală, constînd din raportul valorii unei mărimi caracteristice a eroziunii cavitaționale (pierderea gravimetrică, volumul mediu erodat sau viteza eroziunii, corespunzătoare unui timp de atac considerat caracteristic) în lichidul studiat, la valoarea aceleiaș mărimi obținute în apă.

Aceasta înseamnă determinarea pentru fiecare lichid a capacității sale erozive pe cale experimentală, după cum pentru materialele supuse eroziunii cavitaționale, proprietățile lor de rezistență la distrugere se determină tot experimental.

Autorul exprimă mulțumirile și recunoștința sa profundă distinsului om de știință și profesor, Academician Ioan Anton, atât pentru îndrumarea primită în elaborarea acestei lucrări, cât și pentru contribuția sa esențială la formarea autorului ca inginer și cercetător.

Mulțumiri călduroase i se cuvin și domnului Dr. Andreas Keller, director academic la Institutul Hidrotehnic "Oskar von Miller" din Obernach, pentru conducerea lucrărilor legate de incipiența cavitației în glicerina și discuțiile fructuoase desfășurate în această direcție pe tot timpul lucrărilor. Domnia sa a avut amabilitatea de a mă introduce în tehnica măsurătorilor moderne, conduse pe calculator.

Gânduri de recunoștință adresez domnului Prof. Dr. Ing. Mircea Popoviciu, cu care am avut o colaborare îndelungată și deosebit de rodnică în domeniul cercetării cavitaționale. Domnia sa a avut amabilitatea de a citi o primă redactare a părții din teză legată de eroziunea cavitațională, și de a face o serie de observații și sugestii deosebit de utile.

Doresc să mulțumesc tuturor colegilor din catedra de mașini hidraulice Timișoara, în mod deosebit d-lui Inginer Potencz I., atât pentru punerea la dispoziție și întreținerea aparatului magnetostrictiv, construit după un proiect al cărui coautor este, cât mai ales pentru colaborarea la încercări și la alcătuirea studiului fotografic al suprafețelor distruse ale probelor. I se cuvin mulțumiri deosebite, pentru abundența de idei practice, deosebit de utile, prin a căror punere în practică a sprijinit tot timpul, lucrările din laboratorul de magnetostrictiune.

Pentru colaborarea la elaborarea unor părți a programului experimental, și în mod cu totul deosebit pentru ajutorul de neprețuit în finalizarea lucrării, mulțumesc soției mele Conf. Dr. Ing. Rozalia Kuzman-Anton.

Pentru cadrul favorabil creat muncii de cercetare mulțumesc Universității Tehnice Timișoara, Întreprinderii de Utilaj Chimic Făgăraș, Asociației constructorilor de mașini VDMA din Republica Federală Germania și Institutului "Oskar von Miller" al Universității Tehnice din München, condus de șeful catedrei de hidrotehnică Prof. Dr. Ing. Theodor Strobl.

În sfârșit as dori să-mi îndrept gândurile și înspre cei dispăruți dintre cei vii, și care au avut o contribuție deosebită la realizarea acestui doctorat.

Astfel aș dori în primul rând să aduc un pios omagiu memoriei strălucitului profesor care a fost primul meu conducător de doctorat, profesorului emerit Victor Gheorghiu. De la D-sa am învățat, ca student, mecanica fluidelor în cadrul unui curs

al cărui profunzime, claritate și frumusețe nu le-am mai găsit egalate pînă în ziua de azi. D-sa m-a condus cu siguranță prin faza grea a începutului, colocviul de admitere și examenele de specialitate.

Aș dori să amintesc cu recunoștință colaborarea bună avută în unele faze ale lucrărilor legate de eroziunea cavitațională în medii diferite de apă, cu Dr. Ernest Sisak, fost director științific la Centrul de Cercetări pentru Mașini Hidraulice Timișoara.

Nu pot încheia aceste rînduri fără a-mi îndrepta gîndurile de adîncă recunoștință, spre memoria a doi mari oameni de știință din occident, profesorul F. G. Hammitt de la University of Michigan și profesorul Hans Blind, șeful catedrei de hidrotehnică a Universității Tehnice din München pînă la dispariția sa în februarie 1989. Ajutorul lor a fost esențial pentru realizarea acestei lucrări.

Tuturor care m-au ajutat într-un fel sau altul la realizarea doctoratului le adresez sincere mulțumiri.

München, 28.11.1991

10. BIBLIOGRAFIE

- / 1 / Anton, Ioan : "Cavitația" vol. I si II, Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1984 / 85
- / 2 / Nordström, L. : Nuclear Engineering International, p.18, May 1988
- / 3 / Young, F. R.: "Cavitation", Mc Graw Hill Book Company, 1989
- / 4 / Piltz, H.H.: "Über Werkstoffzerstörung durch Kavitation", Dissertation D 17, TH Darmstadt, 1963.
- / 5 / Hampton, W.: "Das Problem der Kavitationserosion in Flugzeughydrauliksystemen", Luftfahrttechnik-Raumfahrttechnik, Bd.13, Nr. 1, 1967
- / 6 / Ye Yuan-pei, Wang Dao-Zheng, Huang Shan: "Viscous Effects Study by LDV on Cavitation", Journal of Hydrodynamics, Ser. B, Nr.4(1990), pp. 1 - 13, China Ocean Press, Beijing, China.
- / 7 / Hammitt, F.G.: "Cavitation and Multiphase Flow Phenomena" Mc Graw - Hill International Book Company, 1980, (Cap. 3-3-3 Miscellaneous Fluid Property Effects, pag. 118)
- / 8 / Kuzman-Anton, A. F., Keller, A. P.: "Beginnende Kavitation in anderen Flüssigkeiten als Wasser". Schlußbericht an den VDMA, 1991 (nepublicat)
- / 9 / Keller, A. P., Kuzman-Anton, A. F.: "Cavitation Inception in Liquids of Higher Viscosity Than Water", Proceedings of International Symposium on Modelling Cavitation Phenomena, ISMCP - 91, April 25 - 27, 1991, Wuhan, China, pp.193 -2203.
- / 10 / Thoma,D.: "Die experimentelle Forschung im Wasserkraftfach". ZVDI, 69 (1925), pp.329 - 334.
- / 11 / Föttinger, H.: "Untersuchungen über Kavitation und Korrosion bei Turbinen, Turbopumpen und Propellern". Hydraulische Probleme, pp.14 - 64, VDI-Verlag Berlin, 1926.
- / 12 / Keller, A.: "The Influence of the Cavitation Nuclei Spectrum on Cavitation Inception", IUTAM Symposium on Non - Steady Flow of Water at High Speeds, Leningrad 1971.
- / 13 / Keller, A.: "The Influence of Cavitation Nucleus Spectrum on Cavitation Inception, Investigated with Light Counting Method", Trans. ASME, J. of Basic Engineering, Ser. D, vol. 94/ 1972.

- / 14 / Keller, A. P., Hammitt, F. G., Yilmaz, E.: "Comparative Measurement by Scattered Light and Coulter Counter Method for Cavitation Nuclei Spectra" Rep. UMICH - 01357 - 23- I (1974), Univ. of Michigan.
- / 15 / Keller, A. P.,; " Maßstabeffekte bei der Anfangskavitation unter Berücksichtigung der Zugspannungsfestigkeit der Flüssigkeit" Pumpentagung Karlsruhe 1984.
- / 16 / Keller, A.P., Matt, P.: "New Experiments with the Further Developed Vortex - Nozzle Cavitation Susceptibility Instrument", International Symposium on Propeller and Cavitation, Wuxi, China 1986.
- / 17 / Keller, A. P.: "Kavitationsuntersuchungen an Profilmodellen als Beitrag zur Klärung von Fragen über Maßstabeffekte", Pumpentagung Karlsruhe 1988.
- / 18 / Keller, A. P.: "Scale Effects at Beginning Cavitation Applied to Submerged Bodies". Symposium on Scale Effects in Modelling Hydraulic Structures, I A H R - DVWK, Esslingen, 1984.
- / 19 / Keller, A. P., Eickmann, G.: "Entwicklung und Überprüfung von Ähnlichkeitsbeziehungen für die beginnende Kavitation", Bericht an die DFG, 1989, (nepublicat).
- / 20 / Keller, A. P., Eickmann, G.: "Velocity and Size Scale Effects for Incipient Cavitation of Axisymmetric Bodies in Water of Different Quality", International Symposium on Cavitation Inception, ASME, San Francisco 1989.
- / 21 / Eickmann, G.: "Maßstabeffekte bei der beginnenden Kavitation", Ihre Gesetzmässige Erfassung unter Berücksichtigung der wesentlichen Einflußgrößen. Dissertation TU München 1991, in: Berichte der Versuchsanstalt Obernach des Lehrstuhls für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft der Technischen Universität München, Bericht 69 1991.
- / 22 / Mørch, K. A.: "Molecular Considerations on Cavitation Inception" European Mechanics Colloquium (265), Meeting on Transient Effects in Cavitation and High Speed Liquid Impact, Robinson College, England, 3 - 5 September 1990
- / 23 / Mørch, K. A.: "Cavitation Inception - a Molecular Approach", Proceedings of International Symposium on Modelling Cavitation Phenomena, ISMCP-91, Wuhan, China, April 25 - 27, 1991, pp.12-19.

- / 24 / Barnaby, S. W.: "Formation of Cavities in Water by Screw - Propellers of High Speeds", Trans. Instn. Naval Architect., vol.39, 1987, p.139.
- / 25 / Ramsay, W.: "The Erosion of Bronze Propeller Blades", Engineering 93, 1912, pp. 687 - 690.
- / 26 / Silberrad, D.: "The Erosion of High Speed Propellers", Engineering 93, 1912, p.34.
- / 27 / Parsons, C.A., Cook, S.S.: "Investigation into the Cause of Corrosion or Erosion of Propellers", I and II, Engineering 107, 1919, pp. 427 - 428, 515 - 519.
- / 28 / Sisak, E., Kuzman-Anton, A. F., Potencz, I.: "Comportarea în soluții de NaCl a unor oțeluri inoxidabile atacate de eroziunea cavitațională", A III-a conferință națională a specialiștilor din domeniul construcțiilor navale, Universitatea Galați, 15 - 17 mai 1981
- / 29 / Zhiye Ji, : "Inert Gas Injection to Reduce Cavitation Damage", International Symposium on Cavitation, Sendai, Japan, Apr. 16 - 19, 1986, Proceedings Vol. I.
- / 30 / Nowotny, H.: "Werkstoffzerstörung durch Kavitation", Untersuchungen am Schwinggerät, VDI - Verlag GMBH, Berlin NW7, 1942.
- / 31 / Rodrigue, P.R.: "Methods of Minimizing or Eliminating Cavitation Damage", IAHR 13-th Symposium on Hydraulic Machinery, Equipment and Cavitation, Montreal, Canada, 2 - 5 Sept. 1986.
- / 32 / Preece, C. M.: "Treatise on Materials Science and Technology", Vol. 16, Erosion, pp. 249 - 308 : Cavitation Erosion, Academic Press, 1979.
- /33 / Hammitt, F. G.: " Liquid - Metal Cavitation Problems and Desired Research", ASME - Publication, Paper Number 60 - HYD - 13, 1960
- / 34 / Weiser, H.: "Kavitation und Korrosion", Dissertation D 17, TH Darmstadt, 1970.
- / 35 / Höss, S.: "Über die Kavitation und Korrosion an Metallen und Legierungen", Dissertation D 83, Technische Universität Berlin, 1982.
- / 36 / Plessett, M.S.: " Cavitation Erosion in Non - Aqueous Liquids", Division of Engineering and Applied Science, California Institute of Technology, Pasadena, California, Febr. 1970.

- / 37 / Zhang Dong, Jin Tailai: "Effects of Liquid Quality on Cavitation Erosion", Proceedings of the International Symposium on Modelling Cavitation Phenomena, ISMCP - 91, Apr. 25 - 27, 1991, Wuhan, China, pp. 74 - 85.
- / 38 / Hammitt, F. G.: "Cavitation and Liquid Impact", An Intensive Short Course, Engineering Summer Conference. The University of Michigan, June 11 - 13, 1979.
- / 39 / Lecoffre, Y., Marcoz, J., Franc, J. P., Michel, J. M.: "Tentative Procedure for Scaling Cavitation Damage", Cavitation in Hydraulic Structures and Turbomachinery, The Joint ASCE/ASME Mechanics Conference, Albuquerque, New Mexico, June 24 - 26, 1985, FED. Vol. 25, pp. 1 - 11.
- / 40 / Stinebring, D. R.: "Analysis of Cavitation Damage on the Space Shuttle Main Engine High Pressure Oxidizer Turbopump", Cavitation in Hydraulic Structures and Turbomachinery, The Joint ASCE/ASME Mechanics Conference, Albuquerque, New Mexico, June 24 - 26, 1985, FED. Vol. 25, pp. 71 - 76.
- / 41 / Vogel, A.: "Cavitation and Shock Wave Effects in Intraocular Nd : YAG Laser Surgery", European Mechanics Colloquium on Transient Effects in Cavitation and High Speed Liquid Impact, (265) Robinson College, Cambridge, England, 3 - 5 Sept. 1990, pp. 38.1.
- / 42 / Garcia, R., Hammitt, F. G., Nystrom, R. E.: "Comprehensive Cavitation Damage Data for Water and Various Liquid Metals, Including Correlations with Materials and Fluids Properties", ASTM Special Technical Publication, No. 408, 1967.
- / 43 / Garcia, R., Hammitt, F. G.: "Cavitation Damage and Correlations with Materials and Fluid Properties", Trans ASME, 89, Ser. D. Journal of Basic Engineering, 1967.
- / 44 / Olson, H. G.: "High Speed Photographic Studies of Ultrasonically Induced Cavitation and Detailed Examination of Damage Selected Materials", Ph. D. Thesis, University of Michigan, 1966.
- / 45 / Kuzman, A. F., Potencz, I.: "Rezistența la eroziunea cavitațională a unor oțeluri indigene", Bul. Șt. Tehn. al I.P. Timișoara, Ser. Mec. Tom 23 (37), 1978.
- / 46 / Kuzman, A.F., Potencz, I., Trușculescu, I., Mitelea, I.: "Rezistența la eroziunea cavitațională a unor oțeluri indigene. Influența tratamentului termic", Bul. Șt. Tehn. al I.P. Timișoara, Ser. Mec. Tom. 22 (36), Fasc. 1, 1977.

- / 47 / Sisak, E., Kuzman, A. F., Potencz, I.: "Die Kavitationsfestigkeit von Oberflächen mit Schweißreparaturen", Conf. Hydro - Turbo, Bratislava, C 13, 1976.
- / 48 / *** KERN : "Kern Dichtewaage 152/13, prospect Kern Albstadt - Ebingen, 1988.
- / 49 / *** KERN : "Waagen und Gewichte" , Kern, Albstadt - Ebingen, 1988.
- / 50 / *** KERN : " Dichtewaage 152/12 und 152/13, Bedienungsanleitung", Gottlieb Kern & Sohn, Albstadt - Ebingen, 1988.
- / 51 / *** PHYWE : " Umwälzthermostat bis 85 Grad Celsius", Bedienungsanleitung 08482.93, Phywe AG Göttingen, 1988.
- / 52 / *** PHYWE : "Neuheiten Physik. Ergänzungen zum Hauptkatalog", Phywe AG Göttingen, 1981.
- / 53 / *** PHYWE : "Hochschulpraktikum Physik" 1, 2, und 3. Praktisches Laborbuch zum Gebrauch auf Hochschulebene, Fa. Phywe AG, Göttingen, 1988.
- / 54 / Kohlrausch, F.: "Praktische Physik", Bd. 1, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 21-te Auflage, 1960.
- / 55 / *** PHYWE : Phywe - Physik - Hauptkatalog, 1988, Phywe AG, Göttingen.
- / 56 / *** HIRSCHMANN : "Safety Pipette Filler; Instruction Manual", Hirschmann Laborgeräte, Eberstadt.
- / 57 / *** HAAKE : "Bedienungsanweisung für Kugelfall - Viskosimeter und Viskowaage", Haake Meßtechnik Karlsruhe, 1989.
- / 58 / *** PHYWE : "Viscosity Measurement with the Falling - Ball Viscosimeter", Phywe series of publications, 1.3.4, University Laboratory Experiments, Phywe AG Göttingen.
- / 59 / Honold, F., Degner, R.: "Grundlagen zur Gelöst-Sauerstoffbestimmung mit membranbedeckten Sensoren", Teil I, Österreichische Chemie - Zeitschrift, ÖChemZ 1990/1, pp. 27 - 29.
- / 60 / Honold, F., Degner, R.: " Grundlagen zur Gelöst-Sauerstoffbestimmung mit membranbedeckten Sensoren", Teil II, Österreichische Chemie - Zeitschrift, ÖChemZ 1990/3, pp. 100 - 103.
- / 61 / *** WTW : "Applikationsbericht - WTW Meßtechnik Sauerstoff", Wissenschaftlich - Technische Werkstätten GmbH, Weilheim 1989.

- / 62 / *** WTW : "Bedienungsanleitung zum Oximeter mit Temperaturanzeige Oxi 191, für Feld, Labor, Betrieb", Wissenschaftlich-Technische Werkstätten, Weilheim, 1986.
- / 63 / *** WTW : "Bedienungsanleitung zum Mikroprozessor - Hochleistungs- Sauerstoff- Meßgerät Oxi 2000, mit TriOxmatic-Präzisions-O₂-Elektrode EO 200 und Externder E 2000", Wissenschaftlich - Technische - Werkstätten, Weilheim, 1990.
- / 64 / Nösel, H.: "Die kleine Oxi - Fibel, Technologie und Methodik zur Messung des Gelöst - Sauerstoffs mit Membran - Elektroden", Wissenschaftlich-Technische - Werkstätten, Weilheim, 1978.
- / 65 / Keller, A. P.: "Cavitation Investigations at one Family of NACA - Hydrofoils at Different Angles of Attack, as a Contribution to the Clarification of Scale Effects at Cavitation Inception", Institut für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft und Versuchsanstalt für Wasserbau Oskar v. Miller - Institut Oberrach, Technische Universität München, Bericht Nr. 59, 1988.
- / 66 / Keller, A. P., Yang Zhiming : "Maßstabeffekte bei der Anfangskavitation" Bericht Nr. 47 der Versuchsanstalt für Wasserbau Oskar von Miller-Institut der Technischen Universität München, 1983.
- / 67 / DIN : " DIN Sicherheitsdatenblatt 4091, 4094, 71167, zu Glycerin (Glycerol)", 1989.
- / 68 / Lax, D.: "Taschenbuch für Chemiker und Physiker", Springer Verlag, Berlin, 1967.
- / 69 / Keller, A. P.: "Maßstabsgesetze für die Anfangskavitation", Bericht an die DFG, 1979 (nepublicat).
- / 70 / Keller, A. P.: "Beginnende Kavitation, Zugspannungen in Wasser", Bericht an den VDMA, 1980, nepublicat.
- / 71 / Keller, A.P.: "Beginnende Kavitation, Zugspannungen in Wasser", 2-ter Bericht an den VDMA, 1982 (nepublicat).
- / 72 / Popa, O., Kuzman, A. F.: "Die Korrektur der hydrodynamischen Parameter eines Einzelprofils bei experimentellen Messungen in Wasserkanälen mit geraden, nichteinstellbaren Wänden", Hydro - Turbo - Konferenz, Marianske Lazne, CSSR, Bericht B 12, 1967.

- / 73 / Robertson, J. M., Mc Ginley J. H., Holl, J. W.: "On Several Laws of Cavitation Scaling", La Houille Blanche, Nr. 1, 1957.
- / 74 / Van der Meulen, I. H. I.: "Incipient and Desinent Cavitation on Hemispherical Nosed Bodies", International Shipbuilding Progress, vol. 19, No. 209, 1972.
- / 75 / Billet, M. L., Holl, J. W.: "Scale Effects on Various Types of Limited Cavitation", ASME - International Symposium on Cavitation Inception, New York, 1979.
- / 76 / *** Hitachi : " Instruction Manual for the Model 16 H M HIMAC high Speed Motion Analysis Camera, Hitachi, 1969.
- / 77 / Anton, I., Popoviciu, M.: " Distrugerea cavitațională prin implozia bulelor provocate prin scînteii", Bulet. Șt. și Tehn. al Institut. Politehnic Timișoara, 13 (27), 1968.
- / 78 / Popoviciu, M., Anton, I.: " Evoluția bulelor cavitaționale sferice produse prin scînteii electrice", Bulet. Șt. și Tehn. al Institut. Politehnic Timișoara, Ser. Mec., Tom 15 (29), 1970.
- / 79 / Popoviciu, M.: " Evoluția bulelor cavitaționale produse prin scînteii electrice", Teză de doctorat, Institutul Politehnic Timișoara, 1971.
- / 80 / Anton, I., Popoviciu, M.: "The behaviour of hemispherical bubbles generated by electric sparks", Proceedings of the 4-th Conference on Fluid Machinery, pp. 89 - 101, Budapest 1972.
- / 81 / Gaines, N.: "A magnetostriction oscillator producing intense audible sound and some effects obtained", Physics vol. 3, 1932, pp. 209 - 229.
- / 82 / Robinson, L. E., Holmes, B. A., Leith, W. C.: "Progress Report on Standardization of the vibratory Cavitation Test", Trans ASME,
- / 83 / ANSI/ASTM : " Standard Method of Vibratory Cavitation Erosion Test, G 32-77 ", Standard USA 1977.
- / 84 / Hammitt, F. G., Chao, C., Kling, C. L., Mitchell, T. M. Rogers, D. O.: " ASTM Round Robin Test with Vibratory Cavitation and Liquid Impact Facilities of 6061 - T 6511 Aluminium Alloy, 316 Stainless Steel and Commercially Pure Nickel", Material Research and Standards, vol. 10, No. 10, 1970.

- / 85 / Lord Rayleigh, OM FRS : "On the Pressure developed in a Liquid during the Collapse of a Spherical Cavity", Philosophical Magazine and Journal of Science, Vol. XXXIV - Series b, July - December 1917, London - Edinburgh - Dublin.
- / 86 / Hrelescu, M.: " Cercetări asupra alierii oțelului moale, în arcul electric, cu elemente care să conferă metalului depus rezistența la cavitație", Teză de doctorat, Institutul Politehnic Timișoara, Facultatea de Mecanică, 1966.
- / 87 / Fay, C.: " A Vízgépek Tanszéke Kavítácios Anyagroncsoló Berendezése", Budapesti Műszaki Egyetem, Vízgépek Tanszéke, Budapest, 1958.
- / 88 / Esche, R.: " Untersuchung der Schwingungskavitation in Flüssigkeiten", Dissertation, Universität Göttingen, 1952.
- / 89 / Kuzman, A. F., Sisak, E., Potencz, I., Drăgoi, I.: "Studiul unor paste de ciment din punct de vedere al rezistenței la eroziunea cavitațională", Memoriile Secțiilor Științifice ale Academiei RSR, Seria IV, Tom I, Nr. 1, 1981, pp. 277 - 283.
- / 90 / Kuzman - Anton, A. F.: " Concentrative Cavitation - Erosion Properties of Aqueous Solutions", Proceedings of the International Symposium on Modelling Cavitation Phenomena, ISMCP - 91, Wuhan, China, April 25 - 27, 1991, pp. 66 - 73.
- / 91 / Kuzman, A. F., Sisak, E., Kuzman-Anton R., Potencz, I.: " Eroziunea cavitațională în medii chimic agresive. Studii în soluții apoase de săruri. Lucrări Tehnico - Științifice, Institutul Politehnic Timișoara, Mașini Hidraulice, 1977, pp. 1 - 10.
- / 92 / Kuzman, A. F., Popoviciu, M., Minea, R.: " Studii privind eroziunea cavitațională la țevile evaporatoarelor de sulfură de sodiu", Conf. Maș. Hidr., Hidrodin. Timișoara, 1985, Vol. 1, pp. 345 - 348.
- / 93 / Kuzman - Anton R., Kuzman, A. F., Potencz, I., Sisak, E.: " Influența concentrației asupra eroziunii cavitaționale a două oțeluri în soluții apoase a diferite substanțe chimice", Conf. Maș. Hidr. și Hidrodin., Timișoara 1985, Vol.1, pp. 349-352.
- / 94 / Sisak, E., Kuzman, A. F., Kuzman-Anton, R., Potencz, I.: " Die Kavitationsfestigkeit in chemisch aggressiven Flüssigkeiten. Studien in Essigsäure", Revue Roumaine de Sciences Techniques, Mécanique Appliquée, Tom 23, Nr. 5, 1978, pp.743 -753.

- / 95 / Sisak, E., Kuzman, A. F., Kuzman - Anton, R., Potencz, I.:
" Eroziunea cavitațională în soluții apoase de
diferite concentrații ale unor substanțe chi-
mice", Memoriile Secțiilor Științifice, Aca-
demia RSR, Seria IV, Tom III, Nr. 2, 1980, pp.
197 - 221.
- / 96 / Sisak, E., Kuzman A. F., Kuzman-Anton, R., Potencz, I.:
" Eroziunea cavitațională în medii chimic agre-
sive. Studii în acid acetic", Lucrări Tehnico-
Științifice, Institutul Politehnic Timișoara,
Mașini Hidraulice, 1977, pp. 11 - 18.
- / 97 / Kuzman, A. F.: " Interpretarea rezultatelor experimen-
tale obținute la studiul caracteristicilor de
eroziune cavitațională a materialelor", A III-a
Conferință Națională a Specialiștilor din Dome-
niul Construcțiilor de Nave, 15 - 17 mai 1981,
Universitatea din Galați. Sect. I, Lucr. Nr.22.
- / 98 / Berg, F.: " Korrosionsschaubilder", VDI - Verlag Düssel-
dorf, 1967.
- / 99 / Weest, R. C.: " Handbook of Chemistry and Physics",
Ed. 55, CRC - Press, Cleveland, Ohio, 1974-
1975.
- / 100 / Wilson, R. W.: " The Influence of the Physical Proper-
ties of Liquids on the Severity of Cavitation
Damage", Fluid Power International Inc., Com-
pressed Air and Hydraulics, 27, 1962, pp. 382-
385.
- / 101 / Zhang, Y., Li, S.: " Statistical Investigation of Bub-
ble Collapse and Cavitation Erosion Effect",
Proceedings vol.1, International Symposium on
Cavitation, Sendai, Japan, April 16-19, 1986.
- / 102 / Knapp, R. T., Daily, J., W., Hammitt, F. G.: "Cavitation"
Mc Graw - Hill Book Company, 1970.
- / 103 / Arakeri, V. H., Acosta, A. J.. "Viscous Effects in
the Inception of Cavitation on Axisymmetric
bodies", Trans ASME, Journ. of Fl. Engng. 1973.
- / 104 / Arakeri, V. H., Acosta, J. A.: " Viscous Effects in
the Inception of Cavitation", International
Symposium on Cavitation Inception, ASME - Mee-
ting, New York, 1979.
- / 105 / Anton, I.: "Turbină Hidraulice", Editura Facla, Timișoa-
ra, 1979, pp. 62 - 105.

DER EINFLUSS EINIGER PHYSIKALISCHER EIGENSCHAFTEN DER FLÜSSIGKEIT AUF DEN KAVITATIONSBEGINN UND AUF DIE KAVITATIONSBEREICHUNG

(Zusammenfassung)

Diese Dissertation ist in zwei Abschnitten entstanden. Die Arbeiten über den Kavitationsbeginn in anderen Flüssigkeiten als Wasser, wurden an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Oskar von Miller - Institut Oberrach der Technischen Universität München durchgeführt.

Die Experimentalforschungen über die Kavitationszerstörungen in verschiedenen Flüssigkeiten sind am Lehrstuhl für Hydraulische und Pneumatische Maschinen der Technischen Universität Timisoara (Universitatea Technica Timisoara, Institutul Politehnic "Traian Vuia"), Rumänien entstanden.

In der Einführung, Kap. 1, wird die Arbeit in den entsprechenden Rahmen gestellt, indem über Ziel und Zweck der Kavitationsforschung in anderen Flüssigkeiten als Wasser und den diesbezüglich bislang in der Forschung erzielten Ergebnissen berichtet wird.

Kapitel 2 behandelt die Versuchstechnik der Vor- und Hauptversuche zum Kavitationsbeginn in Glycerin und Glycerin - Wasser Mischungen. Es werden die Meßinstrumente und der Meßaufbau zur Bestimmung der Viskosität und der Luftsättigungskonzentration von Glycerin und Glycerin - Wasser Mischungen dargestellt, (Abb. 2.1.4, 2.1.6, und 2.2.3) und der Durchblasetunnel der Versuchsanstalt für Wasserbau Oberrach, des Oskar von Miller - Instituts der Technischen Universität München beschrieben, (Abb. 2.3.1 und 2.3.2). In diesem Tunnel wurden die Hauptversuche durchgeführt.

Die Ergebnisse der Vorversuche werden in Kap. 3 dargestellt. Auf Grund von Vergleichsmessungen mit einem Kugefall- und einem Kapillarviskosimeter wird die Viskositätskurve von Glycerin - Wasser Mischungen in Abhängigkeit vom jeweiligen Anteil der beiden Komponenten aufgezeichnet, (Abb. 3.3.1)

Langwierige Meßreihen in einer eigens aufgebauten Meßanordnung führen zu den Tabellen der Sättigungskonzentration von Sauerstoff, bzw. Luft in den Glycerin - Wasser Mischungen die zu den Hauptversuchen im Durchblasetunnel herangezogen wurden. Bei den Messungen im Thermostatbad, wurden die Werte für Temperaturen von 20 bis 40 Grad Celsius aufgenommen. Diese sind teilweise in den Tabellen 3.2.1 bis 3.2.4 dargestellt.

Über die Hauptversuche und ihre Ergebnisse wird in Kap.4 berichtet.

Zunächst erfolgt eine Darstellung der Schwierigkeiten die im Zusammenhang mit den Versuchen in Glycerin unerwartet aufgetreten waren. Es handelt sich dabei um eine, etwa drei Wochen nach Herstellung der Glycerin - Wasser - Mischungen

auftretenden Gelbfärbung bzw. Ausflockung, die bei der Mischung 75 % Wasser - 25 % Glycerin am deutlichsten bemerkbar ist, (Abb. 4.1.1 A und 4.1.1 B). Diese Erscheinung konnte im Tunnel durch ausschließlich kurzzeitige Verwendung jeder Mischung (unter 2 Wochen) vermieden werden.

Eine andere Schwierigkeit der Messungen in Glycerin ergibt sich aus dem extrem langsamen Entweichen von ungelösten Luftblasen. Daraus entsteht die Möglichkeit von Fehlmessungen, wie aus den Abbildungen 4.1.2 bis 4.1.7, hervorgeht, wo Meßpunkte für verschieden beruhigtes Glycerin, bzw. mit verschiedenem Gehalt an ungelöster Luft dargestellt sind.

Die Ergebnisse der Hauptversuche werden in Form von 9 Kurvenblätter, Abb. 4.2.1 bis 4.2.9 dargestellt.

Als grundsätzlich wichtiges Ergebnis der Messungen, läßt sich aus diesen Kurven ein selektives Einwirken der Viskosität auf den Kavitationsbeginn erkennen. Die hemmende Wirkung der Viskosität auf den Kavitationsbeginn ist umso ausgeprägter je weniger strömungsgünstig der Körper ist an dem die Kavitation auftritt. In diesem Falle wurde die strömungsgünstige Wirkung durch Vergrößerung des Anstellwinkels der Profile erzielt.

Diese eindeutig festgestellte Wirkung der Viskosität, wurde in der Literatur vorausgesagt / 7 /, und durch vorliegende Arbeit experimentell bestätigt.

Die weitere Bearbeitung der Kurven des Kavitationsbeginns, läßt für gleiche oder geometrisch ähnliche Körper, in diesem Fall gleiche Anstellwinkel bei geometrisch ähnlichen Profilen, eine exponentielle Abhängigkeit zwischen der Kavitationszahl Sigma Thoma und der Viskosität der Flüssigkeit erkennen. Aussagekräftig ist dazu Abb. 4.3.1, auf der diese Abhängigkeit aus den Messungen an einem NACA 65006 - Profil mit Sehnenlänge von 30 mm bei einem Anstellwinkel von 3 Grad dargestellt ist.

Diese Abhängigkeit läßt sich gut mit der Beziehung (4.3.2) beschreiben. Der Wert $m=1,5$ für den Exponenten, erwies sich, bei gleichem Anstellwinkel, auch für Profile mit größerer Sehnenlänge gültig, wie die Abbildungen 4.3.2 bis 4.3.4 zeigen, wo die gemessenen Werte mit den nach Beziehung (4.3.2) berechneten Werten verglichen werden.

Da bei den Messungen sämtliche, die Reynoldszahl bildenden Faktoren verändert wurden, lassen sich Abhängigkeiten der Kavitationszahl Sigma Thoma von der Reynoldszahl darstellen, in denen jeweils ein Faktor der Reynoldszahl verändert wird. Diese Darstellungen erfolgen in den Abbildungen 4.4.4 bis 4.4.14. Sie belegen daß zwischen der Kavitationszahl und der Reynoldszahl keine eindeutige Abhängigkeit besteht. Ein Wert der Kavitationszahl kann bei verschiedenen Werten der Reynoldszahl gemessen werden, und bei einer Reynoldszahl verschiedene Werte der Kavitationszahl.

Darüber hinaus ist erkennbar, daß bei Durchfahren eines

größeren Bereiches der Reynoldszahl, Geschwindigkeit und Viskosität ihren relativen Einfluß ändern.

Abschnitt 5 des 4-ten Kapitels berichtet über die kinematografische Aufzeichnung der Kavitation in allen gefahrenen Glycerin - Wasser Mischungen.

In Kapitel 5 wird die Ausrüstung des Labors für Schwingungskavitation am Lehrstuhl für Hydraulische und Pneumatische Maschinen der TU Temeschburg dargestellt, und die Methodik der Versuche über Kavitationserosion beschrieben.

Die Ergebnisse dieser Versuche an Proben aus zwei Sorten vom nichtrostendem Stahl (Tab. 6.02 und 6.0.3) in Basen, Säuren, Lösungen von Salzen und einigen organischen Flüssigkeiten, bilden den Inhalt von Kapitel 6.

Die Kurven des Gewichtsverlustes und der Abtragungsgeschwindigkeiten für alle verwendeten Flüssigkeiten, werden in den Abbildungen 6.1.1 a und b, bis 6.1.19 a und b dargestellt.

In Abschnitt 6.2 wird die Entwicklung der Zerstörung an den Stirnflächen der Proben fotografisch dokumentiert, und eine Systematisierung des Zerstörungsmusters versucht, (Abb. 6.2.72 A und B).

Eine Bearbeitung der Gewichtsverlustkurven führt in Abschnitt 6.3 zur Darstellung der Kavitationserosion in Abhängigkeit von der Konzentration der Flüssigkeiten. (Abb. 6.3.1 bis 6.3.7).

Kapitel 7 stellt einen Versuch dar, Korrelationen zwischen der Intensität der Kavitationserosion und den physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten aufzudecken. Auf Grund vorhandener Daten der Literatur, werden die Werte für Dichte, Zähigkeit, Oberflächenspannung und elektrischer Leitfähigkeit über den Konzentrationsbereich aufgetragen, wie es ähnlich mit den Gewichtsverlusten getan worden war. Auf diese Weise ermöglicht sich ein Vergleich und eine Abschätzung des Einflusses der physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeit auf die Intensität der Kavitationszerstörung. Eine nähere Bearbeitung wird für die Kavitationserosion in Essigsäure gemacht.

Die Analyse läßt den dämpfenden Einfluß der Viskosität auf die Kavitationszerstörung erkennen. Die verhältnismäßig geringe Änderung der Dichte der Flüssigkeiten läßt über deren Einfluß keinen eindeutigen Schluß zu. Auch über den Einfluß der Oberflächenspannung kann kein eindeutiger Schluß gezogen werden. Einige Anhaltspunkte weisen auf einen zerstörungsfördernden Einfluß der elektrischen Leitfähigkeit hin.

Die Schlüsse die sich aus den Ergebnissen der Arbeit ziehen lassen werden in Kap. 8 zusammengestellt.

Abschliessend wird Personen und Institutionen gedankt, die das Entstehen dieser Arbeit gefördert haben.

THE INFLUENCE OF SOME LIQUID PROPERTIES ON CAVITATION INCIPIENCE AND EROSION

(Abstract)

This Ph D - Thesis is originated in two distinct phases. The work on cavitation incipience in glycerine and glycerine-water mixtures, was carried out at the Oskar von Miller - Institute in Obernach of the Technical University Munich, Germany, while the experimental research on cavitation erosion in other liquids than water was accomplished at the Department for Hydraulic and Pneumatic Machinery of the Technical University Timisoara, Romania.

Chapter 1 is an introduction and shows the frame in which the researches performed in this thesis are situated from the viewpoint of their fundamental and practical interest, and of until today published results in the pertinent literature.

In chapter 2, the experimental technique of preliminary and main tests for the incipience of cavitation in glycerine is described.

The instruments and the test set-up for measurements of viscosity (fig. 2.1.4 and 2.1.6) and air saturation in glycerine - water mixtures (fig. 2.2.3) are presented.

Then a description of the blow - down tunnel of the Oskar von Miller Institute in Obernach is given. In this tunnel, -(fig.2.3.1 and 2.3.2), built under the direction of Dr. Andreas Keller, the main tests on cavitation inception were carried out.

Chapter 3 presents the results of preliminary tests. Based on measurements with an falling-ball and an capillar viscosimeter, the viscosity curve of glycerine - water mixtures is drawn, as a function of glycerine concentration (fig. 3.1.1).

Long series of measurements were performed to get the values of saturation in air, respective in oxygen, in glycerine-water mixtures of different concentrations, in an temperature interval between 20 and 40 degree Celsius, partially presented in tab. 3.2.1 to 3.2.4. These are of importance for the further adjustment of the tensile strength of the liquids, during the measurements in the tunnel.

The main tests with their results are described in Chapter 4.

First of all a description is given, on unexpected difficulties, arised during the experimental work with glycerine. They consist of the formation of gelatinous, spherical shaped bodies (fig. 4.1.1 A and 4.4.1 B), appearing in motionless glycerine - water mixtures after about 3 - 4 weeks of exposure to daylight, and growing in time. The highest tendency towards such phenomena was observed at the concentra-

tion of 25 % glycerine and 75 % water. This highly undesired effect was avoided in the tunnel by quick operation with each mixture, and frequent recirculation of the liquid.

Further difficulties arised when the glycerine - water mixtures were not sufficiently calmed down before measurements, presenting undissolved air bubbles of different size. The measured values for cavitation inception coefficient in mixtures with different life history are presented in fig.4.1.2 to 4.1.7.

The results of the main tests are given in fig. 4.2.1 to 4.2.9. They give an experimental proof of the different magnitude of Sigma dependence upon liquid viscosity as predicted by F.G. Hammitt / 7 /. The influence of viscosity increases with incidence angle, thus with the tendency to flow separation.

Using a graphic procedure as in fig. 4.3.1, for the NACA 65006 hydrofoil, with chord length of 30 mm, at incidence angle of 3° , an exponential law was derived for the dependence of Sigma upon liquid viscosity. This dependence remains unchanged for geometric similar hydrofoils at the same incidence angle.

This variation was described with relation (4.3.2) where for NACA 65006 hydrofoils at an incidence of 3° , a value of $m = 1,5$ was found for the exponent.

The suitability of this mathematic description is proved through fig. 4.3.2 to 4.3.4, in which measured and computed values are plotted together, offering a comparison of them.

As during the tests all factors of Reynolds number were varied, the Sigma - Re dependence could be drawn, for the variation of each of the therms of Reynolds number, as it was done in fig. 4.4.4 to 4.4.14. Hereby the ununivoqueness of this dependence was proved.

The 5-th passage of chapter 4 deals with the high-speed cinematographic record of cavitation appearance in all investigated glycerine - water mixtures.

Turning towards the investigations on cavitation erosion, chapter 5 offers a description of the equipment and test procedures used at the vibratory cavitation laboratory of the Department of Hydraulic and Pneumatic Machinery of the Technical University Timisoara, Romania, where the cavitation erosion tests were performed under the direction of Acad. Prof. Dr. Ing. Ioan Anton.

Chapter 6 describes the results of the vibratory cavitation erosion tests, executed on test specimen of two stainless steels (tab. 6.0.2 and 6.0.3) in bases, aqueous salt solutions, acids and some organic liquids (tab. 6.0.1).

Weight loss and erosion rate curves versus time of attack, are presented in fig. 6.1.1 a and b, to 6.1.19 a and b.

In passage 6.2 the development of erosion on the surface of the test specimen is pursued photographical, and in

fig. 6.2.72 A and B, an attempt is made to systematize the erosion patterns.

Based on the weight loss curves, in passage 3.2, the cavitation erosion intensity in the explored liquids was plotted against the liquid concentration as in fig. 6.3.1 to 6.3.7.

In Chapter 7 an attempt is made to correlate the intensity of cavitation erosion to the physical properties of the liquid.

Tables from the literature were used to extract the values for density, viscosity, surface tension and electric conductance of the liquids, and to plot them versus concentration. As weight losses were plotted in the same manner, a comparison could be made between the evolution of erosion and that of liquid properties in the concentration interval. Some nearer considerations were made on the behaviour of acetic acid.

On the above mentioned basis, only cautious appreciations could be made about the correlation between erosion and liquid properties. It appears sufficiently clear that viscosity reduces cavitation erosion. About the influence of density and surface tension no definite statement is possible. There is some evidence that electric conductance favours the erosion.

As no quantitative dependence between cavitation erosion and liquid properties can be written, it seems reasonable to characterize the erosive capability of the liquid by the ratio of an erosion characteristic parameter, for instance weight loss of a standard specimen, vibrated a certain time in the interesting liquid, to the value of the same parameter measured after vibration in water.

The main conclusions of the thesis are summarized in chapter 8.

Finally acknowledgements are expressed to persons and institutions which encouraged and/or promoted this work.