

**MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI  
INSTITUTUL POLITEHNIC "TR. VULIA"  
TIMISOARA**

**Ing. I. VOHINA**

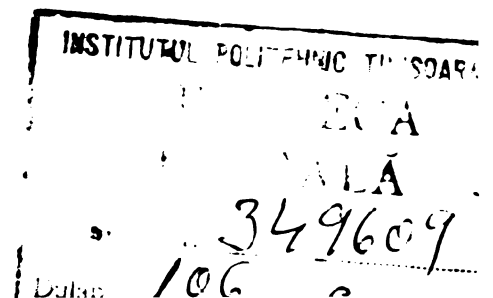
**CONTRIBUTII TEORETICE SI EXPERIMENTALE LA  
DETERMINAREA REZISTENTELOR HIDRAULICE LOCALE IN  
REGIM NEPERMANENT**

**TEZA DE DOCTORAT**

**CONSILIER STIINTIFIC  
PROF. EMILIE V. GHORGHIU**

**BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA**

**• TIMISOARA 1977 •**



C U P R I N S U L

<b>Lista notațiilor</b> . . . . .	<b>pag. 2</b>
<b>Cap.1. Introducere</b> . . . . .	<b>pag. 5</b>
<b>Cap.2. Prezentarea bazei teoretice a metodei și deducerea formulei de calcul a coeficientului de pierderi în mișcarea nepermanentă</b> . . . . .	<b>pag. 10</b>
<b>Cap.3. Proiectarea și realizarea constructivă a instalației din laborator</b> . . . . .	<b>pag. 31</b>
<b>Cap.4. Tehnica experimentală în aplicarea metodei de calcul cu diferențe finite pentru determinarea coeficientului de pierderi în regimul de curgere nepermanent</b> . . . . .	<b>pag. 43</b>
<b>Cap.5. Rezultate experimentale obținute în laborator</b> . . . . .	<b>pag. 55</b>
<b>Cap.6. Analiza rezultatelor măsurătorilor și determinărilor efectuate în laborator. Domeniul de aplicabilitate și limitele metodei regimului nepermanent</b> . . . . .	<b>pag. 114</b>
<b>Cap.7. Concluzii</b> . . . . .	<b>pag. 124</b>
<b>B I B L I O G R A F I E</b> . . . . .	<b>pag. 128</b>

LISTA NOTATIILOR

NOTAȚIA	SERVICIUL	U. DE MAS.
$A$	- rezistența locală ce se studiază	-
$a_A$	- accelerația medie a lichidului în conducta de racord $A_1 A_2$	$m/s^2$
$a_R$	- idem în recipientele $R_1, R_2$	$m/s^2$
$\alpha_A, \alpha_R$	- coeficienți de corecție Coriolis în conducta de racord ( $A_1 A_2$ ) și recipientele $R_1$ și $R_2$ (c. R)	-
$\alpha_1, \alpha_2$	- coeficienți de corecție Coriolis în secțiunile 1 și 2	-
$\beta$	- coeficient ținând seama de neuniformitatea accelerației particulelor într-o secțiune	-
Ca	- conductă de aducțiune a lichidului	-
D	- diametrul secțiunii circulare a recipientelor $R_1, R_2$	m
d	- diametrul secțiunii conductei de racord $A_1 A_2$	m
$E_3, E_3', E_4$	- energii cinetice în mișcarea lichidului	J
$E_c$	- energia cinetică a masei lichide	J
$\varnothing_{nom}$	- diametrul nominal (industrial) al unei conducte sau robinet, vană etc.	tolă
g	- accelerația gravitațională	$m/s^2$
	- greutatea specifică a lichidului	$N/m^3$
$h_{loc}$	- pierderea de sarcină produsă de o rezistență locală	m
$h_0$	- cota nivelului de echilibru a lichidului din recipient măsurată de la axa x-x' a conductei de racord	m
$h_1, h_2$	- nivelele curenților de lichid în recipientele $R_1 (R_2)$	m
hr 1-2	- pierderea de sarcină prin frecare viscoasă și turbulență între două secțiuni 1 și 2	m
$H_1, H_2$	- cotele nivelului lichidului din $R_1 (R_2)$ măsurate de la reperul zero al scârilor	m

$\Delta H_1, \Delta H_2$	- diferențe finite ale cotelor $H_1, H_2$ corespunzătoare unei diferențe finite de timp $t$	m
$\bar{K}$	- forța specifică exterioară de volum (acționând pe unitatea de volum de lichid)	N/m <sup>3</sup>
$k_s$	- rugozitatea echivalentă nisiposă	m
$lc$	- linie de curent	-
$L_{e+i}$	- lucrul mecanic dezvoltat de forțele exterioare și interioare asupra masei lichide	-
$L_1 L_2 \dots L_n$	- lucruri mecanice dezvoltate în mișcarea sistemului licid	-
$l$	- lungimea (echivalentă) a conductei de racord $A_1 A_2$ între recipientele $R_1, R_2$ , definită la pag. 21	m
$l_1, l_2$	- lungimile porțiunii amonte ( $l_1$ ) și aval ( $l_2$ ) din conducta de racord $A_1 A_2$	m
$dl$	- elementul de drum în deplasarea unei particule	m
$\nu$	- vâscozitatea cinematică a lichidului	m <sup>2</sup> /s
$\bar{P}$	- forța specifică de presiune (acționând pe unitatea de volum de lichid)	N/m <sup>3</sup>
$p$	- presiunea statică într-un punct al masei lichide	N/m <sup>2</sup>
$R_s$	- vană de reglaj pe conducta de aducțiune	-
$R_1, R_2$	- recipiente verticale cilindrice	-
$Re$	- numărul Reynolds	-
$R_g$	- robinet de golire	-
$\rho$	- densitatea lichidului	kg/m <sup>3</sup>
$S$	- aria secțiunii recipientelor $R_1$ și $R_2$	m <sup>2</sup>
$S_A$	- aria secțiunii conductei de racord (presupusă aceeași în amonte și aval)	m <sup>2</sup>
$\bar{T}$	- forța specifică de turbulență	N/m <sup>3</sup>
$T_I, T_{II}, T_{III}, T_{IV}$	- tuburi piezometrice	-
$t$	- timpul (ca variabilă)	sec.
$\Delta t$	- diferență finită de timp	sec.
$U, U_1, U_2$	- viteze medii de curgere în $R_1$ și $R_2$	m/s
$u_1, u_2, u_j \dots$	- valori ale vitezelor medii extrase din diagrama $U = U(t)$	m/s
$\Delta U$	- diferență finită a vitezei medii $U$	m/s
$V$	- viteza medie de curgere a lichidului în conducta de racord aval a rezistenței locale	m/s



$\Delta v$	- diferența finită a vitezei medii $v$	m/s
$v_1, v_2$	- viteze medii în două secțiuni 1 și 2 ale unui tub de curent	m/s
$\vec{v}$	- viteza unei particule lichide (cu vector), $ \vec{v}  =$	m/s
$\vec{w}$	- viteză instantanee a particulei (în notație germană), $ \vec{w}  =$	m/s
$z$	- cota curentă a nivelului lichidului din $R_2$ măsurată deasupra nivelului de echilibru	m
$\Delta z$	- diferența finită între două cote $z_1$ și $z_2$	m
$\zeta, \zeta_1$	- coeficientul de pierdere al rezistenței locale	-
$\zeta_c$	- coeficientul de pierdere al confuzorului $A_{jc}$ montat la recipientul $R_1$	-

## CAP. 1. INTRODUCERE

Desvoltarea impetuoasă a științei și tehnicii românești în anii construcției socialiste precum și liniile directoare ale cincinalului revoluției tehnico-științifice în plină desfășurare, au impus și în domeniul cercetării din hidraulica teoretică și aplicată sarcini sporite, nu numai în corelarea mai strânsă a tematicii de cercetare cu problemele producției dar și în căutarea și realizarea de soluții tehnice noi de un înalt nivel, care să încadreze problema studiată cât mai aproape de necesitățile construcției practice, pe baza unei analize mai riguroase și mai complete a bazelor ei teoretice.

Plenarele C.C. al R.S.R. din ultimii ani care s-au ocupat și de dezvoltarea construcției de mașini la noi în țară, pun un accent deosebit pe îmbunătățirea continuă a indicilor lor de calitate, pe ridicarea performanțelor tehnice, pe reducerea prețului lor de cost, pe creșterea eficienței economice și a competitivității lor pe plan mondial.

Prezenta lucrare se înscrie pe linia acestor preocupări de legare a problemei cercetate cu necesitățile construcției practice de mașini hidraulice (mai precis a dispozitivelor de comandă și reglare hidraulice) și are ca punct de plecare teoretic câteva idei originale în legătură cu determinarea rezistențelor hidraulice locale în regimul de curgere nepermanent al conductelor sub presiune.

După cum este bine cunoscut, pierderea de sarcină produsă de o rezistență locală se scrie sub formă generală :

$$h_{loc} = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

în care  $\zeta$  este denumit în mod curent în literatura de specialitate coeficientul de pierderi al rezistenței locale.<sup>1)</sup> Această formulă este comodă pentru calcul dar destul de puțin explicită sub aspectul cuprinderii modelului mecanic al fenomenului.

Valorile coeficientului de pierderi  $\zeta$  sînt date în manualole și tratatele de specialitate pentru regimurile de curgere permanente și, în cele mai multe cazuri, numai pentru faza de curgere tur-

---

1) În STAS 3061-64, el este denumit coeficientul rezistenței locale și notat  $\zeta_l$ .

bulent pătratică pentru care, după cum se știe,  $\zeta$  are o valoare constantă în raport cu variația numărului Reynolds al curgerii.-

În practică însă (după cum deosebenia este bine cunoscut) majoritatea curgerilor din conducte, în special în cazul lichidelor, se desfășoară în fazele regimului turbulent de tranziție<sup>x)</sup> în care valorile coeficienților respectivi nu mai sînt nici constante și nici independente de numărul Re.

Dezvoltarea sistemelor de comandă și reglare hidraulică în domeniul construcției de mașini, sisteme care prezintă unele avantaje, azi unanim recunoscute față de sistemele de comandă și reglaj electrice (este suficient să se amintească numai lipsa pericolului de "scurt-circuit" și siguranța lor deosebită în funcționare), a făcut ca problema determinării valorii coeficienților de pierdere  $\zeta$  să capete o importanță deosebită și în regimurile de curgere ~~permanente~~ deoarece într-un sistem de comandă sau reglaj hidraulic, regimul de lucru specific al acestuia este cel nepermanent care apare la executarea fiecărei "manovre" în sistem.

Pe de altă parte, pierderile de sarcină din rezistențele locale ale unui astfel de sistem de reglaj sînt preocupătoare față de cele distribuite de-a lungul conductelor ce fac parte din el, dati fiind lungimea relativ mică (uneori foarte mică) a acestora din urmă.

Cînd într-o lucrare hidraulică trebuie să se facă o evaluare asupra valorii unui coeficient de pierdere  $\zeta$  al unei rezistențe locale, este necesar să se țină seamă de următoarea observație cu caracter general :

Jacă valoarea lui  $\zeta$  trebuie determinată cu o precizie mai mare chiar și pentru o rezistență locală de o construcție bine cunoscută, standardizată, nu putea avea de loc certitudinea că valoarea lăsată dintr-un manual, îndreptar sau chiar din catalogul fabricii constructoare, se înscrie în limitele unei erori maxime fixate "a priori", de ex.  $\pm 5\%$ . Acest lucru a fost adeseori verificat în laborator, chiar și în laboratorul hidrotehnic al Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara.

În asemenea cazuri, cînd se urmărește o precizie mai mare în determinarea valorii lui  $\zeta$ , trebuie făcute "ad hoc", în laborator, măsurători de precizia dorită asupra rezistenței locale în cauză, în condițiile regimului de curgere efectiv în care ea urmează să funcționeze. În [1, pag. 227 și 255] se arată deosebenia

x) prepătratic

neessitateea deterrainării cu exactitate a coeficientului  $\zeta_B$  a rezistenței de brașament a castelilor de echilibru. Recomandarea anterioară est făcută în toate tratatele de specialitate și punerea ei în practică conduce la efectuarea unui mare număr de măsurători și la un consum de timp apreciabil, proporțional cu numărul treptelor de viteză și cu numărul gradelor de " deschidere " sau reglaj ( în cazul unei rezistențe locale reglabile) între care urmează să funcționeze robinetul, ventilul, vana, valva, clapeta etc. care se studiază.

În cele ce urmează se prezintă o metodă nouă de determinare a coeficienților de pierderi  $\zeta$  din rezistențele locale, mult mai rapidă decât metoda clasică a diferenței cotelor piezometrice în regi de curgere permanent. Ea este aplicabilă oricărui tip de rezistență locală la curgerea lichidelor prin conducte sub presiune, gradul de precizie al măsurătorilor fiind aproximativ egal cu cel din metoda clasică.

Ea permite efectuarea măsurătorilor în mod continuu ( fără întreruperi), într- un regi de curgere nepermanent care se stabilește între două recipiente legate la partea inferioară printr-o conductă de racord în care se montează rezistența locală al cărui coeficient de pierderi  $\zeta$ , variabil stit cu numărul de (în regiul de tranziție) cît și cu gradul de deschidere, urmează a fi determinat.

Teoria metodei este prezentat detaliat în capitolul II al lucrării. Se menționează totuși încă din această introducere că, pentru un " grad de deschidere " dat al rezistenței locale, toate valorile coeficientului  $\zeta$  (corespunzătoare diferitelor viteze medii de curgere ) se determină printr- o singură trecere a lichidului dintr- un recipient în celălalt, într- o mișcare practic aperiodică amortizată ( nu oscilatorie ca în cazul instalațiilor cu oscilații în masă, castel de echilibru etc.). În acest scop parametrii instalației au fost astfel aleși ca egalizarea nivelului între două recipiente să se realizeze practic aperiodic, viteza de curgere prin conducta de legătură în care este montată rezistența locală studiată scăzînd monoton și tînzînd asimptotic spre zero cînd nivelele tind să se egalizeze.

Una durată unei asemenea egalizări a fost cuprinsă, în cazurile practice studiate în laborator, între 5- 60 minute, în funcție

de „gradul de descădere” al rezistenței locale, iar în acest interval de timp s-au realizat 30-40 de determinări, se vede imediat că timpul total cerut de realizarea măsurătorilor prin această metodă se reduce considerabil (de câteva zeci de ori) în comparație cu metoda clasică a determinărilor în regim de curgere permanentă și aceasta la un grad de precizie al rezultatelor, practic egal.

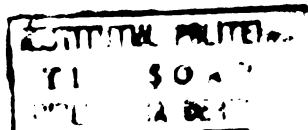
În capitolul 6 este făcută o comparație detaliată a avantajelor și dezavantajelor metodei prezentate în această lucrare, în raport cu metoda clasică. Dintre avantajele esențiale este util să se sublinieze chiar în acest capitol introductiv că metoda prezentată nu necesită măsurarea debitelor (variabile) ale curgerii, operație adesea dificilă și încetădă, care este indispensabilă în metoda regimului permanent. Acest fapt constituie, el singur, un avantaj important din punct de vedere practic.

În literatura de specialitate problema variației coeficienților de pierdere și al rezistențelor locale în regimul de curgere de tranziție are o bibliografie mult mai puțin bogată decât cea a regimului de curgere turbulent pătratic.

Aceasta este o situație care ar putea părea puțin paradoxală dar fiindcă, după cum se știe, majoritatea curgerilor de lichide în contactele sub presiune se desfășoară în practica industrială și în lucrările de exploatare a conductelor de apă și alte lichide, în regim de curgere de tranziție.

Explicația acestei situații o găsim în primul rând în faptul că la conductele considerate lungi, rezistențele hidraulice distribuite de-a lungul conductei sînt, în general mult mai mari decât rezistențele locale (de obicei puține) montate în conductă, astfel că pierderea de sarcină a acestora din urmă se neglijează adesea prin raport cu cele distribuite de-a lungul conductei. În acest caz nu are importanța dacă se neglijează pierderea de sarcină produsă de rezistența locală în regim de tranziție sau în regim de curgere turbulent pătratic.

În al doilea rînd însăși dificultățile practice și consumul apreciabil de timp legate de efectuarea măsurătorilor prin metoda clasică, în regimul de curgere permanent, în zona de tranziție, a constituit, se pare, o frînă în studial variației coeficienților de pierdere și al rezistențelor locale. Aceasta cu atât mai mult cu cît pentru un același tip de rezistență locală chiar de cons-





- tracție și dimensiuni standardizate), valorile lui  $\zeta$  determinate pentru un număr de exemplare considerate identice (pe baza standardizării), pot diferi între ele apreciabil, din cauza micilor abateri de construcție, abateri inerente într-o producție de serie.

Intr-una din lucrările de bază privind valorile coeficienților de pierderi  $\zeta$  pentru rezistențele locale [23], Ideleik dă în tratatul său diagrame de variație a acestor coeficienți în regimul de tranziție  $\zeta = f(Re)$  numai pentru îngustare bruscă de secțiune, pentru lărgirea bruscă de secțiune pentru diafragme cu muchia ascuțită așezate în conducte, la un tip de coturi cu secțiune dreptunghiulară și cu colțuri rotunjite, pentru grătare (site) și plăci găurite, pentru un grup de tuburi circulare paralele așezate în curent de gaze calde.

Metoda de determinare a coeficienților de pierderi a rezistențelor locale în conducte pentru lichide prezentată aici oferă atât posibilitatea realizării într-un timp relativ scurt și în condiții economice de lucru a unui număr mare de determinări de valori cât și perspectiva ca, pe baza studiilor întreprinse asupra rezultatelor măsurătorilor efectuate, să se poată aduce îmbunătățiri caracteristicilor constructive ale rezistențelor locale în scopul reducerii pierderilor de a reină pe care acestea le produc.

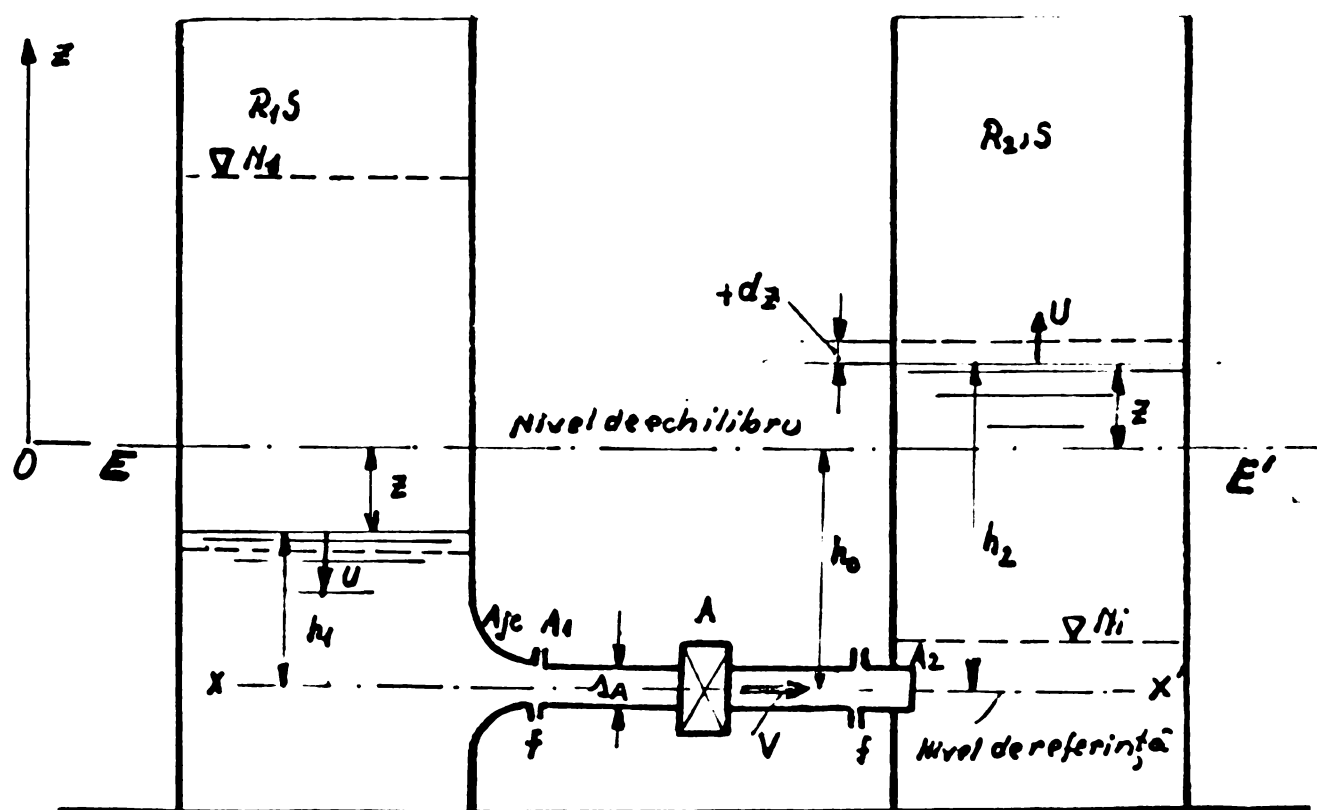
Autorul ține să exprime aici mulțumirile sale deosebite pentru sprijinul acordat în realizarea lucrării, conducătorului lucrării Prof. emerit Victor Gheorghiu cât și conducătorului catedrei CHIF a I.P. Traian Vuia Timișoara, tov. Prof. dr. ing. Mihai BALĂ.

Deasemenea tov. Prof. dr. ing. Cornel Jura din cadrul catedrei CHIF precum și tov. Prof. dr. ing. Octavian Popa de la facultatea de mecanică a I.P. Timișoara.

Construcția instalației pentru determinarea coeficienților de pierderi în regim nepermanent s-a realizat prin colectivul de muncitori de înaltă calificare, maistrii și tehnicienii ai laboratorului hidrotehnic al CHIF cărora autorul ține de asemenea să le exprime mulțumirile sale precum și colectivului de maistrii de la Liceul industrial nr. 4 Timișoara pentru realizarea unor piese importante din instalație.

**CAP. 2 PRESENTAREA UNOR TEOREME ALE FLUIDULUI ȘI DEBITAȘII ÎN TUBURI ȘI ÎN CONECTAREA UNOR FLUIDE ÎN SERIE ȘI ÎN PARALEL.**

Se consideră două recipiente de aceeași secțiune  $A_1$  și  $A_2$  așezate în poziție verticală ( Fig. 1) și legate la bază printr-o conductă orizontală  $A_1 A_2$ , de secțiune mult mai mică decât cea a recipientelor ; pe această conductă este montată rezistența locală  $A$  ( un robinet, ventil, valvă, vană, diafragmă, cot etc) al cărui coeficient de pierdere de sarcină  $\zeta$  urmează a fi determinat. Se notează cu  $S$  aria secțiunii recipientelor  $A_1$  și  $A_2$ , cu  $s_A$  aria secțiunii conductei de legătură  $A_1 A_2$ , cu  $\zeta$  coeficientul de pierdere al rezistenței locale inclusiv conductele sale de racord și legăturile acestora (flanze, mufe, etc).-



*Fig. 1*

Rezistența locală A fiind în poziția " închis " , se umple recipientul  $R_1$  cu lichidul care se interesează pînă la un nivel superior ( $H_1$ ) iar recipientul  $R_2$  pînă la un nivel micin ( $H_2$ ) situat puțin deasupra axului conductei de legătură  $A_1 A_2$ . După umplere, se deschide " repede rezistența locală A la " gradul de deschidere " dorit și se lasă ca lichidul să treacă din  $R_1$  în  $R_2$  pînă la egalizarea nivelului ceeace se petrece , evident, într- un regim de mișcare nepermanent, viteza de curgere a lichidului prin conducta de legătură fiind variabilă în funcție de diferența momentanee dintre nivelurile lichidului din cele două recipiente.

Se va demonstra în cele ce urmează că, din legea de variație în timp a nivelului lichidului dintr- unul din recipiente (de ex. din  $R_2$  ), adică din legea  $h_2 = h_2(t)$ , se poate determina valoarea coeficientului de pierderi  $\zeta$  al rezistenței locale A pentru oricare din valorile vitezei medii de curgere a lichidului prin conducta de legătură.

În stabilirea ecuației de mișcare a nivelului lichidului din recipiente, se pleacă de la următoarele ipoteze de calcul :

1. Presupunând recipientele de formă cilindrică și de aceeași secțiune  $S$ , se alege diametrul lor, notat  $D$ , astfel încât să fie de cea  $20 - 40$  ori mai mare decît diametrul  $d$  al conductei de legătură  $A_1 A_2$  pentru a se putea obține un regim de curgere laminar în recipiente, de la începutul fiecărui experiment pînă la egalizarea nivelului din  $R_1$  și  $R_2$  . Această condiție este esențială în precizia rezultatelor obținute pentru valorile coeficientului de pierderi  $\zeta$  după cum se va arăta mai departe. Astfel, cîndă fixată (aleasă) valoarea maximă a diametrului rezistențelor locale al căror coeficient de pierderi urmează a fi determinați prin instalație, se ia  $D = ( 20 - 40 ) d_{\max}$  , ceeace determină diametrul recipientelor. Curgerea prin rezistența locală A și conducta de legătură  $A_1 A_2$  se va desfășura în regim turbulent, viteza în conductă  $A_1 A_2$  , de diametru  $d$  și secțiune notată  $S_A$  , fiind mult mai mare (practic de cît va sute de ori mai mare) din cauza raportului foarte mare al secțiunilor  $\frac{S}{S_A}$

Valoarea foarte mare a acestui raport are și o altă consecință foarte importantă : el face ca mișcarea lichidului între cele două recipiente să fie practic aperiodică ( nu oscilato-



rie ca în cazul castelului de echilibru ) ceea ce este foarte potrivit pentru realizarea măsurătorilor și măsoară și durata efectuării acestora.

2. Vitezele medii de curgere a lichidului în cele două recipiente, notate  $J$ , sînt foarte mici în cazul practic al instalației propuse: chiar la o diferență inițială maximă de 3-4 m. între nivelele din  $A_1$  și  $A_2$ , viteza medie  $J$  variază între cîtiva cm/s (cînd rezistența locală este în poziția "aproape închis") pînă la cîtiva cm/s (cînd rezistența locală este în poziția "complet deschis"). Ca urmare mișcarea lichidului în recipiente va avea un caracter laminar și în consecință lucrul mecanic consumat prin frecare viscoasă și "la perete" în masa lichidului din ambele recipiente, va fi foarte mic. Se va arăta că el este neglijabil prin raport cu lucrul mecanic consumat în mișcarea turbulentă din conducta de legătură și din rezistența locală. Considerînd conducta de legătură  $A_1 A_2$  de același diametru în amonte și în aval de rezistența locală  $A$  (cînd nu acesta va fi cazul se va menționa acest lucru), între vitezele medii  $U$  și  $V$  există, evident, relația  $V = \frac{3}{8A} U$ .

3. Racordarea conduitei  $A_1 A_2$  se face printr-un confuzor  $A_{3C}$  (Fig. 13) profilat după o curbă de racordare continuă, recomandată în manualele de specialitate, astfel încît pierderea de sarcină la trecerea lichidului prin el să fie de asemenea neglijabilă (după cum se știe, coeficientul de pierdere al acestui confuzor este de ordinul  $\zeta_C = 0,005 \text{ } \frac{1}{2} \text{ } 0,06$ ).

4. Două sînt pierderile de sarcină (energie) importante care se produc în sistemul lichid în mișcare, pierderi care dac, așa cum s-a confirmat experimental, la amortizarea rapidă a mișcării chiar pe parcursul primei egalizări a nivelurilor între cele două recipiente. Aceste pierderi de energie sînt :

a) Pierderea de energie prin frecare și turbulență în rezistența locală  $A$  și în conductele sale de racord inclusiv piesele de racord. Într-adevăr, viteza medie de curgere a lichidului prin conducta de racord  $A_2$  (în aval de rezistența locală) are expresia

$$V = \frac{3}{8A} U = \left(\frac{D}{d}\right)^2 U ; \text{ dac} \text{ } \frac{D}{d} = 20,$$

valoarea cea mai mică, menționată anterior, adică  $\frac{D}{d} = 20$ ,

rezultă  $V = (20)^2$ ,  $U = 400 \text{ J} \gg J$  iar pierderea de energie pe unitatea de greutate de fluid în conducta  $A_1 A_2$  este :

$$\zeta \frac{V^2}{2g} = \zeta \frac{(400 \text{ U})^2}{2g} = 160000 \zeta \frac{U^2}{2g} \quad . \text{ În recipientele } R_1 \text{ și } R_2$$

mișcarea fiind laminară, pierderea de sarcină ( energie ) pe unitatea de greutate de fluid se scrie

$$\zeta' \frac{U^2}{2g} = \frac{64}{D} \frac{(h_1 + h_2) U^2}{2g}$$

valoarea lui  $\zeta'$  fiind în general mai mică decât a lui  $\zeta$ .

Rezultă deci că  $160000 \zeta \frac{U^2}{2g} \gg \zeta' \frac{U^2}{2g}$

b) Pierderea de energie ( sau sarcină ) pe care o suferă lichidul la ieșirea, prin capătul  $A_2$ , din conducta de legătură ( cu viteza  $V$  ) și intrarea lui în recipientul  $R_2$ . Această pierdere ( care este de fapt disipația viscoasă în masa lichidului din  $A_2$  ) are loc prin scăderea vitezei  $V$  a lichidului la viteza mult mai mică  $J$  și ea se consideră a fi egală, după formula Borda-Carnot, cu  $\frac{(V - J)^2}{2g}$  iar în cazul de față egală cu  $\frac{V^2}{2g}$

deoarece  $J \ll V$ , după cum s-a văzut.

În Fig.1 s-a considerat mișcarea lichidului care trece din  $R_1$  în  $R_2$  și pentru generalitatea concluziilor și a soluției matematice, s-a considerat că mișcarea poate fi și oscilatorie aruncând ca prin analiza condițiilor în care funcționează instalația să se deducă și cazul ( particular ) în care mișcarea este aperiodică amortizată așa cum ea a fost realizată practic în laborator.

Pentru comoditatea calculului diferențial s-a notat cu  $z$  ( pozitiv ) cota nivelului lichidului din  $R_2$  deasupra planului orizontal  $A - B$  care este nivelul de echilibru.

În continuare s-a notat cu  $h_1$  nivelul lichidului din  $R_1$  față de un plan orizontal de referință trecând prin axa ( orizontală ) a conductei de legătură  $A_1 A_2$  și cu  $h_2$  cota corespunzătoare nivelului din  $R_2$ .

Deși ecuația mișcării oscilatorii din castelote de echilibru care se aseamănă cu mișcarea descrisă mai sus este bine cunoscută și a fost mult studiată, se va stabili, și aici ecuația de mișcare pentru instalația schițată în Fig. 1, ecuație care prezintă anumite deosebiri atât principale cât și practice față de cea

din castelele de echilibru.

Ecuația de mișcare va fi stabilită prin trei metode diferite :

I. Aplicarea integralei generalizate a lui Bernoulli în mișcarea nepermanentă dintre cele două recipiente.

II. Aplicarea principiului conservării energiei la sistemul lichid în mișcare.

III. Aplicarea teoremei energiei cinetice la același sistem lichid.

I.- Aplicarea integralei generalizate a lui Bernoulli, în câmp gravitațional, la curgerea fluidelor incompresibile în conducte și recipiente .

Între două secțiuni 1 și 2 , de-a lungul unui tub de curent, în mișcarea nepermanentă există relația :

$$(2-1) \quad \left( z + \frac{p}{\gamma} \right)_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = \left( z + \frac{p}{\gamma} \right)_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \frac{1}{g} \int_1^2 \beta \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} ds + hr_{1-2}$$

Referindu-ne la Fig. 1, luând ca plan de referință planul orizontal  $x - x'$  care trece prin axul conductei de legătură  $A_1 A_2$ , se aplică această relație între nivelele lichidului din  $A_1$  (secțiunea 1) și  $A_2$  (secțiunea 2) . Se ține seama că, potrivit notațiilor din Fig. 1,  $z_1 = h_1$ ,  $z_2 = h_2$ ,  $p_1 = p_2 = p_a$  (presiunea atmosferică) ;  $v$  este viteza medie a curgerii avînd valoarea  $U$  în recipiente și  $V$  în conducta de legătură ;  $\alpha_1 = \alpha_2$  deoarece recipientele sînt ambele cilindrice și de secțiune egală ; coeficientul se ia de valoare  $\beta \approx 1$  după cum se obișnuiește ;  $d\bar{s}$  este elementul de drum în deplasarea particulelor, deplasare paralelă cu axul tubului de curent și deci și cu viteza  $\bar{v}$  ;  $hr_{1-2}$  este pierderea de sarcină prin frecare viscoasă și turbulență între secțiunile 1 și 2 . Făcînd seama de toate acestea și făcînd înlocuirile în ( 2-1 ) se obține observînd că  $v_1 = v_2 = U$  și termenii  $\alpha_1 \frac{v_1^2}{2g}$  și  $\alpha_2 \frac{v_2^2}{2g}$

se reduc : 
$$h_2 = h_1 + \frac{1}{g} \int_1^2 \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} d\bar{s} + hr_{1-2} = 0 \quad (2-2)$$

Apoi departe se calculează valoarea integralei și a termenului  $hr_{1-2}$  .

Mai departe se calculează valoarea integralei  $\int_{Lc}^2 \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} \cdot d\bar{l}$

și termenului nr 1-2 :

$$\int_{Lc}^2 \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} \cdot d\bar{l} = \int_{Lc}^2 \frac{\partial v}{\partial t} ds = \frac{dU}{dt} \cdot h_1 + \left( \frac{v^2}{2} - \frac{U^2}{2} \right) + \frac{dv}{dt} \cdot l +$$

la intrarea din  $h_1$   
in cond.  $A_1 \rightarrow 2$

$$+ \left( \frac{U^2}{2} - \frac{v^2}{2} \right)$$

la ieșirea din  $h_1 \rightarrow 2$

$$\int_{Lc}^2 \frac{\partial v}{\partial t} ds = (h_1 + h_2) \frac{dU}{dt} + l \frac{dv}{dt}$$

dar  $h_1 + h_2 = 2 h_0$  ( Fig. 1 ) și  $\frac{dU}{dt} = \frac{S_A}{S} \frac{dv}{dt}$  cu care

$$\int_{Lc}^2 \frac{\partial v}{\partial t} \cdot ds = \left( 2 h_0 \frac{S_A}{S} + l \right) \frac{dv}{dt}$$

Mai departe, observind că  $\frac{dU}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2}$  și  $\frac{dv}{dt} = \frac{1}{S_A} \frac{dU}{dt} =$

$$\frac{S}{S_A} \cdot \frac{d^2 s}{dt^2} \text{ și înlocuind,}$$

$$\int_{Lc}^2 \frac{\partial v}{\partial t} \cdot ds = \left( 2 h_0 + \frac{S}{S_A} \cdot l \right) \frac{d^2 s}{dt^2} \quad (2-3)$$

Atunci :

$$h_{r_{1-2}} = \underbrace{\zeta}_{\text{in rezistența locală inclusiv conducte de racord}} \frac{v^2}{2g} + \underbrace{\frac{v^2}{2g}}_{\text{dissipația curentului în } h_2} = \frac{v^2}{2g} \quad (\zeta + 1)$$

$$\text{Cu } v = \frac{U}{S_A} \text{ și } U = \frac{d s}{dt} \cdot$$

$$h_{r_{1-2}} = \frac{l}{2g} (\zeta + 1) \left( \frac{U}{S_A} \right)^2 \left( \frac{ds}{dt} \right)^2 \quad (2-4)$$

se înlocuiesc (2-3) și (2-4) în (2-1) și se ține seama că  $h_2 - h_1 = 2 z$  ( Fig. 1 ) :

$$2 z = \frac{l}{g} \left( 2 h_0 + \frac{S}{S_A} \cdot l \right) \frac{d^2 s}{dt^2} + \frac{l}{2g} (\zeta + 1) \left( \frac{S}{S_A} \right)^2 \left( \frac{ds}{dt} \right)^2 = 0$$

Împărțind peste tot cu  $\frac{2h_0 + \frac{S}{\delta A} \ell}{g}$  și aranjînd termenii, se obține :

$$(2-5) \quad \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{(\beta+1) \cdot \left(\frac{S}{\delta A}\right)^2}{2\left(2h_0 + \frac{S}{\delta A} \cdot \ell\right)} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \frac{2g}{2h_0 + \frac{S}{\delta A} \ell} \cdot x = 0$$

care este ecuația diferențială a mișcării nivelului lichidului în cele două recipiente  $R_1$  și  $R_2$ . Este o ecuație neliniară, de ordinul II, cu coeficienți nu totdeauna constanți deoarece, așa cum se știe, coeficientul de pierdere ( rezistență )  $\zeta$  poate fi considerat constant numai în zona turbulenței pătratice.

### II. Aplicația principiului conservării energiei

După cum este cunoscut, lucrurile mecanice efectuate de totalitatea forțelor ce acționează asupra unui sistem fluid incompresibil într-o mișcare fără schimb de căldură ( cum este și cazul acesta ), se transformă în variația energiei cinetice și în lucrul mecanic de frecare viscoasă și turbulentă în masa fluidului.

Acest lucru se vede din ecuația de energie în mișcarea generală ( nepermanentă ) scrisă de ex. sub formă

$$(2-6) \quad \bar{K} \cdot ds + \bar{P} \cdot ds + \bar{Z} \cdot ds + \bar{T} \cdot ds - \int \frac{d\bar{w}}{dt} \cdot ds = 0 \quad [47]$$

în care :  $\bar{K}$  = forța specifică de volan ( pe unitatea de volan ),  $\bar{P}$  = forța specifică de presiune,  $\bar{Z}$  = forța specifică de frecare viscoasă,  $\bar{T}$  = forța specifică de turbulență,  $\rho$  = densitatea fluidului incompresibil,  $\bar{w}$  = viteza instantanee a particulei,  $ds$  = elemental de drum ;  $-\int \rho \frac{d\bar{w}}{dt} \cdot ds$  = lucrul mecanic al forțelor de inerție.

Toți termenii din ( 2-6 ) reprezintă lucruri mecanice ( respectiv energii ) și pentru ca suma lor să fie nulă este evident necesar ca unii să aibă sensul pozitiv și ceilalți negativ. Cei pozitivi reprezintă lucruri mecanice motoare cei negativi lucruri mecanice consumatoare ( rezistențe ). Principiul conservării energiei exprimat aici prin relația ( 2-6 ), arată că suma lucrurilor mecanice motoare și consumatoare în sistem, într-o deplasare  $ds$  a particulelor, este nulă. Sau că, suma lucrurilor mecanice motoare este egală cu suma lucrurilor mecanice consumatoare ( și de același semn ) dacă le trecem pe acestea din urmă în membrul drept al relației ( 2-6 ).

Se aplică principiul conservării energiei la sistemul lichid

Fig. 1 format din întreaga masă lichidă aflată în cele două recipiente și conducta de legătură, stabilind lucrurile mecanice (energiile) ce se dezvoltă în sistem, într-un interval de timp infinit mic și în timpul mișcării nepermanente, când nivelul lichidului scade cu  $d\bar{z}$  în  $R_1$  și crește cu  $d\bar{z}$  în  $R_2$ .

1. Forța gravitațională dezvoltă în recipientul  $R_1$  un lucru mecanic motor prin coborârea straturilor de lichid pe distanța verticală  $d\bar{z}$ .

Notând cu  $\gamma$  greutatea specifică a lichidului și urmărind mișcarea pe Fig. 1, se poate ușor observa că lucrul mecanic al forței gravitaționale în  $R_1$  este echivalent cu cele efectuate de greutatea unui singur strat de grosime  $d\bar{z}$ , care ar coborî pe toată înălțimea  $h_1$  și deci

$$(2-7) \quad d(L_1) = \gamma S d\bar{z} \cdot h_1 = \gamma S h_1 \cdot d\bar{z}$$

expresie în care  $S d\bar{z}$  reprezintă greutatea unui strat de lichid de grosime  $d\bar{z}$ . La același rezultat se ajunge observând că, în câmpul gravitațional, care este un câmp conservativ, lucrul mecanic efectuat de o particulă de lichid în coborîrea sa este egal cu greutatea particulei înmulțită cu denivelarea între poziția inițială și cea finală, indiferent de traiectoria urmată de particulă.

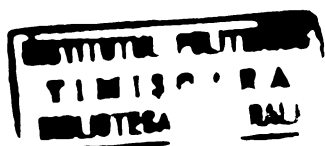
2. Presiunea atmosferică  $p_a$  acționând pe suprafața liberă a lichidului din  $R_1$ , efectuează la coborîrea acesteia cu  $d\bar{z}$ , un lucru mecanic motor

$$d(L_2) = p_a \cdot S \cdot d\bar{z} \quad (2-8)$$

3. În același interval de timp, o masă de lichid egală cu  $\frac{\gamma}{g} S \cdot d\bar{z}$  (corespunzătoare unui strat de lichid de grosime  $h$ ) trece din recipientul  $R_1$  în conducta de legătură, fiind accelerată de la viteza medie  $U$  la viteza medie  $V$ ; pentru aceasta se cheltuiește, după cum se știe, un lucru mecanic egal cu variația energiei cinetice respective:

$$d(L_3) = \frac{\gamma S d\bar{z}}{g} \left( \alpha_A \frac{V^2}{2} - \alpha_R \frac{U^2}{2} \right)$$

unde  $\alpha_A$  și  $\alpha_R$  sînt coeficienții de corecție Coriolis pentru conducta de legătură ( $\alpha_A$ ) respectiv pentru recipientul  $R_1$  ( $\alpha_R$ ).



349609  
106 c



Acasta este un lucru mecanic consumator efectuat de forțele de inerție care se opun accelerării masei respective de lichid (forțele de inerție și deplasarea particulelor au sensuri contrare) de la viteza (mai mică)  $U$  la viteza (mai mare)  $V$ .

Se mai poate scrie :

$$d(E_3) = \frac{\gamma \delta dS}{g} \cdot \alpha_A \cdot \frac{V^2}{2} \left( 1 - \frac{\alpha_U}{\alpha_A} \cdot \frac{U^2}{V^2} \right) \approx \gamma \delta dS \frac{\alpha_A V^2}{2g}$$

Aproximarea de la sfârșitul expresiei de mai sus, poate fi făcută cu o eroare total neglijabilă în cazul de față deoarece raportul  $\frac{U^2}{V^2}$  are o valoare foarte mică față de cifra 1, căci

$$\frac{U^2}{V^2} = \left( \frac{\delta A}{\delta} \right)^2 + \left( \frac{d}{D} \right)^4 \quad \text{unde } D \gg d, \text{ cum s-a arătat}$$

mai înainte, iar coeficienții  $\alpha_{R_1}$  și  $\alpha_A$ , fără să fie egali, sînt de același ordin de mărime.

În același interval de timp  $dt$ , o aceeași cantitate de lichid  $\delta dS$  iese din conducta de legătură prin capatul  $A_2$  și intră în recipientul  $R_2$  unde i se reduce viteza de la  $V$  la  $U$ . Pentru aceasta forțele de inerție efectuează un lucru mecanic motor care se poate măsura tot prin variația energiei cinetice respective.

$$d(L'_3) = \frac{\gamma \delta dS}{g} \left( \alpha_R \frac{U^2}{2} - \alpha_A \frac{V^2}{2} \right)$$

Acasta este egală și de semn contrar cu  $d(L_3)$  astfel că dacă însumăm suma celor două energii obținem

$$d(L_3) = d(L_3) + d(L'_3) \quad (2-9)$$

4. Lucrul mecanic consumator produs prin frecare și turbulență la trecerea greutății de lichid  $\gamma \delta dS$  prin rezistența locală  $A$  inclusiv conductele sale de racord  $A_1$  și  $A_2$  el se scrie sub formă unei energii cinetice, după cum știm,

$$d(E_4) = \zeta \frac{V^2}{2g} \cdot \gamma \delta dS \quad (2-10)$$

pe unitatea de greutate de lichid

unde coeficientul  $\zeta$  are valoarea corespunzătoare " gradului de deschidere " și numărului de al surgerii în conducta de legătură în care este montată rezistența locală ;  $V$  - este viteza medie în conducta de racord  $A_2$  (aceeași, de obicei în aval și amonte de  $A$ ).

5. Lucrul mecanic consumator de frecare viscoasă și turbulentă ( disipația ) în recipientul  $R_2$  atunci când volumul de lichid  $\delta \cdot dz$  ( respectiv greutatea  $\gamma \delta \cdot dz$  ) care iese din conducta de record este frinat de la viteza  $V$  la viteza  $v$  de către masa de lichid aflată în  $R_2$ .

Aceasta constituie de fapt ceea ce chiamă pierderea de sarcină ( "disipația" ) la ieșirea dintr-o conductă care debusează într-un recipient mult mai mare și valoarea ei este

$$d(L_5) \approx \frac{v^2}{2g} \cdot \delta \cdot dz \quad (2-11)$$

6. Lucrul mecanic consumator corespunzător ridicării cu  $dz$  a nivelului lichidului din  $R_2$ ; acesta se compune din suma lucrurilor mecanice elementare rezultate din ridicarea cu  $d_2$  a tuturor straturilor infinite de subțiri din acest recipient, sumă a cărei valoare este ( similar ca în cazul recipientului  $R_1$ , punctul 1 ) :

$$d(L_6) = \gamma \delta \cdot dz \cdot h_2 = \delta \cdot h_2 \cdot dz \quad (2-12)$$

7. Lucrul mecanic consumator al presiunii atmosferice  $p_a$  pe suprafața liberă a lichidului din  $R_2$  când acesta se ridică cu  $d_2$  și a cărei valoare este :

$$d(L_7) = p_a \cdot \delta \cdot dz \quad (2-13)$$

8. Lucrul mecanic consumator produs prin frecarea " la perete " și frecarea viscoasă în masa lichidului din recipientele  $R_1$  și  $R_2$ ; acesta, așa cum s-a arătat în ipotezele de calcul, este cu totul neglijabil prin raport cu celelalte lucruri mecanice și energii puse în joc, dată fiind valoarea foarte mică a vitezei  $v$  a lichidului în cele două recipiente ( în care avem un regim de curgere laminar ), astfel că se consideră acest lucru mecanic :

$$d(L_8) = 0.$$

9. Mișcarea lichidului fiind nepermanentă, trebuie să se evalueze, conform ecuației generale a energiei, și lucrul mecanic al forțelor de inerție rezultând din decelerația masei globale de lichid a sistemului. El este un lucru mecanic motor deoarece mișcarea globală a masei lichide fiind decelerată la momentul considerat, forțele de inerție lucrează în sensul menținerii vitezelor  $V$  și  $v$ , adică în același sens cu deplasarea particulelor lichide Fig.2



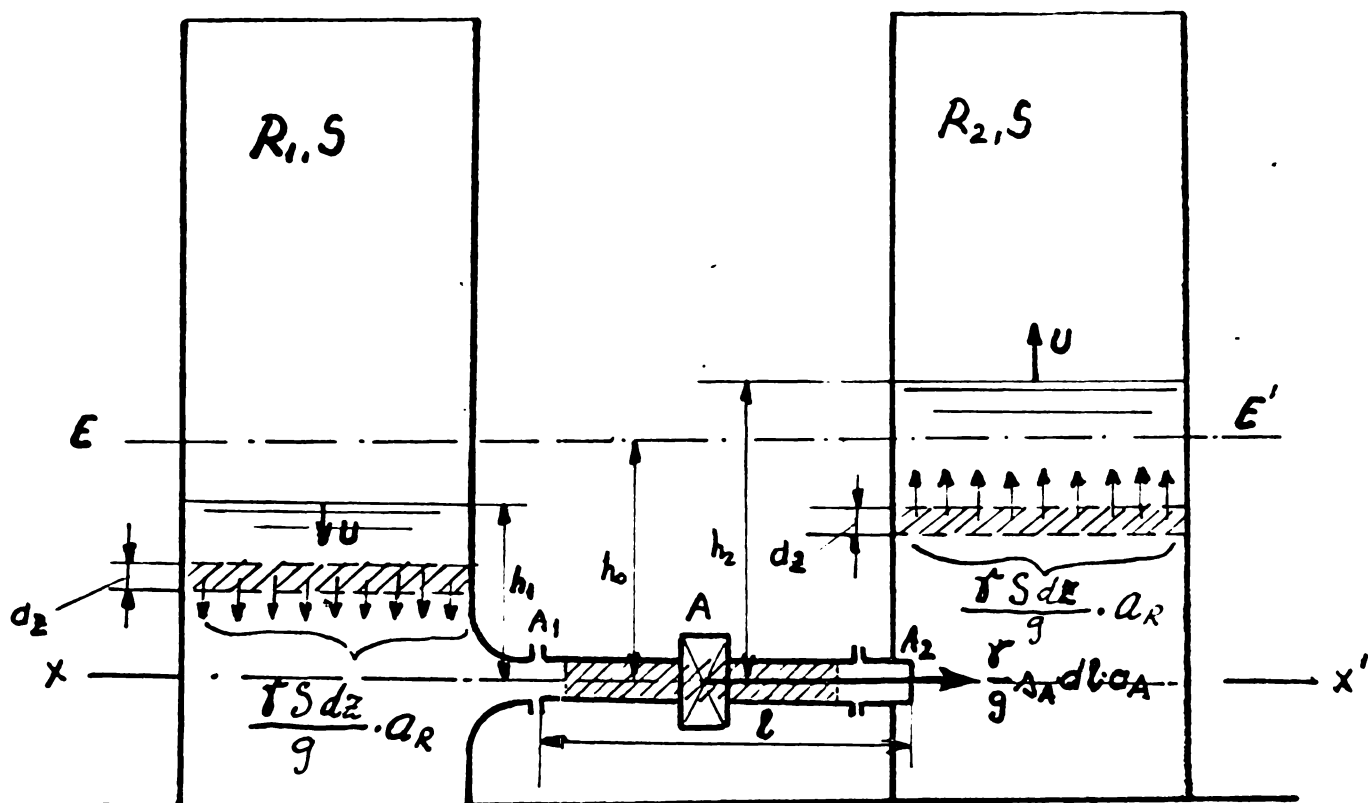


Fig 2

Su excepția momentului pornirii, mișcarea nivelului lichidului în cele două recipiente este, așa cum au confirmat și experiențele, decelerată pe toată durata apropiierii nivelului din  $h_1$  și  $h_2$ , pînă la egalizare. Pentru determinările valorilor lui  $\zeta$ , în cadrul lucrării, momentul pornirii nu interesează, astfel că se va lua în considerare numai mișcarea decelerată pînă aproape de egalizarea nivelului.

Notăm cu  $a_R$  valoarea accelerației medii (media pe suprafața secțiunii dedusă din diferențele a două viteze medii succesive) în mișcarea nivelului lichidului din recipiente și cu  $a_A$  valoarea accelerației medii din conducta de racord  $A_1 A_2$ . Masa de lichid aflată deasupra axei  $x - x'$ , fig. 2, în recipiente este egală cu  $\frac{1}{g} \gamma S (h_1 + h_2)$  iar forța de inerție corespunzătoare este egală cu produsul dintre masă și accelerația lungă cu semn negativ adică  $\frac{\gamma S (h_1 + h_2)}{g} (-a_R)$ . Lucrul mecanic dezvoltat în intervalul de timp  $dt$ , pe distanța  $dz$  (verticală) este :

$$-\frac{\gamma S (h_1 + h_2)}{g} a_R \cdot ds \text{ sau, observind că } h_1 + h_2 = 2 h_0$$

unde  $h_0$  este nivelul de echilibru care se stabilește în final

Între cele două recipiente, se mai poate scrie expresia lucrului mecanic al forței de inerție pentru lichidul aflat în cele două recipiente sub formă :

$$- \frac{2\gamma h_0 s}{g} a_R \cdot dz$$

Masa de lichid aflată în conducta  $A_1 A_2$  de legătură este  $\frac{\gamma}{g} s_A \cdot l$  unde lungimea  $l$  se determină mai exact din relația  $s_A \cdot l = \text{volumul total de lichid cuprins între } A_1 \text{ și } A_2, \text{ volum care se mișcă și apoi } l = \frac{\text{Volumul măsurat}}{s_A}$ . Se dă lui  $l$  denumirea de "lungime echivalentă" a conductei  $A_1 A_2$ , ea reprezentând lungimea  $\frac{1}{s_A}$  medie parcursă de o particulă între  $A_1$  și  $A_2$ .

Lucrul mecanic al forțelor de inerție ce acționează asupra masei de lichid aflate între  $A_1$  și  $A_2$ , în intervalul de timp  $dt$ , este :

$$\frac{\gamma s_A \cdot l}{g} (-a_A) \frac{s}{s_A} dz = - \frac{\gamma s l}{g} a_A \cdot dz$$

În această expresie  $\frac{l}{s} dz$  reprezintă deplasarea lichidului din conducta  $A_1 A_2$  corespunzătoare unei deplasări egale cu  $dz$  a nivelului lichidului din recipiente.

Suma celor două lucruri mecanice ale forțelor de inerție este :

$$d(L_3) = - \frac{2\gamma h_0 s}{g} a_R \cdot dz - \frac{\gamma s l}{g} a_A \cdot dz \quad (2-14)$$

Având acum calculate expresiile tuturor lucrurilor mecanice motoare și consumatoare din sistemul lichid, se va scrie, potrivit principiului conservării energiei, că suma lucrurilor mecanice motoare este egală cu suma lucrurilor mecanice consumatoare :

$$d(L_1) + d(L_2) + d(L_3) = d(L_4) + d(L_5) + d(L_6) + d(L_7)$$

și făcînd înlocuirile :

$$\gamma s h_1 dz + p_A S dz - \frac{2\gamma h_0 s}{g} a_R \cdot dz - \frac{\gamma s l}{g} a_A dz = -3 \frac{v^2}{2g} \gamma s dz + \frac{v^2}{2g} \gamma s dz + \gamma s h_2 dz + p_B S dz \quad (2-15)$$

Se observă din Fl. 1 că  $h_2 - h_1 = 2z$

$$\text{apoi ai : } a_R = \frac{d^2 z}{dt^2} \quad , \quad a_A = \frac{s}{s_A} a_R = \frac{s}{s_A} \cdot \frac{d^2 z}{dt^2} \quad .$$

$v^2 = \left(\frac{s}{s_A}\right)^2 U^2$ . Înlocuind în (2-15) se obține, după trecerea tuturor termenilor în membrul drept :

$$2\gamma z dx + \frac{2\gamma h_0 z}{\rho} \cdot \frac{d^2 z}{dt^2} dz + \frac{\gamma z^2}{\rho_A} \frac{d^2 z}{dt^2} dz +$$

$$+ \frac{\gamma z}{2g} \left(\frac{z}{\rho_A}\right)^2 v^2 dx (\zeta + 1) = 0 \quad (2-15)$$

Înmulțind peste tot cu  $\frac{2g}{\gamma z dx}$ , înlocuind pe  $v$  cu  $\frac{dz}{dt}$

și aranjând termenii, obținem în definitiv :

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{(\zeta + 1) \left(\frac{z}{\rho_A}\right)^2}{2 \left(2h_0 + \frac{z}{\rho_A} - 1\right)} \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 + \frac{2g}{2h_0 + \frac{z}{\rho_A} - 1} \cdot z = 0 \quad (2-17)$$

care este exact aceeași ecuație diferențială de mișcare ca (2-5)

### III. Verificarea ecuației de mișcare (2-5) prin aplicarea teoremei energiei cinetice

Referindu-ne tot la Fig. 1, pentru un interval de timp infinit mic  $dt$  se va vorbi că lucrul mecanic dezvoltat de forțele exterioare și interioare ce acționează asupra masei totale de lichid a sistemului, este egală cu variația energiei cinetice a lichidului, în același interval de timp  $dt$ , adică

$$d(L_{e+1}) = d(L_0) \quad (2-18)$$

Se păstrează aceleași notații ca în aplicarea principiului conservării energiei.

Lucrul mecanic al forțelor exterioare și interioare se compune din :

a) Lucrurile mecanice ale forțelor gravitaționale în recipientele  $R_1$  și  $R_2$  și ale presiunii aerului pe suprafețele libere ale lichidului a căror sumă este (vezi metoda II, aplicarea principiului conservării energiei) :

$$\gamma \int_0^{h_1} h_1 dz - \gamma \int_0^{h_2} h_2 dz + p_a \int_0^{h_1} dz - p_a \int_0^{h_2} dz = \gamma \int_0^{h_1} (h_1 - h_2) dz =$$

$$= - 2\gamma \int_0^z z dz$$

b) Lucrurile mecanice ale eforturilor tangențiale la pereți și ale frecării interne viscoase din masa lichidului aflată în recipientul  $R_1$  și  $R_2$ ; așa cum s-a arătat la aplicarea metodei I,

valorile lor sînt neglijabile prin raport cu celelalte lucruri mecanice și energii puse în lucru, din cauza vitezei foarte mici  $U$  a deplasării nivelelor lichidului în recipiente.

c) Lucrul mecanic de frecare și turbulență (consumator), în rezistența locală  $A$  și în conductele sale de racord, a cărui valoare este  $\int \frac{v^2}{2g} \gamma s \cdot dz$  căruia îi vom atribui semnul minus, deci  $-\int \frac{v^2}{2g} \gamma s \cdot dz$  dat fiindcă este lucru mecanic consumator, și suma lucrurilor mecanice se face într-un singur membru al ecuației (2-18)

d) lucrul mecanic consumator, de frecare viscoasă și de turbulență care se produce la ieșirea masei de lichid  $\frac{\gamma s dz}{g}$  din conducta de racord  $A_1 A_2$  și intrarea ei în recipientul  $R_2$  unde este frînată de la viteza  $v$  la viteza  $U$ , energia ei cinetică fiind disipată prin fenomenul cunoscut; valoarea acestui lucru mecanic este, ținînd seama și de semn  $-\frac{v^2}{2g} \cdot \gamma s dz$

Fiind suma tuturor lucrurilor mecanice ale forțelor exterioare și interioare se obține:

$$d(L_{e+1}) = -2 \int s dz - \int \frac{v^2}{2g} \gamma s dz - \frac{v^2}{2g} \gamma s dz$$

sau

$$d(L_{e+1}) = -2 \int s dz - (\int + 1) \frac{v^2}{2g} \gamma s dz \quad (2-19)$$

În același interval de timp  $dt$  au loc următoarele variații de viteză în masa lichidului, cărora le corespund următoarele variații de energie cinetică:

e) în recipientele  $R_1$  și  $R_2$  viteza medie trece de la valoarea  $U$  la valoarea  $U + dU$ , la care corespunde o variație de energie cinetică

$$\frac{\gamma s (h_1 + h_2)}{g} \left[ \frac{(U + dU)^2}{2} - \frac{U^2}{2} \right]$$

masa de lichid aflată în  $R_1$  și  $R_2$  deasupra nivel  $X - X'$

f) în conducta de legătură  $A_1 A_2$  viteza  $v$  devine  $v + dv$  (în intervalul de timp  $dt$ ), la care corespunde o variație de energie cinetică

$$\underbrace{\frac{\gamma \cdot s_A \cdot l}{g}} \left[ \frac{(v + dv)^2}{2} - \frac{v^2}{2} \right]$$

masa de lichid aflată în conductă de legătură și rezistența locală.-

Se-a admis aici că, în intervalul de timp  $dt$ , viteza  $v$  variază cu aceeași cantitate în toată masa de lichid aflată între secțiunile  $A_1$  și  $A_2$ ; eroarea ce provine din această considerație este cu totul neglijabilă așa cum se va arăta mai departe ;

g) la intrarea din recipientul  $A_1$  în conducta  $A_1 A_2$ , o masă de lichid egală cu  $\frac{\gamma s_A dz}{g}$  trece de la viteza  $U$  la viteza  $v$ ; la aceasta corespunde o variație de energie cinetică

$$\frac{\gamma s_A dz}{g} \left( \alpha_A \cdot \frac{v^2}{2} - \alpha_A \cdot \frac{U^2}{2} \right) ;$$

apoi, la ieșirea din conducta  $A_1 A_2$  și intrarea în recipientul  $A_2$ , cu aceeași masă de lichid egală cu cea care a intrat, trece de la viteza  $v$  la viteza  $U$ , la care corespunde o variație de energie cinetică egală și de semn contrar cu cea de mai sus adică

$$\frac{\gamma s_A dz}{g} \left( \alpha_A \cdot \frac{U^2}{2} - \alpha_A \cdot \frac{v^2}{2} \right) ;$$
 astfel, suma acestor două variații de energii cinetice este nulă.-

Adunând variațiile de energii cinetice de la punctele e), f) și g), se găsește :

$$d(h_0) = \frac{\gamma s_A (h_1 + h_2)}{g} \cdot \left[ \frac{(U + dU)^2}{2} - \frac{U^2}{2} \right] + \frac{\gamma s_A \cdot l}{g} \left[ \frac{(v + dv)^2}{2} - \frac{v^2}{2} \right]$$

Observând că  $h_1 + h_2 = 2 h_0$ , Fig. 1 ; apoi că prin dezvoltarea parantezelor, se pot neglija infinitii mici de ordinul doi  $(dU)^2$  și  $(dv)^2$  prin raport cu restul termenilor, se obține astfel, efectuând toate reducerile :

$$d(h_0)^2 = \frac{2 \gamma s_A h_0}{g} U \cdot dU + \frac{\gamma s_A \cdot l}{g} v \cdot dv \quad (2-20)$$

Sortind acum egalitatea  $d(h_0 + 1) = d(h_0)$ , cu relațiile (2-19) și (2-20), găsim :

$$- 2 \gamma s_A dz = (\gamma + 1) \frac{\gamma^2}{2g} s_A dz = \frac{2 \gamma s_A h_0}{g} U dU + \frac{\gamma s_A \cdot l}{g} v dv$$

Dar :

$$U = \frac{dz}{dt}, \quad dJ = \frac{d^2 z}{dt^2} \cdot dt, \quad \gamma = \frac{j}{s_A}, \quad U = \frac{j}{s_A} \frac{dz}{dt}$$

și  $d\gamma = \frac{j}{s_A} \frac{dj}{dt} \cdot dt$ , expresii pe care înlocuim-le în cele mai sus,

obținem :

$$2\gamma s_A \frac{dz}{dt} + \frac{2\gamma s_A}{g} \frac{d^2 z}{dt^2} \frac{dz}{dt} + \frac{\gamma s_A}{g} \left(\frac{j}{s_A}\right)^2 \frac{d^2 z}{dt^2} \frac{dz}{dt} +$$

$$+ (\gamma + 1) \frac{j}{2g} \left(\frac{j}{s_A}\right)^2 \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 = 0$$

Înmulțind peste tot cu  $\frac{2g}{\gamma^2} \frac{dz}{dt}$  și făcând simplificările, obținem

$$2 \left( 2 h_0 + \frac{g}{s_A} \cdot l \right) \frac{d^2 z}{dt^2} + (\gamma + 1) \left(\frac{j}{s_A}\right)^2 \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 + 4 g z = 0$$

Făcând o nouă împărțire cu  $2 \left( 2 h_0 + \frac{g}{s_A} l \right)$ , găsim în definitiv

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{(\gamma + 1) \left(\frac{j}{s_A}\right)^2}{2 \left( 2 h_0 + \frac{g}{s_A} l \right)} \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 + \frac{2g}{2 h_0 + \frac{g}{s_A} l} \cdot z = 0$$

(2-21)

care este exact aceeași ecuație diferențială ca ( 2-5 ) și ( 2-17 ) deduse prin aplicarea celorlalte două metode.-

Integrarea ecuației de mișcare ( 2-5 )

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{(\gamma + 1) \left(\frac{j}{s_A}\right)^2}{2 \left( h_0 + \frac{g}{s_A} l \right)} \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 + \frac{2g}{2 h_0 + \frac{g}{s_A} l} z = 0$$

Aceasta este o ecuație diferențială de ordinul doi, neliniară, cu coeficienți nu toți constanți,  $\gamma$  neputând fi considerat constant, după cum se știe decât în cazul regimului de curgere turbulent pierzător.

După cum deasupra a este bine cunoscut încă nici în cazul când  $\gamma$  este constant ecuația nu poate fi integrată analitic.- În adevăr, considerăm deci pe  $\gamma$  constant, notăm

$$K_1 = \frac{(\gamma + 1) \left(\frac{j}{s_A}\right)^2}{2 \left( 2 h_0 + \frac{g}{s_A} l \right)} \quad \text{și} \quad K_2 = \frac{2g}{2 h_0 + \frac{g}{s_A} l}$$

$K_1$  și  $K_2$  fiind alte două constante.

obținem atunci ecuația

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + K_1 \left( \frac{dz}{dt} \right)^2 + K_2 z = 0 \quad (2-22)$$

care are particularitatea că nu conține explicit variabilă independentă  $t$  ( timpul ). În acest caz, pentru reducerea ordinului ecuației cu o unitate, alegem derivata  $\frac{dz}{dt}$  ca o nouă funcție și notând-o, de ex,  $\frac{dz}{dt} = p$ , obținem

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{dp}{dt} = \frac{dp}{dz} \cdot \frac{dz}{dt} = p \frac{dp}{dz}$$

și înlocuim în ( 2-13 ):

$$p \frac{dp}{dz} + K_1 p^2 + K_2 z = 0 \quad (2-23)$$

Această este o ecuație diferențială de ordinul întâi și de gradul doi, în care considerăm pe  $p$  ca funcție necunoscută și pe  $z$  ca variabilă independentă,

și putem transforma într-o ecuație diferențială lineară punând  $p = \sqrt{u}$ , unde  $u$  este tot o funcție de  $z$ .

$$\text{Avem } \frac{dp}{dz} = \frac{u'}{2\sqrt{u}} = \frac{u'}{2p} \text{ sau } p \frac{dp}{dz} = \frac{u'}{2}$$

pe care înlocuind-o în ( 2.19 ) se găsește :

$$u' + 2 K_1 u + 2 K_2 z = 0 \quad (2-24)$$

Aceasta este o ecuație diferențială lineară clasică.

Soluția generală a ecuației ( 2-24 ) este :

$$u = e^{-2K_1 z} \left[ C - \int 2 K_2 z \cdot e^{2 K_1 z} \cdot dz \right] \text{ unde } C = \text{const. de integrare}$$

Obținem separat :

$$\begin{aligned} \int 2 K_2 z \cdot e^{2 K_1 z} \cdot dz &= 2 K_2 z \int e^{2 K_1 z} \cdot dz - \int 2 K_2 z \cdot e^{2 K_1 z} \cdot dz = \\ &= 2 K_2 \int z \cdot e^{2 K_1 z} \cdot dz = 2 K_2 \frac{2 K_1 z - 1}{4 K_1^2} \cdot e^{2 K_1 z} = \\ &= \frac{K_2 (2 K_1 z - 1)}{2 K_1^2} \cdot e^{2 K_1 z} \end{aligned}$$



Cu această soluția u capătă forma :

$$u = e^{-2K_1 z} \left[ c - \frac{K_2 (2K_1 z - 1)}{2K_1^2} \cdot e^{2K_1 z} \right] \quad (2-25)$$

Ai departe, din  $p = \frac{dz}{dt} = \sqrt{u}$ , separind variabilele

$$dt = \frac{dz}{\sqrt{u}} = \frac{dz}{\sqrt{e^{-2K_1 z} \left[ c - \frac{K_2 (2K_1 z - 1)}{2K_1^2} \cdot e^{2K_1 z} \right]}}$$

$$dt = \frac{e^{K_1 z}}{\sqrt{c}} \cdot \frac{dz}{\sqrt{1 - \frac{K_2 (2K_1 z - 1)}{2K_1^2 c} \cdot e^{2K_1 z}}}$$

sau, în sfârșit:

$$t = \frac{1}{\sqrt{c}} \cdot \int \frac{e^{K_1 z} \cdot dz}{\sqrt{1 - \frac{K_2 (2K_1 z - 1)}{2K_1^2 c} \cdot e^{2K_1 z}}} + C' \quad (2-26)$$

În se poate găsi, dacă cum se știe, pe cale analitică, primitiva funcției de sub semnul integralei.

Problema care interesează însă aici și care este determinarea valorii coeficientului de pierdere  $\zeta$  în ecuație, în funcție de nivelul lichidului din recipientul 2 (sau 1)<sup>1</sup>, poate fi totuși rezolvată practic dacă se transformă ecuația diferențială de mișcare (2-5) într-o ecuație cu diferențe finite în modul următor :

Din ecuația (2-5), se extrage valoarea lui  $\zeta$  :

$$\zeta = \frac{4K_1 z}{\left(\frac{J}{S_A}\right)^2 \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} - 1 = \frac{2 \left( 2h_0 + \frac{z}{3A} \cdot f \right)}{\left(\frac{J}{S_A}\right)^2 \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \cdot \frac{d^2 z}{dt^2} \quad (2-27)$$

În locul diferențialelor  $dz$  și  $dt$ , se vor considera diferențele finite alese convenabil de mici  $\Delta z$  și  $\Delta t$  iar în locul derivatelelor  $\frac{dz}{dt}$ ,  $\frac{d^2 z}{dt^2}$  se vor introduce viteza  $J$  și derivata ei după relațiile (utilizate mai înainte) :

$$\frac{dz}{dt} = u, \quad \left(\frac{J}{S_A}\right)^2 \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 = v^2, \quad \text{apoi } 2z = h_2 - h_1, \quad 2h_0 = h_1 + h_2$$



Expresia accelerației  $\frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{dU}{dt} = \frac{s_A}{s} \cdot \frac{dV}{dt}$  se va

înlocui cu expresia în diferențe finite

-  $\frac{s_A}{s} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$  unde prin  $\frac{\Delta V}{\Delta t}$  s-a notat nu accelerația din conduc-

ta de legătură ( anse viteza de curgere s-a notat cu  $V$  ) ci decelerația, cu care este mai comod să lucrăm în studiul mișcării lichidului între cele două recipiente  $h_1$  și  $h_2$ , mișcarea fiind tot timpul decelerată.

Așa fiind, este evident că  $dV$  din  $\frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{s_A}{s} \cdot \frac{dV}{dt}$ ,

va avea semn contrar cu  $\Delta V$  din  $\frac{\Delta V}{\Delta t}$  ceea ce conduce la înlocuirea

lui  $\frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{s_A}{s} \cdot \frac{dV}{dt}$  prin  $-\frac{s_A}{s} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$  când trecem

la diferențele finite. După înlocuirea în ( 2-27 ) se obține :

$$\zeta = \frac{2g ( h_1 - h_2 )}{v^2} - 1 + \frac{2}{v^2} ( 2 h_0 + \frac{s}{s_A} \cdot l ) \frac{s_A}{s} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

sau

$$\zeta = \frac{2g ( h_1 - h_2 )}{v^2} - 1 + \frac{2}{v^2} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \left[ \frac{s_A}{s} ( h_1 + h_2 ) + l \right]$$

( 2-28 )

expresie cu care se va lucra la calculul valorii lui  $\zeta$ , așa cum se va arăta în Cap.4.

Se menționează că expresia ( 2-28 ) a fost găsită la stabilirea ecuației de mișcare și lucrăm direct cu diferențele finite  $\Delta z, \Delta t, \Delta U, \Delta V, \frac{\Delta V}{\Delta t}$ , în comunicarea făcută la seminarul na-

țional de hidraulică teoretică și aplicată ținut la Inst. Politehnic " Traian Vuia " din Timișoara între 1-3 noiembrie 1973, comunicare avînd titlul : " Formula " s-a tău " generală de determinare a coeficientului de pierdere din pierderile de sarcină locale în conducte pentru lichide " .-

Observații speciale privind caracteristicile mișcării lichidului  
între recipientele  $R_1$  și  $R_2$

Deși Modelul matematic al mișcării este același ca în cazul oscilațiilor în masă dintr-o conductă prevăzută cu castel de echilibru la care se iau în considerare și pierderile de sarcină, există deosebiri importante față de această din urmă mișcare și anume :

1. În cazul mișcării lichidului între recipientele  $R_1$  și  $R_2$  din instalația prezentată aici, nu se poate neglija în mișcarea nepermanentă lucrul mecanic al forțelor de inerție ce acționează asupra masei de lichid din recipiente așa cum se face la studiul oscilațiilor în masă din conductele prevăzute cu castel de echilibru unde această neglijare este posibilă datorită faptului că masa de lichid din castel este în general mult mai mică decât cea din conductă și accelerațiile și decelerațiile din castel sînt mult mai mici față de cele din conductă, din cauza secțiunii mari a castelului ( [11] pag.224- 232 ).-

În cazul instalației prezentate aici, masa de lichide din recipiente este dimpotrivă, cu mult mai mare ( de 1000 - 2000 ori mai mare ) decât cea din conductă de legătură în timp ce decelerațiile din conductă sînt numai de cîteva sute de ori mai mici astfel că neglijarea lucrului mecanic menționat nu se mai poate face.

2. Mișcarea lichidului dintre recipientele  $R_1$  și  $R_2$  este practic aperiodică ( chiar cînd rezistența locală  $\lambda$  este complet deschisă sau lipsește ) așa cum au arătat toate experimentele făcute în laborator și aceasta din cauza pierderii de sarcină precumpănitoare produse de rezistența locală și de secțiunea mult mai mică a conductei de legătură dintre  $R_1$  și  $R_2$  ( secțiunea conductei de legătură este de 300 - 500 ori mai mică decât a recipientelor ). Caracterul aperiodic al unei asemenea mișcări este menționat în literatura de specialitate ( ex. [11] pag. 223 ).

Ceace este de remarcat în acest caz este faptul că modelul matematic al mișcării, respectiv ecuația diferențială nelineară de ordinul II de tipul

$$A \frac{d^2 z}{dt^2} + B \frac{dz}{dt} + Cz = 0$$

$$A \cdot \frac{dU}{dt} + h(U) + C \cdot Z = 0, \text{ cu } U = \frac{dZ}{dt} \text{ și}$$

$h(U)$  = funcție (  $U$  )

indică și în acest caz o mișcare oscilatorie, dar cu amplitudini foarte mici și decreșcătoare ( [41] pag.300 - 330 ) , ( [25] pag. 559) dat fiindcă coeficienții ecuației, în cazurile concrete studiate, realizează condiția matematică  $B^2 - 4AC < 0$

În laborator nu s-a putut observa nici o oscilație. Această imperfecțiune a modelului matematic se datorește în primul rând faptului că pe măsură ce nivelele lichidului din cele două recipiente  $h_1$  și  $h_2$  tind să se egalizeze, mișcarea lichidului își schimbă caracterul trecînd în regim laminar chiar și în conducta de legătură dintre recipiente ceea ce evident modifică și modelul matematic. Mișcarea laminară în întreg sistemul lichid are în acest caz și ca soluție matematică o soluție aperiodică.

3. Deși mișcarea lichidului între cele două recipiente se desfășoară într-un singur sens, pînă la egalizarea nivelelor, există în această mișcare două faze deosebite și anume :

Faza 1. Deoarece se pleacă din repaus cu masa lichidă (nivelele lichidului fiind la cota cea mai înaltă  $h_{10}$  în  $h_1$  și la cota cea mai joasă  $h_{21}$  în  $h_2$  ), la " deschiderea " rezistenței locale montate în conducta de legătură  $A_1 A_2$  , viteza medie  $U$  a nivelului lichidului <sup>este</sup>  $U_{max}$ , corespunzătoare denivelării maxime =  $h_{10} - h_{21}$  ; în acest interval de timp care durează câteva fracțiuni de secundă, mișcarea este accelerată. Această fază scurtă inițială nu prezintă interes pentru determinările coeficientului de pierderi  $\zeta$  , căci ea nu poate fi utilizată practic, regimul de curgere variînd foarte mult într-un timp prea scurt.

Faza 2. Imediat după atingerea vitezei  $U_{max}$ , în recipiente ( respectiv  $V_{max}$  în conducta de legătură ) , urmează o mișcare nepermanentă de decelerare continuă pînă la egalizarea nivelelor între cele două recipiente. Aceasta este faza utilă de durată suficient de lungă pentru a se putea determina valorile succesive ale lui  $\zeta$  la diferitele viteze de curgere ale lichidului prin rezistența locală, între valorile  $V = V_{max}$  și un  $V = V_{min}$ . ( tot turbulent ).-

**CAPITOLUL 3. PROIECTAREA SI CALITATEA CONSTRUCTIVA A  
INSTALATIILOR DE LICHIDITARE.**

Părțile principale ale instalației concepute în fig.3 sînt următoarele:  
și FOTO 1,2

1) Două recipiente cilindrice  $R_1$  și  $R_2$  cu diametrul nominal  $D = 400$  mm și cu înălțimile de 3340 mm ( $R_1$ ) și respectiv 2300 mm ( $R_2$ ).

Pentru urmărirea mișcării nivelului lichidului din recipient în timpul experimentării, s-a tăiat câte o fantă dreptunghiulară în fiecare din cele două recipiente, paralelă cu generatoarea cilindrului, avînd lățimea de 50 mm (în  $R_1$ ) respectiv 70 mm (în  $R_2$ ) înălțimea fantelor fiind de 2000 mm. Pe aceste fante s-au aplicat plăci de plexiglas transparent de 4 mm grosime, cu ajutorul unei rame din fier cornier de 40 x 40 x 4 mm, ramă sudată pe conturul fantei. Această ramă a creat un "ieșind" de la suprafața laterală a cilindrilor (secțiunea C-D din Fig.3) pe care s-a aplicat apoi placa de plexiglas împreună cu o garnitură de etanșare din cauciuc. Pe placa de plexiglas s-a montat o altă ramă din platbandă de oțel de 25 mm lățime și 4 mm grosime, care s-a fixat de rama din fier cornier prin șuruburi ( $\phi = 6$  mm)

Șuruburile au fost plasate suficient de apropiate unele de altele pentru a se asigura etanșeitarea fantelor pe conturul acestora.

Pe placa de plexiglas a fiecărui din cele două fante s-a lipit cu o pastă de "aracet", câte o scară milimetrică verticală din material plastic transparent, avînd lățimea de 20 mm și lungimea de 1300 mm (fig. 3).

Recipientul  $R_1$  are sudată la partea inferioară o bucată scurtă de conductă cilindrică cu diametrul  $\phi = 300$  mm și lungimea de numai 100 mm (notată Cor în Fig. 3), închisă la capătul liber cu o flanșă care permite montarea ajutorajului conoidal de legătură Ajo.

Ajutorajul conoidal realizează legătura între  $R_1$  și conducta de record  $R_2$  a rezii tenței locale (A) de studiat. Pentru asigurarea stabilității recipientului  $R_1$  care este înalt prin raport cu diametrul său, s-au montat la baza lui patru nervuri triunghiulare  $N_1$ , sudate pe corpul recipientului și pe placa de bază. Recipientul  $R_2$  este prevăzut la partea inferioară cu un robinet de golire  $R_3$ .

În expunerea teoretică din Cap.2, s-a arătat că este necesar ca aria secțiunilor celor două recipiente să fie egală astfel ca



L E G E N D A LA FIG.3

1. Recipientul cilindric  $R_1$  cu diametrul nominal  $D = 400$  mm
2. " " "  $R_2$  " " "  $D = 400$  mm
3. Fața verticală de plexiglas a lui  $R_1$
4. " " " "  $R_2$
5. Robinet de golire a lui  $R_2$  (notat și  $R_g$ )
6. Nervuri triunghiulare de asigurare a stabilității recipientului  $R_2$  (notate și  $N_e$ )
7. Ajută conoidal (confuzor), notat și  $A_j$
8. Rezistența locală care se studiază (notată și  $A$ )
9. Conductă de legătură a rezistenței locale
10. Dispozitiv de disipare (liniștire) a energiei de turbulență
11. Placă verticală din lemn, cu secțiune variabilă, pentru egalizarea secțiunii celor două recipiente  $R_1$  și  $R_2$
12. Conductă de aducțiune a lichidului în recipientul  $R_1$  (notată și  $C_a$ )
13. Vană de reglaj a debitului din conducta de aducțiune (notată și  $R_a$ )
14. Cilindru distribuitor (notat și  $D_1$ )
15. Patru prize piezometrice notate I, II, III, IV.
16. Patru tuburi piezometrice (notate și  $T_I, T_{II}, T_{III}, T_{IV}$ ) : a se vedea și Fig.6 și 6 bis.
17. Scări milimetrice din material plastic lipite pe fațetele de plexiglas ale recipientelor  $R_1$  și  $R_2$

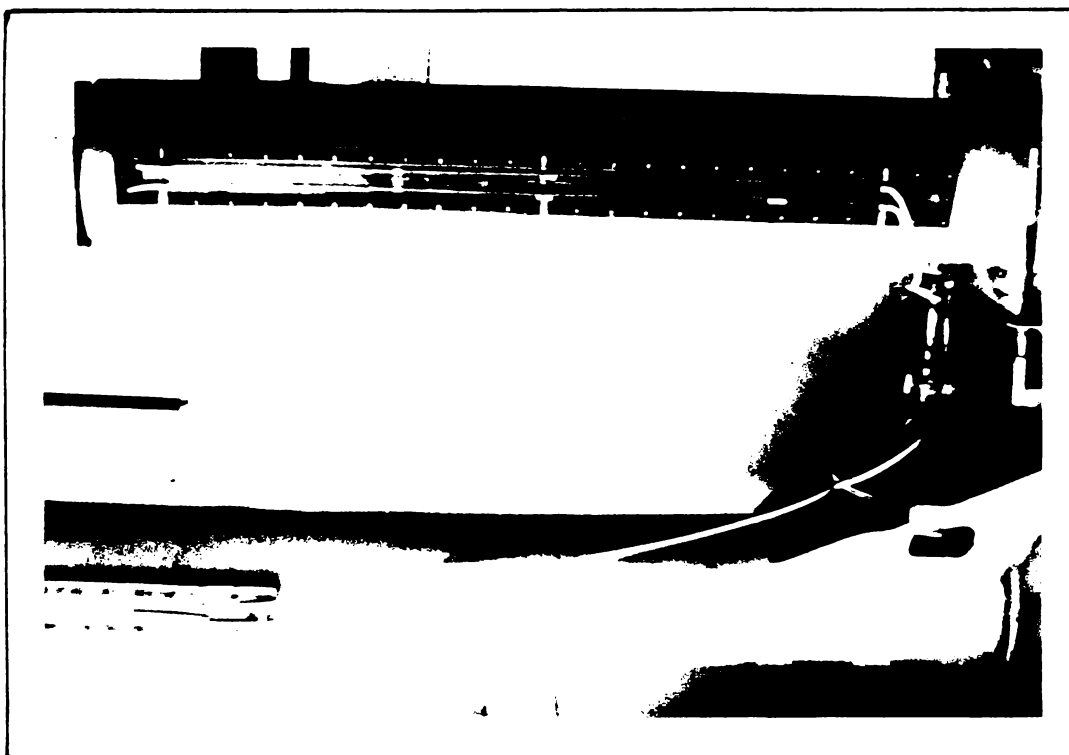


FOTO 2

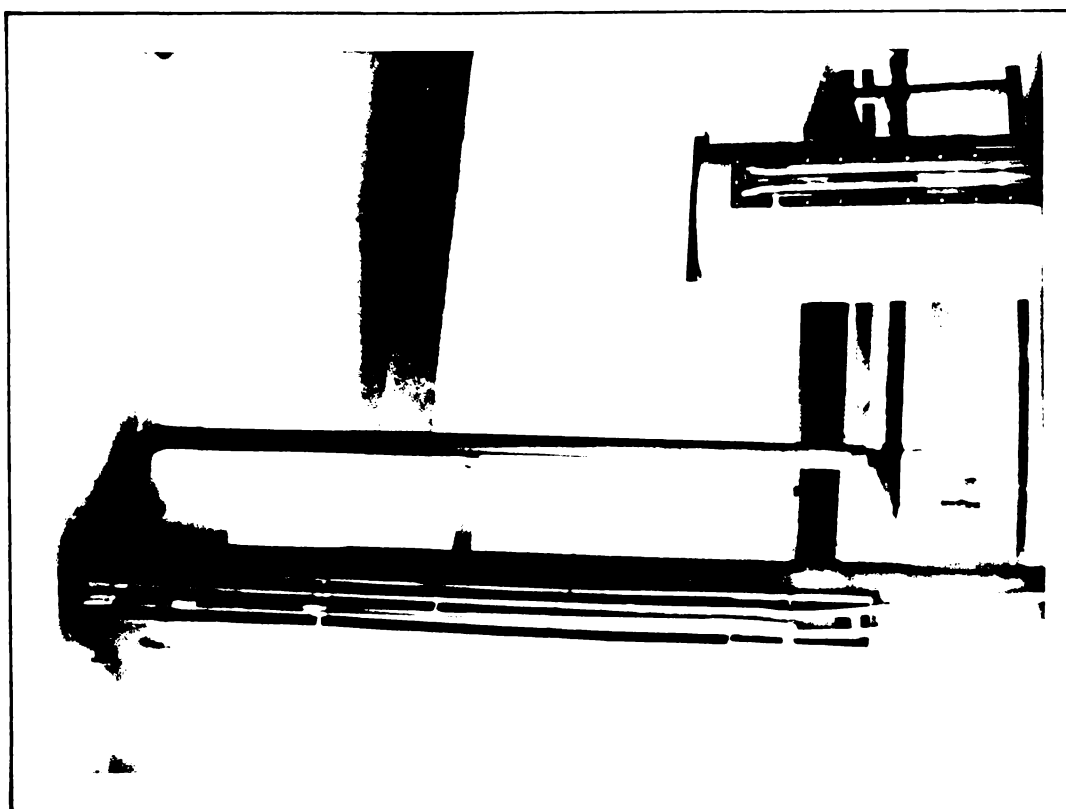


FOTO 1



scăde ea nivelul lichidului din  $R_1$  să fie exact egală cu creșterea nivelului în  $R_2$ . Acest lucru nu era realizat inițial deși diametrele " nominale " ale cilindrilor erau, teoretic egale,  $D = 400$  mm. Pentru corectarea inegalității secțiunilor s-a procedat astfel :

1) Înainte tăiate în cilindrul ( recipientul )  $R_2$  i s-a dat intenționat o lățime mai mare decât cele tăiate în  $R_1$  ( 70 mm. la  $R_2$  față de 60 mm. la  $R_1$  ) pentru ca secțiunile lui  $R_2$  să fie peste tot puțin mai mari, ( inițial ), decât cele ale lui  $R_1$  .

Pentru aducerea la egalitate a secțiunilor lui  $R_2$  cu cele ale lui  $R_1$  s-a introdus în  $R_2$ , pe la partea sa superioară o placă  $P$  de lemn de secțiune variabilă, arătată în Fig.4 . Placa  $P$  a fost confecționată dintr-o scândură geluită, tăiată după profilul necesar realizării egalității secțiunilor și vopsită cu o vopsea rezistentă la umiditate. Nivelul superior al profilului variabil a fost fixat la nivelul de egalizare  $E-E'$  din  $R_2$  care corespunde cotei de 1030 mm. pe scara milimetrică a lui  $R_2$  . Pentru ca placa  $P$  să aibe o poziție verticală stabilă în recipientul  $R_2$ , i s-a atașat la partea inferioară o contragreutate  $C_g$  de cca. 6 kg. sub forma unui cilindru plin cu  $\delta = 30$  mm. poziția cilindrului contragreutate fiind paralelă cu baza cilindrului  $R_2$  și situată sub gradajia „ zero ” a scrii milimetrice a acestuia. Placa de lemn  $P$  a fost consolidată prin aplicarea pe părțile laterale a unei benzi subțiri de tablă de 0,2 mm. grosime și 20 mm. lățime, urmărind conturul variabil al plăcii, așa cum se vede în Fig. 4.

După introducerea plăcii  $P$  și fixarea ei în recipientul  $R_2$ , s-a făcut cu foarte mare atenție, operația de verificare a egalității secțiunilor între  $R_1$  și  $R_2$  din ca. în ca. înălțime, utilizându-se în acest scop scriile milimetrice de pe fantele de plexiglas. S-a reușit să se realizeze o egalitate a secțiunilor cu erori sub 0,1% .

2) Ajutajul conoidal convergent  $A_j$ , fig. 3, care servește la înșorarea progresivă a secțiunei curentului lichid dela cea a conductei scurte cilindrice cu  $\delta = 300$  mm, puțin la secțiunea mult mai mică a conductei de „ record ” anote „  $A_1$  ” a rezistenței locale ; forma conoidală cu curbă de racordare continuă recomandată în manualele de specialitate, s-a ales pentru a se obține o pierdere de sarcină cât mai mică la trecerea lichidului prin ajutaj, practic neglijabilă prin raport cu pierderile de sarcină „ anjore ” din fenomenul umărit, așa cum s-a arătat în expunerea anterioară a părții teoretice. Ajutajul a fost executat din tablă de alama de 0,6 mm.grosime.

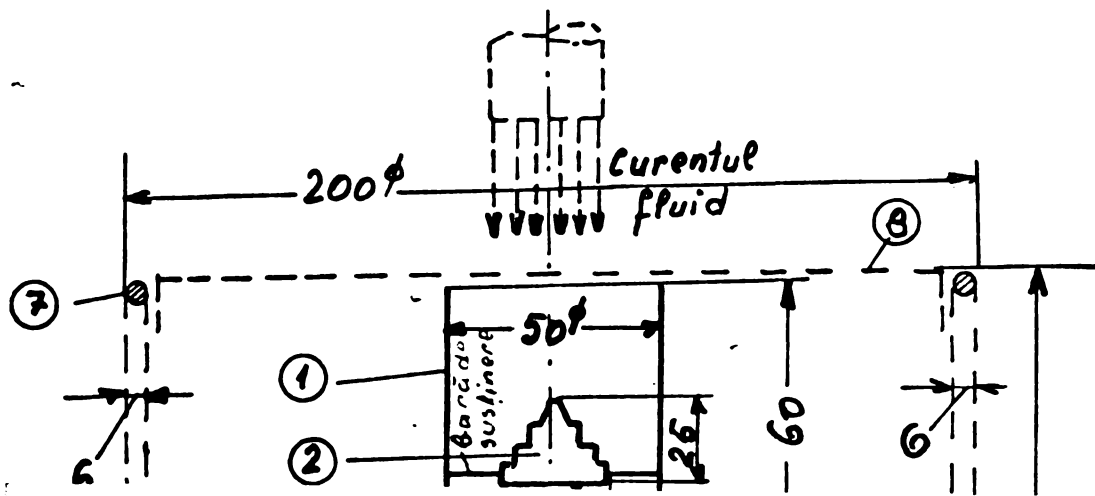




3) Conductele de racord  $A_1A$  și  $AA_2$  din țevă ( industrială ) de oțel zincat, ansele de același diametru și tăiate din aceeași bucată de țevă ; legăturile conductelor de racord la piesele alăturate s-au realizat prin " înjurubare " pe o porțiune filetată, la rezistența locală A și prin flange cu garnitură din material plastic la celălalt capăt al conductei.

4) Rezistența locală de studiat, notată A pe Fig. 3 care poate fi de orice construcție : robinet, ventil, valvă, vană , diafragmă , cot , etc.

5) Un dispozitiv de disipare a energiei de turbulență a vitei de fluid care iese din conducta de legătură  $AA_2$  și intră în recipientul  $R_2$  (Fig.3) necesar în cazul vitezelor mijlocii și mari (1,5-4,5 m/s ) ale acestei vitei fluide, pentru ca nivelul lichidului în  $R_2$  să poată fi menținut liniștit ( fără valuri ) iar citirile pe scara milimetrică a lui  $R_2$  să se poată face în bune condițiuni. Într-adevăr,



apa cură s-a verificat în timpul experimentelor, pînă cînd nivelul lichidului este încă mic în  $R_2$ , volumul total de lichid din  $R_2$  este și

ei nu și nu poate disipa suficient de repede și fără valuri energia cinetică specifică  $\alpha \frac{v^2}{2g}$  a vinei fluide care intră în recipient,

atunci când ea are o valoare mai mare adică atunci când  $V$  are o valoare mai mare ( 1,5 - 4,8 m/s ). Viteze mai mari de 4,82m/s nu apar în instalație din cauza înălțimii limitate la 3340 mm. a recipientului R1.

Prin încercări, s-au obținut bune rezultate de disipare cu ajutorul dispozitivului arătat în Fig. 5 .-

6) O conductă de aducțiune a lichidului ca, Fig. 3, debuzând la partea superioară a recipientului R1 printr-un cilindru distribuitor D1 având un număr de 30 de orificii circulare la partea sa inferioară pentru ca lichidul ajuns aici să cadă în R1 sub formă de picături distribuite cât mai uniform. Aducțiunea de lichid în R1 are loc numai în timpul măsurătorilor executate în regim permanent, măsurători făcute în scopul verificării rezultatelor obținute prin metoda curgerii în regim nepermanent prezentată în lucrare.

Această conductă Ca este racordată prin celălalt capăt al său la un rezervor de apă de mare capacitate, situat pe acoperișul laboratorului hidrotehnic unde nivelul lichidului este menținut constant printr-un dispozitiv de " prea plin " .

Vana de reglaj ca permite varierea debitului trimis în recipientul R1 în timpul măsurătorilor efectuate în regimul de curgere permanent.

La aceste măsurători și robinetul de golire Rg al recipientului R2 este deschis și se reglează la gradul de deschidere cerut de stabilirea regimului permanent respectiv.

Vana ca este în poziția " complet închis " în timpul măsurătorilor efectuate în regimul de curgere nepermanent, la fel ca și robinetul de golire Rg.

7) Patru prize piezometrice notate I, II, III, IV în Fig.3 și montate : una pe conducta cilindrică cu  $\phi = 300$  mm. al recipientului R1 iar celelalte trei pe conducta de legătură A1 A2, într-un plan orizontal trecând prin axa acestei conducte. Prizele au fost confecționate din alamă, având un canal central de  $\phi = 2$  mm, conform STAS 6562 - 73 . Priza I este simplă iar prizele II, III, IV sînt duble, montate de-o parte și de cealaltă a conductei de legătură A1A2.

8) Patru tuburi piezometrice din sticlă cu  $\phi = 8$  mm. notate

$T_I, T_{II}, T_{III}, T_{IV}$  legate prin conducte de cauciuc la prizele respective și fixate chiar pe fantele de plexiglas ale recipientelor R1 și R2, de-o parte și de cealaltă a scârilor milimetrice pe aceste fante.

Ele nu au fost figurate pe Fig.3, scara desenului nepermițând o reprezentare suficient de clară a lor și sînt arătate în Fig.6. Dată fiind lungimea de 1000 mm a scârilor milimetrice pe care trebuia urmărită variația nivelului lichidului<sup>24</sup> recipiente, tuburile piezometrice nu au putut fi confecționate dintr-o singură bucată ci din câte două bucăți fiecare, legate între ele prin bucăți foarte scurte (30 mm) de tub de cauciuc.

### Proiectarea instalației

În proiectarea instalației s-a pornit de la următoarele ipoteze de calcul precum și de la următoarele date de bază privind materialele disponibile pentru construcție în laborator :

1. Așa cum s-a arătat la începutul Cap. I., diametrul  $D$  al recipientelor cilindrice R1 și R2 era necesar să fie ales mult mai mare ( de cea 20 - 40 ori mai mare ) decât diametrul  $d$  al conductei de legătură  $A_1A_2$  ( Fig.3 ), pentru a se putea obține un regim laminar de curgere în recipiente ( în tot domeniul de experimentare ), în timp ce regimul de curgere din rezistența locală studiată și conductele sale de racord este turbulent.

Această condiție este esențială pentru precizia rezultatelor măsurătorilor, valoarea energiei disipate în curgerea laminară din cele două recipiente trebuind să fie neglijabilă ( sub 1 % ) din valoarea energiei consumate în rezistența locală și conductele sale de racord. Jele precizări în această privință s-au făcut și în cap.2. . -

2. Recipientele urînd a fi executate din conductă de oțel și cel mai mare diametru disponibil în laborator fiind de  $D = 400$  mm, alegînd pentru conductele de racord ale rezistenței locale diametre între  $d = \frac{1}{4}"$  ,  $\frac{1}{2}"$  , și  $1"$  , rezultă următoarele rapoarte între  $D$  și  $d$  :

$d$ ( " sau mm )	$\frac{1}{4}" = 6,35$ mm	$\frac{1}{2}" = 12,7$ mm	$\frac{3}{4}" = 19,05$ mm	$1" = 25,4$ mm
$\frac{D}{d}$	62,99	31,45	21,00	15,75

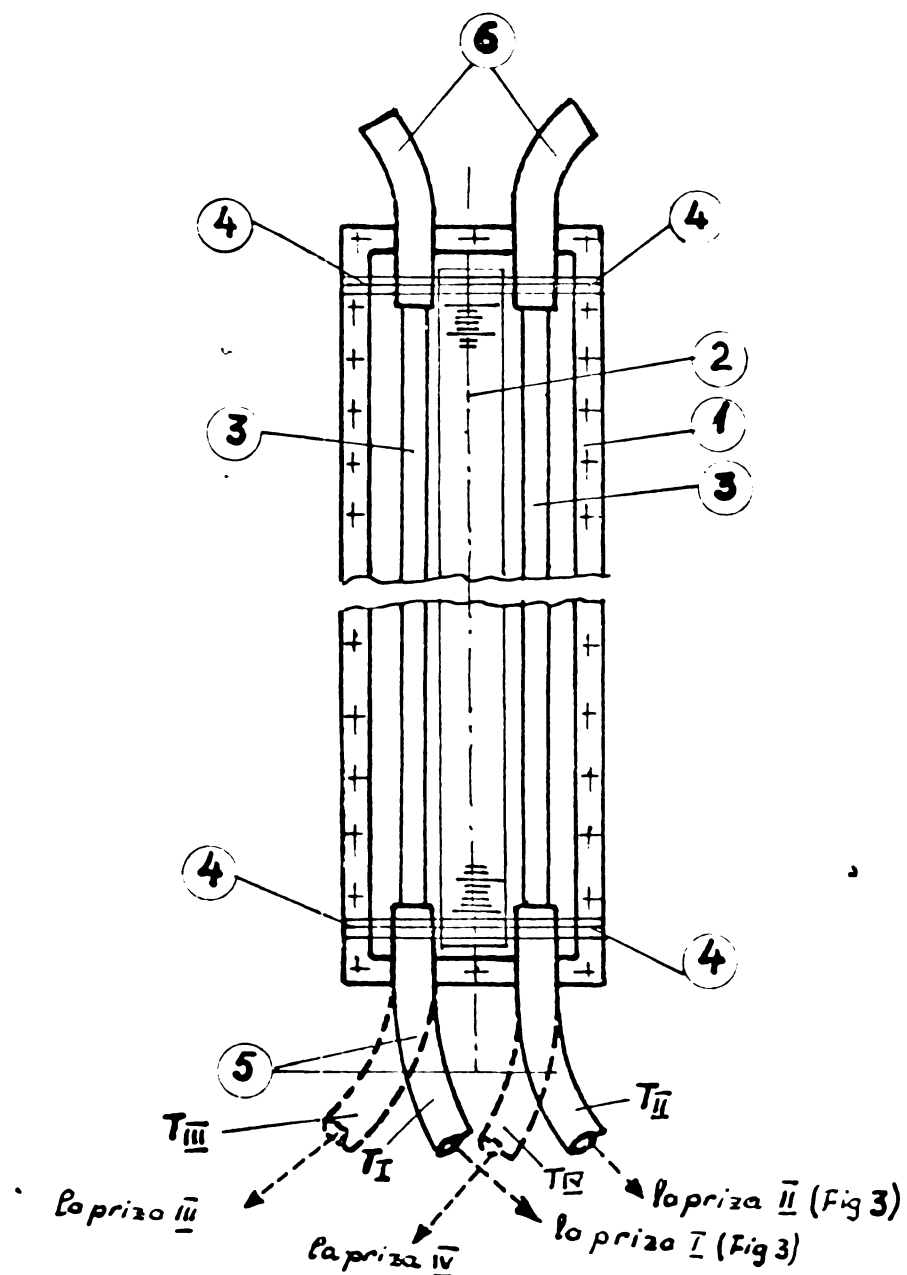


Fig 6 și 6 bis

Montarea tuburilor piezometrice pe fontele recipientelor  $R_1$  și  $R_2$   
(tuburile  $T_{III}$  și  $T_{IV}$  punctate aparțin de fig 6 bis)

LEGENDĂ

- ① - rama fontei
- ② - scară milimetrică
- ③ - tuburile piezometrice
- ④ - legătura de fixare a tuburilor la ramă
- ⑤ - conductele de cauciuc mergînd la prizele I, II, III și IV
- ⑥ - conductă de cauciuc de protecție

Primele trei rapoarte se încadrează între limitele alese ( 20 - 40 ). Pentru ultimul raport corespunzător diametrului de 1" al conductei de racord, se obține un raport între vitezele medii de curgere  $U$  ( în recipiente ) și  $V$  ( în conducta de racord ) :

$$\frac{U}{V} = \left( \frac{d}{\phi} \right)^2 = \frac{1}{15,75^2} \quad \text{iar pentru energiile disipate :}$$

$$\frac{\frac{2 \rho V^3}{2g}}{1} = \left( \frac{U}{V} \right)^2 = \left( \frac{d}{\phi} \right)^4 = \frac{1}{15,75^4} = \frac{1}{61,535}$$

aceasta este deosebit de satisfăcător dacă se consideră că este suficient ca energia de disipație din recipiente să aibe o valoare sub 1% din cea consumată în rezistența locală și conducta de racord. Aceasta trebuie să aibe loc evident și cu realizarea condiției ca în recipiente curgerea să rămână laminară.

3) Înălțimea plafonului sălii de laborator în care urma să fie montată instalația fiind de 4020 mm, aceasta a limitat înălțimea recipientului R1 ( cel mai înalt ) la aprox. 3840 mm., având în vedere că deasupra lui se instalează și un cilindru distribuitor ( notat cu R1 în Fig.3 ) cu diametrul de 100 mm.

Pentru recipientul R2 s-a ales o înălțime de 2300 mm, mai mare cu 30 mm decât jumătate din înălțimea lui R1. Cum cele două recipiente au aci și rolul de vase comunicante, s-a asigurat astfel și o înălțime liberă în R2, deasupra nivelului de echilibru dintre cele două recipiente care să permită eventuale mici oscilații în jurul acestui nivel.

Experimentele au confirmat însă ipoteza că, din cauza raportului foarte mic al diametrelor  $\left( \frac{d}{\phi} \right)$ , egalizarea nivelurilor la trecerea lichidului din R1 în R2 se face practic aperiodic în condițiile de experimentare preconizate.

4) Pentru montarea ajutorului condical de racordare Aje, era nevoie de o suprafață plană, verticală, la partea inferioară a recipientului R1. Aceasta s-a creat cu ajutorul unei flanșe circulare, montată pe capătul liber al unei buciți scurte de conductă de racord ( Cor, Fig 3 ) cu  $\phi = 300$  mm. sudată la un capăt la recipientul R1. Flanșa care încaie la celălalt capăt această conductă de racord s-a tăiat din tablă de 6 mm. grosime și s-a fixat pe capătul conductei cu ajutorul a 12 șuruburi de  $\phi = 10$  mm, împreună cu o garnitură

inlădări de etanșare.

Înălțimea de montaj a axei orizontale a conductei de racord C or s-a determinat prevăzându-se un spațiu liber ( o distanță ) de minimum 10 cm deasupra pardoselii, pînă la punctul cel mai de jos al flămpei, pentru a se asigura posibilitatea de montare și demontare ușoară a acesteia. În acest mod rezultă și poziția axului conductei de legătură A1 A2 care trebuie să coincidă cu axa ajutorului conoidal Ajc și cu axa conductei scurte de racord C or. Pe baza acestor considerații, a rezultat o înălțime de 180 mm a axului conductelor C or și A1 A2 față de baza celor două recipiente A1 și A2.

5. În ceea ce privește ajutorul conoidal Ajc (Fig.3) , acesta a fost profilat cu o curbă de racordare continuă, după o schiță de profil din pag. [[18]pag.237]. Diametrul lui la intrare s-a ales de 150mm iar la ieșire cel corespunzător diametrului interior al conductei de racord " amonte " A1 A. Lungimea ajutorului s-a prevăzut a fi cuprinsă între 90 - 120 mm , în funcție de diametrul conductei de racord. *Coefficientul său de pierderi este neglijabil  $\zeta = 0,005 \div 0,06$ .*

6. Cele două conducte de racord A1 A și A2 ( Fig 3 ) ale rezistenței locale s-au prevăzut a fi executate din țevă de oțel zincată așa cum se utilizează cel mai des în practică. Pentru a avea în limitele unei erori cât mai mici aceeași rugozitate ( și același diametru interior ) s-a prevăzut ca cele două conducte să fie tăiate din aceeași bucată de țevă.

Lungimea  $l_2$  a conductei de racord " aval " A2 , s-a prevăzut a fi mai mare decât cea " amonte " de rezistența locală studiată. S-a prevăzut  $l_2 = ( 10 - 15 ) d$ ,  $d$  fiind  $d$  diametrul interior al conductei , pentru ca în măsurătorile coeficientului  $\zeta$  să fie prinse și pierderile de sarcină provocate de rezistența locală înăuntri în conducta de racord " aval " , ca urmare modificării vitezelor lichidului la trecerea acestuia prin rezistență. *Practic a rezultat pt. lungimile echivalente (definite la pag 21),  $l \approx 0,6m$  pt.  $d_{nom} = 3/4"$  și  $l \approx 0,4m$  pt.  $d_{nom} = 1/2"$ .* S-a prevăzut o lungime mai mare pentru  $l_2$  pentru ca rezistența hidraulică uniform distribuită ( suplimentară ) a acestei conducte să nu introducă o eroare sensibilă în calculul valorii coeficientului de pierderi  $\zeta$ .



**CAPITOLUL 4. TEHNICA EXPERIMENTALA IN APLICAREA  
METODEI DE MĂSURĂ CU DISPERTE FINITE  
PENTRU DETERMINAREA COEFICIENTULUI DE  
PIEDRI IN REGIMUL DE CURGERE  
NEPERMANENT.**

Rezistența locală A din conducta  $A_1A_2$  fiind în poziția "închis" și la fel și robinetul de golire  $R_g$ , se umplu cu lichidul studiat recipientele  $R_1$  și  $R_2$  exact pînă în dreptul gradajilor "zero" ale scîrilor milimetrice lipite de fantele de plexiglas ale lui  $R_1$  și  $R_2$ .

Așa cum s-a mai arătat, reperul "zero" al lui  $R_1$  se află la partea superioară a acestui recipient în timp ce reperul "zero" al scîrii lui  $R_2$  se află la partea inferioară a acestuia. Între cele două repere, diferența de nivel este de 3360 mm care poate asigura o viteză maximă de curgere prin rezistența locală<sup>x)</sup> de cea 4,82 m/s atunci cînd aceasta este în poziția "complet deschis".

Nu s-a putut realiza o diferență de nivel mai mare de 3360 mm înălțimea plafonului laboratorului fiind de numai 4020 mm.

La momentul ales, se deschide rezistența locală la "gradul de deschidere" dorit ceea ce face ca lichidul să înceapă să curgă din  $R_1$  în  $R_2$ , trecînd prin conducta de legătură și rezistența locală montată în această conductă.

La intrarea în recipientul  $R_2$ , curentul lichid care iese prin capătul  $A_2$  al conductei  $A_1A_2$ , întâlnește în acest recipient dispozitivul dissipator de energie arătat în cap. 3, fig.5 precum și o masă de lichid al cărui nivel inițial, din dreptul gradajiei "zero" a scîrii lui  $R_2$ , se află cu 171 mm deasupra axei conductei de record  $A_1A_2$ .

Aceasta s-a conceput și realizat cu dublul scop :

a) de a se obține o curgere sub presiune în conducta de record și în rezistența locală, similar condițiilor reale de lucru ;

b) de a se realiza o disipare cât mai rapidă a energiei

x) cazul vanei plane cu obturator în formă de disc,  $d_{nom} = 3/4"$  și conductele de record cu  $d = 3/4"$ , vezi Cap.5.

lichidului care intră în  $R_2$  și care trebuie să-și reducă viteza de la valoarea  $V$  la valoarea  $U < V$ ; dacă disipația nu se realizează, nivelul lichidului  $R_2$  rămâne în stare de agitație tulburentă, "vălurat" și nu se poate face o citire corespunzătoare a nivelului din acest recipient.

La "deschiderea" rezistenței locale, se pune în funcțiune și un cronometru cu precizia de 1/10 secunde. Se menționează că nu este necesar ca pornirea cronometrului să se facă exact în momentul "deschiderii" rezistenței locale; pentru aplicarea calculului cu diferențe finite, cum se va arăta mai departe, este nevoie numai de "intervale" de timp  $\Delta t$  corespunzătoare pozițiilor succesive ocupate de nivelul lichidului într-unul din recipiente, de ex.  $R_2$ .

În timp ce nivelul lichidului crește în  $R_2$ , unul din experimențatori ține cronometrul lângă scara milimetrică a fantei de plexiglas a lui  $R_2$ , în dreptul nivelului lichidului și simultan cu ridicarea acestuia, experimențatorul ridică și el cronometrul.

Înregistrarea pozițiilor succesive ale nivelelor și a timpurilor corespunzătoare se face prin fotografiere. Operațiile de fotografiere nu se declanșează însă imediat ce lichidul a început să treacă din  $R_1$  în  $R_2$  ci numai după ce nivelul a crescut în  $R_2$  cu cea 70-80 mm, deasupra gradației "zero" a scării lui  $R_2$ . În această situație și "disipația" energiei turbulente în  $R_2$  este mai completă și nivelul lichidului este mai "liniștit".

Fotografierea se face asupra zonei fantei de plexiglas a lui  $R_2$ , în dreptul nivelului momentan al lichidului astfel ca în clișeu să apară atât gradația scării milimetrice (din dreptul nivelului) cât și cadranel cronometrului cu indicația de timp respectivă. Fotografierea se face din aproximativ 60 - 25 mm<sup>x</sup>) ridicare de nivel a lichidului, între două fotografii existând astfel un interval de timp suficient pentru deplasarea filmului în aparat

x) (la început la distanțe mai mari de cea 50-60 mm, apoi mai mici, viteza scăzând mereu)

1) A se vedea Anexa 1 dela sfârșitul lucrării.

4/.

mai ales cînd acesta posedă o manetă specială în acest scop.

Fotografiile s-au făcut cu un aparat de precizie, timpul de expunere fiind 1/100 secunde, cu utilizarea dispozitivului de iluminare "blitz" pentru a se asigura maximum de vizibilitate și claritate a imaginii.

Experiențele au confirmat că se pot obține imagini clare atât în ce privește gradăția scării milimetrice cât și a indicațiilor cronometrului și că pentru citirea acestora sînt suficiente imaginile "negative" (filmul dezvoltat) dacă se proiectează pe un ecran cu dimensiunile de cea 15 - 20 de ori mai mare decît ale filmului.

În condițiile concrete ale instalației executate în laboratorul de hidrotehnică, vitezele de ridicare ale nivelului lichidului în  $R_2$  nu au depășit niciodată valoarea maximă de 1,4 cm/s astfel că urmărirea și fotografierea succesivă a cea 35-36 de poziții ale nivelului din  $R_2$  (pînă la egalizarea nivelelor) s-a putut face fără nici un fel de probleme deosebite.

S-a utilizat pentru fotografiere un aparat marca Exact-Varex cu obiectiv Tessar 2,8/50 și filme ORWO, NP 20.

Pentru citirea filmului (negativ) obținut la o experiență (o experiență constă din trecerea o singură dată a lichidului din  $R_1$  în  $R_2$  pînă la egalizarea nivelelor) filmul a fost proiectat cu ajutorul unui aparat de proiecție, pe un ecran cu dimensiuni nu mai mari de 0,6 m x 1 m, fiind suficientă o mărire a dimensiunilor imaginii negative de 15 - 20 de ori pentru a se putea citi cu claritate atât gradățile scării milimetrice cu o precizie de 1/10 mm (și chiar 1/20 mm) precum și indicațiile de timp ale cronometrului cu o precizie de 1/10 secunde (și chiar 1/20 secunde).

S-a notat cu  $H_2$  înălțimea nivelului lichidului din  $R_2$ , măsurată de la gradăția "zero" a scării lui  $R_2$ . Cum în imaginile de pe film apare această cotă  $H_2$  și alături imaginea cronometrului cu timpul corespunzător, rezultă că din citirea succesivă a celor 36 imagini ale unui film, avem "prin puncte" legea  $H_2 = H(t)$ ,  $t$  fiind timpul înregistrat de cronometru. Datele citite

de pe film se înscriu într-un tabel care servește la construcția grafică a curbei (diagramei)  $H_2 = H_2(t)$ , cu ajutorul perechilor de valori  $H_2, t$  extrase din fiecare clișeu al filmului.

Este de observat că cele 36 de clișee ale unui film corespund unei serii de tot atâtea trepte de viteză de curgere prin rezistența locală studiată, toate pentru una și aceeași poziție "de deschidere ( $\alpha$ ) a rezistenței locale, poziție care a fost menținută neschimbată în timpul experienței.

Astfel fiind, dacă de ex. studiem un robinet reglabil și alegem pentru noast studiu 15 poziții de reglaj, (între poziția "complet închis" și poziția "maximum deschis") atunci vom avea nevoie de 15 filme (cîte unul pentru fiecare poziție de reglaj).

Treptele de viteză astfel înregistrate sînt destul de apropiate între ele. Într-adevăr, chiar plecînd de la o viteză maximă inițială  $V = 4,82$  m/s care s-a obținut cu instalația realizată în laborator, rezultă o viteză medie a treptelor de viteză aproximativ  $\frac{4,82 - 0}{35 \text{ trepte}} = 0,128$  m/s ceea ce este mai mult

decît satisfăcător pentru stadiul variației coeficientului de pierderi  $\zeta$  al rezistenței locale cu viteza de curgere (respectiv cu numărul  $Re$ ).

Determinarea valorii coeficientului de pierderi  $\zeta$  din diagrama  $H_2 = H_2(t)$

Pe o hîrtie milimetrică de dimensiuni convenabile scărilor alese pentru lungimile  $H_2$  și timpii  $t$ , se reprezintă grafic cele 36 de puncte corespunzătoare imaginilor din filmul realizat într-o experiență.

Avînd ca bază aceste puncte, se trasează o curbă continuă, care să se bazeze pe majoritatea acestor puncte și să se încadreze între restul de puncte, obținînd astfel o "diagramă a spațiului"  $H_2 = H_2(t)$ . Evident, unele puncte din cele ridicate experimental vor rămîne puțin la stînga sau puțin la dreapta curbei continue trasate, ca urmare a erorilor de măsură inerente

ce apar în experiențe și la citirea nivelului  $H_2$  și a timpilor  $t$  din oligeele filmelor. Practic, din curbele care s-au trasat pentru multele experiențe realizate în timpul lucrării, s-a constatat că abaterile sînt foarte mici.

Din curba  $H_2 = H_2(t)$  trasată, se poate deduce ușor prin diferențe finite, curba vitezei cu care nivelul lichidului se ridică în recipientul  $H_2$ . Vitezele medii deduse se notează cu  $U_1, U_2, U_3 \dots$  iar curba de variație a lor prin  $U = U(t)$ . Din fig. 7 rezultă :

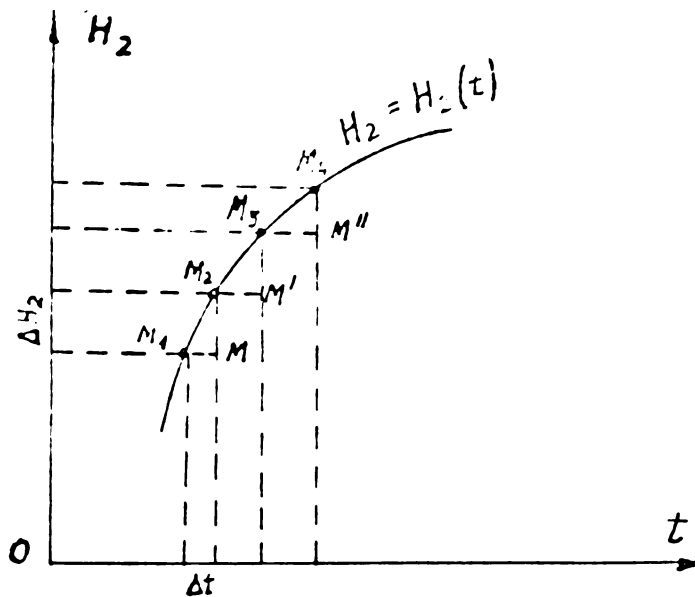


Fig 7

$$U_1 = \frac{\Delta H_2}{\Delta t} = \frac{MM_2}{MM_1} \quad , \quad U_2 = \frac{M'M_3}{M'M_2} \quad , \quad \text{etc. (4-1)}$$

Intervalul de timp  $\Delta t$  trebuie ales potrivit astfel ca  $\Delta H_2$  să rezulte din diagramă cu o valoare nici prea mică (pentru care erorile de măsurare pe curbă a lui  $\Delta H_2$  ar avea o pondere mai mare) dar nici prea mare cîci atunci ipoteza pe care o facem anume că viteza de curgere  $U$  poate fi considerată constantă pe intervalul  $\Delta H_2$  (sau că ea variază proporțional cu timpul) se depărtează prea mult de la condițiile concrete în care se desfășoară fenomenul.

Practic, pentru porțiunile inițiale și mijlocii ale curbelor  $H_2 = H_2(t)$  unde vitezele sînt, relativ, mai mari, s-a luat  $\Delta t = 10$  sec. la care au corespuns denivelări  $\Delta H_2 = 2,5 - 6$

ca (in funcție de gradul de "deschidere" al rezistenței locale) iar pe porțiunile cu viteze mai mici, s-a luat  $\Delta t = 20$  sec. la care au corespuns denivelări  $\Delta H_2 = 2,50 - 4,75$  cm.

In unele cazuri deosebite, cind timpul total de egalizare al nivelelor între recipientele  $R_1$  și  $R_2$  era mult mai lung (aceasta avea loc pentru poziții aproape "complet închise" ale rezistențelor locale) și cind deci și vitezele de curgere erau foarte mici, s-au luat și intervale de timp  $\Delta t$  mai mari,  $\Delta t = 30 - 100$  sec., pentru denivelări  $\Delta H_2 = 2,50 - 5,28$  cm.

Valorile  $U_1, U_2, \dots$  împreună cu  $H_2, \Delta H_2, \Delta t_2$  și alte măriri arătate mai departe, se trec într-un tabel al cărui model este arătat mai jos :

Nr. crt.	$H_2$ mm	$\Delta H_2$ cm	$\Delta t$ sec.	$U$ cm/s	$U'$ cm/s	$V$ ( $\frac{m}{s}$ )	$V^2$ ( $\frac{m}{s}$ ) <sup>2</sup>	$H_1 - H_2$ m	$\zeta$	Obs.
----------	----------	-----------------	-----------------	----------	-----------	-----------------------	--------------------------------------	---------------	---------	------

Se reprezintă apoi grafic punctele  $U_1, U_2 \dots U_{36}, \dots$  pe aceeași hîrtie milimetrică pe care s-a trasat și diagrama  $H_2 = H_2(t)$ . Avînd ca bază punctele astfel reprezentate se trasează o curbă continuă care va fi curba  $U = U(t)$ . vident, și această curbă va prezenta abateri față de poziția punctelor determinate pe baza rapoartelor  $U = \frac{\Delta H_2}{\Delta t}$  dar ea realizează în acest fel

o compensare a erorilor inevitabile în citirea măsurii segmentelor  $\Delta H_2$  și  $\Delta t$  care au fost utilizate în calcul.

Din curba vitezelor  $U = U(t)$  se extrag pentru intervalele de timp  $\Delta t$ , noile valori "compensate" ale vitezelor  $U$  care se vor nota  $U'_1, U'_2 \dots U'_{36} \dots$ . Aceste vor diferi în general cu puțin, de valorile  $U_1, U_2, \dots U_{36} \dots$  calculate prin metoda rapoartelor  $\frac{\Delta H_2}{\Delta t}$ .

Cu ajutorul valorilor vitezelor  $U'_1, U'_2 \dots U'_{36} \dots$  se calculează în continuare valorile vitezei de curgere  $V$  din conducta de legătură între cele două recipiente.

\* In Anexa 1 dela sfîrșitul lucrării sînt date mai multe tabele de calcul și diagrame  $H_2 = H_2(z), U = U(z), \frac{\Delta V}{\Delta t}(z)$  pentru cazuri concrete de experimente realizate în laborator.



Acesta este, prin convenție, și viteza cu care lichidul trece prin rezistența locală care se studiază. S-a notat anterior cu  $S$  aria secțiunii recipientelor și cu  $s_A$  aria secțiunii conductei de legătură. Ambele au fost determinate în laborator prin măsurători volumetrice, pentru o mai mare precizie. Valorile vitezelor  $V$  rezultă imediat din principiul continuității. Pentru conducte cu  $\phi = 3/4''$ ,

$$U' = \frac{s_A}{S} \cdot V = \frac{3,5200 \text{ cm}^2}{1213,20 \text{ cm}^2} \cdot V \quad V = 344,60 U' \quad (4.2.).$$

ceea ce ne dă succesiv :

$V_1 = 344,60 U'_1$  ,  $V_2 = 344,60 U'_2$  etc. Pentru vitezele cu  $\phi = 1/2''$  și așă-  
și aria  $s_A = 2,14 \text{ cm}^2$  (prin metoda volumetrică) și rezultă  $V = \frac{S}{s_A} U' = \frac{1213,20}{2,14} U' = 566,9 U'$

În expresia dedusă în cap. 2, (2.28), cu ajutorul căreia se calculează valoarea coeficientului de pierderi  $\zeta$  în mișcarea nepermanentă și cume :

$$(2-28) \quad \zeta = \frac{2s(h_1 - h_2)}{V^2} - 1 + \frac{2}{V^2} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \left[ \frac{s_A}{S} (h_1 + h_2) + l \right]$$

mai intră și mărimile :

$h_1 - h_2$  care este de fapt sarcina sub care are loc curgerea la un moment dat ;

$\frac{\Delta V}{\Delta t}$  decelerația în mișcarea nepermanentă ;

$h_1 + h_2$  suma cotelor nivelelor lichidului în cele două recipiente măsurate de la planul  $X - X'$ , Fig. 1 ;

$l$  : lungimea (echivalentă) în conducta  $A_1 A_2$ ;  $l = 0,6 \text{ m}$  pt. conducta de  $\phi = 3/4''$  și  $l = 0,4 \text{ m}$  pt. conducta de  $1/2''$ .

Deoarece în timpul experimentelor se citește nivelul lichidului în  $H_2$  de la gradajul "zero" a scării milimetrice fixate pe fanta de plexiglas, (ceea ce este mai comod decât a măsura nivelul de la axa  $X - X'$  a conductei de legătură), se va nota cu  $H_2$  nivelul acesta, care diferă de  $h_2$ . Din Fig. 8 se vede că  $h_2 - H_2 = a$ . Valoarea lui  $a$  este în cazul instalației executate  $a = 171 \text{ mm}$ . Pentru comoditatea calculului se va alege acum ca nivel de referință, care deosebite de Fig. 1, planul orizontal

care trece prin gradația "zero" de pe scara milimetrică a lui  $R_2$ .  
 În acest caz  $H_2 = h_2 - a$  sau  $h_2 = H_2 + a$  și  $H_1 = h_1 - a$  sau  
 $h_1 = H_1 + a$ .

De aici se vede imediat că diferența  $h_1 - h_2$  din formula  
 (2-28) de mai sus este egală cu diferența  $H_1 - H_2 = (h_1 - a) -$   
 $-(h_2 - a) = h_1 - h_2$  iar suma  $h_1 + h_2 = (H_2 + a) + (H_1 + a) =$   
 $= H_1 + H_2 + 2a$ ,  $H_1$  și  $H_2$  fiind cotele nivelurilor lichidului  
 citite în timpul experimentării pe scările recipientelor  $R_1$  și  
 $R_2$ .

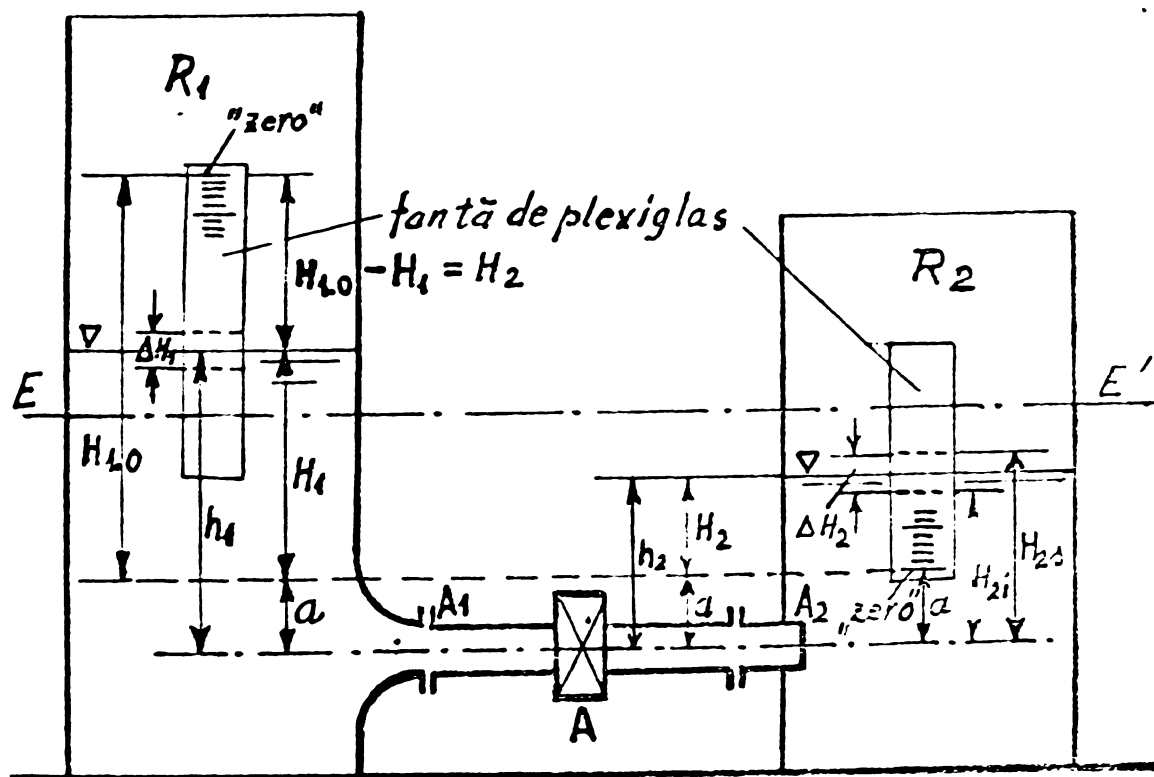


Fig 8

Cum în aplicarea metodei diferențelor finite, mișcarea  
 lichidului este urmărită pe trepte de viteză corespunzătoare de-  
 nivelărilor succesive  $\Delta H_2$  ale lichidului așa cum s-a arătat,  
 se pune problema cum trebuie calculată sarcina  $h_1 - h_2$  din  
 formula lui § (2-28), pentru fiecare interval  $\Delta H_2$ , fig.8.  
 S-a găsit că cel mai potrivit este să se considere o sarcină  
 "medie" măsurată între centrele intervalelor  $\Delta H_1$  și  $\Delta H_2$ ,  
 fig.8, a cărei valoare se poate deduce imediat din această fi-  
 gură, ținând seama că  $\Delta H_1 = \Delta H_2$ , că  $H_{1.0} - H_1 = H_2$  (cât a coborât ni-  
 velul în  $R_1$  cu atât s-a ridicat în  $R_2$ )

Rezultă imediat că  $H_1 - H_2 = (H_{1.0} - H_2) - H_2 = H_{1.0} -$   
 $= 2 H_2$

Deci se ia un interval  $\Delta H_2$  și se notează cu  $H_2$  1

cota inferioară a intervalului și cu  $H_2$  cota superioară a lui, *fig 8*  
 rezultă  $H_2 = \frac{H_{21} + H_{2a}}{2}$ , cu care se calculează diferența

$H_1 - H_2 = H_{1.0} - 2H_2$ . Diferența  $H_1 - H_2$  este egală după cum s-a arătat, cu diferența  $h_1 - h_2$  care intră în expresia coeficientului de pierderi .

Expresia  $\frac{\Delta V}{\Delta t}$  reprezintă accelerația medie în mișcarea nivelului lichidului și în cazul nostru se calculează fiind

diferențele vitezelor succesive  $V$  care se raportează la intervalele de timp  $\Delta t$  :

$$\left(\frac{\Delta V}{\Delta t}\right)_1 = \frac{V_1 - V_2}{t}, \left(\frac{\Delta V}{\Delta t}\right)_2 = \frac{V_2 - V_3}{t}, \left(\frac{\Delta V}{\Delta t}\right)_3 = \frac{V_3 - V_4}{t}, \text{ etc.}$$

În sfârșit, suma  $h_1 + h_2$  din formula lui  $\zeta$  se calculează cum s-a indicat mai sus :

$$h_1 + h_2 = H_1 + H_2 + 2a = H_{1.0} + 2a = 3364 + 2 \cdot 171 = 3706 \text{ mm}, \text{ iar}$$

lungimea  $l$  din formula lui  $\zeta$ , este lungimea drumului mediu al unei particule lichide prin conducta de racord (a se vedea teoria metodei, cap. 2).

Având astfel determinate toate elementele necesare aplicării formulei de calcul a lui  $\zeta$ , se poate trece la efectuarea operațiilor matematice\* în care s-a recomandat utilizarea unei mici mașini electronice.

Totalitatea valorilor lui  $\zeta$  corespunzătoare celor 20-40 de trepte de viteză de curgere prin rezistența locală, la una și aceeași poziție de "deschidere" a acestuia, constituie o "serie" de valori cu care se poate trasa o diagramă  $\zeta = f(h_e)$  - corespunzătoare poziției de "deschidere" alese.

Modificând apoi gradul (poziția) de "deschidere" a rezistenței locale (când aceasta este reglabilă), se lasă din nou lichidul să treacă din recipientul  $R_1$  în  $R_2$  și se repetă opera-

\* A se vedea și Anexa 1 dela sfârșitul lucrării.

țiile de fotografiere ale creșterii nivelului lichidului în  $R_2$ . Din datele obținute se calculează o nouă serie de valori pentru coeficientul  $\zeta$  (corespunzătoare noii poziții de "deschidere" și treptelor de viteză respective) și se trasează o nouă curbă  $\zeta = f(Re)$ .

Se continuă în acest fel pentru toate gradele de "deschidere" ce trebuie studiate, trasându-se tot atâtea diagrame  $\zeta = f(Re)$  ceea ce va da o imagine sugestivă și completă asupra variației coeficientului de pierderi a rezistenței locale studiate, în regimul de curgere turbulent preponderant corespunzător.

Experiențele efectuate în laborator cu cele patru rezistențe locale studiate, au arătat că durata trecerii lichidului din  $R_1$  în  $R_2$  a variat practic între 5-50 minute, în funcție de gradul de "deschidere". Duratele mai scurte corespund gradelor de "deschidere" mai mari iar cele mai lungi gradelor de "deschidere" mai mici, mai aproape de poziția "închis". Nu s-au studiat poziții foarte apropiate de poziția "complet închis" care nu prezintă, în general, importanță practică și care ar fi dus la durate de timp foarte lungi.

Dacă pentru efectuarea calculului cerite de det. rina-rea lui  $\zeta$ , prin aplicarea formulei stabilite, se utilizează o mică mașină electronică cu program (calcululele sînt simple), durata totală a traserii unei curbe  $\zeta = f(Re)$  este în medie de 80 minute.

Pentru verificarea valabilității rezultatelor obținute în calculul lui  $\zeta$  în regimul de curgere nepermanent cu metoda prezentată aici, s-au făcut verificări prin metoda clasică a măsurătorilor în regim de curgere permanent. În acest scop așa cum s-a arătat în Cap.3, s-au montat patru prize piezometrice cu tuburile respective notate  $T_I$ ,  $T_{II}$ ,  $T_{III}$ ,  $T_{IV}$ , fig.3 și fig.6 și 6 bis.

Într-o mică eroare de execuție, priza de presiune a tubului piezometric  $T_I$  a fost montată cu 3,6 mm mai jos față de planul orizontal trecînd prin axul conductei de legătură  $A_1 A_2$ , plan în care s-au montat celelalte trei prize pentru tuburile

$T_{II}$ ,  $T_{III}$ ,  $T_{IV}$ . Ace fiind, din teorema lui Bernoulli aplicată între prizele de presiune I și IV, se obține :

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma_1} + \alpha_1 \cdot \frac{U_1^2}{2g} = z_4 + \frac{p_4}{\gamma} + \alpha \frac{v^2}{2g} + h_{r \text{ I-IV}}$$

în care :

$U_1$  - este viteza medie în conducte scurtă Cor, Fig.2 cu diametrul  $\phi = 300$  mm care face legătura între recipientul  $P_1$  și eștajul coșului Aje ;

$h_{r \text{ I-IV}}$  - este pierderea totală de sarcină între prizele I și IV.

Dat fiind că, în cazul instalației descrise, termenul  $\alpha_1 \frac{U_1^2}{2g}$  este total neglijabil față de  $\alpha \frac{v^2}{2g}$  deoarece raportul :

$$\frac{\alpha_1 \frac{U_1^2}{2g}}{\alpha \frac{v^2}{2g}} \approx \frac{U_1^2}{v^2} = \left( \frac{S_A}{S_1} \right)^2 = \left( \frac{3,52}{527,5} \right)^2 = \left( \frac{1}{178,2} \right)^2$$

rezultă (luind  $\alpha \approx 1$ ) :

$$h_{r \text{ I-IV}} = \zeta \frac{v^2}{2g} = z_1 - z_4 + \frac{p_1 - p_4}{\gamma} - \frac{v^2}{2g}$$

sau

$$\zeta = \frac{2g}{v^2} \left( \underbrace{z_1 - z_4}_{3,5 \text{ mm}} + \frac{p_1 - p_4}{\gamma} \right) - 1 \quad (4.3)$$

formulă în care  $\frac{p_1 - p_4}{\gamma}$  nu este altceva decât același dife-

renței de înălțime piezometrică  $\Delta H_{I-IV}$  între nivelele lichidului în tuburile piezometrice  $T_I$  și  $T_{IV}$ , și anume tot pe scările milimetrice lipite pe fontele celor două recipiente  $R_1$  și  $R_2$ .

Formula (4.3) a fost utilizată în verificările valorilor lui  $\zeta$ , făcute în regimul de sarcină permanent.

Se menționează, așa cum s-a făcut și în Cap.2, că prin  $\zeta$  s-a notat coeficientul de pierdere al rezistenței locale

inclusiv conductele sale de racord și flanșele de legătură, separarea rezistenței locale de legăturile sale în amonte și aval nefiind utilă din punct de vedere practic.



## CAPITOLUL 5. REZULTATE EXPERIMENTALE OBTINUTE IN LABORATOR

S-au efectuat în total cea 1130 determinări de valori de coeficienți de pierderi  $\zeta$  pentru patru tipuri de rezistențe locale din cele mai utilizate pentru lichide atât în conducte industriale cât și în conducte de pe locomotivele Diesel - hidraulice și Diesel - electrice. Lichidul cu care s-a lucrat a fost în toate cazurile apă, acesta fiind singurul lichid aflat la dispoziție în laborator.

Cele patru tipuri de rezistențe locale studiate au fost :

1. Robinet - cep cu diametru nominal  $\varnothing_{\text{nom.}} = 3/4"$ , normalizat NI 2221-63 CA, FOTO 3,4 având conductele de record (intrans-iesire) din oțel zincat cu  $\varnothing_{\text{nom.}} = 3/4"$ .
2. Robinet-cep cu  $\varnothing_{\text{nom.}} = 1/2"$ , normalizat NI 2221-63 CA FOTO 3,4 cu conducte de record din oțel zincat având  $\varnothing_{\text{nom.}} = 1/2"$ .
3. Vană plană, cu obturatorul în formă de disc, FOTO 5,6,7,8  $\varnothing_{\text{nom.}} = 3/4"$ , normalizată NI 524-3, cu conducte de record din oțel zincat cu  $\varnothing_{\text{nom.}} = 3/4"$ .
4. Filtru de motorină model CARFIL Brașov, tip 46 seria 274/1975, FOTO 9,10 având conducte de record tot din oțel zincat cu  $\varnothing_{\text{nom.}} = 1/2"$ .

În total s-au efectuat 9 serii de determinări la robinetul-cep de  $\varnothing = 3/4"$  (cea 357 determinări), 7 serii de determinări la robinetul-cep de  $\varnothing = 1/2"$  (cea 231 determinări), 15 serii de determinări la vana plană (disc) de  $\varnothing = 3/4"$  (cea 492 determinări), 1 serie de determinări (cu 40 determinări).

La fiecare serie de determinări sînt incluse și cîte 5-7 măsurători de verificare prin metoda clasică a regimului de curgere permanent.

Pentru rezistențele locale reglabile (primele trei), gradul de "deschidere" s-a măsurat prin unghiurile de "deschidere" notate  $\alpha$  în tabelele și diagramele ce urmează ; ele au fost măsurate întotdeauna de la poziția extremă "complet în-

chis" a rezistenței locale în cauză.

Ca viteză de curgere a lichidului prin rezistența locală studiată, s-a considerat viteza medie a acestuia în conducta de record "aval" așa cum se obișnuiește în hidraulica rezistențelor locale.

Secțiunea medie și diametrul mediu al conductei de record au fost calculate nu din valoarea nominală (industrială) a acestora ci prin metoda volumetrică de determinare a secțiunii medii, pe o lungime de cea 200 mm de conductă. Acest lucru a fost absolut necesar deoarece, după cum se știe, între diametrul nominal (industrial, comercial) al unei conducte și diametrul secțiunii medii reale, pot exista diferențe pînă la chiar 30% ceea ce ar fi introdus erori inadmisibile în calculul coeficienților de pierdere. Astfel de ex, pentru conducta de record avînd  $\varnothing_{nom} = 3/4" = 19,05$  mm s-a găsit prin metoda volumetrică  $\varnothing_{med. real} = 21,17$  mm ceea ce reprezintă o diferență de 11,11 %; pentru conducta de record de  $\varnothing_{nom} = 1/2" = 12,70$  mm, s-a găsit  $\varnothing_{med. real} = 16,50$  mm ceea ce reprezintă o diferență în plus de 29,95 %.

În sfîrșit se menționează că, date fiind dimensiunile (limitate) și parametrii instalației ce a putut fi realizată în laborator, aceasta nu permitea studiul rezistențelor locale cu diametrii conductelor de record mai mari de 20-21 mm.

Pentru o mai bună posibilitate de urmărire a variației coeficienților de pierdere și determinați în laborator, s-au dat în cele ce urmează, atît tabele cu valorile numerice exacte ale acestora cît și diagrame care să permită o vedere de ansamblu mai sugestivă.

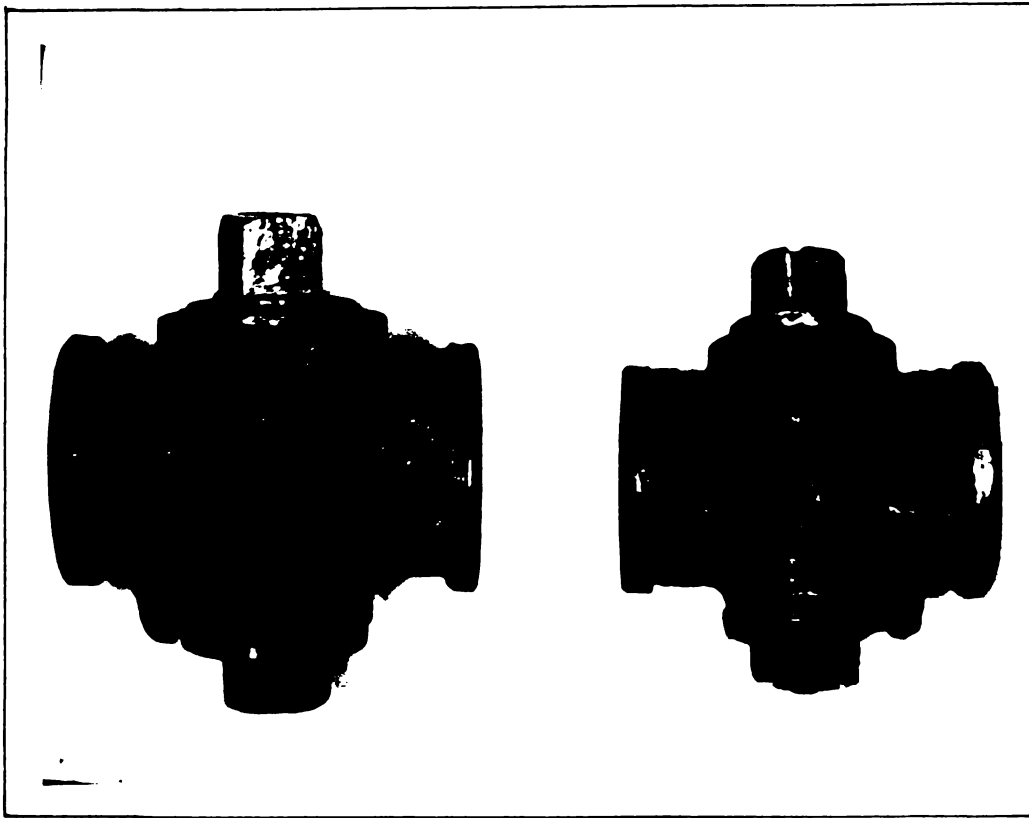
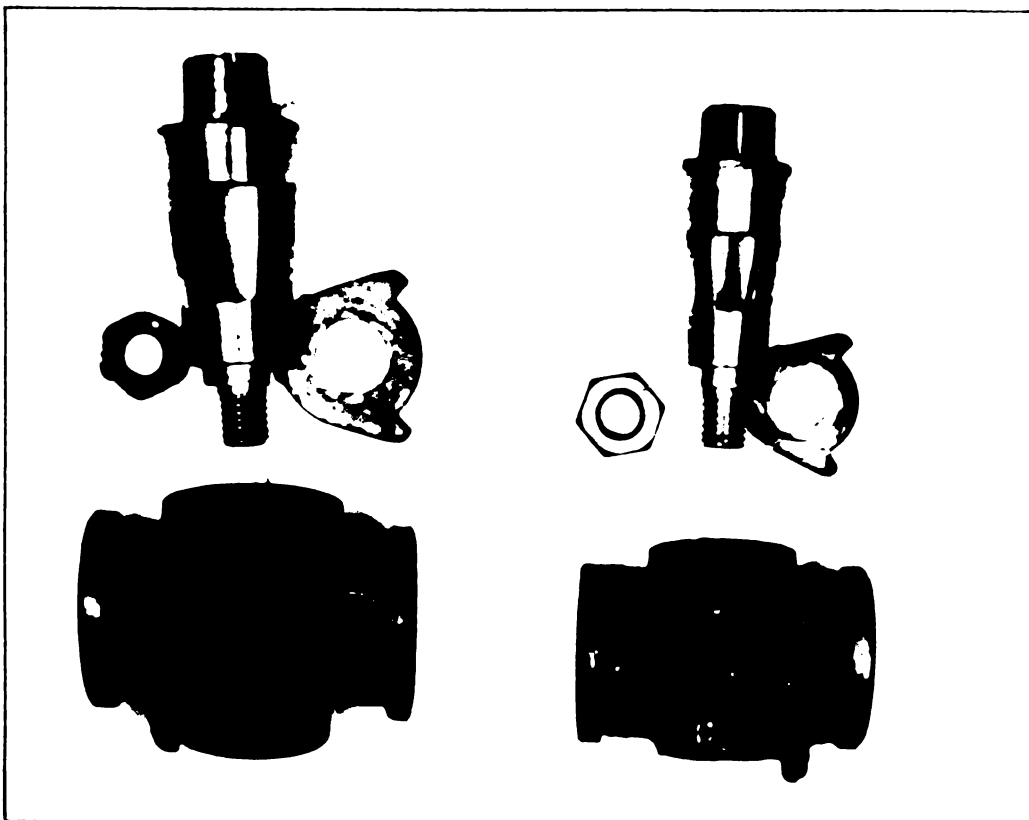


FOTO 3

FOTO 4



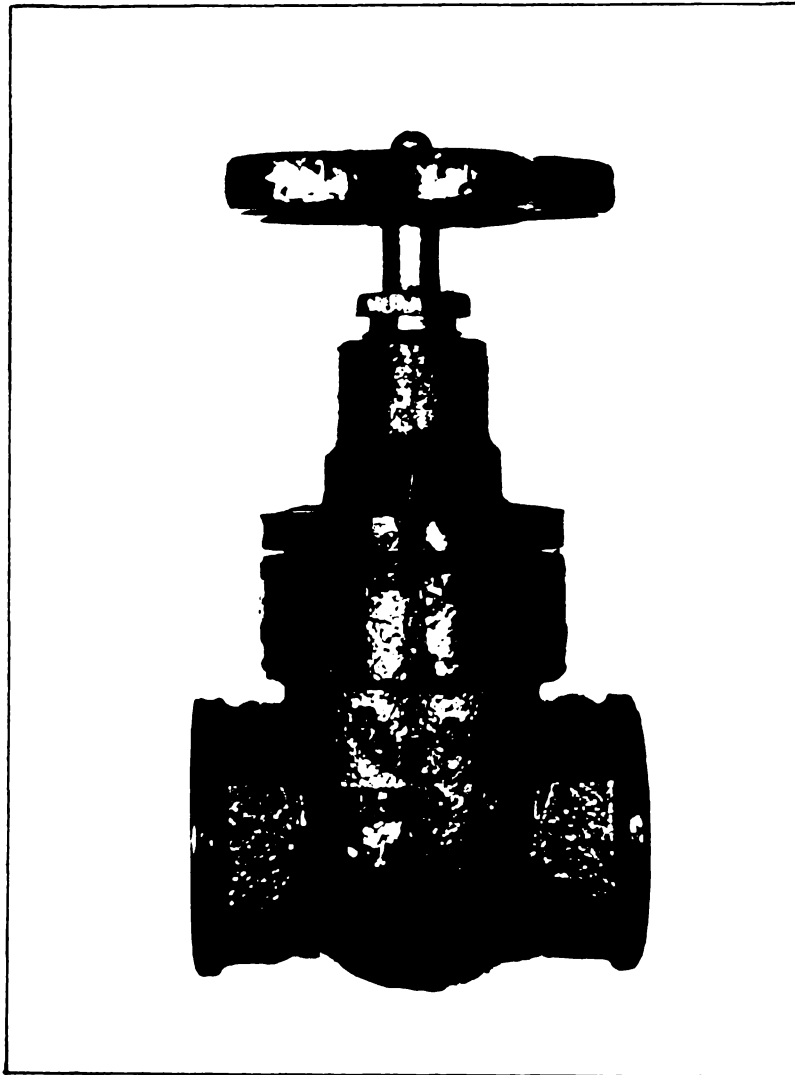


FOTO 5

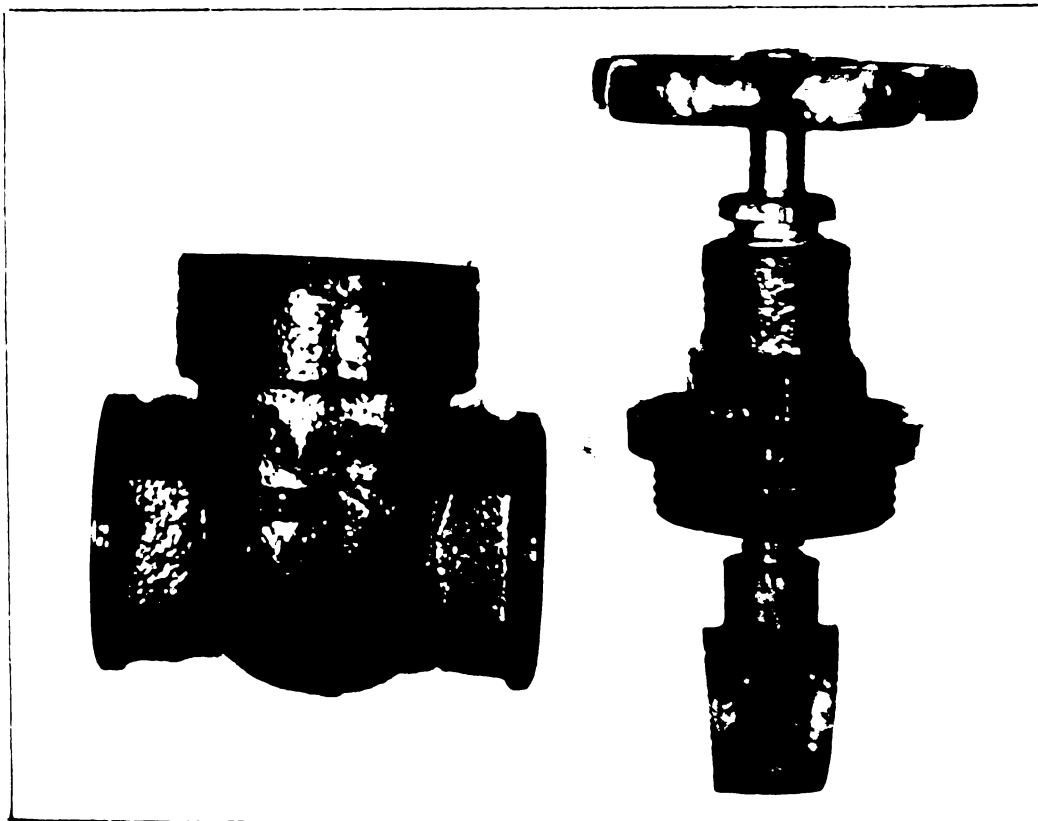


FOTO 6

ARTIKEL 112  
YIP 112  
SOLAR 112

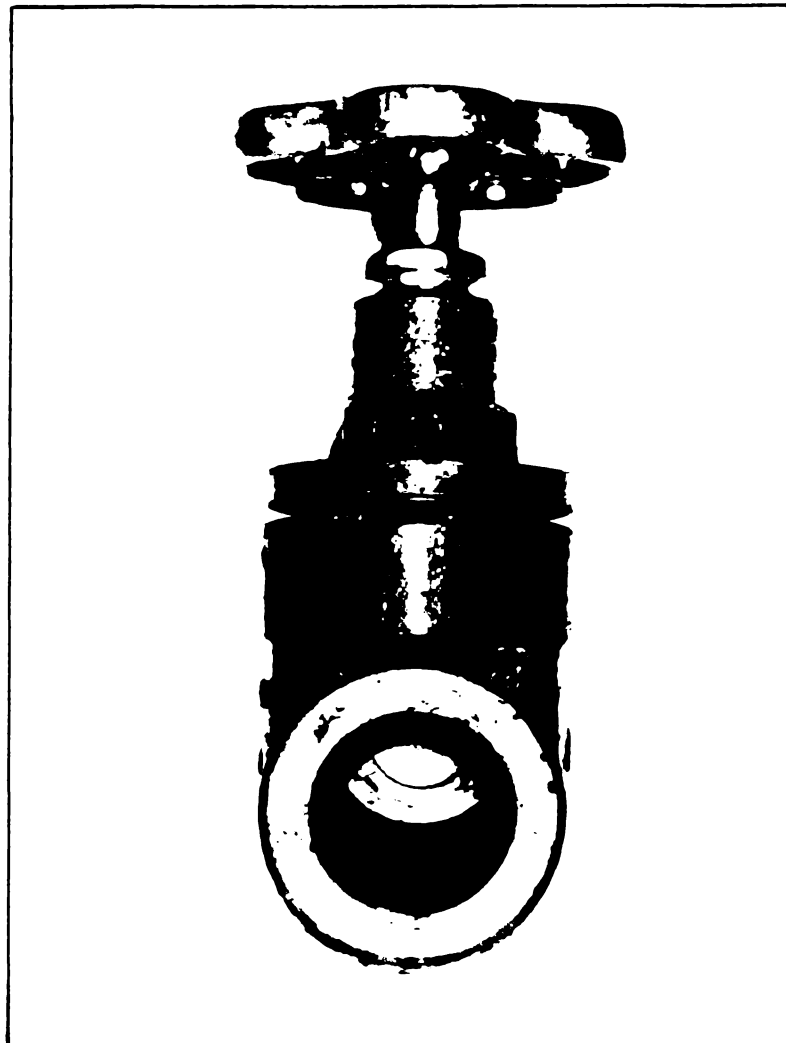


FOTO 7

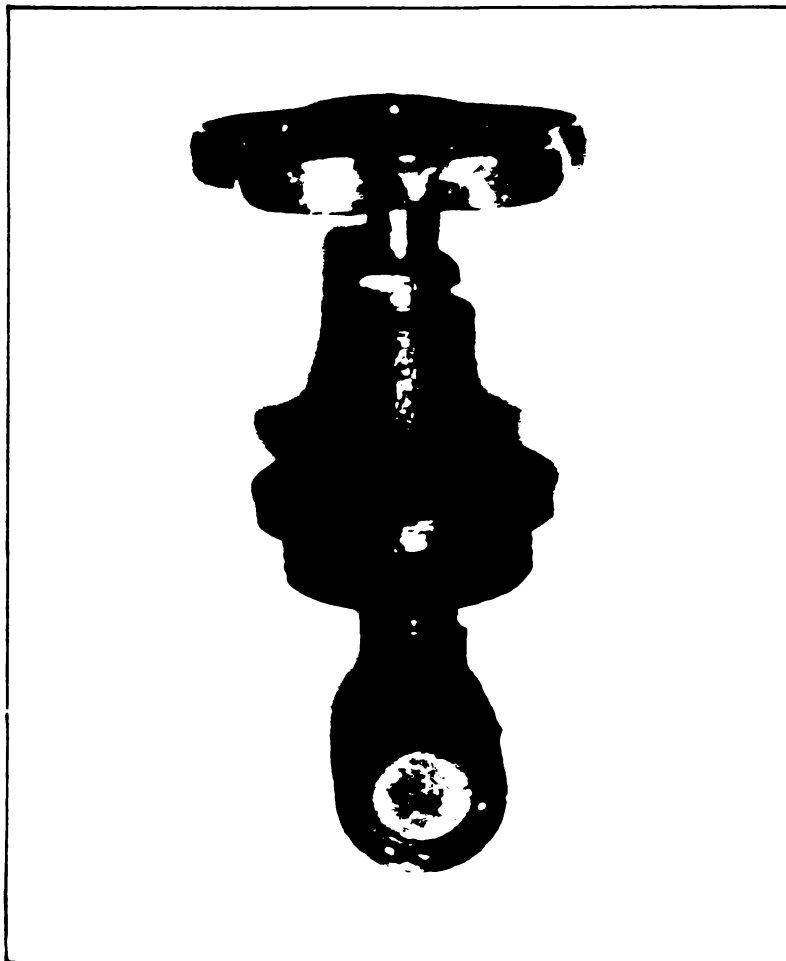


FOTO 8



FOTO 9

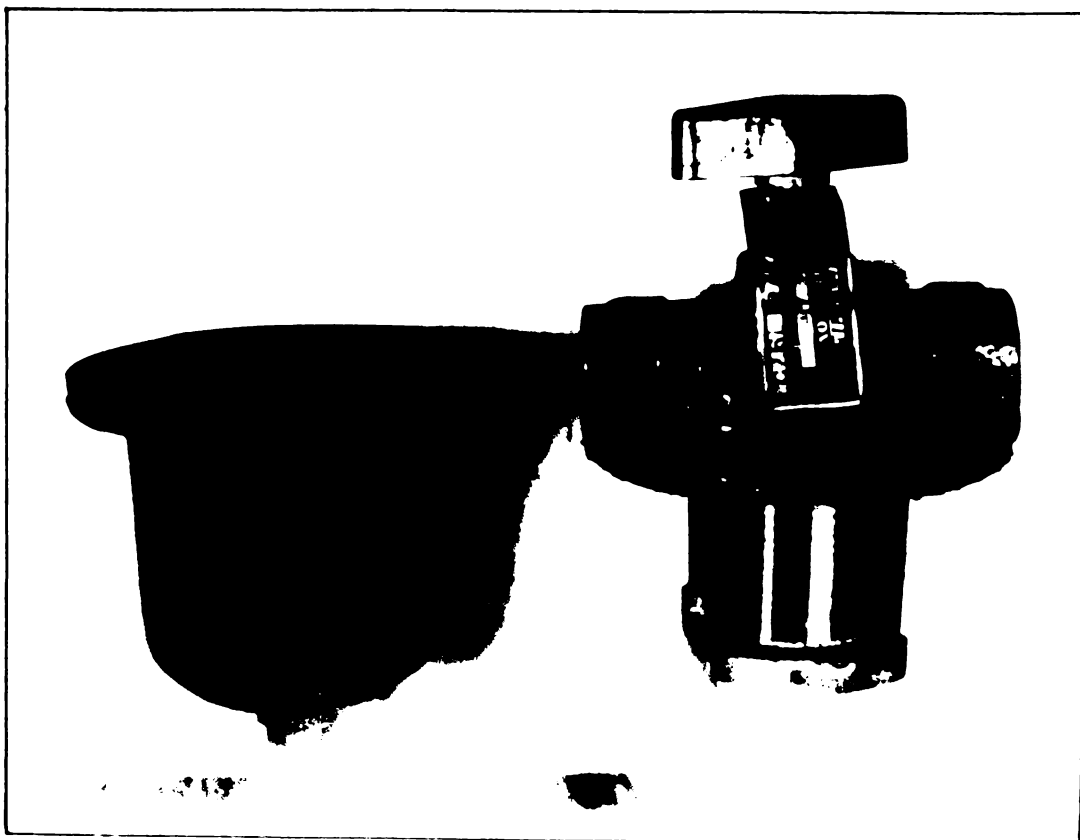


FOTO 10



În tabelele și diagramele ce urmează, gradul de deschidere al rezistenței locale a fost notat (pentru simplificare) prin unghiul  $\alpha$  de rotație al axului șelului (pentru robinetii - cep) respectiv unghiul de rotație al axului șurubului care ridică discul vanei (pentru vana plană - disc) ; la cota din urmă, o rotație corespunde la  $\alpha = 360^\circ$ .

În jos se dă echivalența dintre unghiurile  $\alpha$  și raportul  $F_\alpha / F_{tot}$  dintre aria secțiunii de trecere ( $F_\alpha$ ) la unghiul  $\alpha$  și aria suprafeței totale de trecere ( $F_{tot}$ ) prin rezistența locală (când obturatorul eliberează complet secțiunea de trecere).

Robinetul - cep,  $\theta = 3/4''$

$\alpha^\circ$	$39^\circ$	$50^\circ$	$55^\circ$	$60^\circ$	$65^\circ$	$70^\circ$	$75^\circ$	$80^\circ$	$85^\circ$	$90^\circ$
$F / F_{tot}$	0,0045	0,056	0,124	0,25	0,50	0,57	0,65	0,81	1	1

Robinet - cep,  $\theta = 1/2''$

$\alpha^\circ$	$60^\circ$	$65^\circ$	$70^\circ$	$75^\circ$	$80^\circ$	$85^\circ$	$90^\circ$
$F / F_{tot}$	0,38	0,48	0,59	0,69	0,79	0,90	1

Vană plană - disc,  $\theta = 3/4''$

$\alpha$	2 rot	2,5 rot	4 rot	4,5 rot	5 rot	5,5 rot	6 rot	6,5 rot	7 rot
$F / F_{tot}$	0,052	0,098	0,29	0,34	0,39	0,45	0,52	0,59	0,65

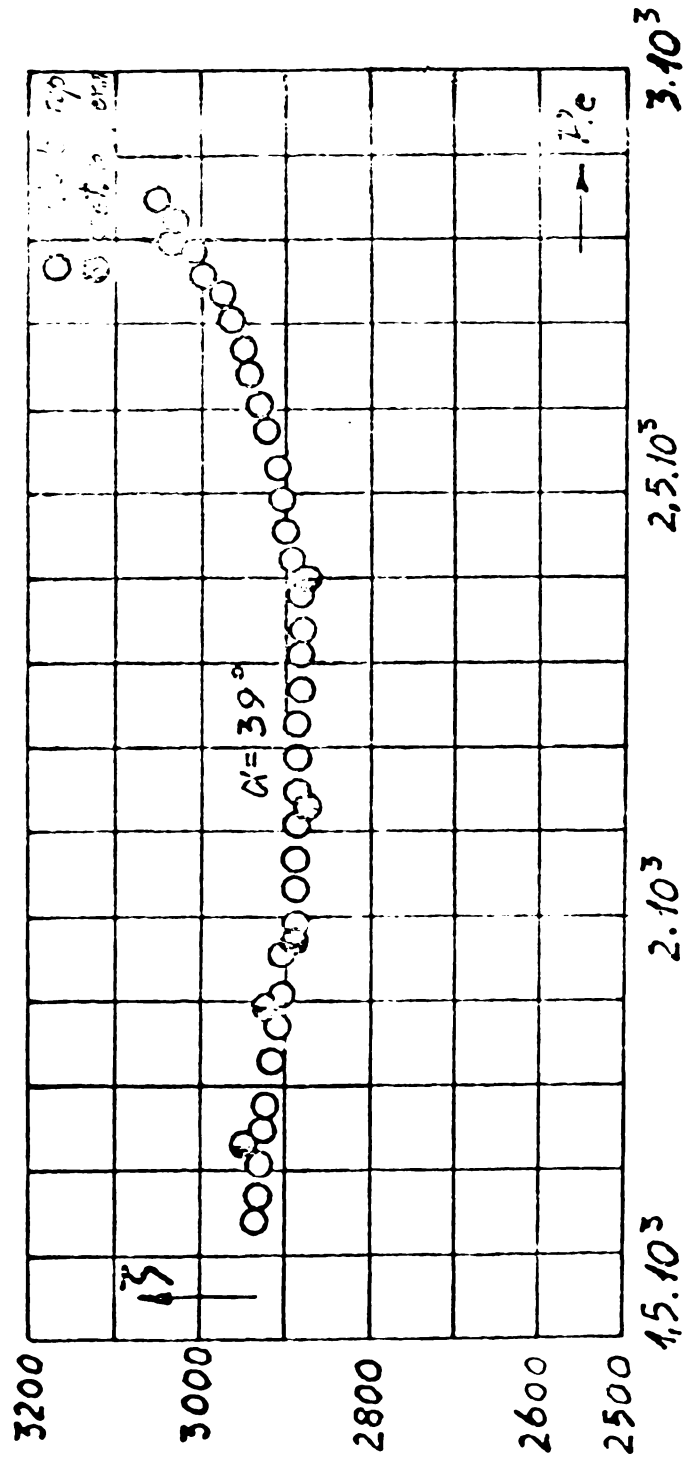
$\alpha$	7,5 rot	8 rot	8,5 rot	9 rot	9,5 rot	10 rot
$F / F_{tot}$	0,71	0,76	0,81	0,85	0,89	0,93

Filtrul de motorină CARFIL-Bragov are o singură poziție de funcționare (deschidere). Filtrul care se vede în Foto 9,10 servește, prin rotirea lui, numai la deplasarea unui cutit răsucitor pentru curățirea depunerilor

T A B E L Nr.10

Rezultatele determinărilor experimentului nr.10, robinet - cep  
 $\phi = 3/4''$ ,  $\alpha = 39^\circ$ , lichid = apă, temp.apei =  $18,5^\circ\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,053 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	0,142	2853	3052	Metoda regi- mului naper- manent.  Valoarea ter- menului iner- țial din expresia coe- ficientului de pierderi variază între 0,000829 și 0,00372 (procentual total negli- jabil).	Regim slab turbulent în rezis- tența locală (regim prețtra- tic).
2.	0,141	2826	3031		
3.	0,139	2798	3008		
4.	0,138	2766	3994		
5.	0,136	2736	2977		
6.	0,135	2705	2961		
7.	0,133	2673	2945		
8.	0,131	2637	2941		
9.	0,130	2603	2931		
10.	0,128	2568	2923		
11.	0,126	2535	2909		
12.	0,124	2495	2908		
13.	0,122	2459	2901		
14.	0,121	2423	2890		
15.	0,119	2385	2887		
16.	0,117	2347	2882		
17.	0,115	2309	2882		
18.	0,113	2270	2884		
19.	0,111	2230	2888		
20.	0,109	2190	2890		
21.	0,107	2151	2888		
22.	0,105	2112	2886		
23.	0,103	2072	2889		
24.	0,101	2033	2888		
25.	0,099	1995	2886		
26.	0,097	1953	2904		
27.	0,095	1912	2901		
28.	0,093	1870	2909		
29.	0,091	1828	2916		
30.	0,089	1787	2924		
31.	0,087	1747	2928		
32.	0,085	1708	2925		
33.	0,083	1668	2928		
34.	0,081	1628	2932		
1.	0,086	1730	2949	Metoda reg. permanent.	Regim laminar în conducta de racord a rezisten- ței locale.
2.	0,094	1892	2921		
3.	0,098	1971	2890		
4.	0,106	2131	2875		
5.	0,119	2402	2873		
6.	0,148	2795	3032		



D 10 Robinet - cep  $\phi = 3/4''$

T A B E L Nr.11

Rezultatele determinărilor experimentului nr.11, robinet - cep  
 $\theta = 3/4''$ ,  $\alpha = 50^\circ$ , lichid = apă, temp.apei =  $18^\circ\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,068 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1	2	3	4	5	
1.	0,877	17388	79,4	Metoda regi-	Regim
2.	0,872	17289	79,0	mului never-	turbulent
3.	0,866	17170	79,3	manent.	prepătratic
4.	0,858	17011	78,9		în conducta
5.	0,850	16853	79,1	Valoarea ter-	de racord
6.	0,845	16754	78,7	menului iner-	a rezisten-
7.	0,837	16595	78,9	tial din	ței locale.
8.	0,832	16496	78,5	expresia coefi-	
9.	0,825	16357	78,6	cientului de	
10.	0,818	16218	78,5	pierderi,	
11.	0,812	16109	78,2	variază între	
12.	0,805	15960	78,3	0,000792 și	
13.	0,799	15841	78,1	0,004685	
14.	0,792	15703	78,0	(procentual	
15.	0,785	15564	78,0	sub 0,005 și	
16.	0,778	15425	78,0	din coeficien-	
17.	0,772	15306	77,8	țului de pierderi).	
18.	0,765	15167	77,8		
19.	0,757	15019	77,8		
20.	0,750	14870	77,9		
21.	0,744	14751	77,7		
22.	0,737	14612	77,7		
23.	0,730	14463	77,6		
24.	0,722	14315	77,8		
25.	0,715	14176	77,6		
26.	0,708	14037	77,5		
27.	0,702	13918	77,2		
28.	0,695	13779	77,1		
29.	0,688	13641	77,0		
30.	0,682	13520	76,9		
31.	0,674	13363	76,9		
32.	0,667	13224	76,8		
33.	0,659	13066	76,9		
34.	0,652	12927	77,6		
35.	0,645	12798	76,8		

	1	2	3	4	5
36.	0,638	12649	76,8		
37.	0,631	12511	76,8		
38.	0,625	12390	76,5		
39.	0,617	12243	76,5		
40.	0,611	12114	76,3		
41.	0,603	11955	76,4		
42.	0,596	11807	76,4		
43.	0,587	11638	76,7		
44.	0,580	11499	76,5		
45.	0,571	11321	77,0		
46.	0,562	11145	77,5		
47.	0,553	10974	77,8		
48.	0,541	10726	76,4		
49.	0,530	10508	80,0		
50.	0,520	10311	81,6		
51.	0,510	10112	82,6		

1.	0,517	10250	84,1	metoda reg.	
2.	0,557	11048	78,9	permanent.	
3.	0,653	12951	76,1		
4.	0,724	15740	76,5		
5.	0,850	17026	77,5		
6.	0,889	17632	80,9		

T A B E L Nr.12

Rezultatele determinărilor experimentului nr.12, robinet - cep  
 $\phi = 3/4''$ ,  $\alpha = 55^\circ$ , lichid = apă, temp.apei =  $18^\circ\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,068 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1	2	3	4	5	
1.	1,020	20223	57,8	Metoda regi-	Regim
2.	1,010	20026	57,8	mului nonper-	turbulent
3.	1,000	19827	57,9	manent.	trepătratic
4.	0,990	19628	57,9		
5.	0,980	19430	58,0	Valoarea ter-	în conducta
6.	0,970	19233	58,0	menului iner-	de racord
7.	0,960	19035	58,1	țial din	și rezistenței
8.	0,950	18836	58,1	expresia	locale.
9.	0,940	18638	58,2		
10.	0,931	18459	58,3	coeficientu-	
11.	0,921	18260	58,1	lui de pier-	
12.	0,912	18083	58,1	deri variază	
13.	0,902	17893	58,0	între 0,00117	
14.	0,892	17695	58,1	și 0,00637	
15.	0,882	17497	58,1	(procentual	
16.	0,873	17309	58,1	sub 0,01 %	
17.	0,863	17110	58,1	din coeficien-	
18.	0,853	16922	58,2	tul de pier-	
19.	0,844	16734	58,2	deri).	
20.	0,835	16557	59,1		
21.	0,825	15960	59,2		
22.	0,785	15564	59,4		
23.	0,765	15177	59,4		
24.	0,746	14791	59,5		
25.	0,727	14415	59,5		
26.	0,707	14017	59,7		
27.	0,688	13641	59,7		
28.	0,669	13274	59,5		
29.	0,649	12877	59,6		
30.	0,630	12492	59,6		
31.	0,610	12095	59,9		
32.	0,591	11717	59,9		
33.	0,571	11331	60,1		
34.	0,550	10900	60,7		
35.	0,534	10587	60,0		
36.	0,515	10211	59,8		
37.	0,495	9814	59,9		
38.	0,476	9437	59,9		

0	1	2	3	4	5
39.	0,456	9051	60,1		
40.	0,437	8664	60,5		
41.	0,417	8268	61,1		
42.	0,401	7932	60,7		
-----					
1.	0,467	9251	61,3	Metoda reg.	
2.	0,561	11132	59,1	permanent.	
3.	0,618	12249	59,0		
4.	0,797	15798	60,9		
5.	0,955	18935	59,9		
6.	1,029	20402	60,6		
-----					





TABLE Nr.13

Rezultatele determinărilor experimentului nr.13, robinet - cep  
 $\phi = 3/4"$ ,  $\alpha = 60^\circ$ , lichid = apă, temp.apei =  $14^\circ\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,184 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coefficien- tul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1	2	3	4	5	
1.	1,375	24590	31,4	Metoda regi-	Regim
2.	1,362	24358	31,2	mului neper-	turbulent
3.	1,345	24054	31,0	menent.	prebătre-
4.	1,325	23696	31,3		tic în
5.	1,310	23428	31,2	Valoarea ter-	conducta
6.	1,297	23195	30,9	menului iner-	de racord
7.	1,280	22891	30,9	tial din	a rezis-
8.	1,263	22587	30,9	expresia coe-	tenței
9.	1,246	22284	30,8	ficientului	locale.
10.	1,230	21997	30,7	de pierderi,	
11.	1,213	21693	30,7	variază între	
12.	1,193	21336	30,8	0,000828 și	
13.	1,177	21049	30,7	0,0107	
14.	1,160	20745	30,6	(procentual	
15.	1,142	20424	30,6	sub 0,05 %	
16.	1,125	20119	30,6	din coeficien-	
17.	1,106	19781	30,7	tul de pierderi).	
18.	1,089	19476	30,6		
19.	1,071	19155	30,7		
20.	1,053	18832	30,7		
21.	1,035	18511	30,8		
22.	1,015	18152	30,8		
23.	0,996	17812	30,9		
24.	0,976	17451	30,9		
25.	0,960	17168	31,0		
26.	0,940	16812	31,1		
27.	0,918	16419	31,3		
28.	0,902	16131	31,2		
29.	0,885	15827	31,2		
30.	0,863	15435	31,5		
31.	0,845	15113	31,5		
32.	0,827	14792	31,6		
33.	0,807	14432	31,8		
34.	0,790	14129	31,7		
35.	0,770	13771	31,9		
36.	0,750	13413	32,2		
37.	0,731	13074	32,3		
38.	0,712	12733	32,5		
39.	0,693	12395	32,7		
40.	0,674	12054	32,9		

-----  
1-----2-----3-----4-----5-----

41.	0,653	11678	33,2
42.	0,633	11320	33,5
43.	0,611	10928	34,0
44.	0,588	10516	34,6
45.	0,565	10104	35,2
46.	0,537	9605	36,6

-----

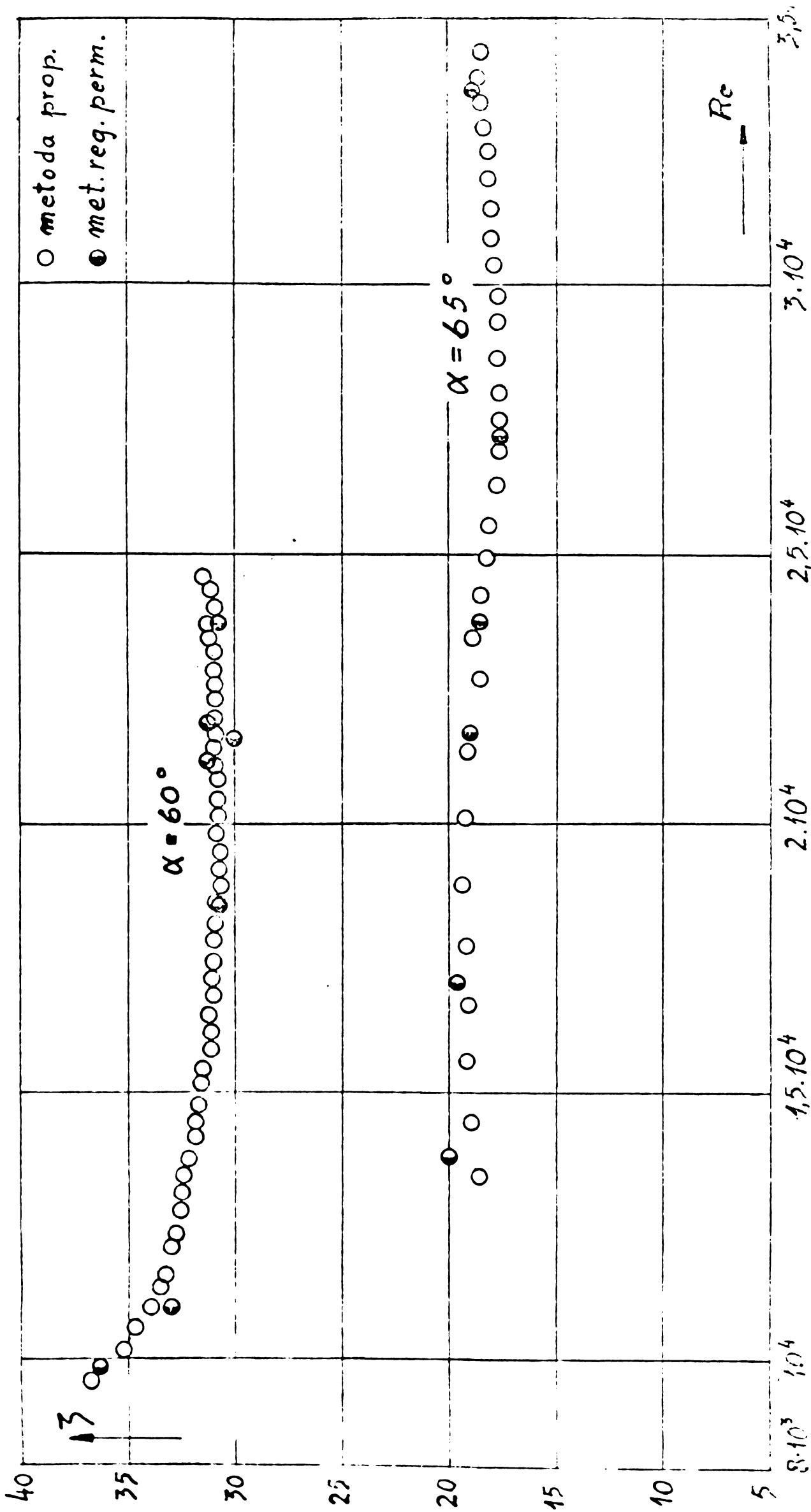
1.	0,548	9798	36,1	Metoda reg.
2.	0,611	10927	32,9	permanent.
3.	1,034	18492	30,7	
4.	1,183	21157	31,2	
5.	1,204	21532	29,9	
6.	1,218	21783	31,2	
7.	1,329	23768	30,9	

=====

T A B E L Nr.14

Rezultatele determinărilor experimentului nr.14, robinet - cep,  
 $\emptyset = 3/4"$ ,  $\alpha = 65^\circ$ , lichid = apă, temp.apei =  $18^\circ\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,068 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1	2	3	4	5	6
1.	1,735	34399	18,7	Metoda regimului nopermanent. Valoarea termenului inerțial din expresia coeficientului de pierderi, variază între 0,000712 și 0,01294 (procentual sub 0,07 % din coeficientul de pierderi).	Regim turbulent prestratic în conducta de racord a rezistenței locale.
2.	1,714	33983	18,6		
3.	1,687	33457	18,5		
4.	1,664	32992	18,4		
5.	1,640	32516	18,2		
6.	1,614	32000	18,2		
7.	1,588	31485	18,1		
8.	1,562	30979	18,0		
9.	1,535	30474	17,9		
10.	1,506	29859	17,9		
11.	1,477	29284	17,9		
12.	1,446	28669	17,9		
13.	1,415	28055	17,9		
14.	1,382	27519	17,9		
15.	1,357	26905	17,9		
16.	1,325	26270	18,0		
17.	1,290	25576	18,1		
18.	1,256	24902	18,3		
19.	1,220	24188	18,5		
20.	1,182	23435	18,8		
21.	1,146	22717	18,6		
22.	1,077	21351	19,0		
23.	1,012	20073	19,2		
24.	0,952	18871	19,4		
25.	0,896	17764	19,4		
26.	0,841	16664	19,1		
27.	0,786	15578	19,1		
28.	0,731	14481	19,0		
1.	0,696	13798	19,7	Metoda reg. permanent.	
2.	0,862	17097	19,5		
3.	1,094	21682	18,9		
4.	1,196	23720	18,7		
5.	1,372	27195	17,6		
6.	1,695	35602	18,7		



D 13, 14 Robinet - cep  $\phi = 3/4$ "

T A B E L Nr.15

Rezultatele determinărilor experimentului nr.15, robinet - cep,  
 $d = 3/4"$ ,  $\alpha = 70^\circ$ , lichid = apă, temp.apoi =  $18^\circ\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,068 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coefficien- tul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
0	1	2	3	4	5
1.	2,090	41438	13,6	Metoda regi-	Regim
2.	2,052	40684	13,3	mului nener-	turbulent
3.	2,014	39931	13,2	manent.	prepătra-
4.	1,977	39197	13,2		tic în
5.	1,938	38434	13,2	Valoarea terme-	conducta
6.	1,902	37710	13,1	nului inertial	de racord
7.	1,864	36957	13,1	din expresia	a rezis-
8.	1,827	36223	13,0	coeficientului	tentei
9.	1,789	35470	13,0	de pierderi	locale.
10.	1,752	34736	12,9	variază între	
11.	1,715	34003	12,9	0,001059 și	
12.	1,675	33210	12,9	0,01468	
13.	1,635	32417	12,8	(procentual sub	
14.	1,596	31653	12,8	0,12 % din	
15.	1,556	30850	12,8	coeficientul de	
16.	1,516	30057	12,8	pierderi).	
17.	1,475	29244	12,8		
18.	1,434	28431	12,8		
19.	1,393	27618	12,8		
20.	1,352	26806	12,8		
21.	1,310	25973	12,8		
22.	1,266	25110	12,9		
23.	1,223	24258	13,0		
24.	1,180	23405	13,0		
25.	1,137	22553	13,1		
26.	1,094	21690	13,2		
27.	1,050	20818	13,3		
28.	1,006	19955	13,4		
29.	0,962	19073	13,5		
30.	0,917	18191	13,6		
31.	0,873	17309	13,7		
32.	0,830	16456	13,8		
33.	0,786	15584	14,0		
34.	0,741	14701	14,3		
35.	0,696	13799	14,7		
36.	0,650	12897	14,9		
37.	0,607	12035	15,3		
38.	0,561	11123	15,8		
39.	0,515	10221	16,5		
40.	0,469	9299	17,4		

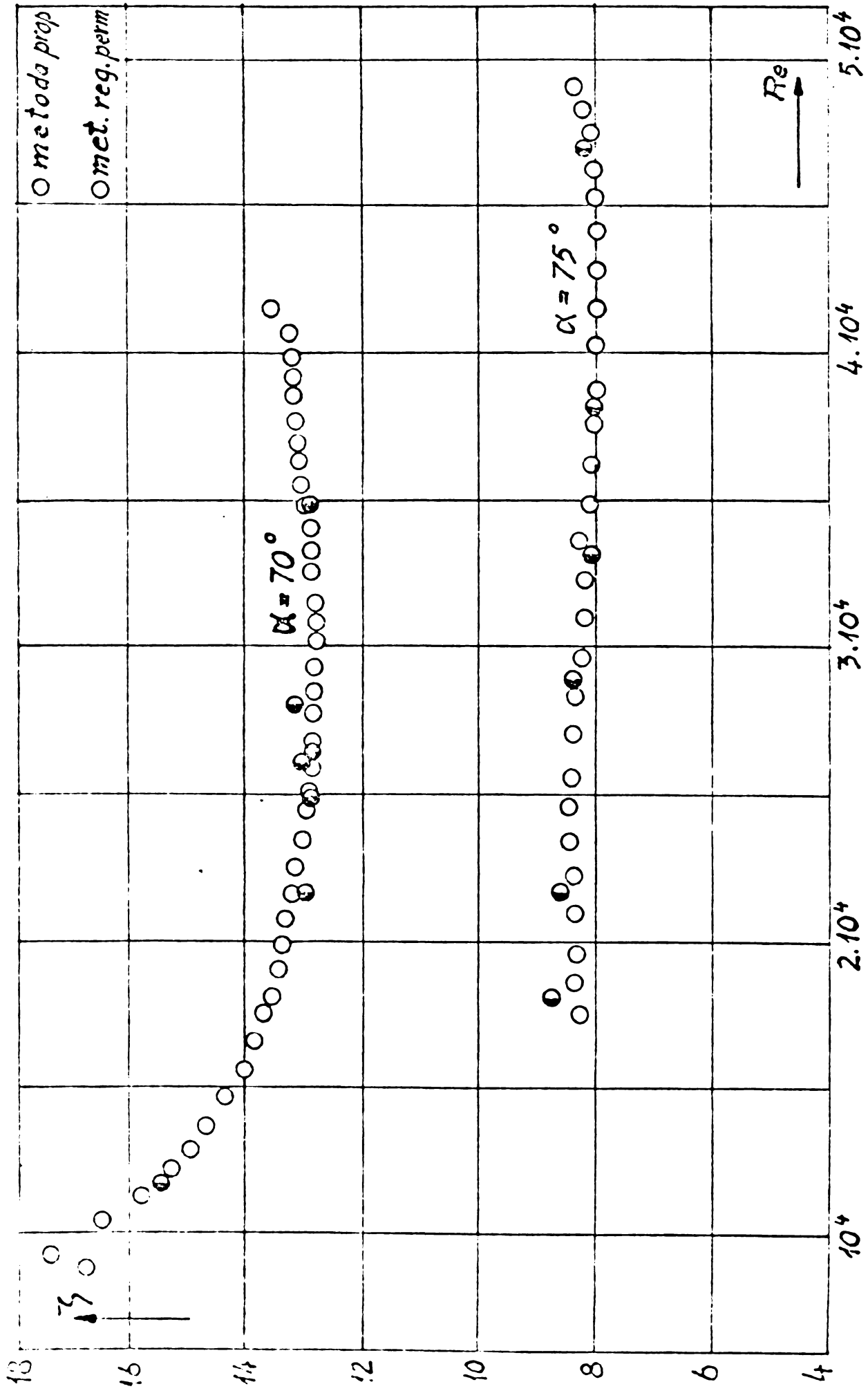
0	1	2	3	4	5
1.	0,585	11605	15,4	Metoda reg.	
2.	1,020	21611	12,9	permanent.	
3.	1,255	24882	12,8		
4.	1,283	25438	13,0		
5.	1,330	26369	12,8		
6.	1,419	28134	13,2		
7.	1,761	34915	12,9		



TABLE Nr.16

Rezultatele determinărilor experimentului nr.16, robinet - cep,  
 $\phi = 3/4"$ ,  $\alpha = 75^\circ$ , lichid = apă, temp.apoi =  $17,5^\circ\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,082 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coefficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	2,516	49208	8,31	Metoda regimului nopermanent. Valoarea termenului inertial din expresia coeficientului de pierderi, variază între 0,000865 și 0,00830 (procentual sub 0,1% din coef.de pierderi).	Regim turbulent prepătratic în conducta de racord a rezistenței locale.
2.	2,471	48332	8,19		
3.	2,426	47551	8,06		
4.	2,371	46377	7,99		
5.	2,314	45259	7,95		
6.	2,254	44085	7,92		
7.	2,192	42871	7,91		
8.	2,126	41591	7,91		
9.	2,057	40242	7,95		
10.	1,992	38962	7,96		
11.	1,926	37681	7,97		
12.	1,857	36333	8,01		
13.	1,788	34985	8,07		
14.	1,706	33367	8,27		
15.	1,657	32423	8,12		
16.	1,589	31075	8,19		
17.	1,523	29794	8,22		
18.	1,454	28446	8,31		
19.	1,389	27165	8,36		
20.	1,323	25884	8,42		
21.	1,258	24604	8,46		
22.	1,196	23390	8,43		
23.	1,137	22245	8,35		
24.	1,075	21051	8,36		
25.	1,017	19885	8,32		
26.	0,955	18672	8,36		
1.	0,929	18180	8,70	Metoda reg. permanent.	
2.	1,112	21761	8,57		
3.	1,475	28848	8,33		
4.	1,695	33160	8,05		
5.	1,953	38201	8,01		
6.	2,404	47025	8,16		



D 15, 16 Robinet - cep  $\phi = 3/4$ "

T A B E L Nr.17

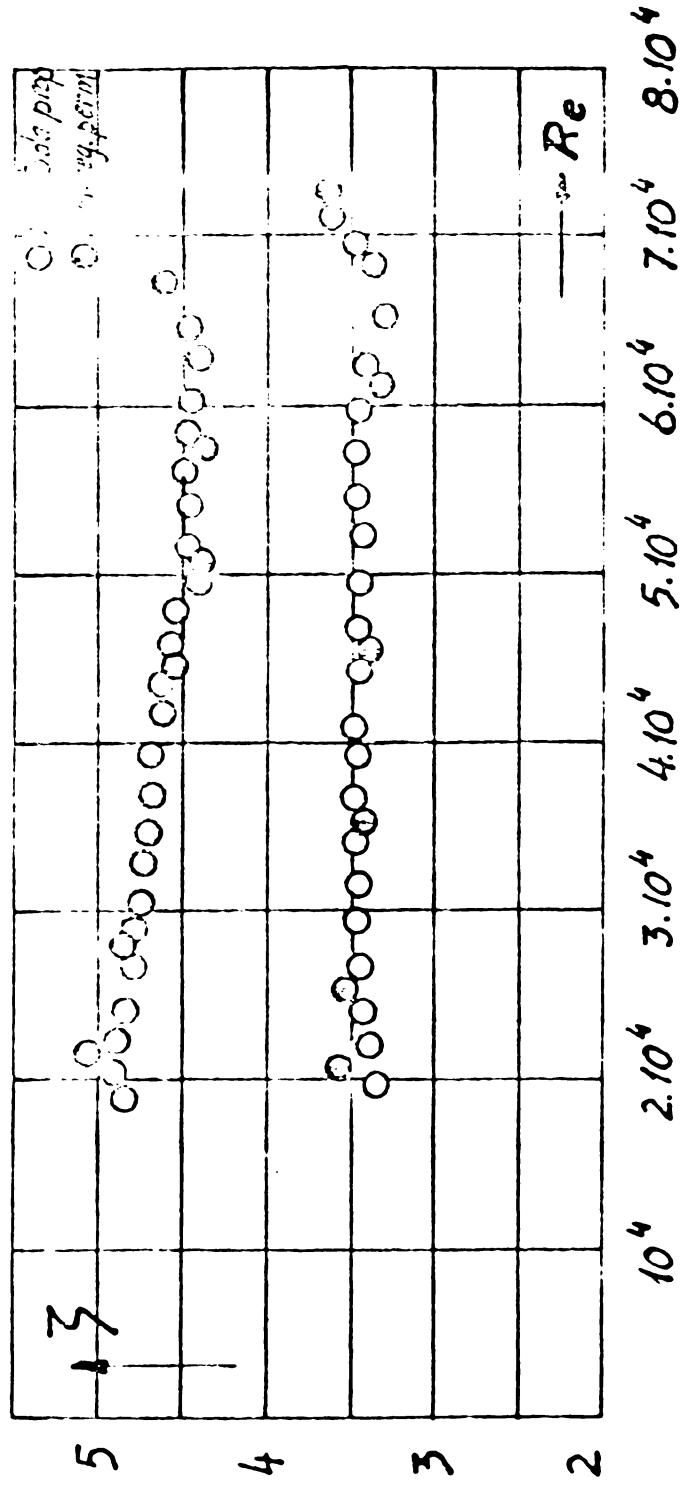
Rezultatele determinărilor experimentului Nr.17, robinet - cep,  
 $\phi = 3/4"$ ,  $\alpha = 80^\circ$ , lichid = apă, temp.apei =  $18^\circ\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,068 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coefficien- tul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
0	1	2	3	4	5
1.	3,256	64565	4,46	Metoda regi- mului noper- manent. Valoarea ter- menului incr- tial din expre- sia coeficien- tului de pier- deri, variază între 0,000991 și 0,00222 (procentual sub 0,06 % din coef. de pierderi).	Regim
2.	3,170	62857	4,40		turbulent
3.	3,050	60466	4,45		propătra-
4.	2,946	58416	4,45		tic în
5.	2,830	56109	4,49		conducta
6.	2,731	54147	4,47		de racord
7.	2,620	51946	4,47		a rezisten-
8.	2,513	49824	4,42		tei locale.
9.	2,403	47643	4,56		
10.	2,295	45502	4,58		
11.	2,186	43341	4,61		
12.	2,079	41220	4,63		
13.	1,970	39068	4,67		
14.	1,866	36957	4,68		
15.	1,758	34855	4,70		
16.	1,651	32734	4,73		
17.	1,547	30672	4,74		
18.	1,442	28590	4,76		
19.	1,339	26548	4,78		
20.	1,235	24486	4,84		
21.	1,134	22483	4,88		
22.	1,033	20481	4,92		
23.	0,943	18696	4,83		
1.	1,084	21502	5,85	Metoda reg. permanent.	
2.	1,412	27998	4,86		
3.	2,268	44966	4,54		
4.	2,565	50850	4,38		
5.	2,900	57506	4,37		
6.	3,394	67302	4,61		

T A B E L Nr.18

Rezultatele determinărilor experimentului Nr.18, robinet - cep,  
 $\theta = 3/4''$ ,  $\alpha = 86^{\circ}30'$ , lichid = apă, temp.apel =  $18^{\circ}$ , viscozitatea  
 cinematică =  $1,068 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	3,584	71055	3,63	Metoda regi- mului neper- manent.	Depim turbulent preoătratic in conduc- ta de ra- cord a rezisten- ței locale.
2.	3,515	69689	3,49		
3.	3,429	67981	3,36		
4.	3,293	65289	3,30		
5.	3,153	62515	3,43		
6.	3,017	59817	3,46		
7.	2,887	57240	3,47		
8.	2,756	54642	3,47		
9.	2,628	52090	3,46		
10.	2,498	49534	3,47		
11.	2,369	46969	3,47		
12.	2,240	44410	3,47		
13.	2,109	41814	3,48		
14.	1,981	39286	3,48		
15.	1,854	36759	3,49		
16.	1,727	34251	3,48		
17.	1,601	31742	3,47		
18.	1,474	29224	3,46		
19.	1,347	26216	3,45		
20.	1,223	24254	3,44		
21.	1,101	21829	3,41		
1.	1,044	20706	3,61	Metoda reg. permanent.	
2.	1,283	25440	3,53		
3.	1,786	35716	3,42		
4.	2,297	45532	3,39		
5.	3,088	61215	3,32		
6.	3,633	72620	3,64		



D17 y 18 Robinet - cep  $\phi = 3/4$ "

T A B E L Nr.20

Rezultatele determinărilor experimentului nr.20, vană plană - disc,  
 $\delta = 3/4"$ ,  $n = 2$  rotații, lichid = apă, temp.apei = 21°C,  
 viscozitatea cinematică =  $0,981 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de surgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	0,291	6281	736	Metoda regimului nepermanent. Valoarea termenului inerțial din expresia coeficientului de pierderi variază între 0,000922 și 0,0368 (procentual sub 0,005 % din coef. de pierderi).	Regim turbulent nepătratic în conducta de racord a rezistenței locale.
2.	0,287	6198	732		
3.	0,283	6102	729		
4.	0,278	6001	731		
5.	0,273	5903	730		
6.	0,269	5804	730		
7.	0,264	5698	732		
8.	0,259	5593	734		
9.	0,254	5485	733		
10.	0,249	5375	741		
11.	0,244	5267	744		
12.	0,239	5153	748		
13.	0,234	5049	749		
14.	0,229	4939	752		
15.	0,223	4824	758		
16.	0,218	4716	762		
17.	0,213	4608	766		
18.	0,209	4505	769		
19.	0,204	4401	772		
20.	0,199	4295	775		
21.	0,194	4191	779		
22.	0,189	4088	782		
23.	0,185	3987	785		
24.	0,180	3885	788		
25.	0,175	3784	790		
26.	0,171	3684	792		
27.	0,166	3583	795		
28.	0,161	3486	796		
29.	0,157	3389	799		
30.	0,152	3287	804		
31.	0,148	3192	806		
32.	0,143	3095	809		
33.	0,139	3000	811		
34.	0,134	2903	815		
35.	0,130	2808	816		
36.	0,127	2752	816		
37.	0,121	2620	818		
38.	0,117	2530	818		

№	1	2	3	4	5
39.	0,113	2438	818		
40.	0,109	2346	821		
41.	0,104	2256	823		
42.	0,100	2164	825		
43.	0,096	2072	828		
44.	0,092	1989	829		
45.	0,087	1897	832		
46.	0,083	1804	839		
47.	0,079	1718	844		
48.	0,075	1630	846		
49.	0,071	1540	854		
50.	0,067	1453	854		
51.	0,063	1366	856		
52.	0,059	1278	861		
53.	0,055	1190	864		
54.	0,051	1103	869		
55.	0,047	1016	878		
56.	0,043	930	882		
-----					
1.	0,051	1121	878	Metoda rep.	
2.	0,063	1362	865	permanentă.	
3.	0,123	2652	807		
4.	0,171	3684	781		
5.	0,230	4875	750		
6.	0,294	6365	741		
=====					

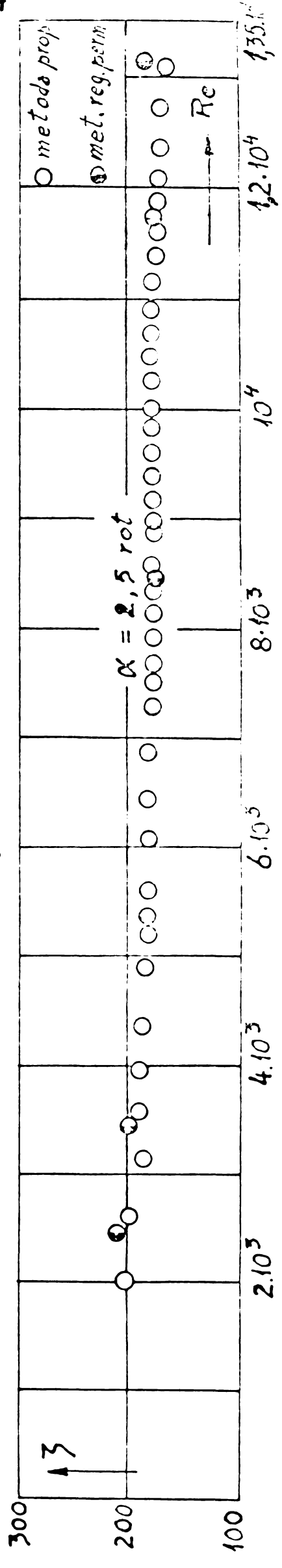
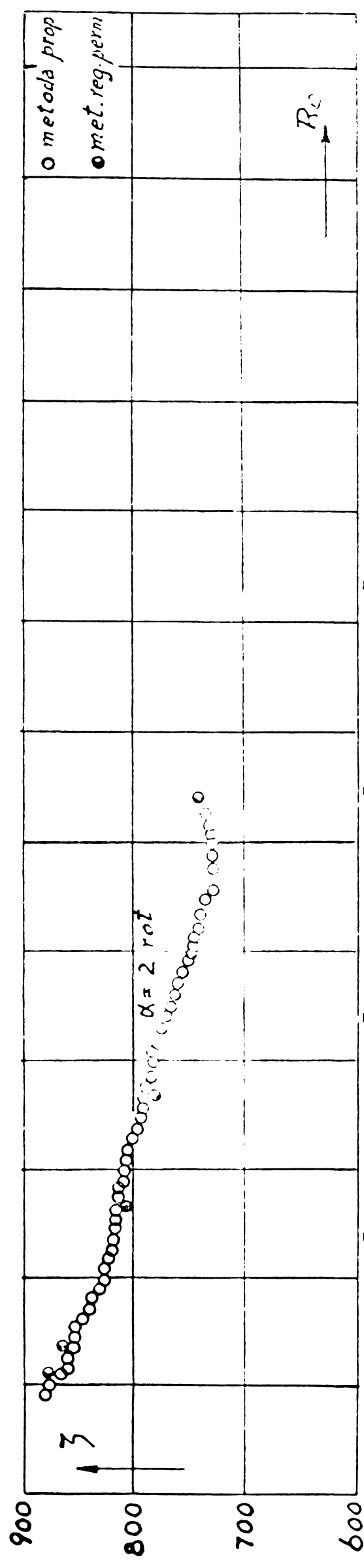


TABLE Nr.21

Rezultatele determinărilor experimentului nr.21, vană plană - disc,  
 $\phi = 3/4 "$ ,  $n = 2,5$  rotații, lichid = apă, temp.apei =  $21^{\circ}\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $0,981 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
0	1	2	3	4	5
1.	0,606	13091	164	Metoda regi-	Regim
2.	0,558	12688	169	mului neper-	turbulent
3.	0,574	12385	170	manent.	prepătra-
4.	0,561	12109	172		tic în
5.	0,550	11878	173	Valoarea	conducta de
6.	0,539	11641	173	termenului	racord a
7.	0,528	11395	175	inercial din	rezisten-
8.	0,517	11157	175	expresia	ței locale.
9.	0,507	10935	176	coeficientului	
10.	0,496	10710	176	de pierderi	
11.	0,486	10488	177	variază între	
12.	0,475	10263	177	0,002064 și	
13.	0,465	10049	176	0,0359	
14.	0,456	9841	177	(procentual	
15.	0,446	9620	178	sub 0,02 % din	
16.	0,436	9402	177	coef.de pierderi).	
17.	0,426	9193	177		
18.	0,416	8986	177		
19.	0,407	8776	177		
20.	0,397	8569	178		
21.	0,387	8353	177		
22.	0,378	8152	177		
23.	0,368	7943	177		
24.	0,358	7736	177		
25.	0,349	7527	177		
26.	0,339	7315	177		
27.	0,319	6894	183		
28.	0,300	6482	183		
29.	0,282	6077	182		
30.	0,261	5638	183		
31.	0,242	5221	183		
32.	0,223	4809	184		
33.	0,203	4388	186		
34.	0,184	3972	187		
35.	0,165	3570	187		
36.	0,147	3169	185		
37.	0,120	2581	199		
38.	0,0934	2016	202		





D 20, 21 Vanā - disc  $\phi = 3/4''$

T A B E L Nr.22

Rezultatele determinărilor experimentului nr.22, vană plană - disc,  $\phi = 3/4"$ ,  $n = 4$  rotații, lichid = apă, temp.apoi =  $24,5^{\circ}\text{C}$ , viscozitatea cinematică =  $0,951 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

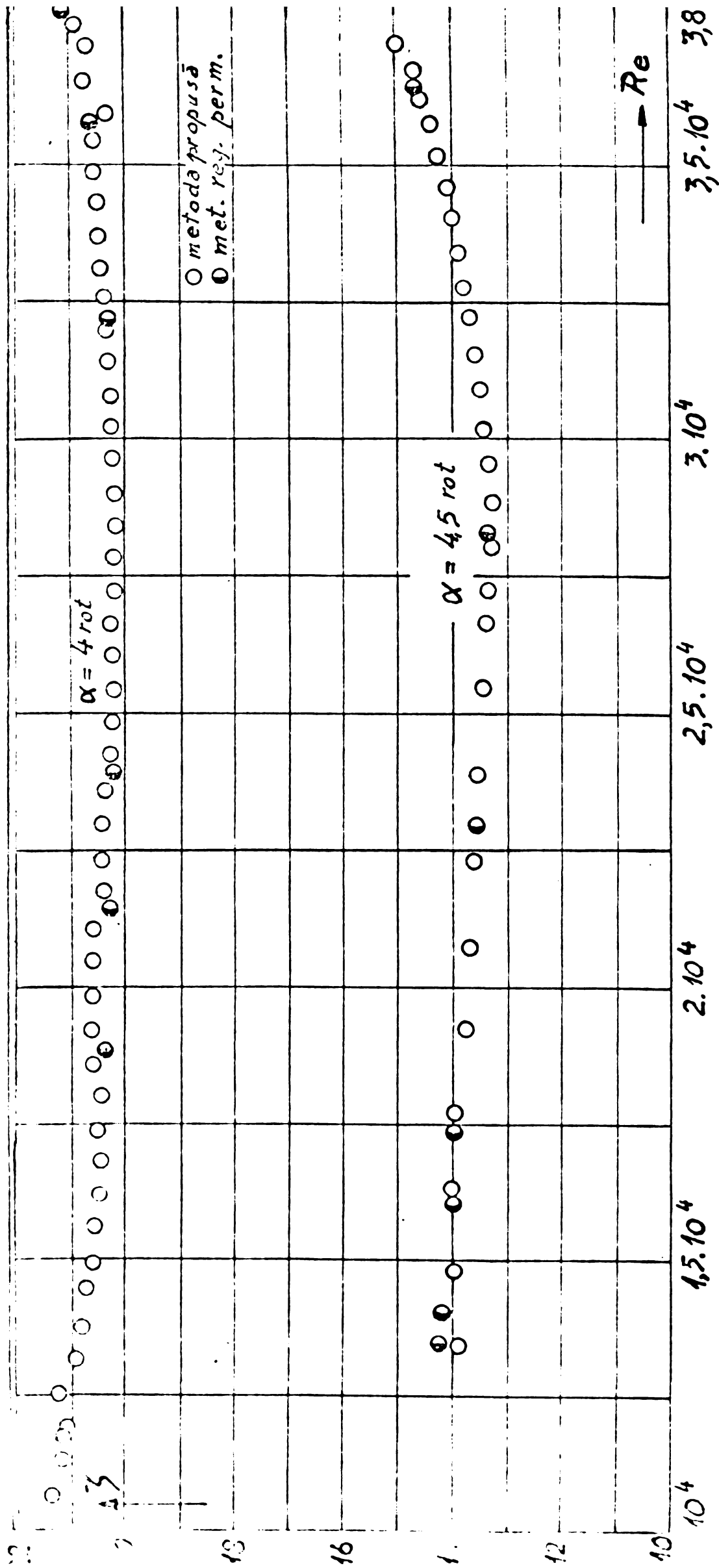
Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	1,651	37532	20,9	Metoda regimului nepermanent. Valoarea termenului inertial din expresia coeficientului de pierderi variază între 0,000784 și 0,01354 (procentual sub 0,07 % din coeficientul de pierderi).	Regim turbulent preponderant în conducta de racord a rezistenței locale.
2.	1,633	37132	20,7		
3.	1,606	36527	20,7		
4.	1,581	35940	20,5		
5.	1,559	35440	20,6		
6.	1,534	34872	20,5		
7.	1,509	34315	20,5		
8.	1,484	33735	20,4		
9.	1,459	33167	20,4		
10.	1,434	32599	20,3		
11.	1,407	31996	20,3		
12.	1,383	31439	20,3		
13.	1,356	30826	20,2		
14.	1,330	30246	20,2		
15.	1,304	29643	20,2		
16.	1,277	29041	20,2		
17.	1,252	28461	20,1		
18.	1,225	27848	20,1		
19.	1,199	27268	20,1		
20.	1,172	26643	20,2		
21.	1,146	26052	20,2		
22.	1,120	25461	20,2		
23.	1,093	24847	20,2		
24.	1,066	24233	20,2		
25.	1,037	23574	20,3		
26.	1,010	22960	20,3		
27.	0,981	22312	20,4		
28.	0,956	21732	20,4		
29.	0,926	21050	20,5		
30.	0,899	20448	20,5		
31.	0,872	19823	20,5		
32.	0,845	19209	20,5		
33.	0,817	18584	20,5		
34.	0,792	18004	20,4		
35.	0,765	17390	20,5		
36.	0,739	16811	20,4		
37.	0,713	16208	20,4		

0	1	2	3	4	5
38.	0,686	15595	20,5		
39.	0,659	14984	20,6		
40.	0,637	14481	20,7		
41.	0,605	13765	20,8		
42.	0,578	13151	20,9		
43.	0,550	12507	21,2		
44.	0,525	11935	21,0		
45.	0,497	11309	21,1		
46.	0,470	10684	21,3		
-----					
1.	0,516	11732	21,1	Metoda reg.	
2.	0,829	18850	20,3	permanent.	
3.	0,942	21416	20,2		
4.	1,052	23914	20,2		
5.	1,416	32198	20,3		
6.	1,574	35784	20,6		
7.	1,663	37815	21,1		
=====					

T A B L E A Nr.23

Rezultatele determinărilor experimentului nr.23, vană plană- disc,  
 $\delta = 3/4"$ ,  $n = 4,5$  rotații, lichid = apă, temp.apei =  $16,5^{\circ}\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,111 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
0	1	2	3	4	5
1.	1,954	37223	14,9	Metoda re-	Regim
2.	1,930	36763	14,7	simului ne-	turbulent
3.	1,902	36238	14,5	permanent.	prepătratic
4.	1,878	35779	14,3		
5.	1,847	35188	14,2	Valcarea tor-	in conducta
6.	1,818	34630	14,1	menului inerțial	de racord
7.	1,787	34052	13,9	din expresia	a rezisten-
8.	1,757	33481	13,8	coeficientului	ței locale
9.	1,723	32824	13,7	de pierderi	
10.	1,691	32214	13,6	variază între	
11.	1,657	31564	13,5	0,000774 și	
12.	1,622	30908	13,4	0,00762	
13.	1,585	30198	13,4	(procentual sub	
14.	1,551	29542	13,3	0,06 din	
15.	1,512	28807	13,3	coef.de pierderi).	
16.	1,474	28085	13,3		
17.	1,434	27310	13,3		
18.	1,395	26568	13,3		
19.	1,356	25459	13,4		
20.	1,254	23896	13,5		
21.	1,171	22307	13,6		
22.	1,091	20784	13,6		
23.	1,031	19261	13,7		
24.	0,930	17725	13,9		
25.	0,853	16242	13,9		
26.	0,777	14810	13,9		
1.	0,707	13435	14,2	Metoda reg.	
2.	0,737	14006	14,2	permanent.	
3.	0,846	16058	13,9		
4.	0,915	17378	13,9		
5.	1,209	22966	13,5		
6.	1,489	28280	13,3		
7.	1,918	36425	14,7		



D 22,23 Vană - disc  $\phi = 3/4''$



T A B L E Nr.24

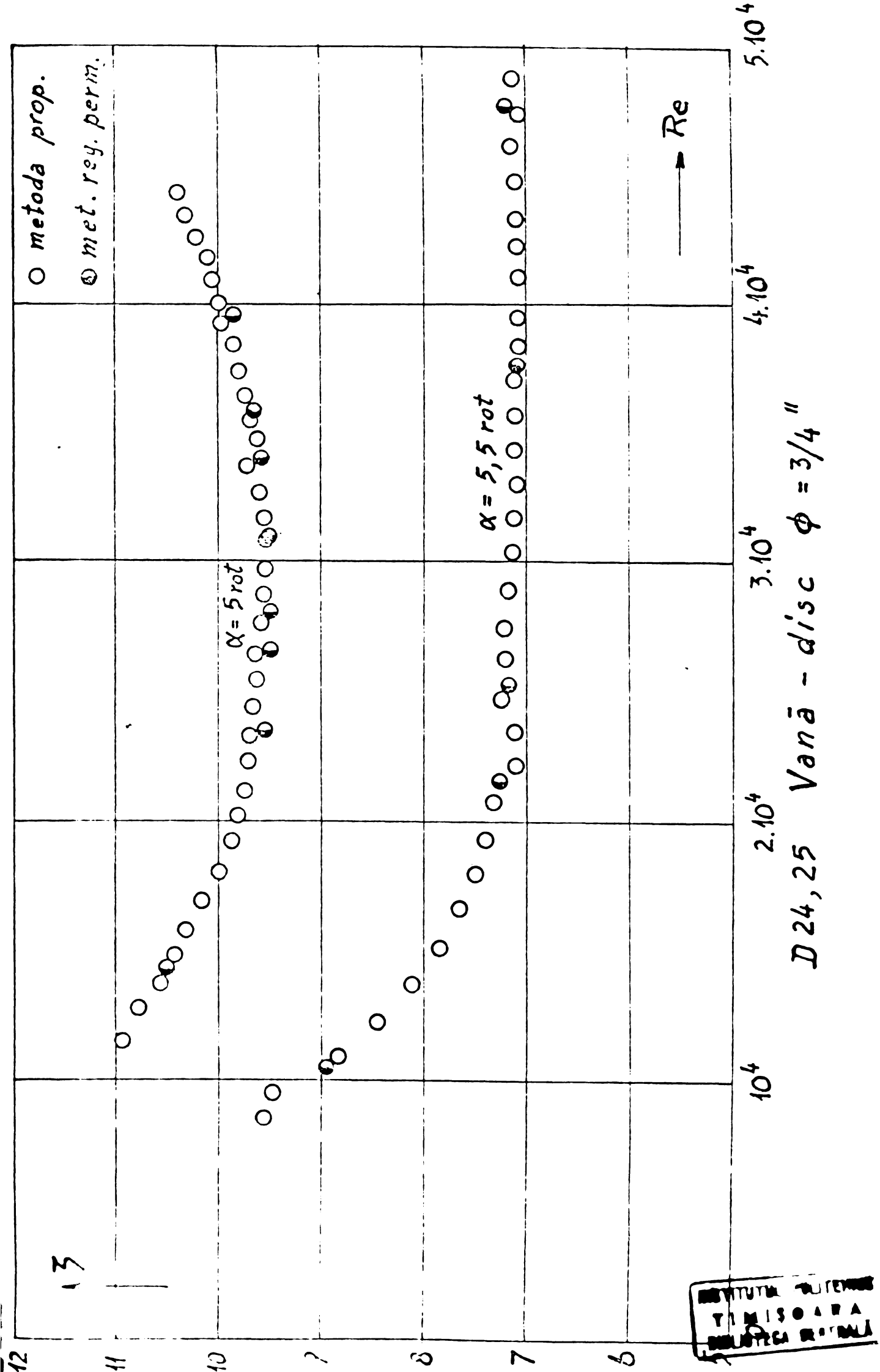
Rezultatele determinărilor experimentului nr.24, vană plană - disc,  
 $d = 3/4"$ ,  $n = 5$  rotații, lichid = apă, temp.apei =  $16,5^{\circ}\text{C}$ ,  
 vîscozitatea cinematică =  $1,111 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de cursere V(m/s)	Numărul Re	Coefficien- tul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1	2	3	4	5	
1.	2,323	44247	10,42	Metoda regi- mului naper- manent. Valoarea ter- menului iner- țial din expresia coe- ficientului de pierderi varia- ză între 0,000862 și 0,0171 (procentual sub 0,2 % din coefic. de pierderi).	Regim
2.	2,274	43329	10,33		turbulent
3.	2,235	42572	10,22		prepătratic
4.	2,192	41759	10,14		în conducta
5.	2,147	40902	10,08		de racord
6.	2,102	40045	10,02		a rezisten- tei locale.
7.	2,057	39197	9,93		
8.	2,012	38330	9,85		
9.	1,963	37397	9,81		
10.	1,916	36501	9,75		
11.	1,868	35587	9,69		
12.	1,819	34653	9,64		
13.	1,767	33672	9,74		
14.	1,716	32691	9,60		
15.	1,663	31681	9,72		
16.	1,612	30710	9,53		
17.	1,559	29700	9,53		
18.	1,503	28633	9,56		
19.	1,449	27605	9,58		
20.	1,391	26450	9,65		
21.	1,339	25509	9,63		
22.	1,283	24442	9,66		
23.	1,228	23394	9,69		
24.	1,173	22347	9,71		
25.	1,117	21280	9,74		
26.	1,060	20194	9,81		
27.	1,003	19108	9,87		
28.	0,946	18022	9,98		
29.	0,888	16917	10,16		
30.	0,831	15831	10,32		
31.	0,777	14802	10,43		
32.	0,723	13774	10,56		
33.	0,667	12706	10,78		
34.	0,614	11697	10,91		
1.	0,756	14365	10,49	Metoda Reg. permanent.	
2.	1,241	23563	9,54		
3.	1,401	26612	9,48		
4.	1,483	28164	9,48		
5.	1,630	30948	9,50		
6.	1,790	33930	9,58		
7.	1,885	35806	9,65		
8.	2,081	39520	9,83		

T A B E L Nr.25

Rezultatele determinărilor experimentului nr.25, vană plană - disc,  $\varnothing = 3/4"$ ,  $n = 5,5$  rotații, lichid = apă, temp.apei =  $16,5^{\circ}\text{C}$ , viscozitatea cinematică =  $1,111 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coefficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	2,564	48861	7,14	Metoda regimului nepermanent. Valoarea termenului inertial din expresia coeficientului de pierderi variază între 0,000378 și 0,0219 (procentual sub 0,25 % din coeficientul de pierderi.)	Regim turbulent prepatric în conducta de racord a rezistenței locale.
2.	2,502	47661	7,09		
3.	2,423	46160	7,15		
4.	2,356	44884	7,12		
5.	2,288	43588	7,11		
6.	2,220	42293	7,10		
7.	2,153	41016	7,07		
8.	2,082	39664	7,08		
9.	2,015	38387	7,07		
10.	1,945	37054	7,10		
11.	1,875	35720	7,10		
12.	1,803	34348	7,10		
13.	1,734	33034	7,08		
14.	1,662	31662	7,11		
15.	1,590	30291	7,14		
16.	1,520	28957	7,15		
17.	1,447	27566	7,20		
18.	1,378	26252	7,20		
19.	1,306	24880	7,24		
20.	1,227	23384	7,11		
21.	1,156	22023	7,10		
22.	1,092	20803	7,33		
23.	1,020	19432	7,39		
24.	0,946	18022	7,48		
25.	0,872	16612	7,63		
26.	0,798	15202	7,81		
27.	0,723	13774	8,08		
28.	0,650	12383	8,44		
29.	0,574	10935	8,82		
30.	0,503	9584	9,49		
31.	0,447	8516	9,54		
1.	0,555	10538	8,92	Metoda reg. permanent.	
2.	1,139	21632	7,25		
3.	1,332	25290	7,15		
4.	1,980	37608	7,08		
5.	2,513	47721	7,21		



T A B E L Nr.26

Rezultatele determinărilor experimentului nr.26, vană plană - disc,  $\varnothing = 3/4"$ ,  $n = 6$  rotații, lichid = apă, temp.apei =  $16,5^{\circ}\text{C}$ , viscozitatea cinematică =  $1,111 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	2,960	56392	5,64	Metoda regimului permanent. Valoarea termenului inerțial din expresia coeficientului de pierderi variază între 0,00205 și 0,0158 (procentual sub 0,25 % din coef.de pierderi).	Regim turbulent prepatric în conducta de record a rezistenței locale.
2.	2,884	54948	5,59		
3.	2,808	53504	5,54		
4.	2,731	52027	5,50		
5.	2,650	50484	5,48		
6.	2,567	48908	5,46		
7.	2,502	47661	5,36		
8.	2,398	45692	5,44		
9.	2,309	43985	5,46		
10.	2,219	42278	5,48		
11.	2,130	40571	5,50		
12.	2,035	38766	5,56		
13.	1,940	36960	5,63		
14.	1,844	35122	5,72		
15.	1,749	33317	5,79		
16.	1,651	31446	5,90		
17.	1,554	29608	6,01		
18.	1,471	28032	5,98		
19.	1,385	26391	6,01		
20.	1,296	24684	6,07		
21.	1,206	22977	6,15		
22.	1,120	21336	6,21		
23.	1,037	19760	6,22		
24.	0,955	18185	6,23		
25.	0,872	16609	6,24		
26.	0,799	15230	6,28		
1.	1,443	27398	6,13	Metoda reg. permanent.	
2.	1,537	29196	5,89		
3.	1,593	30248	5,78		
4.	1,683	31965	5,75		
5.	1,949	37006	5,71		
6.	2,292	43528	5,62		
7.	2,959	56202	5,52		

T A B E L Nr.27

Rezultatele determinărilor experimentului nr.27, vană plană-disc,  
 $\emptyset = 3/4"$ ,  $n = 6,5$  rotații, lichid = apă, temp.apoi =  $19^{\circ}\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,039 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	3,308	67421	4,52	Metoda regi- mului neper- manent.  Valoarea ter- menului iner- țial din expresia coe- ficientului de pierderi este cuprinsă între 0,000576 și 0,00921 (procentual sub 0,2 % din coefic.de pierderi.)	Regim turbulent preparțitic în conducta de racord a rezisten- ței locale.
2.	3,256	66368	4,34		
3.	3,153	64261	4,33		
4.	3,022	61592	4,42		
5.	2,905	59204	4,48		
6.	2,791	56886	4,52		
7.	2,678	54569	4,57		
8.	2,567	52321	4,61		
9.	2,464	50215	4,78		
10.	2,354	47967	4,83		
11.	2,236	45579	4,74		
12.	2,126	43332	4,79		
13.	2,019	41155	4,82		
14.	1,913	38978	4,86		
15.	1,809	36871	4,89		
16.	1,706	34764	4,91		
17.	1,606	33404	4,91		
18.	1,506	30690	4,93		
19.	1,409	28724	4,93		
20.	1,309	26687	4,95		
21.	1,215	24756	4,92		
22.	1,120	22825	4,90		
1.	1,249	25448	5,01	Metoda reg. permanent.	
2.	1,581	32215	4,85		
3.	1,967	40098	4,77		
4.	2,642	53850	4,71		
5.	3,206	65336	4,45		

T A B E L Nr.28

Rezultatele determinărilor experimentului nr.28, vană plană - disc,  $\varnothing = 3/4"$ ,  $n = 7$  rotații, lichid = apă, temp. apei =  $19,5^{\circ}\text{C}$ , viscozitatea cinematică =  $1,024 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

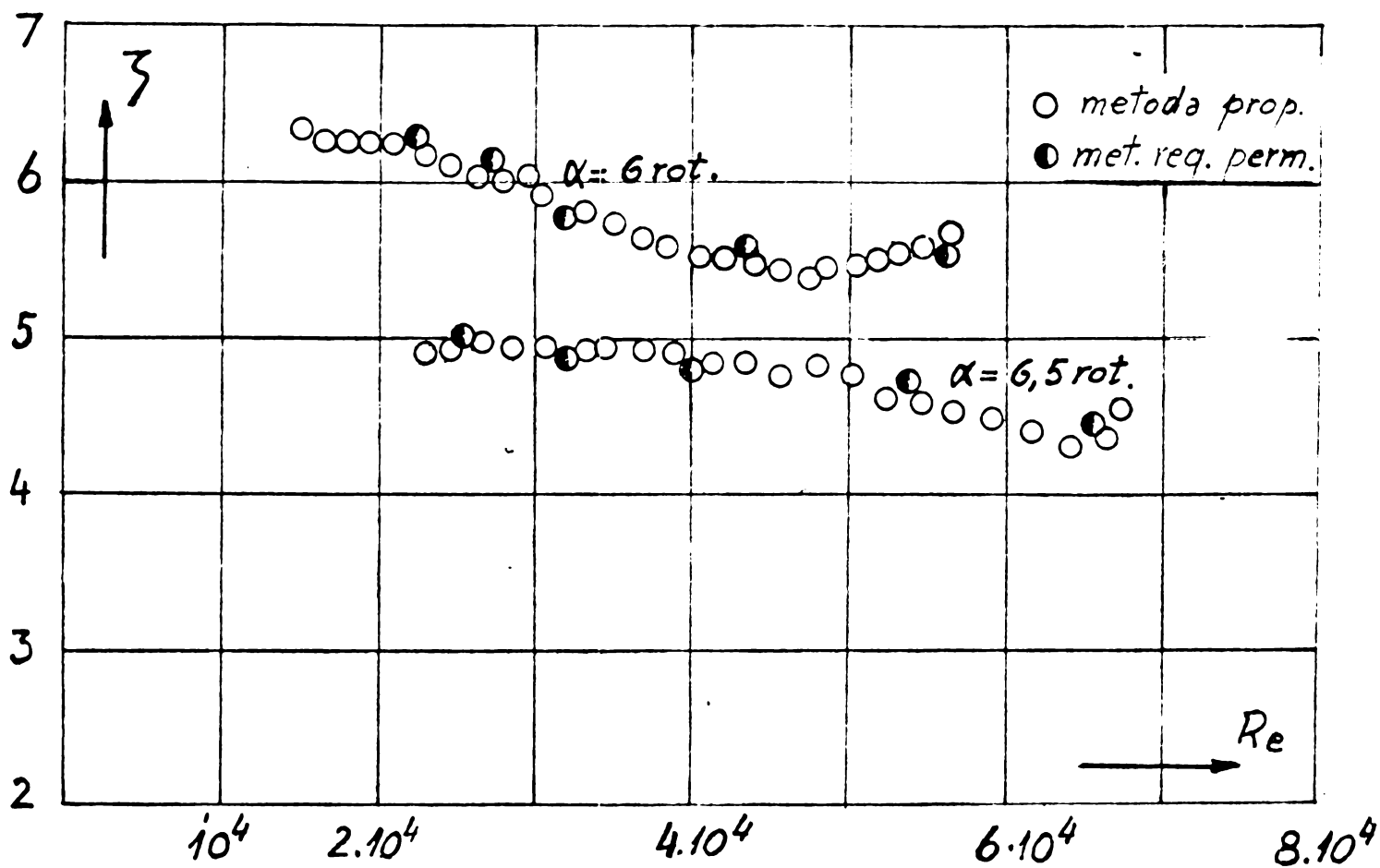
Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
0	1	2	3	4	5
1.	3,618	74785	3,58	Metoda regimului nepermanent. Valoarea termenului inertial din expresia coeficientului de pierderi variază între 0,00103 și 0,00559 (procentual sub 0,15 % din coef.de pierderi).	Regim turbulent prepătratic în conducta de racord a rezistenței locale.
2.	3,508	72506	3,54		
3.	3,384	69942	3,54		
4.	3,229	66737	3,63		
5.	3,084	63745	3,70		
6.	2,946	60896	3,75		
7.	2,808	58047	3,80		
8.	2,679	55376	3,82		
9.	2,547	52634	3,86		
10.	2,412	49857	3,93		
11.	2,285	47221	3,97		
12.	2,154	44515	4,02		
13.	2,026	41880	4,06		
14.	1,902	39316	4,10		
15.	1,782	36823	4,14		
16.	1,661	34330	4,19		
17.	1,551	32051	4,17		
1.	1,607	33214	4,17	Metoda reg. permanent.	
2.	2,080	42988	3,95		
3.	2,862	59162	3,72		
4.	3,145	64997	3,58		
5.	3,687	76210	3,66		

T A B E L Nr.29

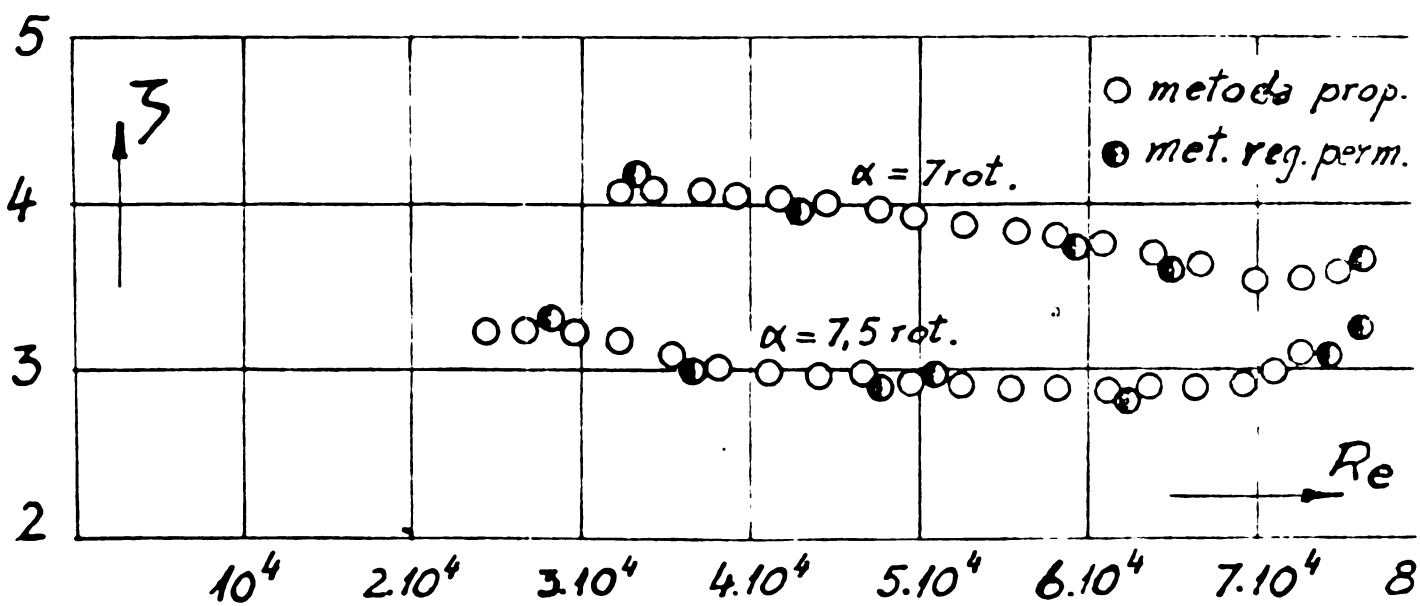
Rezultatele determinărilor experimentului nr.29, vană plană-disc,  
 $\emptyset = 3/4"$ ,  $n = 7,5$  rotații, lichid = apă, temp.apei =  $16,5^{\circ}\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,111 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1	2	3	4	5	
1.	3,825	72870	3,10	Metoda regi-	Regim
2.	3,739	71229	2,98	mului neper-	turbulent
3.	3,625	69063	2,92	manent.	prepătra-
4.	3,489	66466	2,90	Valoarea ter-	tic în con-
5.	3,343	63679	2,90	menului iner-	ducta de
6.	3,205	61054	2,88	țial din	racord a
7.	3,057	58231	2,89	expresia coe-	rezisten-
8.	2,908	55408	2,90	ficientului de	ței locale
9.	2,757	52519	2,91	pierderi	
10.	2,609	49696	2,93	variază între	
11.	2,452	46709	2,96	0,000718 și	
12.	2,312	44050	2,93	0,00993	
13.	2,157	41096	2,97	(procentual sub	
14.	2,006	38208	3,02	0,4% din coefic.	
15.	1,850	35253	3,10	de pierderi)	
16.	1,699	32365	3,17	Metoda reg.	
17.	1,551	29542	3,22	permanent.	
18.	1,409	26850	3,25		
19.	1,277	24323	3,24		
1.	1,481	28213	3,31		
2.	1,919	36550	2,99		
3.	2,501	47654	2,89		
4.	2,669	50852	2,97		
5.	3,270	62296	2,81		
6.	3,899	74280	3,08		
7.	3,995	76105	3,25		





D 26 și 27 Vană plană - disc  $\phi = 3/4''$



D 28 și 29 Vană plană - disc  $\phi = 3/4''$

T A B L E A Nr.30

Rezultatele determinărilor experimentului nr.30, vană plană-disc,  
 $d = 3/4"$ ,  $n = 8$  rotații, lichid = apă, temp.apei =  $15,5^{\circ}\text{C}$ ,  
 vîscozitatea cinematică =  $1,141 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1	2	3	4	5	
1.	3,911	74109	2,77	Metoda regi- mului neper- manent.  Valoarea ter- menului iner- țial din ex- presia coefi- cientului de pierderi variază între 0,000961 și 0,00952 (procentual sub 0,4 % din coefic.de pierderi)	Regim turbulent prepătratic în conducta de racord a rezisten- ței locale.
2.	3,791	70386	2,71		
3.	3,670	68147	2,64		
4.	3,532	65587	2,60		
5.	3,394	63027	2,55		
6.	3,239	60148	2,54		
7.	3,084	57269	2,51		
8.	2,929	54389	2,49		
9.	2,764	51318	2,50		
10.	2,591	48118	2,55		
11.	2,424	45002	2,58		
12.	2,254	41848	2,61		
13.	2,088	38776	2,65		
14.	1,904	35353	2,76		
15.	1,737	32249	2,82		
16.	1,571	29178	2,90		
17.	1,423	26427	2,92		
1.	1,505	27948	2,95	Metoda reg. permanent	
2.	1,948	36160	2,70		
3.	2,610	48462	2,51		
4.	2,859	53086	2,53		
5.	3,886	72144	2,78		

T A B E L Nr.31

Rezultatele determinărilor experimentului nr.31, venă plană - disc,  $\varnothing = 3/4"$ ,  $n = 8,5$  rotații, lichid = apă, temp.apei =  $17,5^{\circ}\text{C}$ , viscozitatea cinematică =  $1,082 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	4,239	82912	2,25	Metoda regimului nepermanent. Valoarea termenului inertial din expresia coeficientului de pierderi variază între 0,000961 și 0,00892 (procentual sub 0,4 % din coef. de pierderi).	Regim turbulent preponderant în conducta de racord a rezistenței locale.
2.	4,094	80081	2,19		
3.	3,894	76171	2,23		
4.	3,722	72800	2,23		
5.	3,553	69498	2,22		
6.	3,370	65925	2,23		
7.	3,191	62420	2,23		
8.	3,008	58847	2,24		
9.	2,819	55139	2,28		
10.	2,629	51432	2,33		
11.	2,447	47860	2,35		
12.	2,250	44017	2,42		
13.	2,064	40377	2,48		
14.	1,885	36872	2,52		
15.	1,713	33502	2,55		
16.	1,551	30333	2,55		
17.	1,385	27098	2,59		
1.	1,461	28584	2,60	Metoda reg. permanent.	
2.	1,758	34380	2,51		
3.	2,684	52495	2,29		
4.	3,462	67721	2,19		
5.	4,089	79983	2,26		
6.	4,313	84372	2,24		

TABEL Nr. 32

Rezultatele determinărilor experimentului nr. 32, vană plană - disc,  
 $\phi = 3/4"$ ,  $n = 9$  rotații, lichid = apă, temp.apei =  $17,5^{\circ}\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,082 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coefficien- tul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
0	I	2	3	4	5
1.	4,259	82912	2,10	Metoda regimului ne-permanent.  Valoarea termenului inertial din expresia coeficientului de pierderi variază între 0,000819 și 0,0135 (procentual sub 0,7 % din coef. de pierderi).	Regim turbulent prepatric în conducta de racord a rezistenței locale.
2.	4,118	80552	2,01		
3.	3,946	77182	1,98		
4.	3,756	73855	1,98		
5.	3,560	69632	1,99		
6.	3,363	65790	2,00		
7.	3,163	61880	2,02		
8.	2,970	58105	2,02		
9.	2,771	54196	2,03		
10.	2,574	50354	2,05		
11.	2,371	46377	2,10		
12.	2,178	42602	2,13		
13.	1,981	38759	2,17		
14.	1,792	35052	2,18		
15.	1,602	31344	2,21		
16.	1,420	27772	2,23		
17.	1,247	24402	2,21		
1.	1,298	25382	2,26	Metoda reg. permanent.	
2.	1,701	33276	2,19		
3.	2,015	39410	2,14		
4.	2,506	49012	2,07		
5.	3,411	66724	1,98		
6.	4,300	84107	2,07		
7.	4,469	87422	2,13		

T A B E L Nr.33

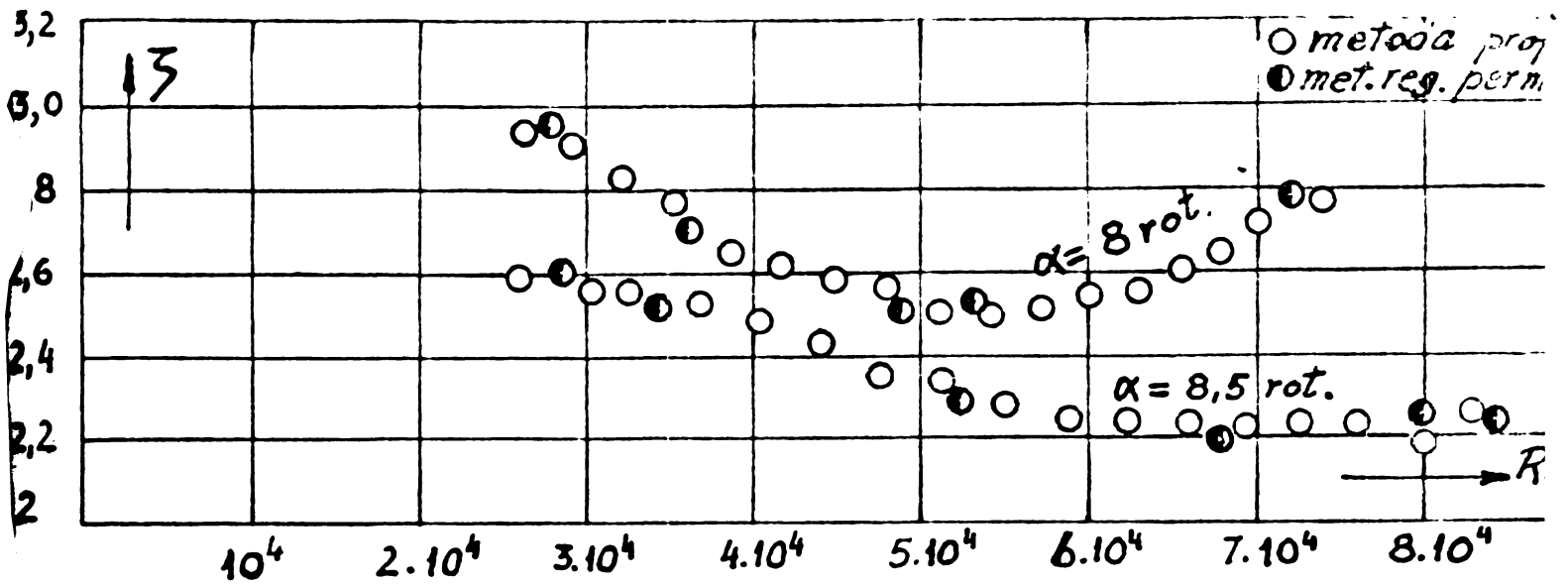
Rezultatele determinărilor experimentului nr.33, vană plană - disc,  
 $\delta = 3/4"$ ,  $n = 9,5$  rotații, lichid = apă, temp.apei =  $17,5^{\circ}\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,082 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	4,497	87967	1,74	Metoda regimului nepermanent. Valoarea termenului inertial din expresia coeficientului de pierderi variază între 0,00128 și 0,0165 (procentual sub 0,8 % din coef. de pierderi).	Regim turbulent prețstratic în conducta de racord a rezistenței locale.
2.	4,280	83720	1,76		
3.	4,059	79406	1,78		
4.	3,842	75160	1,80		
5.	3,608	70576	1,85		
6.	3,370	65925	1,92		
7.	3,157	61746	1,91		
8.	2,933	57364	1,99		
9.	2,736	53522	1,99		
10.	2,536	49612	2,00		
11.	2,335	45669	2,03		
12.	2,143	41928	2,03		
13.	1,93	37897	2,06		
14.	1,740	34041	2,09		
15.	1,547	30266	2,11		
16.	1,358	26559	2,11		
17.	1,172	22919	2,10		
1.	1,354	26496	2,14	Metoda reg. permanent.	
2.	2,507	49042	2,01		
3.	2,848	55714	1,94		
4.	3,202	62630	1,89		
5.	3,661	71615	1,82		
6.	4,668	91304	1,74		

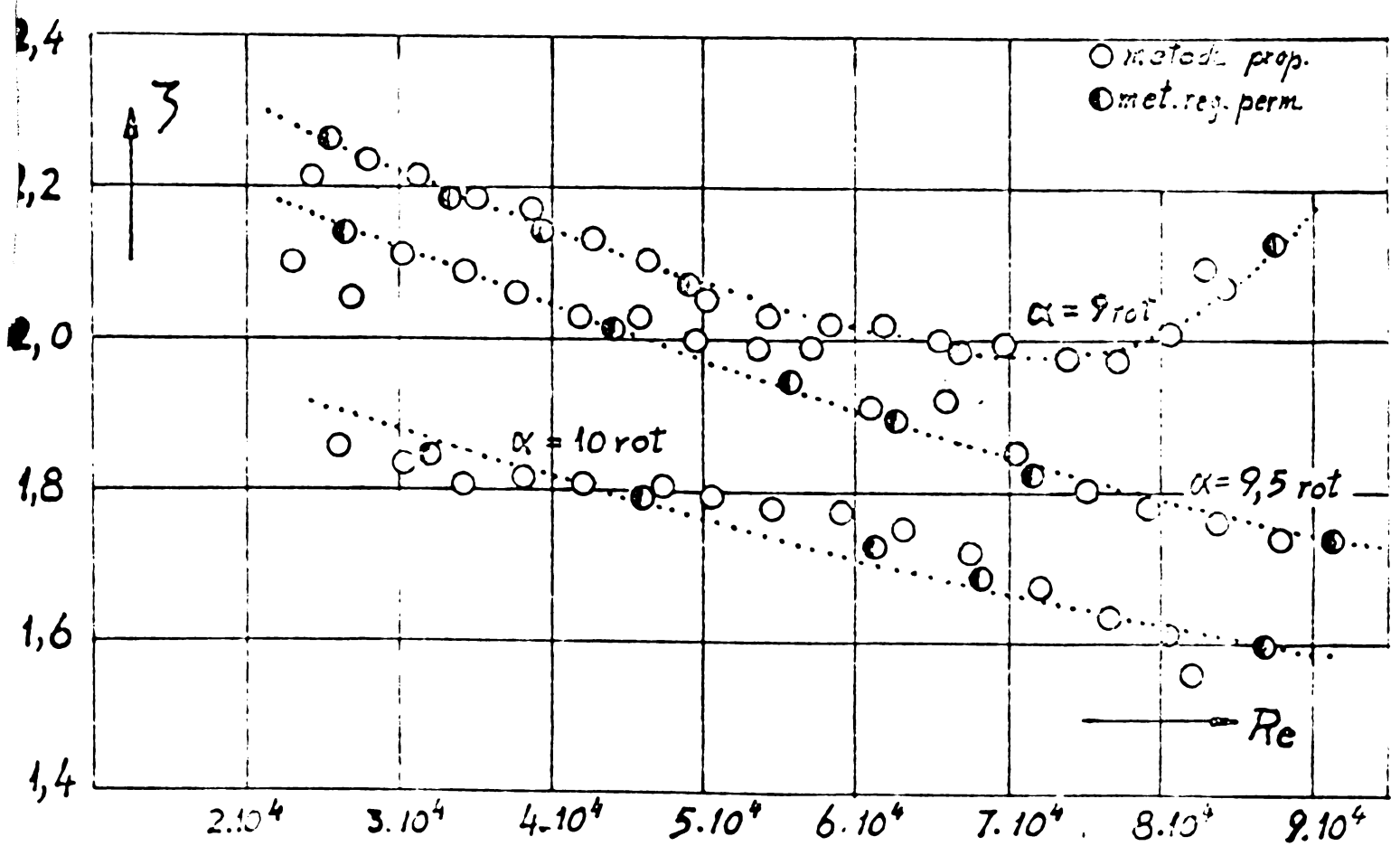
T A B E L Nr.34

Rezultatele determinărilor experimentului nr.34, vană plană - disc,  
 $\delta = 3/4''$ ,  $n = 10$  rotații, lichid = apă, temp.apei =  $17^{\circ}\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,097 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	4,824	93123	1,43	Metoda regimului nepermanent.  Valoarea termenului inertial din expresia coeficientului de pierderi variază între 0,00153 și 0,0137 (procentual sub 0,8 % din coef. de pierderi).	Regim turbulent preponderant în conducta de racord a rezistenței locale.
2.	4,531	87463	1,50		
3.	4,256	82148	1,56		
4.	3,980	76827	1,64		
5.	3,739	72171	1,67		
6.	3,498	67514	1,72		
7.	3,265	63024	1,75		
8.	3,041	58701	1,77		
9.	2,826	54543	1,78		
10.	2,609	50353	1,79		
11.	2,398	46296	1,80		
12.	2,192	42305	1,81		
13.	1,981	38247	1,81		
14.	1,775	34256	1,81		
15.	1,564	30198	1,83		
16.	1,358	26207	1,86		
1.	1,659	32024	1,84	Metoda reg. permanent.	
2.	2,283	46006	1,79		
3.	3,180	61386	1,73		
4.	3,537	68265	1,68		
5.	4,176	80602	1,61		
6.	4,499	86847	1,60		



$D 30$  și  $31$  Vană plană - disc  $\phi = 3/4''$



$D 32, 33, 34$  Vană - disc  $\phi = 3/4''$



T A B E L Nr.40

Rezultatele determinărilor experimentului nr.40, robinet-cap.,  
 $\emptyset/ 1/2"$ ,  $\alpha = 60^\circ$ , lichid = apă, temp.apei =  $21^\circ\text{C}$ , viscozitatea  
 cinematică =  $0,981 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere $V(\text{m}^3/\text{s})$	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
0	1	2	3	4	5
1.	0,905	15233	73,6	Metoda regimului nepermanent. Valoarea termenului inertial din expresia coeficientului de pierderi variabilă între 0,000353 și 0,00375 (procentual sub 0,005 % din coefic. de pierderi).	Regim turbulent nepătratic în conducta de record a rezistenței locale
2.	0,888	14943	72,2		
3.	0,869	14625	71,8		
4.	0,851	14322	71,3		
5.	0,833	14012	70,8		
6.	0,813	13678	70,6		
7.	0,792	13335	70,5		
8.	0,772	12991	70,2		
9.	0,751	12638	70,1		
10.	0,731	12293	69,8		
11.	0,709	11923	69,8		
12.	0,687	11561	69,8		
13.	0,665	11188	69,9		
14.	0,651	10950	69,8		
15.	0,621	10454	70,0		
16.	0,599	10082	70,1		
17.	0,579	9748	69,7		
18.	0,554	9319	70,6		
19.	0,531	8937	70,8		
20.	0,508	8556	71,0		
21.	0,485	8165	71,4		
22.	0,462	7774	71,8		
23.	0,439	7383	72,4		
24.	0,416	6995	73,0		
25.	0,393	6620	73,5		
26.	0,373	6273	73,3		
27.	0,350	5892	74,0		
28.	0,329	5532	74,3		
29.	0,309	5198	75,8		
1.	0,370	6223	73,8	Metoda reg. permanent	
2.	0,423	7118	72,1		
3.	0,540	9087	70,6		
4.	0,605	10174	69,9		
5.	0,895	15065	72,5		

TABLE Nr.41

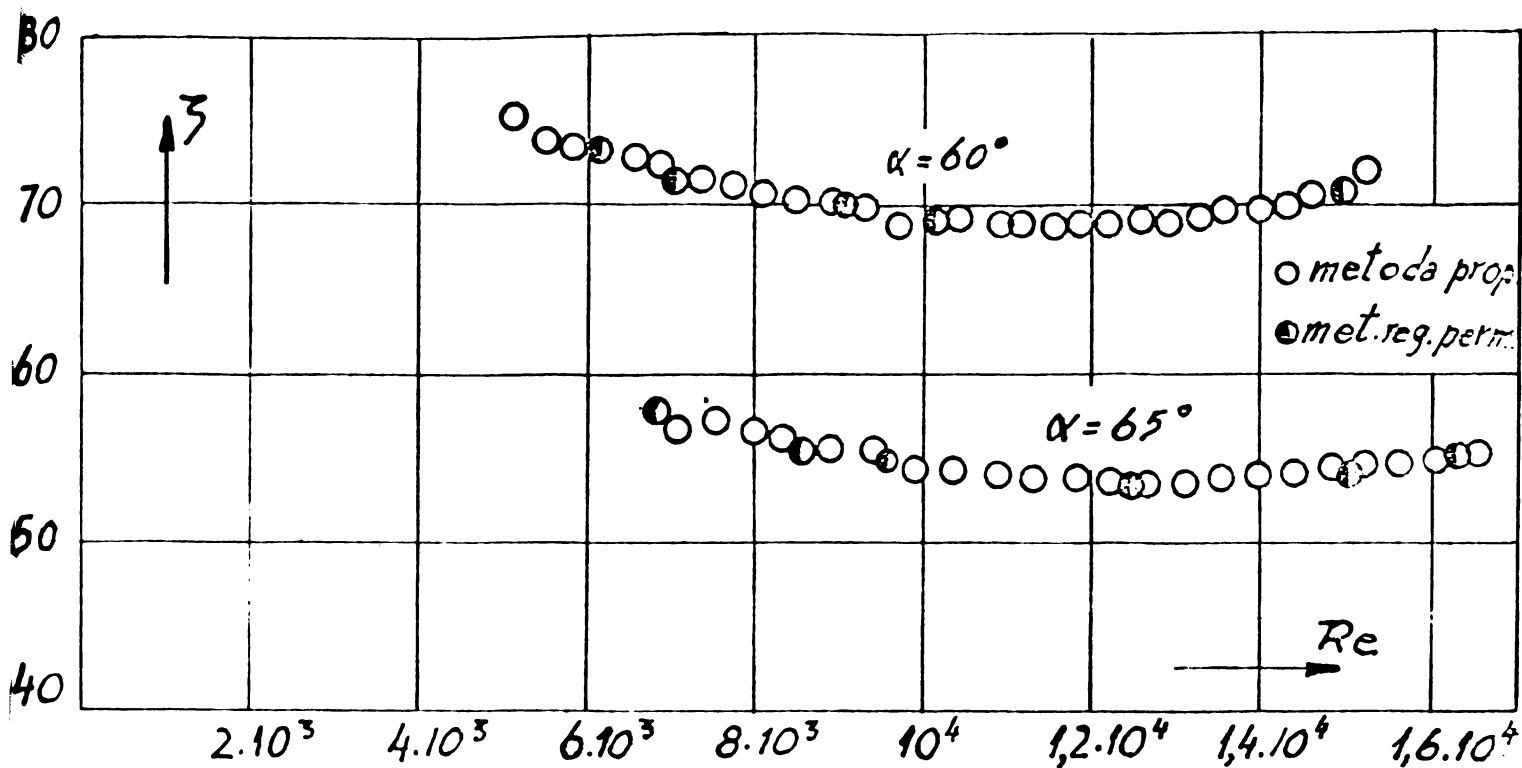
Rezultatele determinărilor experimentului nr.41, robinet-cep.,  
 $\varnothing = 1/2"$ ,  $\alpha = 65^\circ$ , lichid = apă, temp.apei =  $20^\circ\text{C}$ , vîscozitatea  
 cinematică =  $1,010 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere $V(\text{m/s})$	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
0	1	2	3	4	5
1.	1,014	16574	56,3	Metoda regi- mului neper- manent. Valoarea ter- menului iner- țial din expresia coe- ficientului de pierderi variază între 0,000448 și 0,00311 (procentual sub 0,006 % din coefic. de pierderi).	Regim
2.	0,989	16157	56,1		turbulent
3.	0,964	15750	55,8		crepătratic
4.	0,938	15333	55,5		în conducta
5.	0,913	14909	55,3		de racord
6.	0,887	14490	55,1		a rezistenței
7.	0,860	14059	55,0		locale
8.	0,834	13628	54,9		
9.	0,808	13202	54,7		
10.	0,781	12757	54,6		
11.	0,753	12303	54,6		
12.	0,724	11840	54,7		
13.	0,696	11377	54,7		
14.	0,667	10904	54,8		
15.	0,638	10432	55,0		
16.	0,609	9959	55,3		
17.	0,578	9450	56,0		
18.	0,550	8987	56,1		
19.	0,519	8477	56,8		
20.	0,490	8014	57,3		
21.	0,463	7560	57,6		
22.	0,436	7134	57,3		
23.	0,408	6670	57,7		
1.	0,422	6898	58,2	Metoda reg. permanent.	
2.	0,525	8586	56,2		
3.	0,587	9592	55,3		
4.	0,765	12506	54,8		
5.	0,924	15101	55,0		
6.	1,001	16365	56,7		

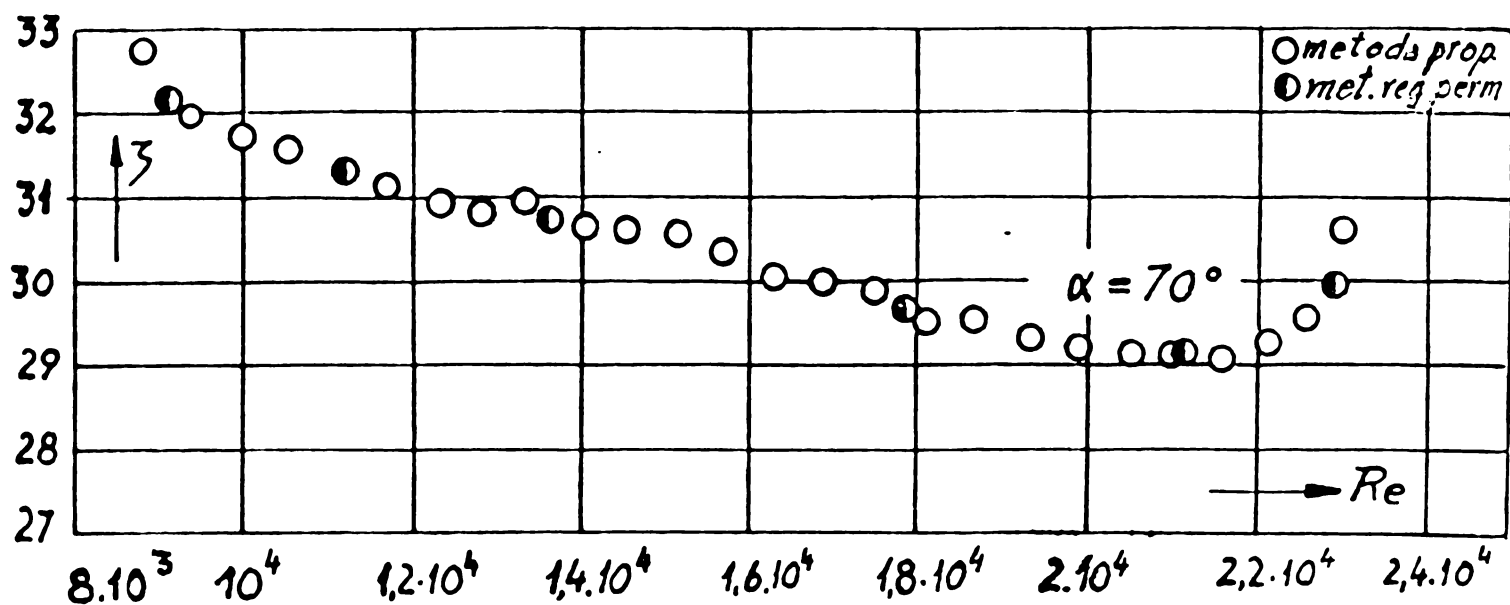
T A B E L Nr.42

Rezultatele determinărilor experimentului nr.42, robinet-cep,  $\varnothing = 1/2"$ ,  $\alpha = 70^\circ$ , lichid = apă, temp.apoi =  $20^\circ\text{C}$ , vîscozitatea cinematică =  $1,010 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

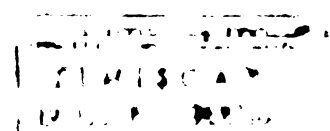
№. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
0	1	2	3	4	5
1.	1,410	23046	30,7	Metoda regimului permanent. Valoarea termenului inertial din expresia coeficientului de pierderi variază între 0,000359 și 0,00288 (procentual sub 0,01 % din coefic. de pierderi).	Regim turbulent prepatric în conducta de record a rezistenței locale
2.	1,384	22615	29,6		
3.	1,356	22161	29,3		
4.	1,325	21661	29,1		
5.	1,290	21086	29,1		
6.	1,255	20512	29,1		
7.	1,219	19919	29,2		
8.	1,183	19335	29,3		
9.	1,145	18714	29,6		
10.	1,110	18140	29,5		
11.	1,073	17528	29,9		
12.	1,037	16945	30,0		
13.	1,002	16370	30,1		
14.	0,965	15768	30,4		
15.	0,928	15166	30,6		
16.	0,892	14582	30,6		
17.	0,857	14008	30,7		
18.	0,819	13387	31,0		
19.	0,787	12868	30,9		
20.	0,753	12303	31,0		
21.	0,718	11738	31,2		
22.	0,681	11136	31,5		
23.	0,647	10580	31,6		
24.	0,613	10024	31,7		
25.	0,579	9459	32,0		
26.	0,544	8894	32,8		
1.	0,562	9180	32,2	Metoda reg.	
2.	0,689	11267	31,3	permanent.	
3.	0,836	13670	30,7		
4.	1,096	17915	29,8		
5.	1,298	21208	29,2		
6.	1,403	22932	30,0		



$D40$  și  $41$  Rob.-cep  $\phi = 1/2''$



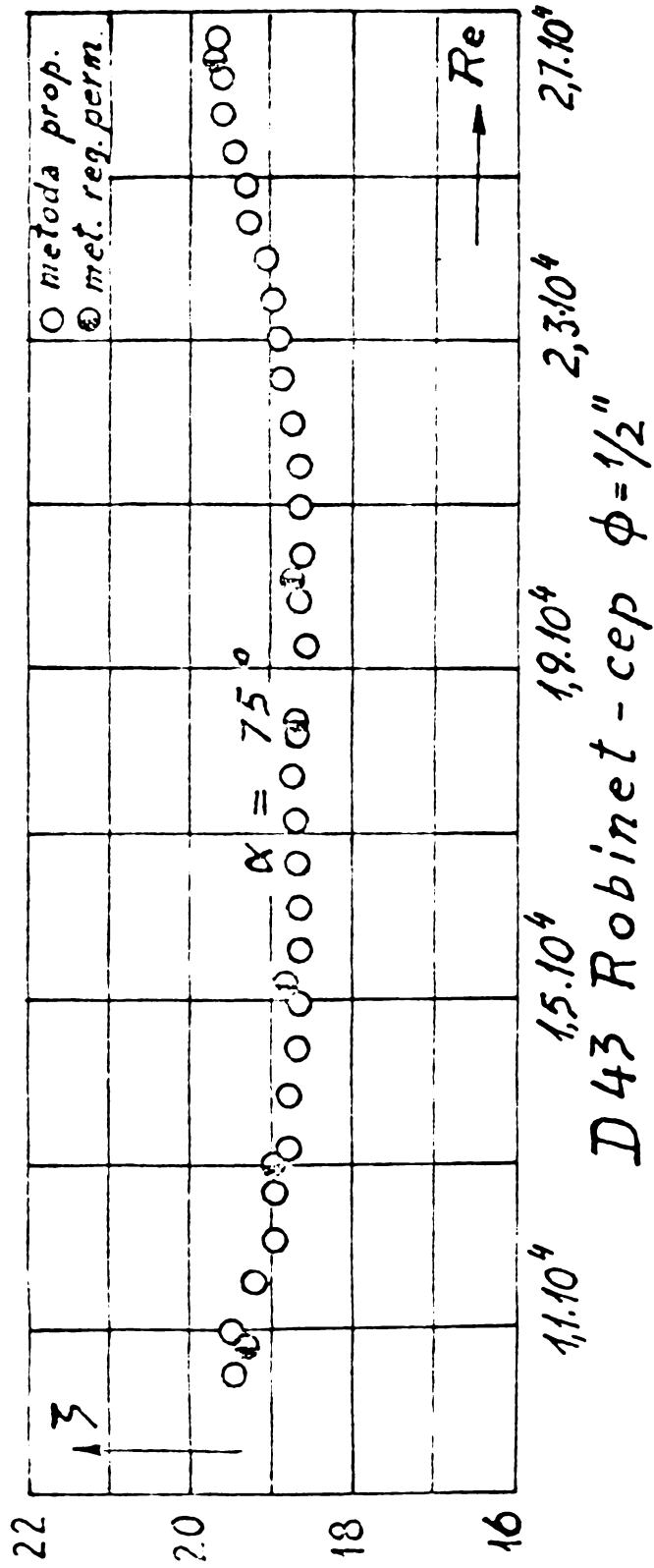
$D42$  Robinet-cep  $\phi = 1/2''$



T A B U L Nr.43

Rezultatele determinărilor experimentului nr.43, robinet-cep  
 $\phi = 1/2"$ ,  $\alpha = 75^\circ$ , lichid = apă, temp.apei =  $18,5^\circ\text{C}$ , vîscozitatea  
 cinematică =  $1,053 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
2	1	2	3	4	5
1.	1,706	26735	19,7	Metoda regi- mului neper- manent. Valoarea ter- menului iner- tial din expresia coe- ficientului de pierderi variază între 0,000435 și 0,00311 (procentual sub 0,016 % din coefic. de pierderi).	Regim
2.	1,675	26247	19,7		turbulent
3.	1,644	25758	19,6		prepostratic
4.	1,616	25314	19,5		in conducta
5.	1,587	24870	19,3		de racord
6.	1,559	24426	19,2		a rezisten-
7.	1,529	23964	19,1		ței locale
8.	1,499	23493	19,0		
9.	1,469	23014	18,9		
10.	1,439	22543	18,7		
11.	1,406	22028	18,7		
12.	1,372	21495	18,6		
13.	1,337	20944	18,6		
14.	1,302	20402	18,6		
15.	1,268	19861	18,6		
16.	1,234	19340	18,6		
17.	1,209	18946	18,3		
18.	1,163	18226	18,6		
19.	1,128	17675	18,7		
20.	1,094	17147	18,7		
21.	1,061	16628	18,6		
22.	1,026	16077	18,6		
23.	0,990	15517	18,7		
24.	0,954	14949	18,7		
25.	0,918	14389	18,8		
26.	0,883	13838	18,8		
27.	0,847	13270	18,8		
28.	0,810	12693	19,0		
29.	0,773	12106	19,1		
30.	0,737	11542	19,3		
31.	0,700	10969	19,5		
32.	0,666	10437	19,5		
1.	0,695	10815	19,3	Metoda reg. permanent.	
2.	0,831	13022	19,0		
3.	0,970	15196	18,8		
4.	1,176	18418	18,7		
5.	1,285	20135	18,7		
6.	1,686	26420	19,7		



T A B E L Nr.44

Rezultatele determinărilor experimentului nr.44, robinet-cep,  $\theta = 1/2''$ ,  $\alpha = 80^\circ$ , lichid = apă, temp.apei =  $19^\circ\text{C}$ , viscozitatea cinematică =  $1,039 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(M/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1	2	3	4	5	
1.	2,075	32961	12,15	Metoda regimului permanent. Valoarea termenului inerțial din expresia coeficientului de pierderi variază între 0,000589 și 0,00284 (procentual sub 0,03 % din coefic.de pierderi).	Regim turbulent
2.	2,012	31970	12,28		treptatic
3.	1,956	31069	12,35		in conducta
4.	1,899	30170	12,41		de racord
5.	1,842	29269	12,49		a rezisten-
6.	1,786	28254	12,57		ței locale.
7.	1,731	27499	12,60		
8.	1,676	26630	12,53		
9.	1,623	25783	12,66		
10.	1,571	24955	12,68		
11.	1,519	24135	12,69		
12.	1,462	23226	12,82		
13.	1,415	22473	12,76		
14.	1,363	21659	12,75		
15.	1,311	20830	12,73		
16.	1,258	19993	12,74		
17.	1,207	19173	12,76		
18.	1,155	18354	12,79		
19.	1,103	17525	12,86		
20.	1,053	16724	12,85		
21.	0,998	15850	12,95		
22.	0,946	15031	12,98		
23.	0,895	14209	13,02		
24.	0,845	13418	13,01		
1.	0,929	14756	13,24	Metoda reg.	
2.	1,139	18102	12,91	permanent.	
3.	1,432	22749	12,74		
4.	1,857	29508	12,44		
5.	1,935	30744	12,53		
6.	2,109	33510	12,56		



T A B E L Nr.45

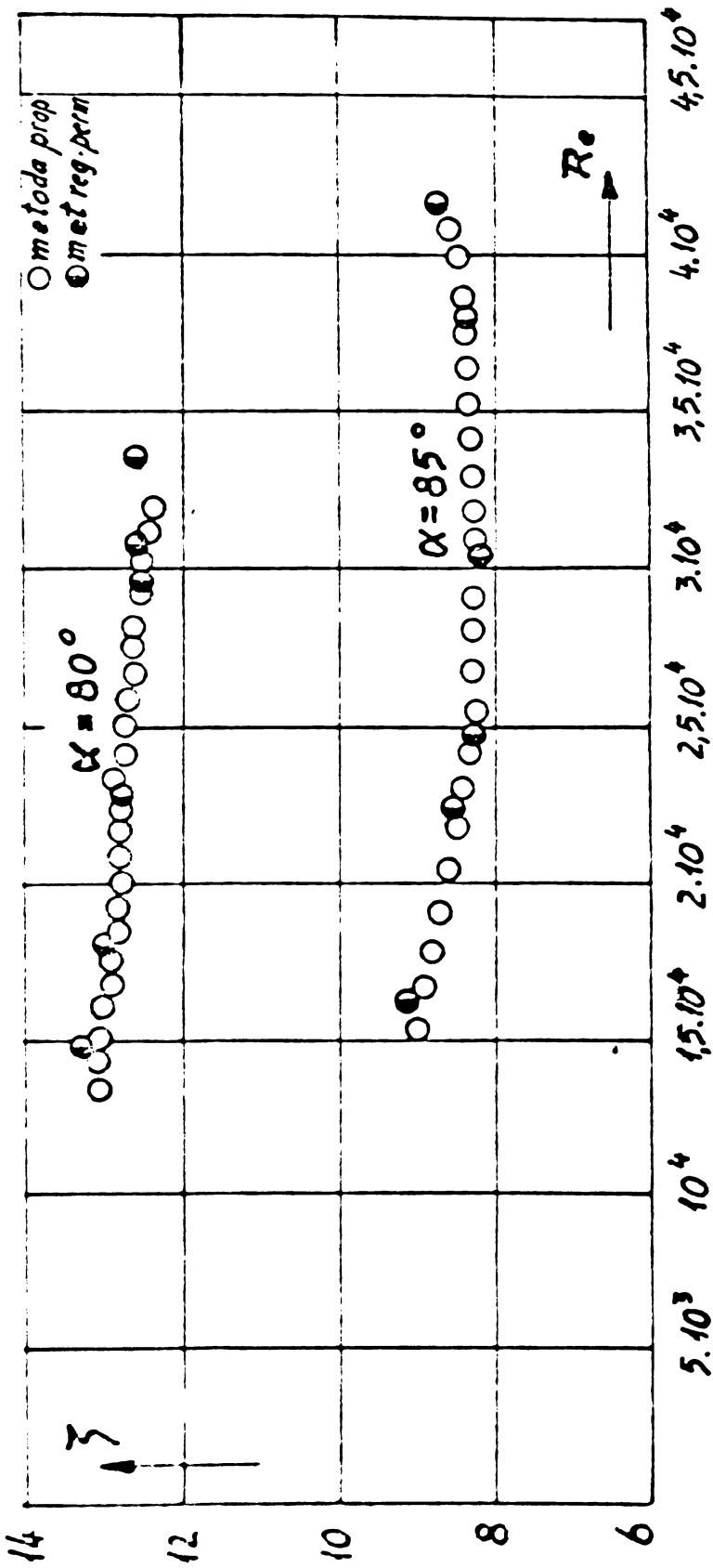
Rezultatele determinărilor experimentului nr.45, robinet - ceo,  
 $\theta = 1/2^\circ$ ,  $\alpha = 85^\circ$ , lichid = apă, temp.apei =  $20^\circ\text{C}$ , viscozitatea  
 cinematică =  $1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Mr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	2,494	40764	8,53	Metoda regi- mului neper- manent.  Veloarea ter- menului inertial din expresia coeficientu- lui de pier- deri variază între 0,000426 și 0,00536 (procentual sub 0,04 % din coefic. de pierderi).	Regim turbulent nepătra- tic în conducta de record a rezisten- ței locale.
2.	2,429	39923	8,47		
3.	2,367	38680	8,38		
4.	2,296	37522	8,36		
5.	2,223	36326	8,35		
6.	2,154	35205	8,30		
7.	2,084	34057	8,27		
8.	2,012	32889	8,24		
9.	1,951	31889	8,10		
10.	1,864	30829	8,22		
11.	1,789	29239	8,22		
12.	1,714	28007	8,24		
13.	1,640	26802	8,25		
14.	1,563	25551	8,24		
15.	1,489	24329	8,27		
16.	1,410	23041	8,33		
17.	1,328	21707	8,44		
18.	1,247	20382	8,56		
19.	1,168	19085	8,68		
20.	1,090	17816	8,78		
21.	1,016	16611	8,85		
22.	0,944	15426	8,92		
1.	0,995	16249	9,12	Metoda reg. permanent.	
2.	1,367	22325	8,53		
3.	1,514	24716	8,26		
4.	1,863	30412	8,17		
5.	2,331	38054	8,32		
6.	2,553	41680	8,69		

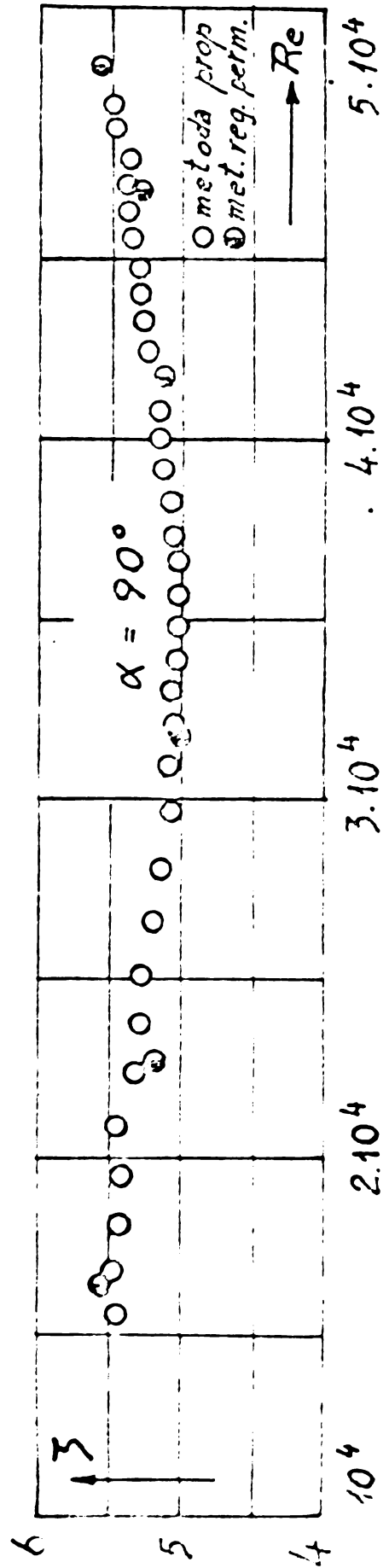
T A B L E Nr.46

Rezultatele determinărilor experimentului nr.46, robinet - cep,  
 $\theta = 1/2^\circ$ ,  $\alpha = 90^\circ$ , lichid = apă, temperatura apei =  $19,5^\circ\text{C}$ ,  
 viscozitatea cinematică =  $1,024 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	3,066	49396	5,49	Metoda regimului permanent. Valoarea termenului inertial din expresia coeficientului de pierderi variază între 0,000498 și 0,00460 (procentual sub 0,1 % din coefic.de pierderi).	Regim turbulent prepatratie în conducta de racord a rezistenței locale.
2.	3,018	48623	5,46		
3.	2,973	41898	5,38		
4.	2,925	47125	5,40		
5.	2,879	46384	5,37		
6.	2,829	45518	5,35		
7.	2,780	44789	5,32		
8.	2,732	44015	5,29		
9.	2,684	43242	5,26		
10.	2,634	42436	5,24		
11.	2,583	41615	5,22		
12.	2,533	40809	5,19		
13.	2,483	40004	5,16		
14.	2,430	39150	5,13		
15.	2,381	38360	5,08		
16.	2,324	37442	5,07		
17.	2,273	36620	5,04		
18.	2,219	35750	5,03		
19.	2,166	34896	5,02		
20.	2,109	33978	5,04		
21.	2,052	33060	5,06		
22.	1,995	32141	5,05		
23.	1,922	30965	5,07		
24.	1,837	29596	5,06		
25.	1,740	28033	5,14		
26.	1,650	26583	5,20		
27.	1,556	25069	5,29		
28.	1,474	23748	5,27		
29.	1,387	22346	5,31		
30.	1,302	20976	5,45		
31.	1,213	19543	5,41		
32.	1,130	18205	5,43		
33.	1,046	16852	5,47		
34.	0,967	15579	5,46		
1.	1,018	16405	5,56	Metoda regimului permanent.	
2.	1,410	22720	5,17		
3.	1,973	31796	5,02		
4.	2,595	41802	5,14		
5.	2,915	46956	5,37		
6.	3,128	50390	5,58		



D44, 45 Robinet-cep  $\phi = 1/2''$



D46 Robinet-cep  $\phi = 1/2''$

T A B E L A Nr.50

Rezultatele determinărilor experimentului nr.50, filtru de motorină CARFIL Erşşov, tip 46 seria 274/1975, lichid = apă, temperatura apei = 23°C, viscozitatea cinematică =  $0,923 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , diametrul conductei de racord =  $1,65 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ .

Nr. crt.	Viteza de curgere V(m/s)	Numărul Re	Coeficientul de pierderi	Metoda utilizată	Obs.
1.	0,998	17842	61,1	Metoda regimului permanent. Valoarea termenului inertial din expresia coeficientului de pierderi variază între 0,000525 și 0,00642 (procentual sub 0,005 % din coeficientul de pierderi).	Regim turbulent prepătratic în conducta de racord a rezistenței locale.
2.	0,978	17498	61,4		
3.	0,945	16905	63,7		
4.	0,934	16619	63,0		
5.	0,900	16261	64,2		
6.	0,885	15835	65,4		
7.	0,864	15460	66,3		
8.	0,842	15065	67,4		
9.	0,822	14700	68,3		
10.	0,811	14497	67,7		
11.	0,781	13970	70,3		
12.	0,762	13620	71,2		
13.	0,743	13280	72,1		
14.	0,724	12951	73,0		
15.	0,697	12470	74,3		
16.	0,662	11831	76,1		
17.	0,626	11202	78,2		
18.	0,595	10645	79,7		
19.	0,561	10036	82,2		
20.	0,529	9468	84,4		
21.	0,501	8952	85,9		
22.	0,472	8446	87,7		
23.	0,447	7999	89,0		
24.	0,414	7401	95,3		
25.	0,385	6894	97,8		
26.	0,357	6387	102,2		
27.	0,330	5900	107,2		
28.	0,305	5449	112,2		
29.	0,279	4998	118,6		
30.	0,257	4592	124,3		
31.	0,235	4207	130,3		
32.	0,215	3852	135,8		
33.	0,195	3487	143,7		
34.	0,180	3214	145,7		
1.	0,202	3610	138,2	Metoda regimului permanent.	
2.	0,391	6995	93,1		
3.	0,542	9684	81,8		
4.	0,608	10882	77,2		
5.	0,705	12608	72,3		
6.	0,956	17094	61,7		



CAPITOLUL 6. ANALIZA REZULTATILOR MASURARILOR  
SI DEZAMBIENIIOR SPECTURALE IN LABORATOR.  
DOMENIU DE APLICABILITATE SI LIMITILE  
METODEI WIGLIANDI REPTANAL NT.

Coefficientii de pierderi  $\zeta$  determinați în laborator pentru rezistențele locale studiate corespund, în marea lor majoritate domeniului de curgere turbulent de tranziție (prepătratic) și o foarte mică parte domeniului de curgere laminar. Regimul de curgere turbulent pătratic nu a putut fi atins (de altfel el nu constituia obiectul lucrării), date fiind dimensiunile limitate de înălțimea sălii laboratorului (4,02 m) și de ceilalți parametri ai instalației ce a putut fi realizată.

Domeniul de variație al numărului Re în curgerile studiate a fost relativ restrâns,  $Re = 930 - 93.123$ , restrângere rezultată din aceleași cauze precum și de faptul că diametrii conductelor de legătură în care s-au montat rezistențele locale studiate au fost, în mod necesar, mai mici de  $\phi = 22$  mm. Cea mai mare viteză medie de curgere ce a putut fi obținută a fost de 4,82 m/s, pentru vana plană cu  $\phi_{nom} = 3/4"$ , în poziția "complet deschis", la care a corespuns o valoare  $Re = 93.123$  (la o temperatură de  $17^{\circ}C$  a lichidului = apă).

Viteze de ordinul 1-5 m/s nu sunt viteze mici pentru conducte industriale cu diametrul de  $3/4"$  (20 mm) ci viteze obișnuite în exploatarea acestor conducte iar regimul de curgere turbulent de tranziție (prepătratic) care corespunde acestor viteze) este de asemenea regimul lor normal de funcționare. În adevăr, aplicând criteriile obișnuite de delimitare a regimurilor de curgere în conducte,

$$\zeta < \frac{k_{se} \cdot v^x}{v} < 70, \text{ regim turbulent prepătratic}$$

$$\frac{k_{se} \cdot v^x}{v} > 70, \text{ regim turbulent pătratic}$$

cu notațiile :

$k_{se}$  = rugozitatea echivalentă nisipoasă,

✓.

$v^x$ ) = viteza dinamică sau de frecare,

$$v^x) = \sqrt{\frac{\zeta \rho}{\rho}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\lambda}{2}} \cdot v_m,$$

= coeficientul de rezistență hidraulică al conductei

$v_m$  = viteza medie în secțiune,

se poate ușor arăta că, chiar pentru viteze mari mergând până la 10 m/s (care se întâlnesc foarte rar) pentru conducte din oțel cu  $d_{nom} \leq 100$  mm și de rugozitate mică sau medie, regimul de curgere este cel turbulent prepătratic. În același timp, numărul Re corespunzător vitezei medii de 10 m/s în cazul lichidului apă, la temperatura de 20°C (vâscozitate cinematică  $\nu = 1,03 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ) este :

- pentru o conductă cu  $d = 20$  mm,

$$Re = \frac{v_m \cdot d}{\nu} = \frac{10 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{1,03 \cdot 10^{-6}} = 194.000$$

- pentru o conductă cu  $d = 100$  mm,

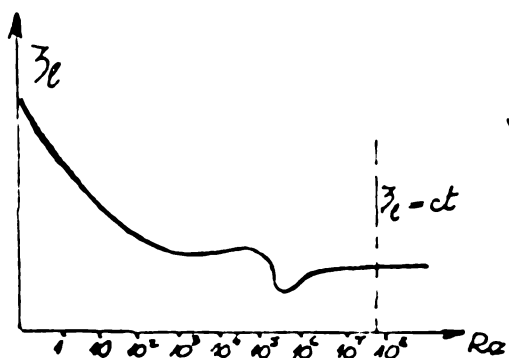
$$Re = \frac{10 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{1,03 \cdot 10^{-6}} = 970.873$$

Acaste considerații urmăresc numai să evedențieze faptul că, în practica curgerii lichidelor prin conducte de diametre relativ mici  $d = 10 - 100$  mm, marea majoritate a acestora se desfășoară în regimuri turbulente de tranziție, nu în regimul turbulent pătratic în care valorile coeficienților de pierderi  $\zeta$  sînt independente de numărul Re. Astfel fiind, se reliefează și mai clar importanța teoretică și practică a cunoașterii variației lui  $\zeta$  cu Re, în regimurile turbulente tranzitorii (prepătratic).

Din examinarea rezultatelor valorice și a diagrameilor  $\zeta = f(Re)$  trase, se deduce ca o primă caracteristică aceea că dependența lui  $\zeta$  de numărul Re este mai mult sau mai puțin accentuată după tipul constructiv și gradul de "deschidere" al

rezistenței locale ca și după domeniul lui  $Re$  în care s-au făcut determinările lui  $\zeta$ . Acest rezultat este în concordanță atât cu teoria generală cunoscută cât și cu rezultatele experimentale și diagramele obținute până în prezent de diferiți cercetători [4, 11, 12, 23] prin metoda clasică a determinării lui  $\zeta$ , în regim de curgere permanent.

O altă caracteristică arătată de toate diagramele (cu câteva excepții în care domeniul lui  $Re$  este foarte restrâns) este creșterea valorii coeficientului  $\zeta$  cu scăderea lui  $Re$ , respectiv cu apropierea regimului de curgere de cel laminar, caracteristică de altfel bine cunoscută. Cea mai accentuată creștere a lui  $\zeta$  apare în diagrama L 50 (Filtru de motorină CARFIL - Brașov), filtru construit în esență dintr-un bobinaj de spire metalice foarte apropiate unele de altele (tangente), din sîrmă de 1 mm diametru, printre care lichidul este silit să treacă în operația de "filtrare". De la valoarea  $\zeta = 61,11$  pentru  $Re = 17.842$ , se ajunge la  $\zeta = 145,68$  pentru  $Re = 3214$ , ceea ce reprezintă o creștere de 133,39 %, în apropierea intrării în regimul laminar de curgere. Această creștere rapidă a lui  $\zeta$  este cunoscută și la rezistențele locale formate din grătare de bare [11, 23]. În Fig. 9... este reprodusă după [11] variația generală a lui  $\zeta$  în raport cu  $Re$  pentru un grătar format din bare rare (fără precizarea dimensiunilor ochiurilor și a diametrelor barelor), într-un domeniu foarte larg de variație a lui  $Re$  care acoperă toate cele trei regimuri de curgere.



Variația coeficientului  $\zeta_c$  cu  $Re$  la un grătar cu bare cilindrice rare

Fig 9

labora-  
"minimum"  
care  
nziție  
e număr-  
ezintă o  
iv dar  
ctuarea

de măsurători și la stînga și la dreapta domeniului lui  $Re$  care a putut fi abordat, alina diagramii  $\zeta$  s-ar fi curbat la ambele capete.



Se menționează că, pentru cele patru rezistențe locale studiate în laborator, nu s-au putut determina valorile lui  $\zeta$  corespunzătoare regimului de curgere turbulent pătratic, deoarece nu s-au putut realiza vitezele de curgere foarte mari necesare (în jurul a 12-15 m/s), prin nicio instalație disponibilă în laborator.

Evaluarea erorii relative maxime în determinarea valorilor lui  $\zeta$  prin aplicarea formulei

$$\zeta = \frac{2g(h_1 - h_2)}{v^2} - 1 + \frac{2}{v^2} \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \left[ \frac{\Delta A}{s} (h_1 + h_2) + l \right]$$

Se notează  $X_1 = \frac{2g(h_1 - h_2)}{v^2}$  și  $X_2 = \frac{2}{v^2} \frac{\Delta v}{\Delta t} \left[ \frac{\Delta A}{s} (h_1 + h_2) + l \right]$

și se scrie

$$\zeta + 1 = X_1 + X_2 \quad (5.1)$$

Deoarece experimentele au arătat că  $X_2$  (termenul inertial corector) nu reprezintă decât un procent foarte mic din  $X_1$  (în majoritatea cazurilor mai puțin de 1%) se va calcula numai eroarea relativă asupra lui  $X_1$  neglijându-se eroarea asupra lui  $X_2$  sau considerându-se eroarea procentuală asupra lui  $X_2$  egală, aproximativ, cu cea asupra lui  $X_1$ .

Prin aplicarea logaritmului natural asupra lui  $X_1$  și diferențiere, se obține :

$$\ln X_1 = \ln(2g) + \ln(h_1 - h_2) - 2 \ln v$$

$$\frac{dX_1}{X_1} = \frac{d(2g)}{2g} + \frac{d(h_1 - h_2)}{h_1 - h_2} - 2 \frac{dv}{v}$$

Trecând la diferențe finite și schimbând semnul negativ al ultimului termen pentru a avea eroarea maximă, rezultă :

$$\left[ \frac{\Delta X_1}{X_1} \right]_{\max} = \frac{\Delta(2g)}{2g} + \frac{\Delta(h_1 - h_2)}{h_1 - h_2} + \frac{2\Delta v}{v} \quad (5.2)$$

max

$$\text{Dar } v = \frac{s}{\Delta A} U \quad \text{și} \quad \frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta \Delta A}{\Delta A}$$

$$U = \frac{\Delta H_2}{\Delta t} = \frac{\Delta h_2}{\Delta t}, \quad \frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta(\Delta h_2)}{h_2} + \frac{\Delta(\Delta t)}{\Delta t}$$

Cu acestea se obțin pentru valoarea maximă a lui  $\frac{\Delta X_1}{X_1}$ :

$$\left[ \frac{\Delta X_1}{X_1} \right]_{\max} = \frac{\Delta(2g)}{2g} + \frac{\Delta(h_1 - h_2)}{h_1 - h_2} + 2 \left[ \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta \Delta A}{\Delta A} + \frac{\Delta(\Delta h_2)}{\Delta h_2} + \frac{\Delta(\Delta t)}{\Delta t} \right] \quad (6.3.)$$

Cu valorile :

$$\frac{\Delta(2g)}{2g} \approx 0 \quad (\text{accelerația gravitațională constantă})$$

$(h_1 - h_2)_{\max} \approx 3 \text{ m}$  (diferența maximă între nivelurile din cele două recipiente  $R_1$  și  $R_2$ , în momentul executării primei fotografii)

$(h_1 - h_2)_{\min} \approx 0,4 \text{ m}$  (diferența minimă de nivel la care "a rețina" sub care are loc curgerea pe un interval  $\Delta H_2 = \Delta h_2$  mai poate fi considerată încă aproximativ constantă, cu eroare acceptabilă, fapt dedus din experiențele efectuate)

$$\text{Apoi : } \Delta(h_1 - h_2)_{\max} = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m (verificat experim.)}$$

$$\Delta(h_1 - h_2)_{\min} = 0,2 \text{ mm} = 0,0002 \text{ m}$$

cu care se obține

$$\frac{\Delta(h_1 - h_2)_{\max}}{(h_1 - h_2)_{\max}} = \frac{0,001}{3} = 0,00033$$

$$\frac{\Delta(h_1 - h_2)_{\min}}{(h_1 - h_2)_{\min}} = \frac{0,0002}{0,4} = 0,0005$$

./.

Pentru erorile de măsurare ale suprafețelor secțiunilor S și  $\delta_A$  s-a găsit  $\frac{\Delta S}{S} = 0,005$  și  $\frac{\Delta \delta_A}{\delta_A} = 0,005$ .

Așa cum s-a arătat în Cap.5, pentru determinarea ariei secțiunilor S și  $\delta_A$  nu s-au făcut măsurători directe de diametri ci s-au aplicat metode de măsură volumetrică și de cântărire, mult mai precise.

Apoi :

$$\left[ \frac{\Delta (\Delta h_2)}{\Delta h_2} \right]_{\max 25 \text{ mm}} = \frac{0,1 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} = 0,004 \text{ care este eroarea}$$

relativă de citire asupra celui mai mic interval  $\Delta h_2 = \Delta H_2 = 25 \text{ mm}$ .

$$\left[ \frac{\Delta (\Delta t)}{\Delta t} \right]_{\max 10 \text{ sec.}} = \frac{0,1 \text{ sec.}}{10 \text{ sec.}} = 0,01 \text{ care este eroarea re-}$$

lativă la măsurarea celui mai mic interval de timp  $\Delta t = 10 \text{ sec.}$   
Cu toate valorile de mai sus, se obține introducând în (6.3) :

$$\left[ \frac{\Delta X_1}{X_1} \right]_{\max} = 0,0005 + 2(0,005 + 0,005 + 0,004 + 0,01)$$

$$\left[ \frac{\Delta X_1}{X_1} \right]_{\max} = 0,0435 = 4,35 \%$$

Deoarece  $X_2$  reprezintă, după cum s-a menționat, mai puțin de  $\frac{1}{2}$  în  $X_1$ , putem scrie

$$\left[ \frac{\Delta (\frac{3}{3+1})}{\frac{3}{3+1}} \right]_{\max} = 4,35 \%$$

Observație importantă. În realitate, eroarea relativă maximă reală, este mai mică decât cea teoretică dedusă mai sus, de cauze :

- o primă compensare de erori de citire asupra lui

!

$h_1 - h_2$  și  $\Delta h_2 = \Delta H_2$  se face cu ocazia trasării diagramei  $H_2 = H_2(t)$ , așa cum s-a arătat în Cap.4 "Tehnica experimentală - aplicarea metodei de calcul cu diferențe finite pentru determinarea coeficientului de pierderi în regimul nepermanent", diagrama respectivă, compensând prin modul ei de trăsare, o mare parte din erorile pozitive cu cele negative făcute asupra lui  $H_2$  (și deci și  $h_2$ ) precum și asupra lui  $h_1 - h_2$  și  $\Delta h_2 = \Delta H_2$  și de asemenea și asupra lui  $\Delta t$ ;

- o altă compensare de erori se face la retrasarea diagramei vitezei  $U = U(t)$ , așa cum s-a arătat tot în Cap.4, retrasare care se răsfrînge favorabil și asupra erorilor relative  $\frac{\Delta V}{V}$  din termenul  $X_2$ .

Ca urmare, față de valorile lui  $\xi$  calculate (pentru verificare) și prin metoda regimului permanent, nu s-au găsit abateri singulare mai mari de 3% la valorile calculate prin aplicarea metodei regimului nepermanent, prezentată în această lucrare.

#### Domaniul de aplicabilitate și limitele metodei regimului nepermanent.

S-a arătat în teoria metodei (Cap.2) că aplicabilitatea în practică a metodei regimului nepermanent este legată de îndeplinirea următoarelor condiții în construcția și funcționarea instalației :

1. Regim laminar de curgere în recipientele  $R_1$  și  $R_2$  ceea ce impune ca între secțiunile  $S_A$  și  $S$  (ale conductei de legătură respectiv ale recipientelor), să existe relația  $S_A \ll S$ .

2. Între vitezele medii de curgere  $U$  și  $V$  să existe de asemenea relația  $U \ll V$ .

3. Regim turbulent în conducta de legătură  $A_1A_2$  cu pierderile energetice concentrate în rezistența locală și anexe sale, montate în această conductă. Această impune ca raportul între recipientul  $R_1$  și conducta de legătură să fie

./.

făcut printr-un ajutoraj concidal (confuzor) în care pierderea de sarcină să fie neglijabilă prin raport cu cea din rezistența locală (ceea ce s-a și realizat prin ajutorajul  $A_{jc}$ , Fig.3) ; de asemenea, la intrarea vinei lichide în  $R_2$ , energia cinetică și de turbulență a acesteia să fie disipată cât mai rapid (realizat prin disipatorul de energie  $D_1$ , Fig.3).

Condiția  $\delta_A \ll \delta$  conduce la condiția ca diametrul  $D$  al recipientelor  $R_1$  și  $R_2$  să fie mult mai mare decât cel al conductei de legătură.  $D \gg d$ .

Un raport potrivit între aceste diametre s-a găsit că este  $D = 20 \cdot d$ . De aici rezultă imediat o limitare a dimensiunilor posibile a instalației aici, dacă de ex.  $d = 100$  mm, rezultă  $D = 2000$  mm ceea ce este deja un diametru de mari proporții pentru recipientele  $R_1$  și  $R_2$ . Dacă  $d = 500$  mm, rezultă  $D = 10$  m ceea ce este prohibitiv pentru realizarea instalației mai ales dacă se ține seama că înălțimea lui  $R_1$  trebuie să fie și ea de cea 5 m pentru a se putea asigura o gamă de viteze de curgere suficient de largă, prin rezistența locală montată în instalație.

Pentru ca instalația să nu devină prea costisitoare (diametrul  $D$  să nu depășească 2 m), diametrul nominal al rezistenței locale de studiat nu trebuie să depășească  $d = 100$  mm ceea ce este insuficient pentru rezistențele locale (în special vane de comandă și reglaj) din conductele de transport și de distribuție a lichidelor.

Totuși o soluție se poate găsi și pentru aceste cazuri prin utilizarea teoriei modelului, construindu-se pentru rezistențele locale cu  $d_{nom} > 100$  mm, modele la scară redusă al căror diametru la conductele de record monte și aval să nu depășească limita de 100 mm.

Evident această metodă conduce, după cum se știe, la erori suplimentare în determinările făcute dar printr-o execuție înrijită a modelului și alegerea judicioasă a parametrilor curgerii, se pot limita aceste erori suplimentare la valori acceptabile.

Avantajul principal al metodei regimului nepermanent în determinarea coeficienților de pierderi  $\zeta$ , constă în rapiditatea și operativitatea sa. Printr-o singură trecere a lichidului între cele două recipiente ale instalației se pot determina 20-40 de valori ale lui  $\zeta$  corespunzătoare unui același număr de trepte de viteză de curgere prin rezistența locală. Durata unei asemenea evoluții experimentale a fost cuprinsă între 5 - 50 de minute pentru experiențele efectuate în laborator, în funcție de gradul de deschidere al rezistenței locale.

Pentru compararea metodei regimului de curgere nepermanent cu metoda clasică a regimului permanent, se consideră o rezistență locală reglabilă (de ex. o vană de reglaj) pentru care se cere determinarea valorilor coeficientului de pierderi  $\zeta$  pentru 25 de poziții de "deschidere" și 20 de trepte de viteză de curgere (între viteza minimă și cea maximă admisă) în regim turbulent de tranziție. Vor fi deci necesare  $25 \times 20 = 500$  de determinări de valori ale coeficientului de pierderi  $\zeta$ .

În metoda regimului nepermanent, cele 25 poziții de deschidere necesită 25 de serii de determinări, o serie corespunzând unei singure poziții a rezistenței locale, în care viteza de curgere trece prin toate cele 20 de trepte de viteză ceea ce se realizează în timpul unei treceri a lichidului din recipientul  $R_1$  în  $R_2$  al instalației. Așa cum s-a arătat în Cap.4, dintr-un asemenea experiment, se pot calcula toate valorile lui  $\zeta$  corespunzătoare seriei respective într-un timp mediu de 80 minute, calculele fiind efectuate cu ajutorul unei mici mașini electronice cu program. Pentru cele 25 de serii de determinări, durata totală va fi deci de aproximativ  $25 \times 80' = 2000$  minute = 33 ore 20 minute, pentru un experimentator și un ajutor (doi oameni).

În metoda clasică a regimului permanent o singură determinare de coeficient  $\zeta$  cu calculele respective, durează în medie 50 minute. Pentru cele 500 de determinări cerute va fi necesară, tot pentru doi oameni (un experimentator și un ajutor), o durată totală de aproximativ  $500 \times 50 = 25.000$  minute = 416 ore 40'. Rezultă că metoda regimului nepermanent, prezentată aici,

./.

este de cea  $\frac{25.000 \text{ minute}}{2.000 \text{ minute}} = 12,5$  ori mai rapidă ceea ce permite realizarea unei apreciabile economii de manoperă de înaltă calificare.

Economia de manoperă ar putea fi încă și mai mare dacă variația nivelului lichidului în recipientul  $R_2$  ar putea fi înregistrată automat și cu mai mare precizie (de ex. 1/50 mm) printr-un dispozitiv (de ex. de tip radar) care să înregistreze direct ridicarea oglinzii lichidului la intervale de timp convenabile, măsurate și acestea cu suficient de mare precizie (de ex. 1/50 sec.) date care să fie transmise direct mașinei electronice de calcul cu program care să lucreze în paralel cu desfășurarea curgerii prin rezistența locală. Metoda ar putea ajunge în acest caz de peste 100 de ori mai rapidă decât cea clasică.

În sfârșit se menționează că metoda de determinare a coeficienților de pierdere prezentată în această lucrare se poate aplica în același mod și coturilor, ramificațiilor, diafragmelor, lărgirilor bruște de secțiune etc., nu numai robinetelor, vanelor, ventililor, valvelor, clapelor și celorlalte organe de comandă și reglaj hidraulic. În particular, în construcția locomotivelor Diesel-hidraulice și Diesel-electrice, rețeaua conductelor de circulație a apei, combustibilului și aerului comprimat însumează o lungime considerabilă de conducte de diametre mici, care au montate un număr mare de rezistențe locale (peste 100 pe o locomotivă) majoritatea fiind robinetași, vane, ventile, supape, filtre, coturi, teuri etc. Curgerile fluidelor în aceste conducte se desfășoară, în marea majoritate a cazurilor, în regim turbulent prețios în care aplicarea metodei prezentată aici ar fi de mare utilitate, valoarea coeficienților de pierdere respectivi, în acest regim, nefiind în general cunoscută decât cu mare aproximație. Prin aplicarea teoriei similitudinii, rezultatele obținute în domeniul lichidelor pot fi extinse și la domeniul aerului comprimat care are desigur o largă aplicare în domeniul construcției de mașini.



## CAPITOLUL 7. C O N C L U Z I I

Cunoașterea valorilor coeficienților de pierderi ale rezistențelor locale în regim de curgere turbulent prepătratic (de tranziție) și mișcare nepermanentă este, în stadiul actual al dezvoltării construcțiilor și dispozitivelor de comandă și reglaj hidraulice, o problemă deosebit de importantă.

În exploatare, marea majoritate a curgerilor lichidelor în conduite de secțiuni mici și mijlocii (uneori și în cele de secțiuni mari) se desfășoară în regimul de curgere turbulent de tranziție în care, după cum este cunoscut, coeficienții de pierderi  $\zeta$  depind nu numai de forma constructivă a rezistenței locale ci și de valoarea numărului  $Re$  a curgerii.

Utilizarea valorilor cunoscute ale lui  $\zeta$  din regimul turbulent pătratic (unde  $\zeta$  este independent de  $Re$ ) în locul valorilor corespunzătoare din regimul prepătratic, poate duce la erori importante în proiectarea dispozitivelor hidraulice, diferențele între valorile lui  $\zeta$  din cele două regimuri de curgere ajungând în unele cazuri la mai mult de 100 %. Acest lucru a fost verificat și cu ocazia unor studii de instalații de alimentare cu apă în laboratorul hidrotehnic al Institutului Politehnic Dr. I. V. I. din Timișoara.

Cum s-a arătat și în Cap. I, dacă valoarea lui  $\zeta$  trebuie cunoscută cu o precizie mai mare, chiar pentru o rezistență locală de o construcție bine cunoscută, standardizată, nu se poate aprecia drept exactă nici valoarea dată într-un manual, îndreptat sau chiar în catalogul fabricii constructoare care poate fi considerată a fi numai orientativă. În acest caz trebuie făcute "ad hoc" măsurători asupra rezistenței locale în cauză, în condițiile regimului de curgere efectiv în care ea urmează să funcționeze. Când acest regim va fi cel turbulent prepătratic (cum se întâmplă în majoritatea cazurilor pentru dispozitivele de comandă și reglaj hidraulic și pentru conductele de secțiune mică și mijlocii), trebuie determinate mai multe valori ale lui  $\zeta$  și chiar curbele  $\zeta = f(Re)$ , în domeniul respectiv de variație al lui  $Re$  și acestea pentru un



număr suficient de mare de "poziții de deschidere" ale rezistenței respective, așa cum arată lucrarea de față.

Rezultă de aci necesitatea efectuării unui mare număr de măsurători pentru determinarea valorilor lui  $\xi$  ce vor servi la trasarea diagramelor  $\xi = f(Re)$  și deci un mare consum de timp și manoperă de înaltă calificare. Tocmai în această direcție, metoda regimului nepermanent oferă avantaje deosebite față de metoda clasică a regimului permanent așa cum s-a arătat pe larg în Cap.6.

Rezumând, se pot pune în evidență următoarele concluzii :

1. Cele 1130 de încercări și determinări efectuate în laboratorul de hidrotehnică al Catedrei C.H.T. a Institutului Politehnic Traian Vuia Timișoara au demonstrat că ambele metode, cea a regimului permanent și a regimului nepermanent dau, practic, aceleași rezultate la determinarea valorilor coeficienților de pierderi ai rezistențelor locale.

Ca urmare condițiilor impuse parametrilor instalației în metoda regimului nepermanent, curba vitezei de curgere prin rezistența locală  $V = V(t)$  variază foarte lent ceea ce face ca și valorile termenului inertial corector din formula lui să fie foarte mici (în general sub  $1/100 \cdot \xi$  ).

2. Metoda regimului nepermanent care face obiectul acestei lucrări prezintă în primul rând avantajul important al rapidității. Așa cum s-a arătat în Cap.6 durata trasării unei diagrame  $\xi = f(Re)$  poate fi redusă de peste 10 de ori prin aplicarea acestei metode în comparație cu metoda clasică a regimului permanent, chiar fără aplicarea automatizării.

3. Metoda regimului nepermanent elimină (ca nefiind necesare) măsurătorile de debite în operațiile de determinare a valorii coeficienților  $\xi$ , măsurători incomode care sînt indispensabile în metoda regimului permanent.

4. Subliniind importanța regimurilor de curgere transitorii (preparative) și nepermanente ca fiind cele mai des întâlnite în practica dispozitivelor de comandă și reglaj

hidraulice ca și în exploatarea conductelor de secțiuni mici și mijlocii, rezultatele obținute în determinarea valorilor coeficienților  $\zeta$  pentru rezistențele locale prin aplicarea metodei regimului nepermanent evidențiază necesitatea introducerii curbelor de variație  $\zeta = f(Re)$  în proiectarea instalațiilor și dispozitivelor hidraulice, în locul valorilor singulare cu care se lucra până în prezent. Aceasta va conduce la soluții mai exacte, mai eficiente și de un preț de cost mai scăzut.

5. Caracterul operativ al metodei regimului nepermanent, în special atunci când se asociază și o mașină electronică de calcul pentru calculele relativ simple cerute de aplicarea ei, oferă posibilitatea studierii și profilării hidraulice a aparatelor de obturare și reglaj, inclusiv o mai bună proiectare a instalațiilor aferente, cu aplicații în orice domeniu al construcției de mașini unde se utilizează dispozitive de comandă și reglaj hidraulic.

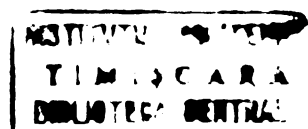
Dată fiind aplicabilitatea practică a metodei de măsurare în regim nepermanent și posibilitatea de valorificare a ei de către țara noastră și pe plan extern, s-au făcut și formele de brevetare a metodei și dispozitivului prin OSIM București, titularul brevetului fiind Institutul Politehnic Traian Vuia Timișoara.

B I B L I O G R A F I E

1. ALBERT G., Modelle und Beschreibungen von Filtrationsvorgängen: Filterwiderstand, Vortragsreihe mit Erfahrungsaustausche über spezielle Fragen der Wassertechnologie - Filtration, Engler Bunte Institut der Universität Karlsruhe, Heft 5 - 1971.
2. ALBRING W., Angewandte Strömungslehre, 2 Auflage, Leipzig, Steinkopf Verlag, 1962.
3. ALEXANDRESCU F., NECULA ST., Conducătoare și armături, Editura tehnică, București, 1963.
4. ALTSUL A.D., Ghidrauliceskie soprotivlenia, Moskova, Nedra, 1970.
5. ANTON V., Culegere de probleme de hidraulică, Timișoara, Litografia IPT, 1955.
6. ARONOVICI V.V., Slobodkin M.S., Armături de reglare și de închidere, traducere din limba rusă, București, Editura tehnică, 1955.
7. ARSENIU D., Contribuții la calculul hidraulic al castelelor de echilibru, teză de doctorat, IPT Timișoara, 1974.
8. BENEDICT R.P., CARLUCCI N.A., Handbook of specific losses in flow systems, New - York, Plenum Press, 1966.
9. BRUN E.A., MARTINOT - LAGARDE A., MATHIEU J., Mécanique des fluides, Tome III, Paris, Dunod, 1970.
10. CHISELEV P.G., Indreptar pentru calcule hidraulice, traducere din limba rusă, București, Editura energetică de stat, 1953.
11. CIOC D., Hidraulica, București, Editura didactică și pedagogică, 1973.
12. CIOC D., și colaboratori, Hidraulică, culegere de probleme, București, Editura didactică și pedagogică, 1973.
13. CLARK W.I., Flow Measurement, Oxford, Pergamon Press, 1965.

14. COMOLET R., Mécanique expérimentale des fluides, Tome II, Paris, Masson, 1963.
15. CREȚU I., SOARE A., DAVID V., OSNEA R., Probleme de hidraulică, București, Editura tehnică, 1973.
16. DUMITRESCU D., RAZVAN E., Disiparea energiei și disipatori de energie, București, Editura tehnică, 1972.
17. DÜRR A., WACHTER O., Hydraulische Antkriebe und Druckmittelsteuerungen an Werkzeugmaschinen, München, Karl Hausen Verlag, 1954.
18. ECK E., Technische Strömungslehre, Berlin, Heidelberg, New-York, Springer Verlag, 1966.
19. FRANK J., Nichtstationäre Vorgänge in den Zuleitungs und Ableitungskanälen von Wasserkraftwerken, 2 Auflage, Berlin, Göttingen, Heidelberg, Springer Verlag, 1957.
20. GHEORGHIU V., ANTON VIORICA, Contribuție la aplicarea teoremeilor impulsului în regimul permanent al mișcării monodimensionale, Fuletinul științific și tehnic al I.P.T., Tomul 2 (16), Fascicola 1, 1957.
21. GHEORGHIU V., NICOLAE T., BOERIU P., RĂCELESCU E., Contribuții la cercetarea efectului de curbură în coturile conductelor, Fuletinul științific și tehnic al I.P.T., Seria construcții, Tom 17 (31), Fascicola 1, 1972.
22. GUREVICI P.D., Osnovi raseta truboprovodnoi armaturi, Moskva, Maggis, 1956.
23. IDELCIK I.F., Spravočnik po gidravličeskim soprotivleniam, Moskva, 1975.
24. ITO H., IMAI K., Energy Losses at 90° Pipe Junctions, Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol.99 No HY9, Sept., 1973.

. / .



25. KAPUKE E., Differentialgleichungen, Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft, 1962.
26. KIRCHPACH H., Taschenrechner Hydraulik, Stuttgart, Franke-Verlagshandlung, 1961.
27. LEWIS E.E., STERN H., Sisteme automate hidraulice, traducere din limba engleză S.U.A., Bucuresti, Editura tehnică, 1968.
28. LCITIAŃSKI L.G., Mechanika jidkosti i gaza, Moskva, Izdatel'stvo "Nauka", 1970.
29. MATRESCU Cr., Hidraulica, Bucuresti, Editura didactică și pedagogică, 1963.
30. MĂRUTĂ Al., Citeva aspecte ale problemei pierderilor de sarcină în obstrucții cu bare ale secțiunilor de curgere, Hidrotehnica, Vol.5, Nr.1-2, 1960.
31. NEUNASS E., Praktische Strömungslehre, Berlin, VE B Verlag, 1967.
32. ONZIANX R., FERRIER J., Mécanique des fluides appliquée, Paris, Dunod, 1966.
33. FIGOTT R.J.S., Losses in pipe and fittings, Transactions American Society Mechanical Engineers, 79, 1957.
34. POLLMAN F., Calculating pressure - drop in hydraulic hose, Hydraulics and Pneumatics, Febr. 1968, pag. 90-95.
35. POPESCU I.L., Mișcări nepermanente în hidrodinamica plană, Bucuresti, Editura didactică și pedagogică, 1967.
36. POPOV S.O., Strömungstechnisches Messwesen, Übersetzung aus Russisch, Berlin, Verlag Technik, 1960.
37. PRANDTL L., Führer durch die Strömungslehre, 6 Auflage, Braunschweig, Vieweg, 1965.
38. PRESS H., SCHRODER R., Hydromechanik im Wasserbau, Berlin, Ernst und Sohn, 1966.

39. PRESS H., Stensenlagen und Wasserkraftwerke, Teil III, Wasserkraftwerke, 2 Auflage, Berlin, München, Wilhelm Ernst und Soh, 1968.
40. RICHTER H., Rohrhydraulik, 3 Auflage, Berlin, Göttingen, Heidelberg, Springer Verlag, 1962.
41. SANSONE H., Obicovenzie differentialnie uravnenia, Moskva, 1954 (traducere din limba italiană după : Sansone H., Equazioni differenziali nel campo reale, Bologna, 1949).
42. SCHLAG A., Hydraulique générale, Paris, Dunod, 1963.
43. SCHLICHTING H., Grenzschichttheorie, 4 Auflage, G.Breun Verlag, Karlsruhe 1959.
44. STREETER L., V., Handbook of Fluid Dynamics, Mc Grow - Hill, New York, Toronto, London, 1961.
45. TARSIS M.S., Kontroli gidrovlicheskih soprotivlenii, Moskva, Masinostroenie, 1966.
46. TROSKOLANSKI A.T., Hydromechanika, Wydanie 3, Warszawa, Wydawnictwa Naukowe - Techniczne, 1969.
47. TRUCKENBRODT E., Strömungsmechanik, Grundlagen und technische Anwendungen, Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, 1968.
48. TRUCKENBRODT E., Hütte I., 29 Auflage, Abschnitt Mechanik flüssiger und gasförmiger Körper, Berlin, Ernst und Sohn, 1968.
49. WISNER P., BRATOSIN D., Asupra dimensionării diaframelor la costelele de echilibru, Hidrotehnica nr.6, 1958.
50. WISNER P., BRATOSIN D., Cercetări asupra pierderii de sarcină în diafragmele costelelor de echilibru, Hidrotehnica, Vol.5. Nr.1-2, 1960.

51. ZARFA ST., Asupra determinării pierderilor de sarcină locale în ramificațiile conductelor sub presiune, Hidrotehnica, Vol.6. Nr.1.,1961.
52. ZARFA ST., Expresia coeficientului de pierdere de sarcină locală la variația bruscă a secțiunii unei conducte circulare în cazul mișcării elicoidale a fluidului, Hidrotehnica, Vol.6. Nr.3, 1961.
53. Manualul inginerului hidrotehnician, București, Editura tehnică, 1969.
54. Colecția de STAS-uri privind armăturile industriale elaborate în R.S.R.