

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMIȘOARA
FACULTATEA DE HIDROTEHNICĂ

STUDIUL INFLUENȚEI PARAMETRILOR
HIDRAULICI ȘI GEOMETRICI AI TUBURILOR CU
PEREȚI ONDULAȚI ASUPRA COEFICIENTULUI
DE REZISTENȚĂ HIDRAULICĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

62.747
181 C

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC
Prof.dr.ing. DAVID IOAN

DOCTORAND
Ș.ling. CHIVEREANU DUMITRU

Timișoara, 1999

CAPITOLUL 1

CONSIDERAȚII ASUPRA APLICAȚIILOR TEHNICE ALE TUBURILOR CU PEREȚI ONDULAȚI

În prezenta lucrare vom înțelege prin “tuburi cu pereți ondulați”, conductele din material plastic și metalice din condiția de asigurare a rezistențelor din punct de vedere static, a flexibilității (la cele din material plastic) și a unui consum redus de material, au o secțiune longitudinală a pereților ondulată, periodică, cu contururi având aceeași înălțime, la intervale regulate.

Acest tip de tuburi este utilizat din ce în ce mai mult în domeniul îmbunătățirilor funciare, pentru irigații subterane și drenaj agricol. Avantajele pe care le prezintă acest tip de tuburi, utilizate în ultimul timp și în alte domenii, pe lângă cel al îmbunătățirilor funciare, impun necesitatea unor studii și cercetări, pe teren și în laborator, pentru îmbunătățirea tehnicilor de calcul și proiectare.

Complexitatea problemelor hidraulice ridicată de funcționarea acestui tip de tuburi a făcut ca până în prezent, acestea să primească soluționări parțiale, nefiind stabilite relații satisfăcătoare între geometria ondulațiilor și pierderile prin frecare, comportarea lor din punct de vedere hidraulic devinând de la comportarea în condițiile rugozităților obișnuite.

1.1 Clasificarea tuburilor cu pereți ondulați.

Se poate face după următoarele criterii:

a) după materialul din care sunt executate:

- metalice (din tablă ondulată);
- din material plastic (PVC);

- din cauciuc.

b) după forma undulațiilor (Fig. 1.1 Pl. I):

- tuburi cu undulații de tip “sinus” (Fig. 1.1 a);
- tuburi cu undulații de tip “dreptunghi” sau “pătrat” (Fig. 1.1 b, c);
- tuburi cu undulații de tip “mixt” (Fig. 1.1 d);
- tuburi fretate, tip Ferrand (Fig. 1.1 e).

c) după tipul undulațiilor:

- drepte;
- elicoidale;
- sinusoidale.

d) după destinație:

- pentru drenaj subteran;
- pentru irigații subterane;
- pentru transport pneumatic;
- pentru tuburi de aspirație și refulare la motopompe;
- pentru lucrări de drenaj la căile rutiere și construcții.

1.2. Caracteristicile geometrice ale tuburilor cu pereți ondulați.

Pentru secțiunea transversală, elementele geometrice caracteristice sunt (Fig. 1.2 Pl. II):

- D_i – diametrul interior;
- D_{vol} – diametrul volumetric;
- D_e – diametrul exterior.

Pentru undulații, elementele geometrice caracteristice sunt (Fig. 1.3 Pl II):

- k - înălțimea undulației;
- l - pasul undulației;
- t - grosimea peretelui tubului.

Planșa I

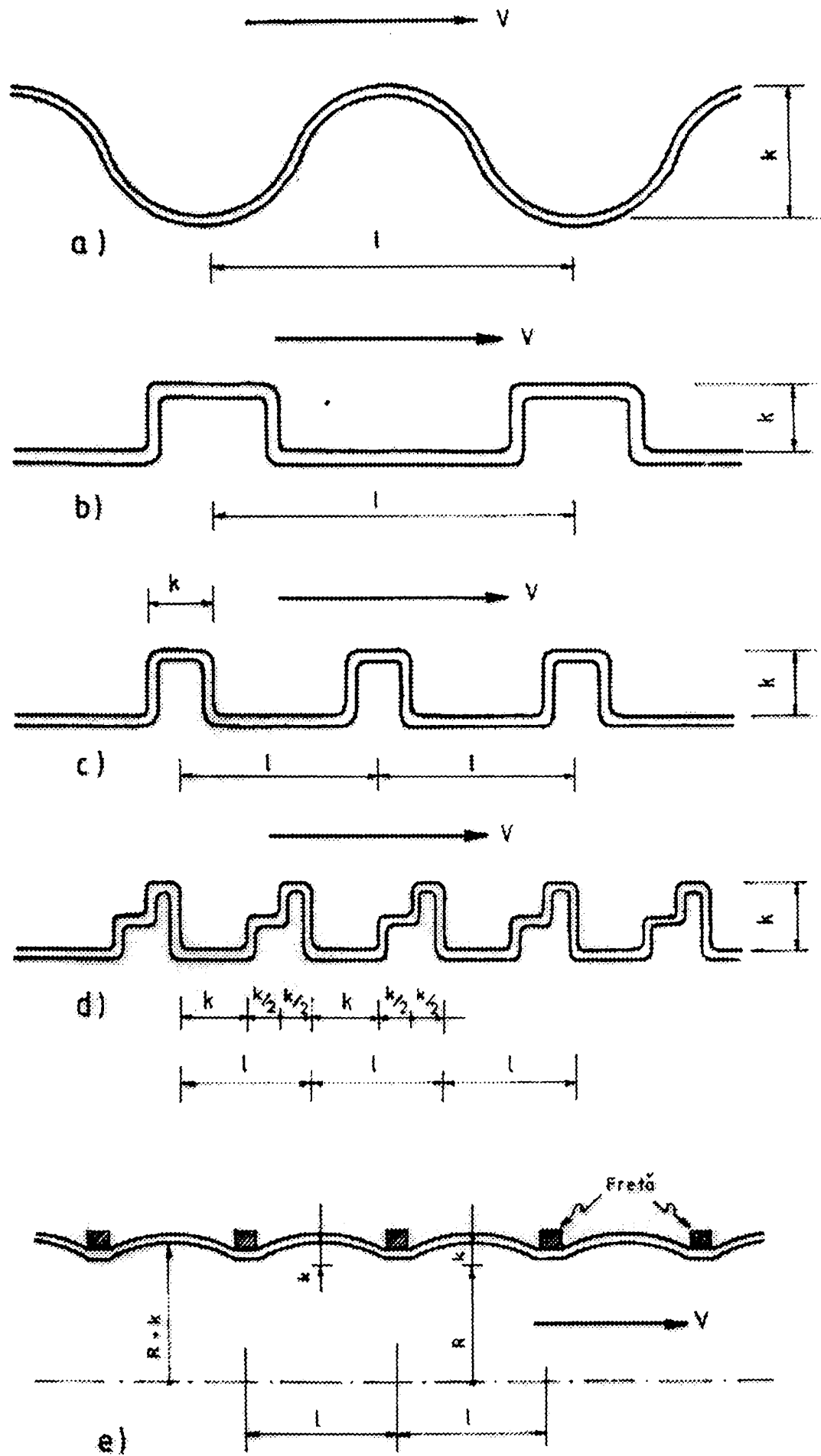


Fig. 1.1 Tipuri de rugozități ondulate (conform textului)

Plasa II

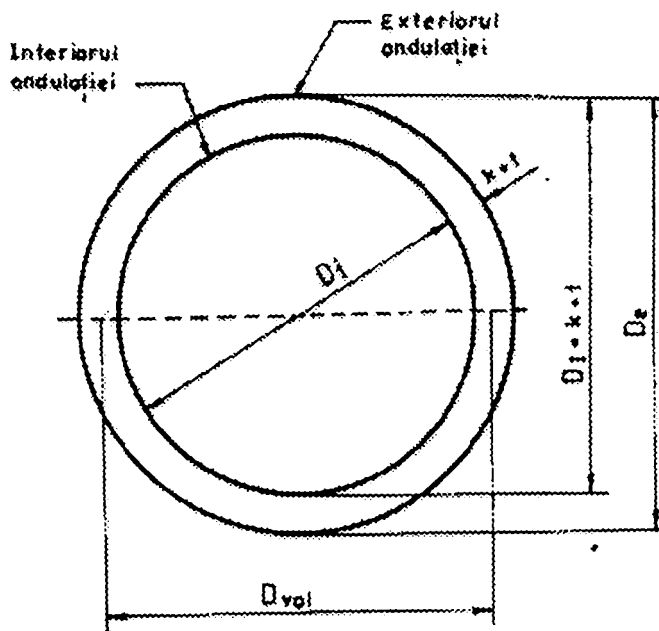


Fig. 1.2 Caracteristicile secțiunii transversale ale tuburilor cu pereți ondulați

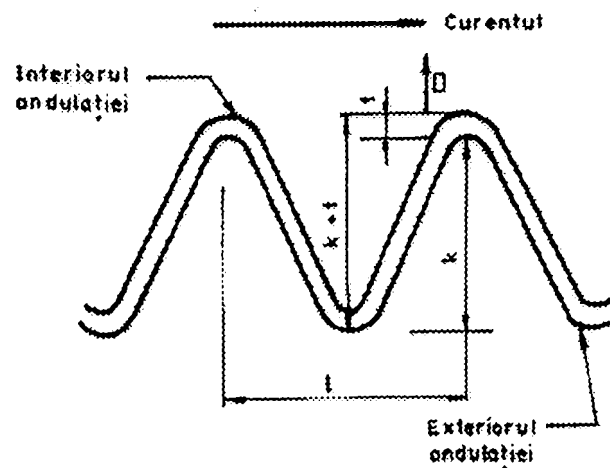


Fig. 1.3 Caracteristicile ondulațiilor tuburilor cu pereți ondulați

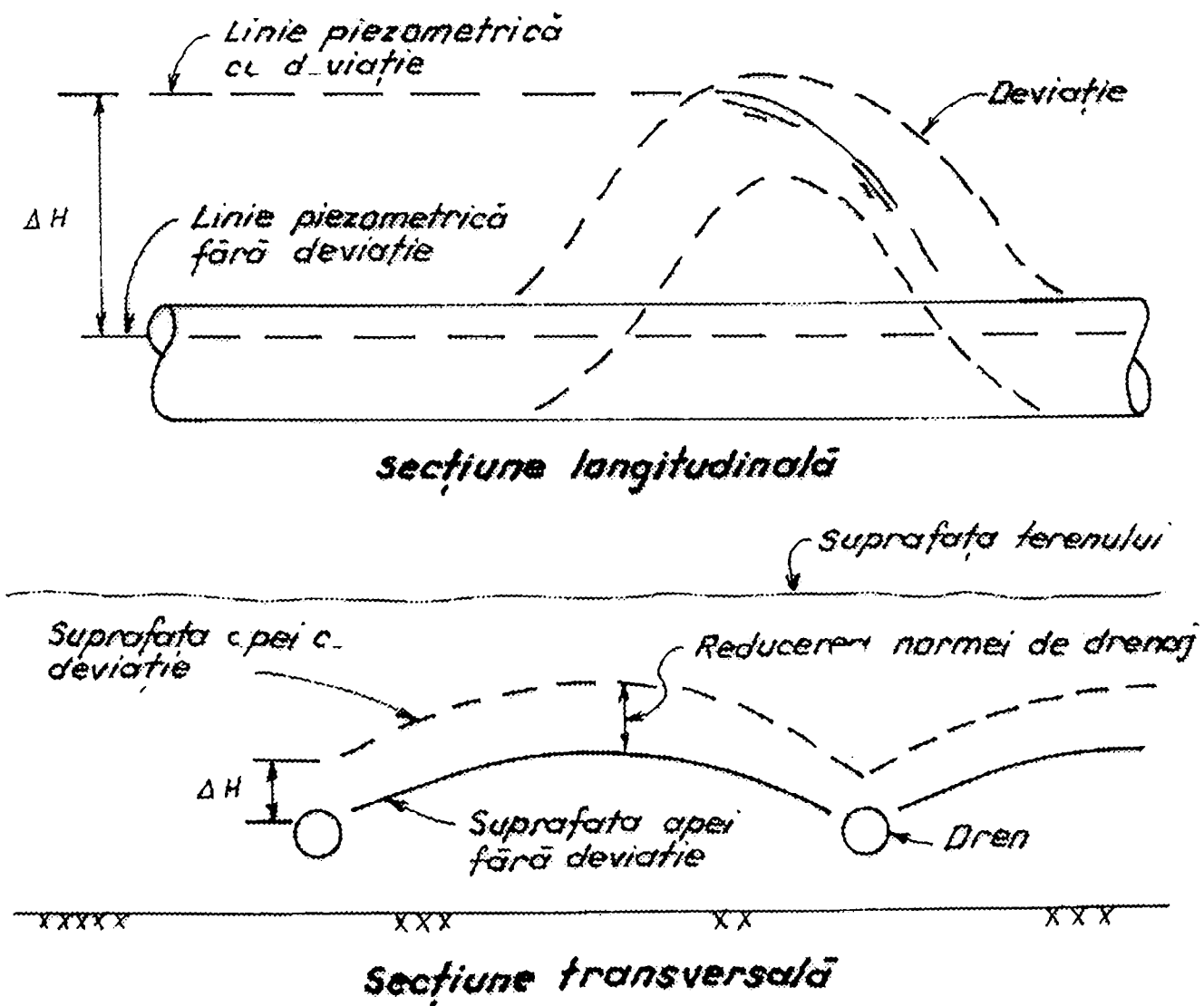


Fig. 2.1 Efectul gradului de deviație asupra drenajului subteran

1.3 Considerații asupra utilizării tuburilor cu pereți ondulați.

Primele informații despre cercetări referitoare la pierderile de sarcină la conducte metalice cu pereți ondulați în Statele Unite datează din 1914 [122], [37]. Cercetări mai extinse au fost făcute la Universitatea Iowa pentru Departamentul Agriculturii din Statele Unite, fiind publicate în 1926, [60], [70]. Rezultatele experimentale efectuate în perioada 1950-1967, [107], [121], [127], [87], [25], [58], au fost sintetizate în [122].

Referitor la tuburile cu pereți ondulați, din material plastic, se poate aprecia că prin introducerea polietilenei la producerea maselor plastice începând din anul 1940, au rezultat schimbări fundamentale în tehnica drenajului agricol. Munca de pionierat în utilizarea tuburilor din material plastic semi – rigid la drenurile agricole începută de către G.O. Schwab în anul 1955 a deschis calea cercetărilor din acest domeniu, culminând cu adoptatarea rapidă după anul 1960 a tuburilor cu pereți ondulați din material plastic [103], [73], [46]. Primele cercetări privind utilizarea tuburilor din material plastic pentru drenaj agricol fuseseră inițiate de fapt în Statele Unite chiar din anul 1940, [43].

Dezvoltarea producerii tuburilor de drenaj în Europa a fost spectaculoasă, estimându-se că începând cu anul 1976, pe aproximativ 85 % din suprafețele drenate subteran se foloseau tuburi cu pereți ondulați. [46].

În Statele Unite, tuburile cu pereți ondulați au fost utilizate în mai mare măsură începând cu anul 1967, Hauck (1971) estimând că în 1970 pe 20 % din suprafețele agricole drenate subteran se foloseau tuburi cu pereți ondulați și că în 1975 procentul va crește la 60 – 70 %. De asemenea se estima că în anul 1971 producția de tuburi cu pereți ondulați în SUA era de 91.5 mil.m.l, cu diametrul cuprins între 100 și 150 mm, [103]. Începând cu anul 1976, industria de producere a tuburilor de drenaj a început tranziția de la tuburile de ceramică și beton către tuburile din material plastic.

Începând cu anul 1975, numai în SUA și Canada, se estima că vor fi instalați anual 152 mil.m.l de tuburi cu pereți ondulați din material plastic, [45].

În Tabelul 1.1 se prezintă suprafețele drenate (x 1000 ha) în lume, după [85].

Tabelul 1.1

Țara și continentul	Suprafața totală	Suprafața agricolă		Suprafața drenată
		cultivată	pășuni și fânețe	
Africa	3.031.181	211.287	792.203	2.398
America de Nord și centrală	2.246.476	272.979	352.739	67.633
America de Sud	1.782.960	89.380	385.087	7.801
Asia	2.754.334	476.738	532.585	31.872
Europa	493.183	143.257	87.839	35.550
Oceania	850.935	47.187	466.055	904
URSS	2.240.220	227.200	365.800	9.039
TOTAL	-	1.468.028	2.992.309	155.197

1.4 Utilizarea tuburilor cu pereți ondulați pentru drenajul agricol din țara noastră.

În țara noastră, suprafața totală amenajată prin drenaj subteran în anul 1980 era de 16.459 ha, tuburile de drenaj folosite fiind ceramică cu diametrul de 50, 70 și 100 mm și din material plastic (PVC), netede și cu pereți ondulați cu diametrul de 50, 60, 63, 75, 90 și 110 mm, produse de I.M.P. Iași și București și I.T.M.M.P. Buzău. Tuburile din material plastic erau produse inițial pentru alte destinații, perforarea lor pentru a fi folosite la drenurile absorbante fiind făcută local de către beneficiari, [73].

Caracteristicile tuburilor cu pereți ondulați din polietilenă de joasă presiune fabricate de IMP Iași și București sunt date în Tabelul 1.2, [73].

Tabelul 1.2

Diametrul (mm)	Grosimea peretelui (mm)	Greutatea (kg/ml)	Lungimea (ml)
50	0.4 - 0.5	0.121	20 - 30
60	0.4 - 0.5	0.185	20 - 30

Din anul 1975, la Intreprinderea de Tâmplărie Metalică și Mase Plastice Buzău (I.T.M.M.P.) a început să fie fabricat tubul cu pereți ondulați cu diametrul exterior de 110 mm, cu caracteristicile din Tabelul 1.3, [102], [73], iar ulterior și cu diametrul de 50 și 80 mm, cu caracteristicile date în Tabelul 1.4.

Tabelul 1.3

D _{ext} (mm)	D _{int} (mm)	Grosimea peretelui (mm)	Greutatea (g/ml)	Nr. rânduri perforații	Dist. dintre perforații	Nr. perf. pe rând și m.l.
1	2	3	4	5	6	7
110	96	0.6 - 0.7	440	16	2.5	40

Nr. perf. pe m.l.	Dimensiuni nile perf. (mm/mm)	Supr. perf. (mm ²)	Secțiunea perforată (cm ² /ml)	Înălțimea ondulației (mm)	Dist. dintre ondulații (cm)
8	9	10	11	12	13
640	1/5	5	32	7	2.5

Tabelul 1.4

(Conform NTI nr. 8500 – 1980)

Caracteristici	U.M.	Φ 50 mm	Φ 80 mm
Diametrul exterior	mm	50.5 ± 1.5	80.5 ± 1.5
Grosimea peretelui	mm	0.5 ± 0.2	0.7 ± 0.2
Înălțimea ondulației	mm	3	4
Pasul ondulației	mm	5.5 – 6	7.5 – 9
Număr orificii	buc/ml	> 500	> 500
Lățimea perforației	mm	0.7 ÷ 1.2	0.7 ÷ 1.2
Lungimea perforației	mm	4 – 5	4 – 5
Suprafața medie a perforației	cm ² /ml	> 8	> 10
Greutatea medie	kg/ml	0.170	0.325
Lungimea unei role	m	200	100
Preț de vânzare	lei/ml	2.75	4.80

Pentru perioada 1976 –2000 erau prevăzute lucrări de îmbunătățiri funciare pe suprafețele din tabelul 1.5. [123], [73], în mii ha.

Tabelul 1.5

Perioada	Irigații	Combaterea eroziunii solului	Desecări	Drenaj subteran	Nivelări capitale
1976-1980	1.000	1.000	1.313	60	700
1981-1985	1.000	1.050	1.100	100	700
1986-1990	1.000	1.050	1.100	150	700
1991-1995	300	1.050	100	300	50
1996-2000	-	-	-	500	-
după 2000	-	-	-	900	-

Deși după anul 1990 acest program a fost întrerupt, datele conținute arată care ar fi necesitățile pentru țara noastră în acest domeniu.

CAPITOLUL 2

STADIUL ACTUAL AL HIDRAULICII TUBURILOR CU PEREȚI ONDULAȚI. OBIECTIVELE CERCETĂRII.

2.1 Considerații asupra parametrilor hidraulici și geometrici

2.1.1 Probleme hidraulice ce se pun în legătură cu tuburile cu pereți ondulați utilizate la drenajul agricol.

Din punct de vedere a regimului de mișcare, tuburile de drenaj (absorbante și colectoare), pot funcționa în regim de curgere liberă cu panta i sau sub mică presiune, cu panta hidraulică medie \bar{i} .

Pentru drenurile absorbante, se recomandă proiectarea lor pentru funcționarea lor în regim cu nivel liber, având pante de pozare i cuprinsă între 0.001 – 0.005 (optimă 0.002) [114].

În practică, fie datorită instabilității terenului, fie datorită erorilor de trasare a pantei longitudinale a terenurilor, pot apărea deviații pe verticală de anumite mărimi față de o pantă uniformă, acest lucru modificând condițiile hidraulice de curgere. Ondulațiile pe verticală ale tuburilor modifică panta hidraulică amonte de ondulație, reducând în același timp norma de drenaj, (Fig. 2.1 Pl. II).

Drenurile colectoare se recomandă să se dimensioneze în regim de curgere sub mică presiune, cu pante de pozare “ i ” mai mică decât la drenurile absorbante (dar minimum 0.0005). Panta hidraulică medie \bar{i} la drenurile absorbante se alege în limite mai largi cu condiția asigurării normei de drenaj și în funcție de configurația terenului și adâncimea drenurilor colectoare (Fig. 2.2 Pl. II).

Pentru regimul uniform de curgere în tuburile de drenaj, ecuația generală a debitului transportat poate fi scrisă sub forma:

$$Q = c^{-1/\beta} \cdot d^{\alpha/\beta} \cdot i^{1/\beta} \quad (2.1)$$

în care:

Q – debitul transportat;

d – diametrul tubului;

i – panta de pozare a tubului;

α, β - coeficienți funcție de tipul tubului.

Debitul drenului absorbant variază pe lungimea lui, crescând de la valoarea zero la capătul amonte până la valoarea:

$$Q = qBL \quad (2.2)$$

la capătul aval, relație în care:

q – debitul specific de drenaj;

B – distanța dintre drenurile absorbante;

L – lungimea drenului.

La o distanță x de la capătul amonte debitul va fi:

$$Q_x = qBx \quad (2.3)$$

Din relațiile (2.1) și (2.3) rezultă panta hidraulică:

$$i = \frac{dy}{dx} = cd^{-\alpha} (qB)^{1/\beta} x^\beta \quad (2.4)$$

Integrând ecuația (2.4) rezultă:

$$y = \frac{cd^{-\alpha}}{\beta + 1} (qB)^\beta x^{\beta+1} + const \quad (2.5)$$

Punând condițiile de margine:

$$\begin{aligned} x=0 & \quad y=0 \\ x=L & \quad y=H \end{aligned} \quad (2.6)$$

rezultă:

const = 0 și

$$H = \frac{cd^{-\alpha}}{\beta + 1} (qB)^\beta L^{\beta+1} \quad (2.7)$$

Panta hidraulică medie $\bar{i} = \frac{H}{L}$ va fi :

$$\bar{i} = \frac{cd^{-\alpha}(qB)^{\beta}L^{\beta}}{\beta+1} \quad (2.8)$$

sau lungimea drenului absorbant:

$$L = (\beta+1)^{1/\beta} \frac{c^{-1/\beta}d^{\alpha/\beta}}{qB} \bar{i}^{-1/\beta} \quad (2.9)$$

Debitul în capătul aval al drenului pentru curgerea sub mică presiune cu panta hidrolică medie \bar{i} va fi:

$$Q_{aval} = qBL = (\beta+1)^{1/\beta} c^{-1/\beta} d^{\alpha/\beta} \bar{i}^{-1/\beta} \quad (2.10)$$

Din compararea relațiilor (2.1) și (2.10) rezultă că pentru a avea același debit în capătul aval al drenului în cele două regimuri (curgere liberă și curgere sub mică presiune), pentru același tip de tub, trebuie ca:

$$\bar{i}^{-1/\beta} = \frac{i^{1/\beta}}{(\beta+1)^{1/\beta}} \quad (2.11)$$

Pentru tuburile de drenaj cu pereți ondulați, Wesseling și Homma [116] propun pentru debitul transportat la plin în regimul de curgere liberă relația:

$$Q_u = 22 \cdot d^{2.667} \cdot i^{-0.5} \quad (2.12)$$

iar pentru debitul transportat în regimul de curgere sub mică presiune, cu panta hidrolică medie \bar{i} , relația:

$$Q_n = 38 \cdot d^{2.667} \cdot \bar{i}^{-0.5} \quad (2.13)$$

din care rezultă pentru tuburile riflate valorile coeficienților α și β : $\alpha=5.33$; $\beta=2$, respectiv

$$Q_n = 1.727Q_u \quad (2.14)$$

ceea ce justifică avantajul evacuării sub mică presiune.

Drenurile colectoare funcționează cu debit constant pe tronsoanele dintre debitele absorbante, pe ansamblu ele funcționând deci tot cu debit variabil.

2.2 Particularități ale curgerii în tuburi cu pereți ondulați.

2.2.1 Rezistența curentului.

Înainte de a analiza influența undulațiilor vor fi prezentate principiile generale ale rezistenței curentului. Coeficientul de rezistență la curenți turbulenți este dat de relația cunoscută:

$$\lambda = f(\text{Re}, k/D) \quad (2.15)$$

Rugozitatea relativă k/D exprimă influența naturii pereților asupra rezistenței curentului. Valoarea k corespunde în acest caz rugozității absolute a pereților. De remarcat însă faptul că stabilirea valorii acestor rugozități care apar în tehnică (rugozități tehnice) este destul de dificilă. O definiție clară a rugozității absolute este posibilă numai atunci când rugozitățile sunt absolut uniforme și atât ca formă, dimensiuni și distanță sunt egale. Acest lucru este posibil în cazul “rugozității nisipului” prin aplicarea granulelor de nisip uniforme. Această rugozitate este utilizată ca măsură a rugozităților tehnice, sub denumirea de rugozitate echivalentă tip nisip. Peste limita $\text{Re}\sqrt{\lambda}k/D = 200$ (Moody) coeficientul de rezistență λ nu mai depinde de Re ci numai de rugozitatea relativă k/D . Acest lucru este valabil pentru tipurile obișnuite de rugozitate.

2.2.2 Influența rugozității. Probleme nerezolvate.

A.J. Reynolds în lucrarea “Curgeri turbulente în tehnică” [97] după ce prezintă metodele utilizate în mod obișnuit pentru efectelor rugozității spune că “rămâne însă un număr important de probleme practice și conceptuale nerezolvate; în cele ce urmează se va prezenta cinci astfel de probleme indicându-se mai ales modul posibil de soluționare fără a putea oferi soluții concrete”.

Dintre acestea vom prezenta pe cele care au legătură cu studiul de față.

Problema 1. “ O determinare corectă a frecării este posibilă numai dacă există date experimentale pentru condițiile de curgere și pereții considerați. Au fost făcute încercări de deducere a frecării suprafețelor rugoase prin adăugarea coeficienților de frecare ai frecării element de rugozitate la frecarea peretelui neted, metodă care s-a dovedit aplicabilă suprafețelor cu nituri rare”.

Acest mod de soluționare a fost încercat și pentru alte rugozități izolate. În lucrarea [69] se prezintă o relație în care coeficientul de rezistență este o sumă între un coeficient pentru regim hidraulic neted din diagrama lui Moody, λ_s , și un parametru care ține cont de efectul rugozităților izolate.

$$\lambda = \lambda_s + (1 + 67.2E) \quad (2.16)$$

Parametrul E este definit astfel:

$$E = C_D \left(\frac{P}{p} \right) \left(\frac{h}{r} \right) \left(\frac{r}{x} \right) = C_D \left(\frac{P}{p} \right) \left(\frac{h}{x} \right) \quad (2.17)$$

în care:

C_D - coeficient de rezistență pentru un element de formă dată;

$\frac{P}{p}$ - raportul între perimetrul udat total al tubului și lungimea

periferică a elementului de rugozitate;

$\frac{h}{r}$ - rugozitatea relativă, în care h este înălțimea elementului de

rugozitate, iar r este raza tubului;

x – distanța longitudinală între elementele de rugozitate.

După Johnson (1959) coeficientul C_D este constant pentru numărul Re până la valoarea 3×10^3 , iar pentru raportul $\frac{P}{p} \cong 1/2$ parametrul E are valoarea

$$E = k \cdot \frac{h}{x} \quad (2.18)$$

iar coeficientul de rezistență este dat de relația:

$$\lambda = \lambda_s + (1 + 67.2 k \frac{h}{x}) \quad (2.19)$$

Pe baza studiilor de laborator a fost determinată valoarea constantei $k=0.609$, obținându-se în final relația:

$$\lambda = \lambda_s + (1 + 40.9 \frac{h}{x}) \quad (2.20)$$

Problema 2. “ Anumite suprafețe cu rugozitate neregulată au caracteristici de frecare complet deosebite de suprafețele cu granule de nisip sau cele întâlnite în mod obișnuit. Pentru astfel de suprafețe frecarea nu poate fi specificată numai printr-o rugozitate echivalentă și formula lui Colebrook – White ca și diagrama lui Moody își pierd utilitatea lor”.

În Fig. 2.3 Pl. III [97] sunt prezentate unele din caracteristicile de frecare care au fost deja întâlnite și analizate.

Tip A. Granule de nisip și alte elemente ascuțite distribuite des. Stratul vâscos este rapid eliminat odată cu creșterea numărului Reynolds și tensiunea este transmisă numai de rezistența inerțială a rugozităților.

Tip B. Denivelări de diverse mărimi, provocate de procesele de execuție sau de îmbătrânire. Stratul vâscos este eliminat în mod gradat și rugozitățile încep progresiv să transmită tensiunea de frecare.

Tip C. Protuberente izolate pe un perete neted. Coeficientul de rezistență la înaintare inerțial, datorită elementelor de dimensiuni mari, ia o valoare aproape constantă, în timp ce coeficientul de frecare al suprafeței de bază continuă să scadă.

Tip D. Adâncituri izolate pe un perete neted. Contribuția acestora crește ușor pe măsură ce stratul vâscos devine mai subțire.

Există tipuri de suprafețe ce nu intră în aceste categorii ca de exemplu:

- (1) Varietăți de geometrii combinând tipurile de mai sus;
- (2) Pereți ondulați cu sau fără rugozitate suprapusă;

- (3) Suprafețe compuse din țevi așezate paralel sau înclinate față de curgera medie;
- (4) Conducte foarte rugoase cu înălțimea rugozității comparabilă cu dimensiunea transversală a curgerii.

Problema 4. “ Curgerea din imediata vecinătate a peretelui joacă un rol preponderent în transferul de căldură și de masă dintre perete și fluid; s-a ignorat însă complet efectul combinat al elementelor rugozitate și al urmelor de strat vâscos. O soluție a acestei probleme va cere decenii de “experimentări sânguincioase.”

În Fig. 2.4 Pl. III [69] se prezintă curgerea lângă un perete pe care sunt fixate bare rectangulare, perpendiculare pe curgera medie.

În interiorul stratului de rugozitate tensiunea de frecare medie variază de la punct la punct, dar efectul global pe o porțiune de suprafață conduce la o valoare a tensiunii de frecare care depinde numai de distanța la perete, dacă aceasta este superioară înălțimii rugozităților. Zona aceasta de curgere aproape paralelă de deasupra stratului de rugozitate se poate deci modela printr-un strat de tensiune constantă definit prin relațiile:

$$\frac{dU}{dy} \approx \tau_w \rho, y \quad (2.21)$$

$$U \approx \ln(y + \varepsilon) \quad (2.22)$$

unde y este măsurat de la o origine convenabilă, iar ε precizează poziția efectivă a peretelui față de această origine.

Planșa III

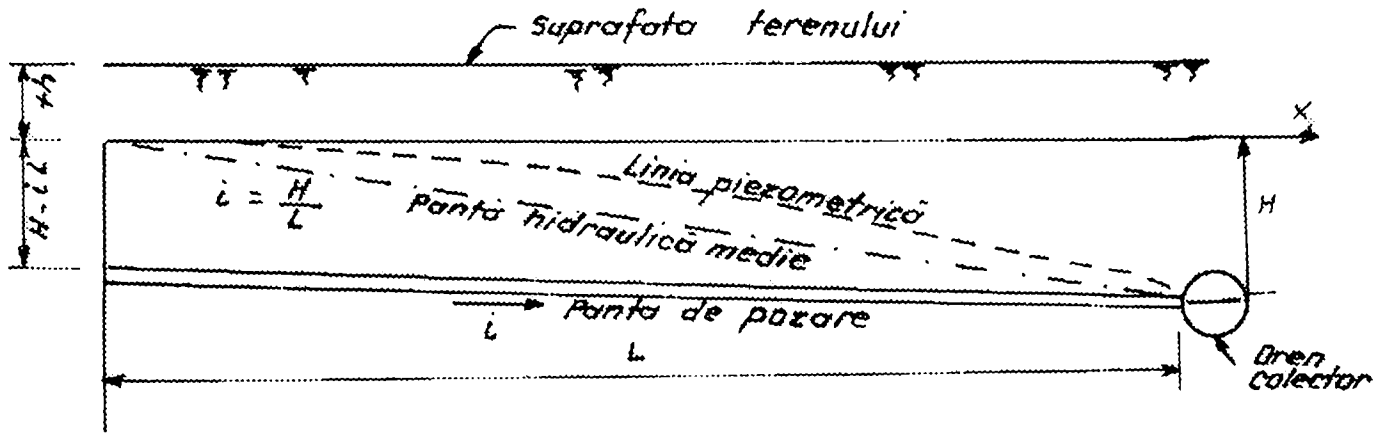


Fig. 2.2 Reprezentarea pantelor pentru drenul absorbant în curgerea sub mică presiune

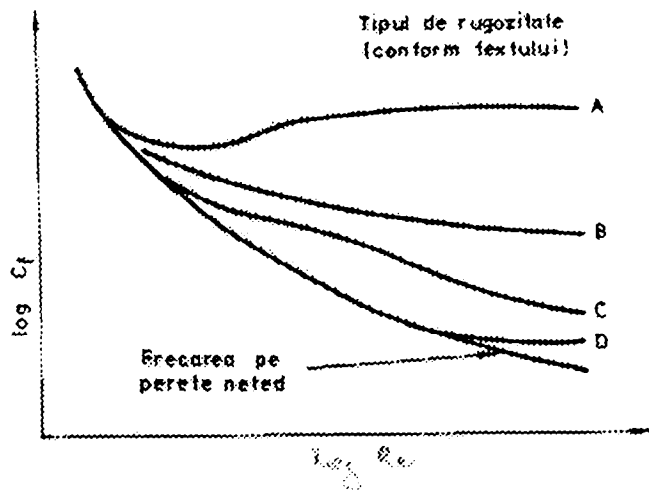


Fig. 2.3 [97] Caracteristicile de frecare corespunzătoare la patru tipuri de geometrie a rugozității. S-a exagerat valoarea relativă a unor coeficienți de frecare pentru a distinge curbele una de alta

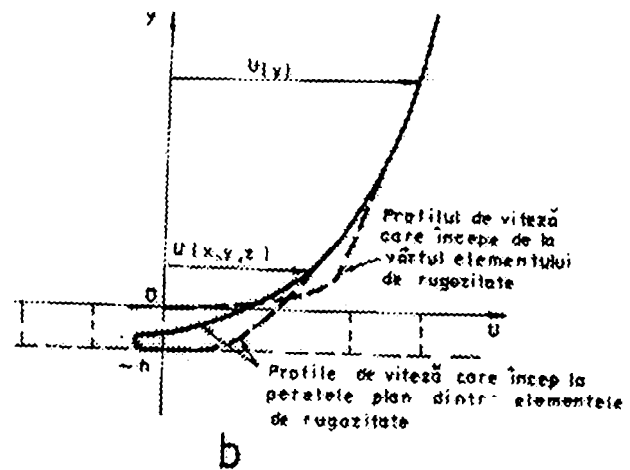
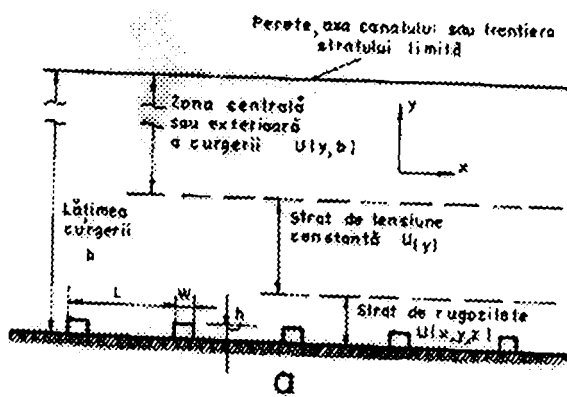


Fig. 2.4 Curgerea lângă perete pe care sunt fixate bare rectangulare, perpendicular pe curgerea medie

a) geometria rugozității

b) distribuția vitezei medii

2.3 Conceptul lui H.M. Morris privind curgerea în condiții rugoase [79], [80], [81].

Acest concept al curgerii în conducte și canale rugoase se bazează pe efectul spațiilor longitudinale dintre elementele de rugozitate și asociate lor dărele curentului.

2.3.1 Introducere.

Acest concept poate fi folosit pentru evaluarea factorului de frecare la alte tipuri ale suprafeței pereților decât cele obișnuite.

Ecuția pentru pierderea de sarcină este cea cunoscută:

$$H_\lambda = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2.23)$$

în care:

H_λ - pierderea de sarcină rezultată din frecare;

λ - factorul de frecare;

D - diametrul hidraulic;

v - viteza medie a curentului.

Din analiza dimensională se poate scrie:

$$\lambda = \Phi\left(\text{Re}, \frac{h}{D}, \frac{L}{D}, \frac{s}{D}, \dots\right) \quad (2.24)$$

în care:

$\text{Re} = \frac{vD}{\nu}$ - numărul lui Reynolds;

h - înălțimea rugozității;

L - distanța între rugozități pe direcția curentului;

s - distanța transversală între rugozități.

Relația de distribuție a vitezei în conducte cu pereți rușoși după Nikuradse se prezintă astfel:

623.744 / 181c

$$\frac{v}{v_s} = d + B \log \frac{y}{r_0} \quad (2.25)$$

în care:

d – este un parametru funcție de tipul rugozității;

y – este distanța radială de la creasta rugozității la punctul curent;

r_0 – raza măsurată de la creasta elementului de rugozitate;

$B = 5.75$ obținut cu relația:

$$B = \frac{\log 10}{k} \quad (2.26)$$

unde k este constanta universală a lui Kármán ($\cong 0.4$).

Legea de distribuție a vitezei pentru conducte rugoase din punct de vedere hidraulic, obținută de Nikuradse în conducte cu rugozitate de nisip este:

$$\frac{v}{v_s} = 8.5 + 5.75 \log \frac{y}{e} \quad (2.27)$$

unde e reprezintă diametrul granulelor de nisip lipite pe peretele conductei.

Ecuția corespondentă pentru factorul de frecare este:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \frac{R_n}{e} + 1.74 \quad (2.28)$$

valabilă în regimul turbulent pătratic, unde λ este independentă de Re , iar pierderea de sarcină este proporțională cu pătratul vitezei.

În practică se utilizează diametrul echivalent al granulei de nisip, k_e .

Pentru conducte comerciale se utilizează formula Colebrook – White care definește regimul de tranziție.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \frac{R_n}{k_e} + 1.74 - 2 \log \left(1 + \frac{18.7}{Re \sqrt{\lambda}} \frac{R_n}{k_e} \right) \quad (2.29)$$

Curbele obținute cu această relație, în reprezentarea $(\lambda - Re)$ sunt asimptote la cea pentru conducte hidraulic netede și la cele pentru conducte rugoase ale lui Nikuradse.

Parametrul $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \frac{R_0}{k_s}$ este utilizat de L. Prandtl în formula generalizată a factorului de rezistență prin k_s ; iar parametrul $\frac{Re \sqrt{\lambda}}{R_0}$ numărul lui Reynolds la perete egal cu $\frac{v_s k_s}{\nu} \sqrt{32}$ este reprezentat prin R_w .

Astfel ecuația (2.29) devine:

$$k_s = 1.74 - 2 \log \left(1 + \frac{18.7}{R_w} \right) \quad (2.30)$$

Utilizarea relațiilor (2.28) și (2.29) a reprezentat o îmbunătățire substanțială a metodologiei de calcul, dar existe și deficiențe importante ale acestei metode, dintre care cea mai importantă pare a fi inexplicitatea relației (2.30). Cercetările lui Charles W. Harris pe suprafețe cu rugozități “întâmplătoare” au dat curbe $(\lambda - Re)$ care sunt orizontale după ce se despart de curba conductelor netede din punct de vedere hidraulic.

Cercetările făcute de “St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory”, Universitatea din Minnesota, pentru conducte metalice cu pereți ondulați, comerciale, denotă o caracteristică de creștere a curbelor $(\lambda - Re)$ [107].

2.3.2 Tipuri de bază ale curgerii.

Modelul fizic a lui Morris (Fig. 2.5 Pl. IV) presupune că pierderea de energie în curgerea turbulentă se datorește în principal formării vârtejurilor în spatele fiecărui element de rugozitate. Intensitatea acestor surse de vârtejuri în direcția curentului va determina caracterul turbulenței și fenomenul disipării energiei în curent.

După acest model fizic, curgerea peste suprafețe rugoase poate fi:

- a) curgere peste rugozități izolate;
- b) curgere peste rugozități cu “dâre intersectate”;

Planșa IV

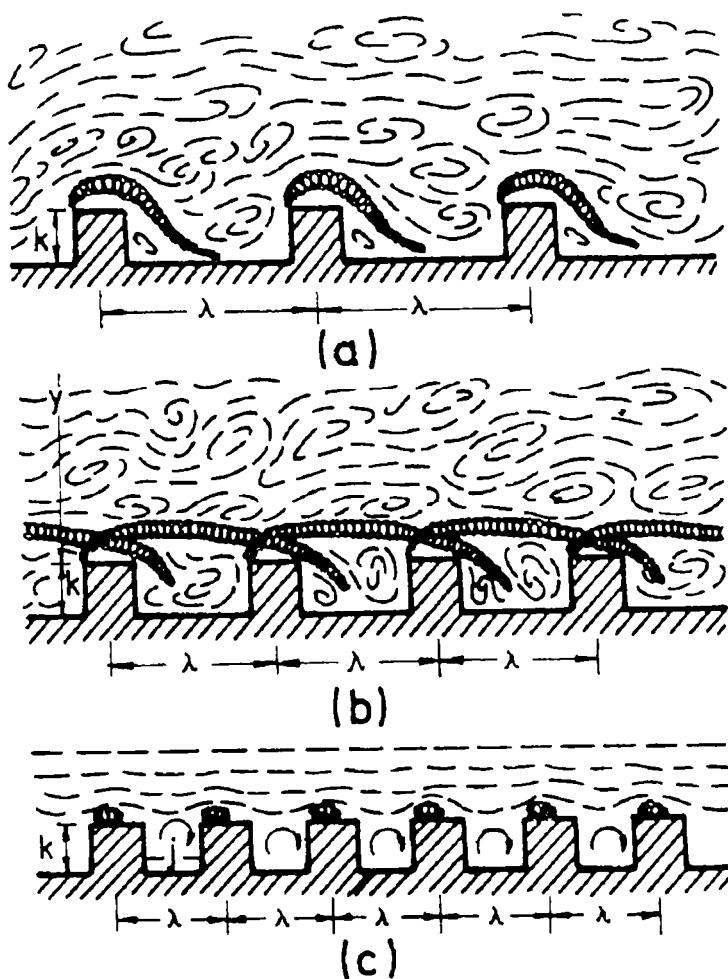


Fig. 2.5 Schematizarea curgerii pe suprafețe rugoase după Morris
 a) "curgere peste rugozități izolate";
 b) "curgere cu dâre intersectate";
 c) curgere "evazi-netedă".

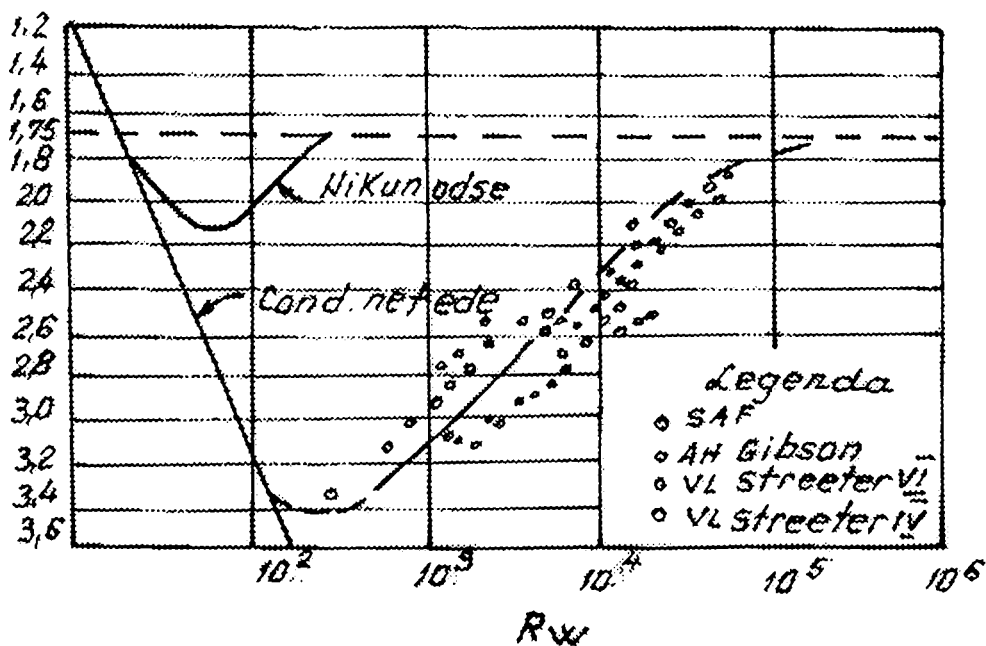


Fig. 2.6 Diagrama Morris pentru rugozități din benzi ondulate

c) curgere “cvasi-netedă” (de alunecare).

a) apare când elementele de rugozitate sunt îndepărtate mult, astfel încât vârtejurile și dărele la fiecare element sunt complet dezvoltate și energia este disipată înaintea următorului element de rugozitate. Din această cauză tensiunea de frecare rezultă din rezistența de formă a elementului de rugozitate determinată în principal de înălțimea lui (k) și de rezistența de frecare pe suprafața peretelui între elemente care depinde de distanța între elemente, L .



$$F \cdot v + \iint_s \tau ds \quad (2.31)$$

În acest tip de curgere, raportul L/k poate fi luat ca parametru semnificativ al factorului de frecare al curgerii.

b) apare când elementele de rugozitate sunt amplasate atât de aproape încât dărele și vârtejurile de la fiecare element se vor intersecta cu cele dezvoltate de către elementul următor, rezultând un amestec turbulent intens și complex. Într-un asemenea curent, înălțimea elementului de rugozitate este relativ neimportantă, dar distanța dintre elemente este de mare importanță. Astfel adâncimea curentului deasupra creștelor elementelor de rugozitate va influența extinderea pe verticală a zonei de turbulență. Într-un asemenea curent raportul y/L va fi un parametru important al curgerii.

c) Curentul “cvasi-neted” apare atunci când elementele de rugozitate sunt apropiate astfel încât în mod esențial creștele elementelor de rugozitate determină practic o suprafață de alunecare aproape continuă pentru curant. Golurile dintre elementele de rugozitate vor fi umplute cu “apă moartă”, de fapt niște vârtejuri stabile și captive care creează în acest caz un pseudo-perete. În acest caz din acest pseudo-perete lipsesc proeminențele rugoase și deci suprafața acționează ca una netedă din punct de vedere hidraulic. Într-un asemenea curent, rapoartele L/k și L/b , unde b este lățimea golului, vor fi parametrii semnificativi. Acest tip de curgere are un factor de frecare mai

mare decât curgerea peste o suprafață efectiv netedă deoarece vârtejurile din goluri consumă o cantitate de energie.

Acest concept pare a fi mult mai potrivit cu datele experimentale provenite din diferite surse bibliografice [60], [108], [14].

În consecință, Morris consideră că distanța între rugozități poate fi utilizată ca parametru în locul rugozității nisipului [50].

Ecuția Prandtl-Nikuradse

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \frac{r}{e} + 1.74$$

e – rugozitatea nisipului

Ecuția Morris

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \frac{r}{L} + 1.75 \quad (2.32)$$

L – distanța între rugozități

Reprezentând în sistemul $(k_s - R_s)$ măsurătorile pentru rugozități din benzi ondulate efectuate de SAF, Gibson și Streeter, Morris a obținut diagrama din (Fig. 2.6 Pl. IV), [79].

În (Fig. 2.7 Pl. V) este prezentată diagrama generalizată pentru tuburi cu pereți ondulați (model Morris), în care rugozitatea "k" este înlocuită cu distanța "l" între elementele de rugozitate [106], [29].

2.4 Regimul turbulent de tranziție pentru tuburi cu pereți ondulați.

Dacă pentru rugozitățile obișnuite la care se utilizează "rugozitatea echivalentă", limita trecerii de la regimul turbulent de tranziție la cel pătratic este dat de curba Moody $\left(\text{Re} \sqrt{\lambda} \frac{k}{l} = 200 \right)$, la tuburile cu pereți ondulați coeficientul de rezistență λ continuă să depindă de numărul Reynolds și peste această limită. R.C.M. Schröder [105] a efectuat cercetări pentru o rugozitate ondulată sinusoidală definită prin relația:

$$y = \frac{k}{2} \sin \left(2\pi \frac{x}{l} \right) \quad (2.33)$$

în care:

Planșa V

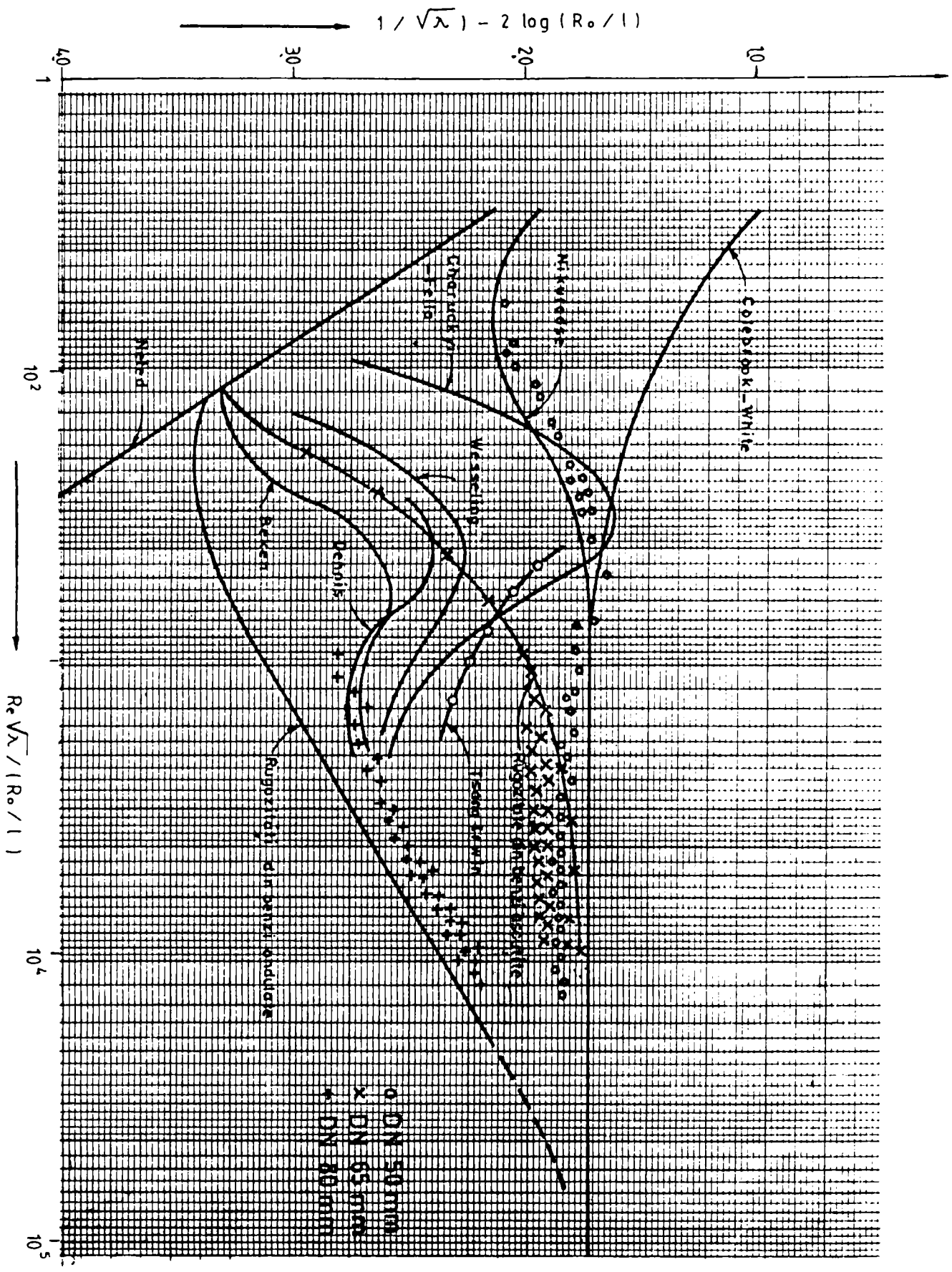


Fig. 2.7 Diagrama generalizată pentru tuburi cu pereți ondulați (Model Morris)

k - înălțimea elementului de rugozitate sinusoidală;

L - distanța dintre vârfurile rugozităților.

Pentru o valoare $\frac{D}{k} = 49$ și valori ale raportului L/k egal cu 4, 8 și

12, rezultatele cercetărilor sunt prezentate în (Fig. 2.9 Pl VI). Pe baza acestei diagrame pot fi trase următoarele concluzii:

- odată cu creșterea numărului Re , valoarea lui λ trece printr-un maxim care este atât mai pronunțat cu cât raportul L/k este mai mare.

- dependența coeficientului de rezistență λ față de numărul Re continuă și peste valoarea $Re\sqrt{\lambda} \frac{k}{D} = 200$

- mărimea valorii lui λ_{\max} și numărul Re pentru o valoare $D/k = \text{const.}$ poate fi exprimată cu o relație de forma:

$$\max \lambda \approx 0.01 Re^{1.6} \quad (2.34)$$

- valoarea maximă a lui λ se obține cu atât mai repede cu cât L/k este mai mare.

Referitor la variația coeficientului λ pentru un raport $L/k = \text{const} = 4.22$ și rapoarte $D/k = 12, 16.5$ și 22 , acest lucru este redat în diagrama (Fig 2.10 Pl.VII), pentru următoarele valori ale parametrilor geometrice și hidraulici $k = 16$ mm, $L = 76$ mm, $D_0 = 2(h+k)$, înălțimea canalului h fiind de 8.98 cm pentru $D/k = 22$. Măsurătorile au fost efectuate într-un canal cu lățimea $b = 0.35$ m, fluidul utilizat fiind aerul furnizat de o suflantă cu un debit de 90 m³/min. Înălțimea canalului variază de la 0.1 m la 0.2 m.

Din această diagramă pot fi desprinse următoarele concluzii:

- pentru un raport $L/k = \text{const.}$, mărimea coeficientului de rezistență λ se micșorează la o valoare a raportului L/k crescător;

- nu este posibilă considerarea unei rugozități echivalente a nisipului k_e ca rugozitate relativă k_e/D ;

- rolul hotărâtor în valoarea coeficientului de rezistență λ îl are acțiunea combinată a rapoartelor D/k și L/k ;

- valorile maxime la un D/k crescător și un λ_{\max} descrescător se găsesc în locuri în care Re crește;

- pentru $D/k = \text{const}$, valoarea maximă a lui λ se găsește în locuri în care L/k crește, iar valoarea Re descrește (Fig. 2.9 Pl. VI);

- în privința valorii maxime a coeficientului de rezistență λ și a locului în diagrama $(\lambda - Re)$, influența parametrilor D/k și L/k este oarecum contradictorie în ceea ce privește atașarea numărului Re , dar este în același sens în ceea ce privește valoarea lui λ_{\max} :

- se poate presupune că pentru o valoare $D/k = \text{const}$, în cazurile limită $L/k \rightarrow 0$ și $L/k \rightarrow \infty$, valoarea λ corespunde curbei netede;

- pentru aceeași valoare a lui k și D , valoarea lui λ diferă între rugozitatea tip “pătrat” și cea “sinusoidală”, rezultând faptul că nu numai aranjarea simetrică sub formă de elemente de rotație a elementelor de rugozitate contribuie la crearea rezistențelor, ci mai important se pare că este forma elementelor, în special forma camerelor inelare (golul ondulației la rugozitatea “sinusoidală”, respectiv șanțurile inelare la rugozitatea tip “pătrat”) în care probabil fenomenele de desprindere joacă un rol important.

2.5 Coeficientul de rezistență la conducte metalice cu pereți ondulați.

Primele cercetări asupra curgerii în conducte metalice cu pereți ondulați au fost efectuate în SUA încă din anul 1914 [37], [122]. Cercetări mai extinse au fost efectuate de către Departamentul Agriculturii al SUA la Universitatea Iowa City și publicate în 1926. Cercetări ulterioare efectuate la St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, Bonneville Hydraulic Laboratory, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station W.E.S., au fost prelucrate în diagramele 224-1/2 la 224-1/4 [122]. În (Fig. 2.11. Pl.VIII)

Planșa VI

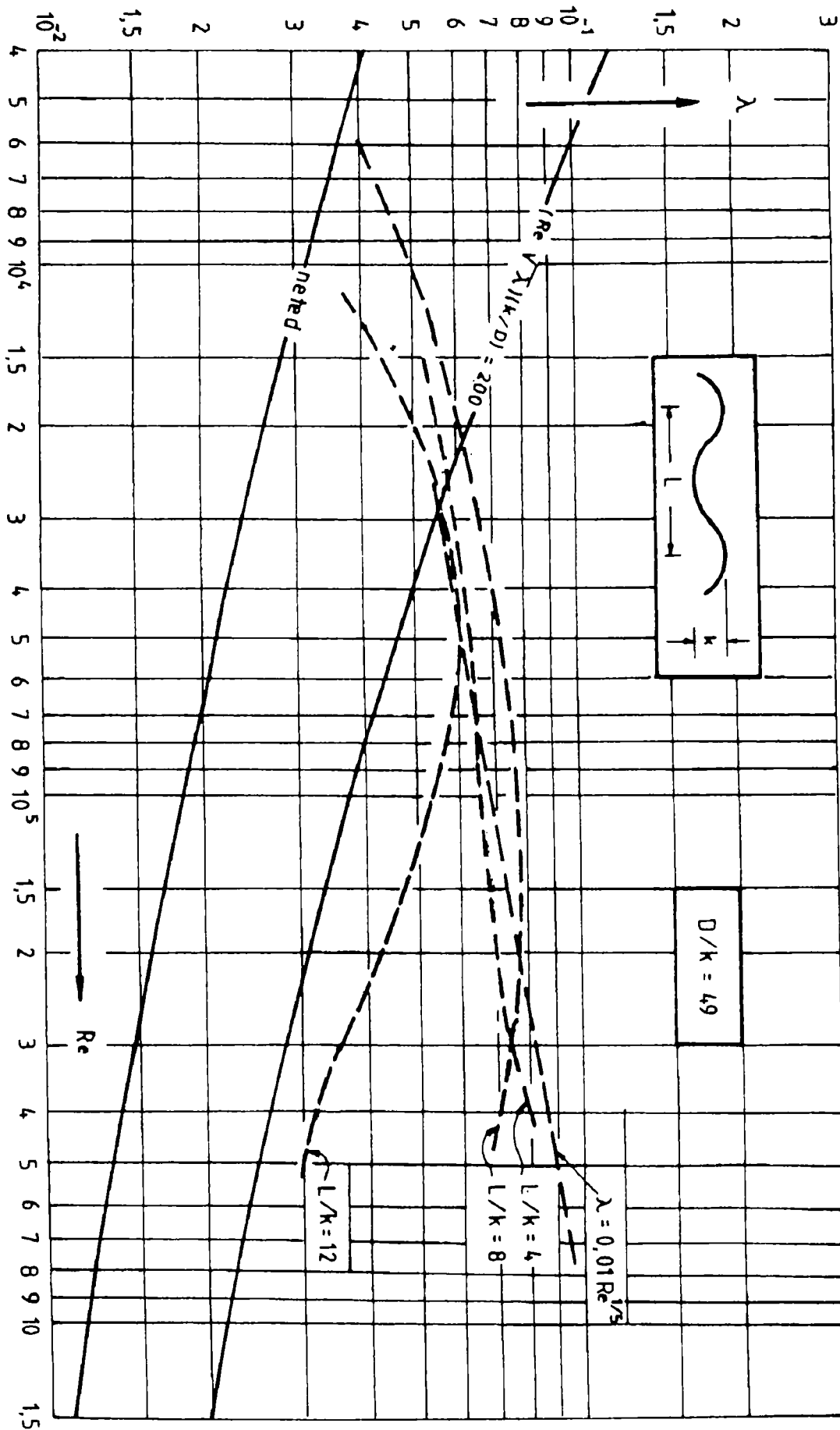


Fig. 2.8 Variația coeficientului de rezistență pentru $D/k = 49$ [105]

este redată diagrama 224-1/3, întocmită pentru raporturi $\lambda/k = 3$, numărul Re variind între 1.7×10^5 și 6.6×10^6 .

Se poate remarca asemănarea cu diagrama din (Fig. 2.10 Pl. VII), respectiv faptul că la un $\lambda/k = const$, valorile coeficientului de rezistență sunt cu atât mai mari și creșterea mai pronunțată cu cât k/D este mai mare. Spre deosebire de diagrama din (Fig. 2.10 Pl. VII) unde se presupune un maxim al lui λ , în diagrama din (Fig. 2.11 Pl. VIII) nu există acest maxim, chiar dacă se merge până la o valoare a numărului Re de aproximativ 6×10^5 realizat la diagrama precedentă.

Diagrama din (Fig. 2.11 Pl. VIII) a fost întocmită pe baza măsurătorilor pe modele de conducte la scările 1:2.2; 1:2; 1:16, efectuate de către (WES) și la scările 1:16.6 și 1:1 (Alberta [87], [88]).

Charles R. Neill [87], [88], a efectuat cercetări asupra coeficientului de rezistență λ pe conducta metalică din tablă ondulată "tip Standard" cu diametrul de 381 mm (15"), raportul $k_c/D=0.033$ și $L/k_c=2.66$, unde L este distanța între vârfurile undulațiilor.

Utilizând și cercetările efectuate de către Straub și Morris [107] pentru rapoarte $k_c/D=0.028$ ($D=18$ in); $k_c/D=0.021$ ($D=24$ in); $k_c/D=0.014$ ($D=36$ in), și de către Webster și Metcalf [112] pentru $k_c/D=0.0083$ ($D=60$ in); $k_c/D=0.006$ ($D=84$ in), prezintă diagrama din Fig 2.12 Planșa IX.

De remarcat că și în această diagramă valoarea coeficientului de rezistență λ crește odată cu creșterea numărului Re până la o valoare maximă (obținută sau presupusă).

Reprezentând într-un sistem de coordonate dublu logaritmice valorile maxime ale lui λ din diagrama din (Fig. 2.14 Pl. IX) în funcție de adâncimea relativă a ondulației, k_c/D obține pentru λ_{max} relația:

$$\lambda_{max} = 0.64 \left(\frac{k_c}{D} \right)^{1/2} \quad (2.35)$$

sau

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_{\max}}} = 1.25 \left(\frac{D}{k_c} \right)^{1/4} \quad (2.36)$$

2.6 Formula vitezei pentru conducte cu pereți ondulați.

Ecuția lui Manning implică faptul că $1/\sqrt{\lambda}$ este invers proporțional cu rădăcina a șasea a rugozității relative, dacă “n” este considerat constant pentru o natură a pereților conductei dată, așa cum este cazul conductelor cu pereți ondulați. În acest caz este posibilă deducerea unei formule pentru viteză introducând direct adâncimea ondulației k_c în locul coeficientului de rugozitate “n”.

Pornind de la relația Darcy – Weisbach:

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2.37)$$

care mai poate fi scrisă sub forma:

$$v = \sqrt{2gD} \frac{i}{\lambda} \quad (2.38)$$

și înlocuind pe $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$ din relația (2.36) obținem:

$$v = 1.25 \left(\frac{D}{k} \right)^{1/4} \sqrt{2gDi} \quad (2.39)$$

sau

$$v = \frac{4.43}{k^{1/4}} D^{3/4} i^{1/2} \quad (2.40)$$

Deoarece în proiectare se preferă utilizarea relației lui Manning pentru viteză, coeficientul de rugozitate “n” poate fi dedus astfel:

Ecuția Manning:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} \quad (2.41)$$

Introducând în ecuația (2.40) raza hidraulică $R=D/4$ obținem:

$$v = \frac{12.53}{k^{1/4}} R^{3/4} i^{1/2} \quad (2.42)$$

respectiv

$$n = \frac{k^{1/4}}{12.53 R^{1/12}} = \frac{k^{1/4}}{11.16 D^{1/12}} \quad (2.43)$$

Ca o restricție în utilizarea formulelor (2.40) și (2.43) ar fi faptul că ele sunt deduse pentru valorile maxime ale lui λ , din relațiile (2.34), (2.35). Dacă pentru proiectare aceste valori maxime sunt utile, trebuie să ținem cont și de faptul că ele sunt legate de numărul Re.

Planșa VII

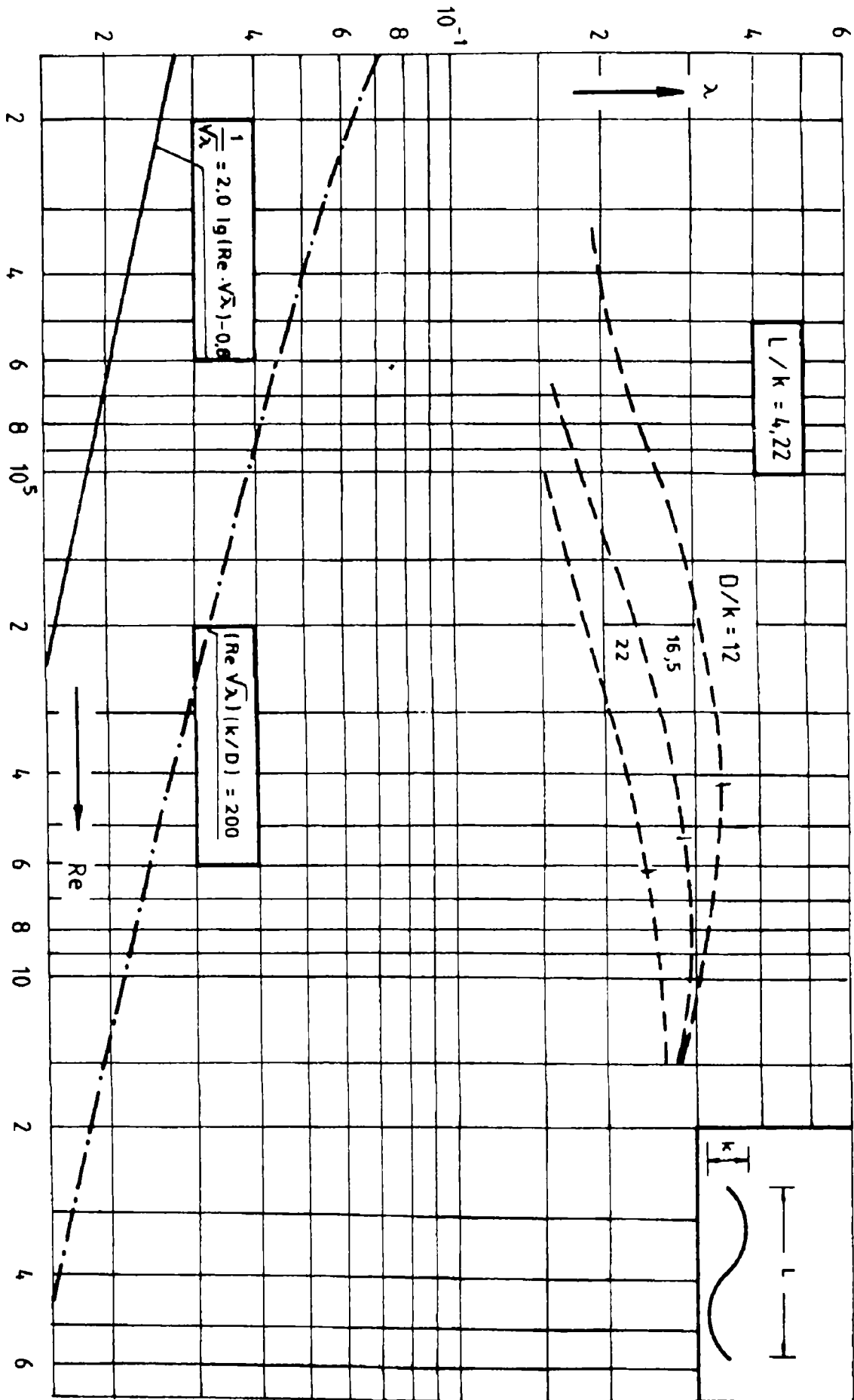
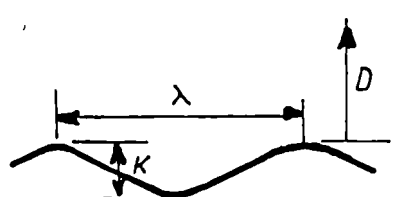
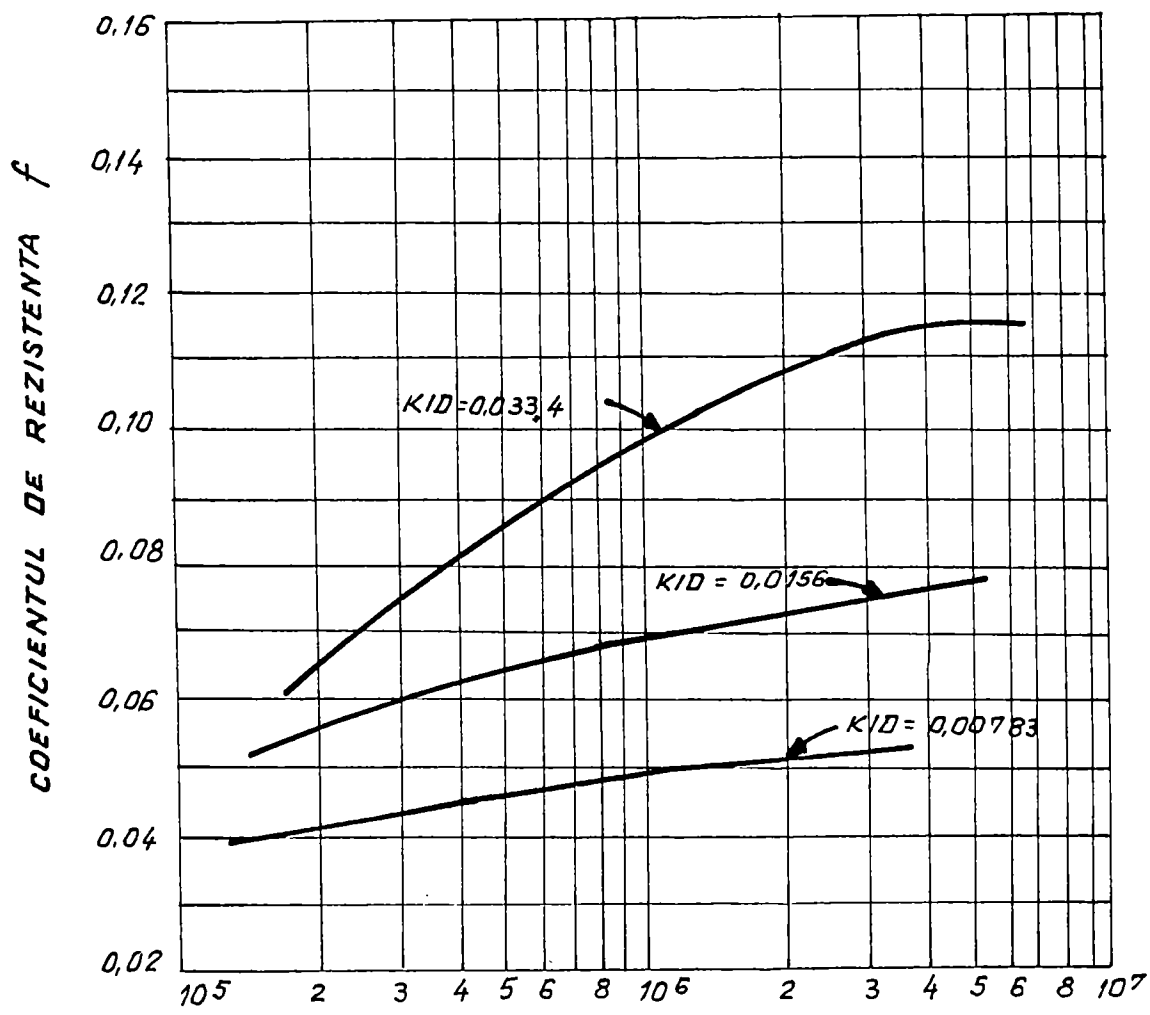


Fig. 2.9 Variația coeficientului de rezistență funcție de raportul D/k la un raport $L/k = \text{const.}$



DETALIU ONDULATIE

NUMARUL REYNOLDS, Re

$\lambda = 3,0 K$

DIAMETRUL ECHIVALENT AL CONDUCTEI, FT

K/D	1-x3-IN ONDULATIA	2-x6-IN ONDULATIA
0,00783	10	20
0,0156	5	10
0,0334	2,5	5

Fig. 2.11 Coeficienti de rezistență la conducte metalice ondulate

[127]

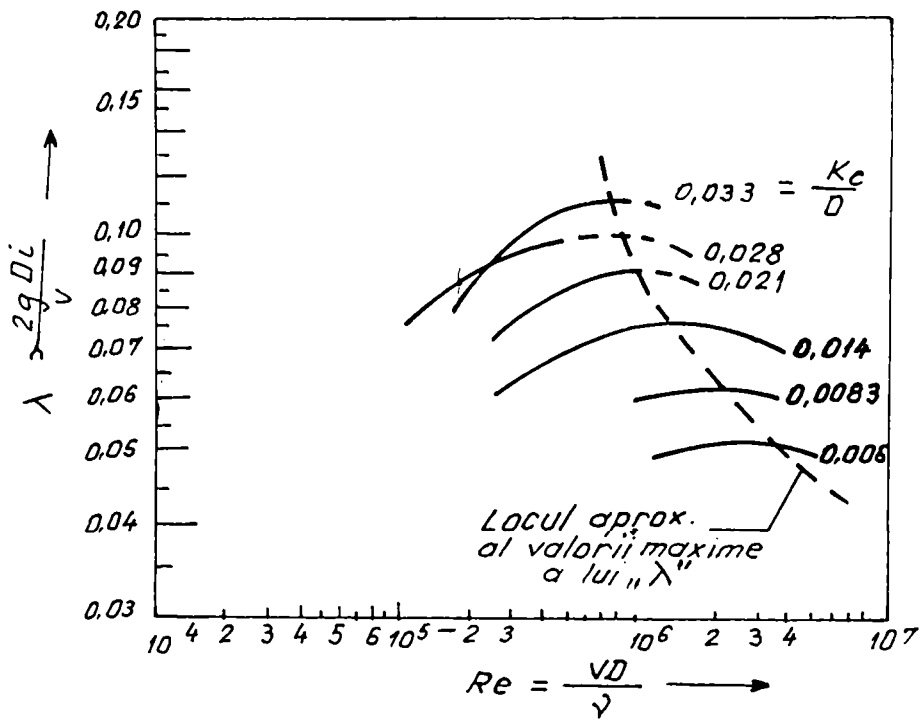


Fig. 2.12

Graficul coeficientului de rezistență λ pentru conducte metalice cu pereți ondulați [87]

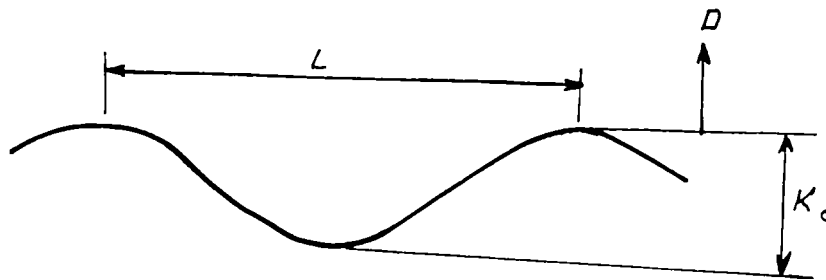


Fig. 2.13 Caracteristicile ondulațiilor la conducte metalice

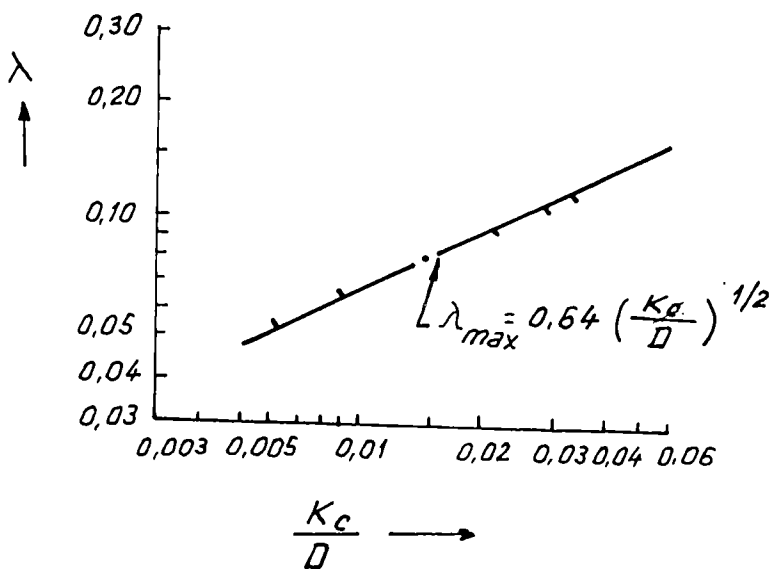


Fig. 2.14

Graficul valorilor maxime ale lui λ_{max} în funcție de adîncimea relativă a ondulați

$\frac{K_c}{D}$

CAPITOLUL 3

INFLUENȚA PARAMETRILOR HIDRAULICI ȘI GEOMETRICI ASUPRA REZISTENȚEI LA CURGERE

3.1 Evidențierea componentelor rezistenței la curgere în tuburile cu pereți ondulați pe baza rezistenței totale.

Rezistența totală a curentului poate fi considerată ca fiind compusă din două componente:

$$W = W_F + W_S \quad (3.1)$$

unde:

W_F – rezistența de formă (din forțele de presiune);

W_S – rezistența de suprafață (din forțele de frecare).

În aceste condiții tensiunea de frecare poate fi considerată la fel și anume:

$$\tau = \frac{W}{A} = \frac{W_F}{A} + \frac{W_S}{A} = \tau_F + \tau_S \quad (3.2)$$

Considerând pentru τ relația cunoscută:

$$\tau = \frac{\lambda}{8} \rho v_m^2 \quad (3.3)$$

este logic ca această relație să fie valabilă și pentru cele două componente ale lui τ :

$$\tau_{F,S} = \frac{\lambda_{F,S}}{8} \rho v_m^2 \quad (3.4)$$

În consecință coeficientul de rezistență poate fi împărțit în două componente:

$$\lambda = \lambda_F + \lambda_S \quad (3.5)$$

unde:

λ - coeficientul total al rezistenței la curgere;

λ_F - coeficientul de formă din acțiunea presiunii pe undulație;

λ_s - componenta de suprafață, din acțiunea de frecare pe suprafață.

Acest lucru permite determinarea lui λ_n în care când se cunosc din determinări experimentale valorile coeficientului λ , iar valorile lui λ_F pot fi obținute experimental dacă se măsoară variația presiunii în lungul undulației și se obține rezistența de formă W_F . Valoarea lui λ_F va fi dată de relația:

$$\tau_F = \frac{8W_F}{\rho A_1 v_m^2} \quad (3.6)$$

în care:

A_1 – suprafața de proiecție a undulației pe orizontală;

W_F – componenta orizontală a forțelor rezultate din presiune;

v_m – viteza medie cu care este determinată numărul Re.

Pe baza acestor considerente, în lucrarea [105] se prezintă pe baza prelucrării unor măsurători de presiune la diferite numere Re, într-un canal cu distanța între vârfurile undulației de 76 mm și rapoartele $D/k=49$, $L/k=12$, undulațiile fiind sinusoidale, valorile componentelor λ_F și λ_n (Fig. 3.1 Pl. X). În consecință pot fi trase următoarele concluzii:

- componentele de formă λ_F a coeficientului de rezistență total λ crește evident cu creșterea numărului Re;
- componentele de suprafață λ_s manifestă o scădere cu o asemănare a curbei “neted hidraulic” respectiv paralel la această cursă;
- partea principală a coeficientului total de rezistență o reprezintă componenta de formă λ_F și anume de la aproximativ 70% până la 85%, lucru care justifică forma de creștere a curbelor $(\lambda - Re)$ odată cu creșterea numărului Re.

Planșa X

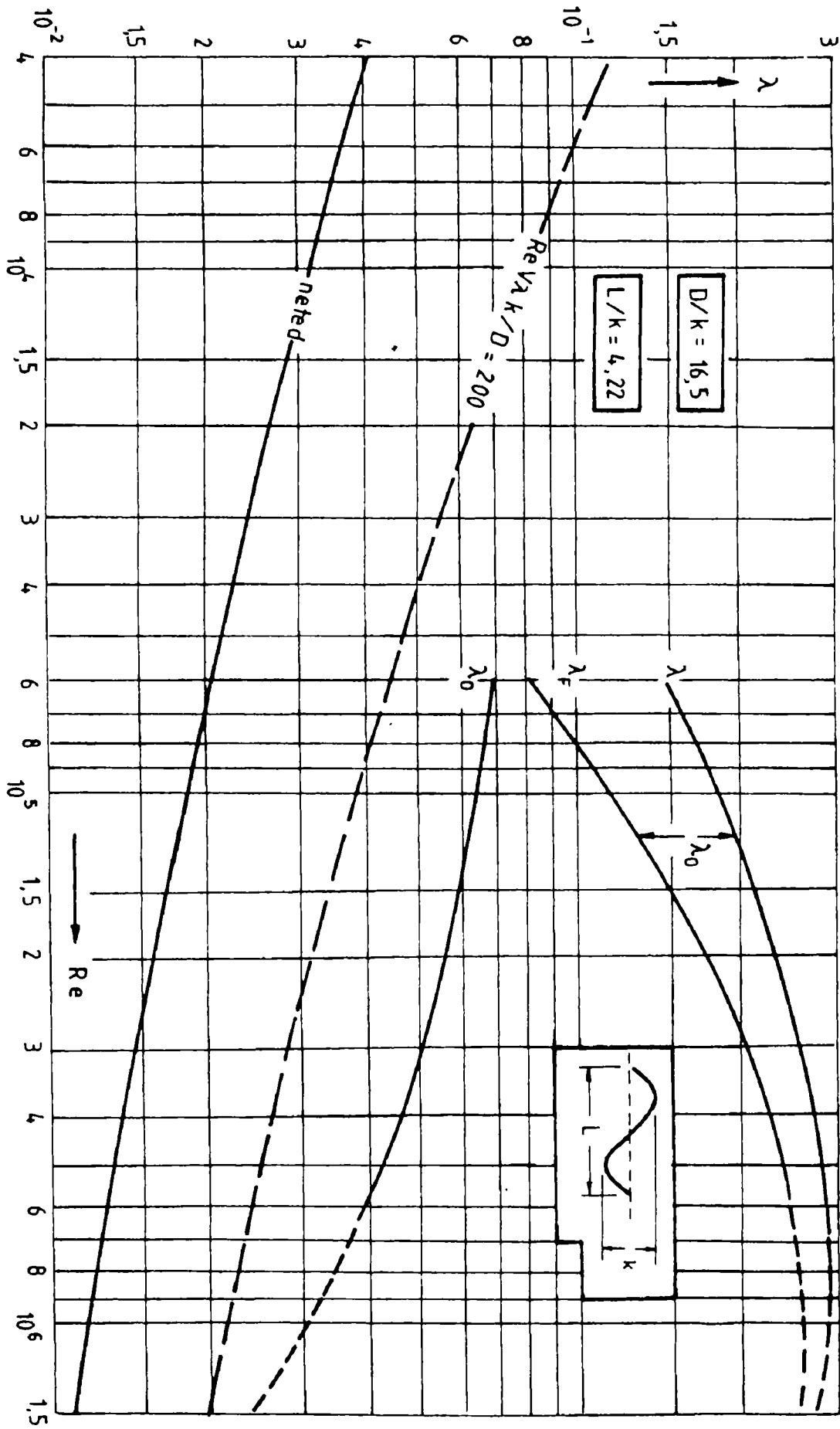
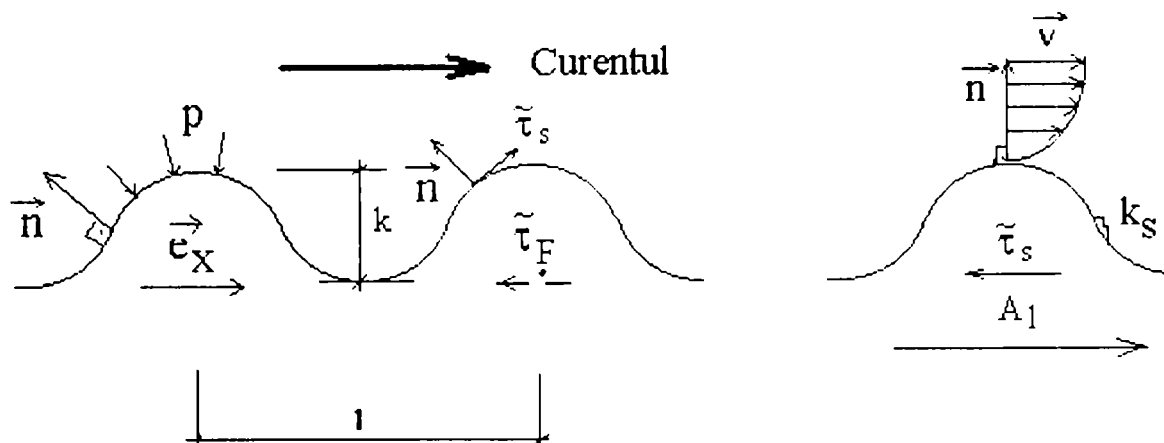


Fig. 3.1 Variația valorilor componentelor λ_f și λ_o

3.2 Evidențierea componentelor rezistenței la curgere pe baza analizei dimensionale.

Considerăm o secțiune longitudinală prin peretele tubului:



Utilizând analiza dimensională putem scrie:

$$p = f\left(\text{Re}, \frac{D}{k}, \frac{l}{k}\right) \rho v_m^2 \quad (3.7)$$

Componenta de formă a tensiunii de frecare va fi dată de relația:

$$\tilde{\tau}_F = - \iint_{A_l} p \vec{n} \cdot \vec{e}_x \frac{dA_l}{A_l} \quad (3.8)$$

respectiv:

$$\tilde{\tau}_F = f_1\left(\text{Re}, \frac{D}{k}, \frac{l}{k}\right) \rho v_m^2 \quad (3.9)$$

Pentru componenta de suprafață (de frecare):

$$\begin{aligned} \tilde{\tau}_s &= \rho v \frac{\partial v}{\partial n} = \frac{1}{\text{Re}} \rho v_m^2 \tilde{v} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial n} \\ \tilde{\tau}_s &= \iint_{A_l} \tilde{\tau}_s \cdot \vec{e}_x \frac{dA_l}{A_l} \end{aligned} \quad (3.10)$$

respectiv:

$$\tilde{\tau}_s = f_2\left(\text{Re}, \frac{D}{k}, \frac{l}{k}, \frac{D}{k_s}\right) \rho v_m^2 \quad (3.11)$$

unde k_s este rugozitatea suprafeței peretelui.

Coeficientul de rezistență λ , utilizând tensiunea de frecare totală și respectiv componentele ei va fi:

$$\frac{\lambda}{8} = \frac{\tilde{\tau}}{\rho v_m^2} = \frac{\tilde{\tau}_F + \tilde{\tau}_S}{\rho v_m^2} = f\left(\text{Re}, \frac{D}{k}, \frac{L}{k}, \frac{D}{k_s}\right) \quad (3.12)$$

Din cercetările experimentale efectuate asupra influenței acestor parametri asupra coeficientului λ [64] măsurate în canale cu $k_s = d_{50}$ cuprins între 0.2 și 0.7 mm a rezultat că parametrul D/k_s are o influență redusă. În consecință, pentru regimul de tranziție neted-pătratic:

$$\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{D}{k}, \frac{L}{k}\right) \quad (3.13)$$

În regimul turbulent pătratic, pentru a obține o formulă de calcul adecvată exprimată cu parametrii caracteristici tuburilor cu pereți ondulați, pe baza analizei dimensionale putem scrie:

$$\frac{k_c}{k} = f\left(\frac{L}{k}, \frac{k_s}{D}\right) \quad (3.14)$$

unde k_c este rugozitatea echivalentă tip nisip.

Pentru λ se presupune forma:

$$\frac{k_c}{k} = \left(\frac{L}{k}\right)^A \quad (3.15)$$

unde:

$$A = f_2\left(\frac{k_s}{D}\right) \quad (3.16)$$

Cu aceste explicitări se poate scrie:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \frac{DL}{k^2} - B \quad (3.17)$$

unde:

$$B = 2 \log(3.71A) \quad (3.18)$$

Și în cazul regimului turbulent pătratic, influența parametrului k_s/D s-a constatat a fi redusă [64] ceea ce face ca în relația stabilită $B \cong \text{const}$. În aceste condiții putem scrie:

$$\lambda = f\left(\frac{DL}{k^2}\right) \quad (3.19)$$

Pentru determinarea rugozității echivalente tip nisip, k_e , pentru tuburile cu pereți ondulați putem scrie similar cu relația lui Nikuradse:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = C_1 \log \frac{DL}{k^2} + C_2 \quad (3.20)$$

Comparând această relație cu relația lui Nikuradse:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \frac{D}{k_e} + 1.14 \quad (3.21)$$

putem obține pentru rugozitatea echivalentă tip nisip:

$$k_e = \frac{D}{10^{0.5(C_2 - 1.14)} \left(\frac{DL}{k^2} \right)^{0.5C_1}} \quad (3.22)$$

coeficienții C_1 și C_2 urmând a fi determinați pe cale experimentală.

CAPITOLUL 4

DESCRIEREA DISPOZITIVULUI EXPERIMENTAL

4.1 Standul experimental numărul 1 (Fig. 4.1)

4.1.1 Caracteristicile standului

Acest stand a fost executat în incinta halei de modelare a Facultății de Hidrotehnică din Timișoara urmărindu-se ca el să răspundă următoarelor cerințe:

- obținerea unei curgeri complet dezvoltate în zona de măsură a presiunilor;
- realizarea unei curgeri Reynolds mici pentru observarea comportării curențului la aceste numere;
- observarea stabilității curgerii în timp pentru alegerea frecvenței citirilor asupra presiunilor la diferite regimuri de curgere;
- analizarea mai multor variante de amplasare a prizelor de presiune în secțiunea longitudinală și cea transversală a tubului;
- alegerea corespunzătoare a volumului și a formei rezervorului de măsurare a debitelor;
- alegerea corespunzătoare a metodei de citire a presiunilor în punctele de măsurare;
- realizarea unui racord optim între rezervorul de nivel constant și tubul cu pereți ondulați;
- alegerea corespunzătoare a frecvenței citirilor de temperatură a apei în cadrul unui regim de curgere;
- observarea comportării tubului cu pereți ondulați în timpul funcționării instalației.

4.1.2 Descrierea standului (Fig. 4.1)

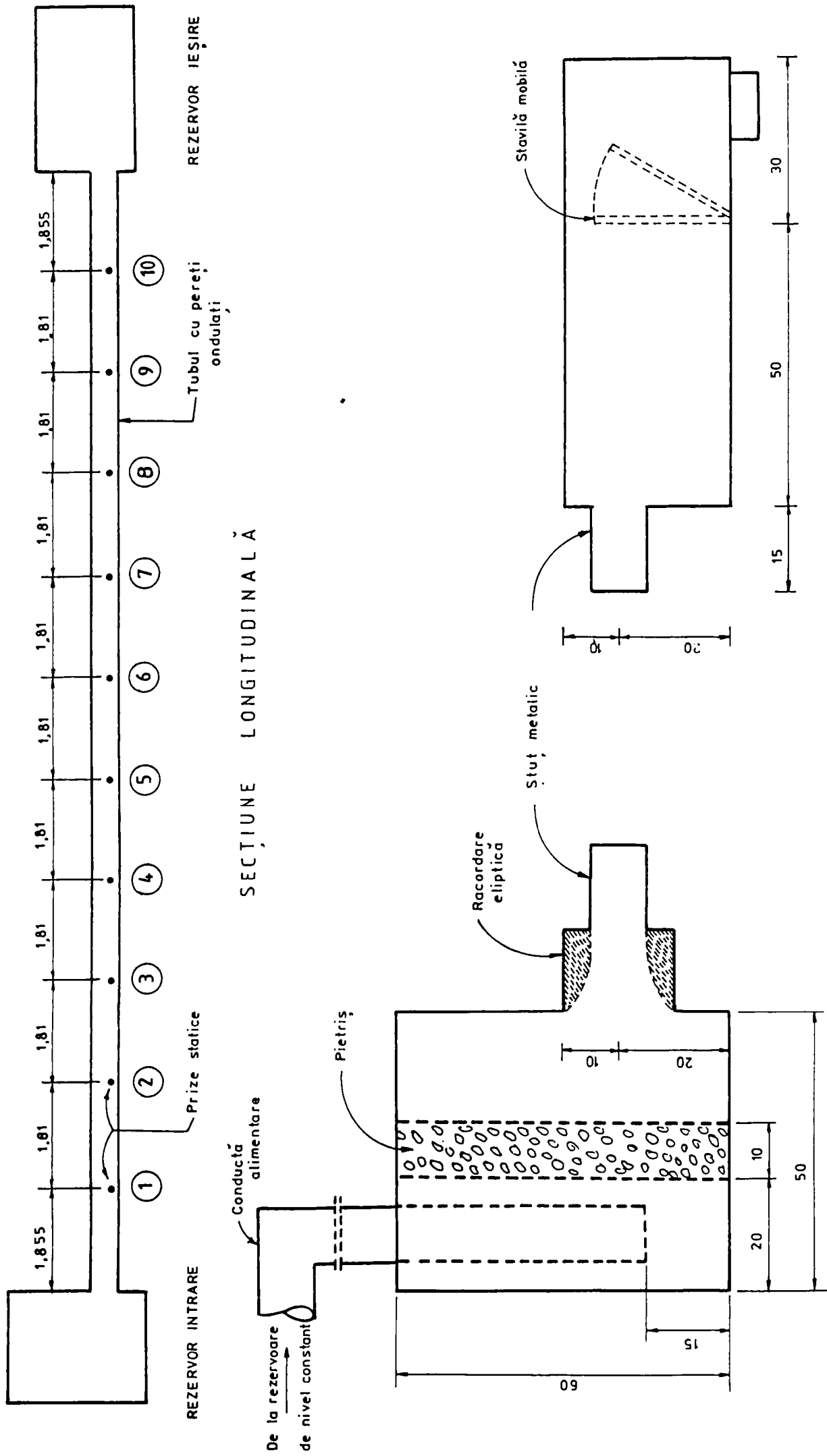
Standul a fost încadrat în cadrul circuitului hidraulic închis al halei de modelare și cuprinde în principal următoarele elemente:

- rezervor tampon subteran;
- stație de pompare pentru alimentarea rezervorului de nivel constant;
- rezervor de nivel constant al circuitului hidraulic închis;
- furtun de racord pentru alimentarea standului;
- rezervor de nivel constant al standului;
- vană de reglare a debitului de alimentare a standului;
- sistemul de susținere a tubului cu pereți ondulați;
- rezervorul de ieșire la capătul aval al standului;
- vasul instalat pentru măsurarea debitului instalației;
- prize de racord pentru măsurarea presiunilor.

Lungimea tronsonului de măsurare a fost de 20 ml.

Pentru realizarea unei alimentări corespunzătoare, în rezervorul de intrare s-a prevăzut trecerea apei printr-un strat de pietriș și s-a realizat o racordare eliptică între rezervor și ștuțul metalic la care se racordează tubul cu pereți ondulați. În rezervorul de ieșire s-a prevăzut o stavilă mobilă pentru realizarea la toate regimurile a unei curgeri la plin în tub. La partea superioară a sistemului de susținere a standului s-a prevăzut un profil U în care a fost așezat tubul. Poziția profilului U și implicit a tubului în secțiune longitudinală a fost perfect orizontală.

Fig.4.1 – STAND NR. 1



4.1.3 Caracteristicile tubului cu pereți ondulați.

Pe acest stand au fost executate măsurători experimentale pentru tubul cu pereți ondulați din material plastic cu diametrul nominal de 50 mm, neperforat.

Lungimea totală a tubului este de 20 m, el fiind racordat la rezervorul de intrare și cel de ieșire prin intermediul ștuțurilor metalice cu diametrul interior egal cu diametrul exterior al tubului. Aliniamentul ansamblului a fost realizat prin așezarea tubului pe un suport metalic constituit dintr-un profil U și picioare din țevă fixate pe pardoscală.

Caracteristicile geometrice ale secțiunii transversale a tubului au fost măsurate după efectuarea determinărilor experimentale prin decuparea a cinci tronsoane cu lungimea de 30 cm, rezultând următoarele caracteristici:

- diametrul interior $D_i = 44.1$ mm;
- diametrul exterior $D_e = 50.8$ mm;
- diametrul volumetric $D_v = 46.65$ mm;
- înălțimea ondulației $k = 2.55$ mm;
- pasul ondulației $l = 5.49$ mm;
- grosimea peretelui $t = 0.8$ mm.

4.1.4 Prizele de presiune. Măsurarea presiunilor.

Cele 10 (zece) prize statice au fost amplasate la distanța de 1.81 m între ele, execuția lor fiind făcută ca în Fig. 4.3. De la prizele statice, cu ajutorul unor furtunuri flexibile s-a făcut legătura la piezometrele amplasate în secțiunea prizelor.

Măsurarea presiunilor la piezometre s-a făcut cu ajutorul unei nivele topografice, în fiecare zi înainte de începerea experiențelor citindu-se nivelul zero la fiecare piezometru. Pentru fiecare regim au fost efectuate mai multe

citiri succesive în timp pentru verificarea stabilității curgerii. În momentul ultimei citiri la fiecare regim s-a măsurat temperatura apei. Lungimea de măsurare între prima și ultima priză a fost de 16.29 m.

4.1.5 Măsurarea debitului.

S-a făcut volumetric, utilizând un rezervor metalic cu un volum la plin de 58 litri, prevăzut cu o îngustare a secțiunii la partea superioară și un piezometru. Acest rezervor a fost amplasat la ieșirea din rezervorul aval al standului, sub ștuțul de evacuare din rezervorul aval. Rezervorul volumetric a fost prevăzut cu un robinet de golire după fiecare umplere.

Standul a permis realizarea unor regimuri de curgere cu numărul Re cuprins între 1205 și 10000.

Măsurătorilor au fost consemnate într-un tabel de forma dată în Tabelul 4.1, iar prelucrarea lor într-un tabel de forma dată în Tabelul 4.2.

DN 50 mm; $D_{vol} = 46.65$ mm; $S = 0.1697366$ dm ³ ; $Vol_{rez} = 56.30$ dm ³ ; $L = 16.29$ m												
Citiri zero la piezometre (cm)												
Regim	$T_{ap\acute{a}}$ °C	t_u (sec)	Citiri la piezometre (cm)									
	(med)	(med)	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
101 a	10.10	487	20.55	20.55	71.45	72.30	21.30	20.55	72.60	72.60	21.05	72.30
101 b	10.15	377	21.45	21.05	72.30	73.05	21.95	21.15	73.05	73.00	21.30	72.55
101 c	10.20	390	21.35	21.00	72.20	72.95	21.85	21.10	73.00	72.95	21.33	72.59
101 d	10.15	599	20.00	21.15	72.50	73.10	21.20	20.50	71.50	70.60	18.95	70.35
101 e	10.13	910	19.90	20.15	71.60	72.20	20.50	19.80	70.85	70.00	18.40	69.9
101 f	9.90	1045	17.70	20.00	71.50	72.10	20.35	11.30	70.75	69.90	18.22	69.75
Citiri zero la piezometre (cm)												
102 a	10.00	725	20.70	20.40	71.60	72.45	21.40	20.45	72.65	72.65	21.10	72.35
102 b	10.05	510	20.35	20.05	71.30	72.15	21.10	20.45	72.48	72.45	20.95	72.25

TABELUL 4.1

Regim	Pierderi de sarcină (cm)	Debitul (l/s)	Viteza (m/s)	Panta piezometrică	$\frac{v^2}{2g}$	$\frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$	λ	Re
DN 50 mm; $D_{\text{vol}} = 46.65$ mm; $S = 0.1697366$ dm ³ ; $L = 16.29$ m; $T = 1.31 \times 10^{-6}$ °C; $\nu = 1.31 \times 10^{-6}$								
1	1.17	0.13310	0.07840	0.0007150	0.0003132	0.110220	0.1062	2322
2	1.76	0.15540	0.09213	0.0010760	0.0004326	0.152203	0.1156	2728
3	0.51	0.08490	0.05003	0.0003120	0.0001262	0.044400	0.1148	1776
4	0.44	0.08159	0.04807	0.0002690	0.0001177	0.041410	0.1062	1706
5	0.38	0.07765	0.04575	0.0002323	0.0001065	0.037460	0.1015	1626
6	0.26	0.06686	0.03939	0.0001590	0.0000790	0.027800	0.0935	1398
7	0.29	0.07080	0.04172	0.0001780	0.0000890	0.031200	0.0929	1481

TABELUL 4.2

4.2 Standul experimental numărul 2. (Fig. 4.2)

Standul a fost încadrat circuitului hidraulic închis al Laboratorului de Hidraulică care cuprinde în general aceleași elemente ca cel din cadrul Halei de Modelare. Deosebirea principală constă în faptul că rezervorul de nivel constant se află la o înălțime mai mare putând realiza o sarcină statică de circa 9 m.

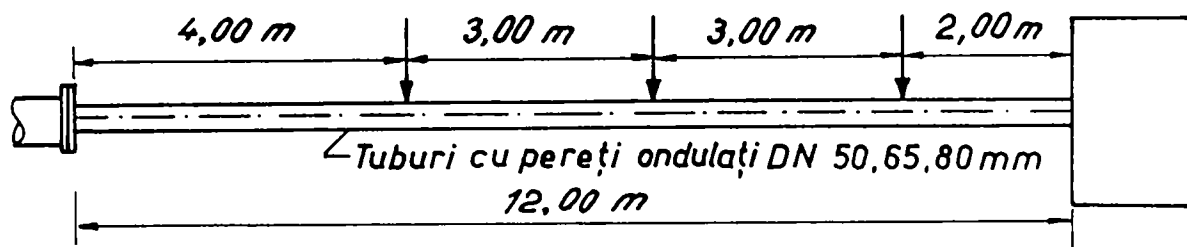
4.2.1 Descrierea standului.

Racordarea standului la circuitul hidraulic închis s-a făcut prin intermediul unui sistem de conducte cu diametre descrescând de la 228.6 mm (9") la 105 mm, 5 coturi și 2 vane necesare reglării debitului.

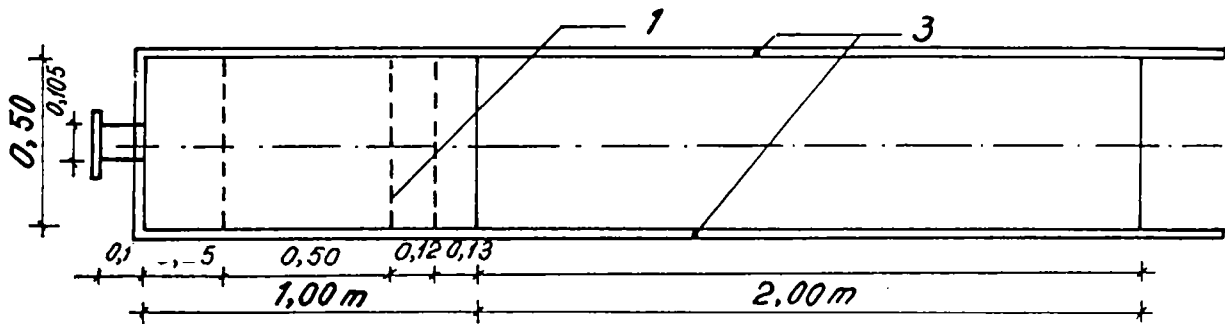
Standul propriu-zis cuprinzând ultima vană, zona de racord a tuburilor și bazinul de măsurare a debitelor este prezentat în Fig. 4.2. Distanța de la ultima vană până la bazin a fost de 12 m.

4.2.2 Prizele de presiune. Măsurarea presiunilor.

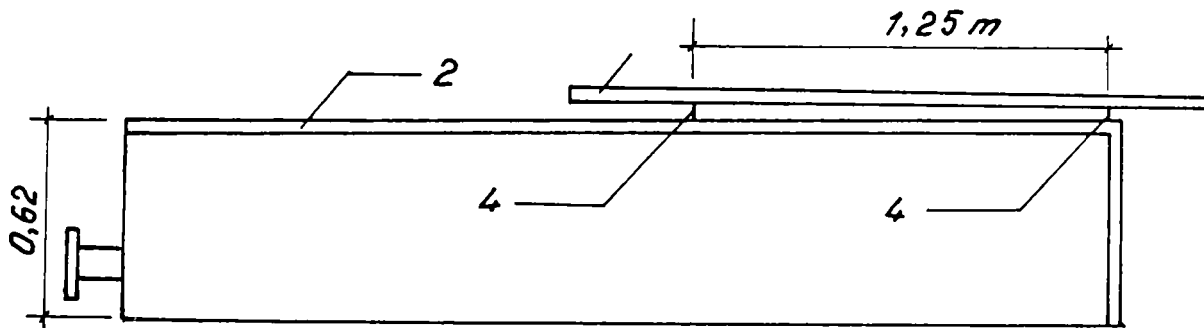
Cele trei prize statice au fost amplasate la 3 m distanță între ele, prima aflându-se la o distanță de 4 m de zona de racordare a tuburilor (ceea ce reprezintă 50 DN pentru tubul cu DN 80 mm), iar ultima la o distanță de 2 m față de bazinul de măsurare a debitelor. Spre deosebire de standul nr. 1, de această dată în fiecare din cele 3 secțiuni au fost executate câte două prize la nivelul axului orizontal al tuburilor, racordate la același tub flexibil de legătură la cele 3 piezometre amplasate alăturat pe un panou. Metodologia de citire a presiunilor a fost aceeași ca în cazul standului experimental nr. 1.



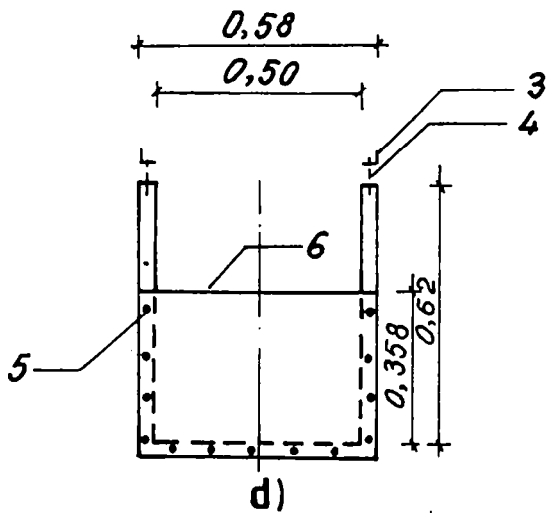
a)



b)



c)



d)

Fig.4.2 Stand experimental Nr.2

a) vedere de ansamblu; b) bazin de măsurare a debitului (vedere în plan); c) vedere laterală; d) idem vedere avânt

1-grătare; 2-profile de rigidizare; 3-șine de rulare, 4-șuruburi de calare; 5-șuruburi de fixare deversor; 6-creastă deversor

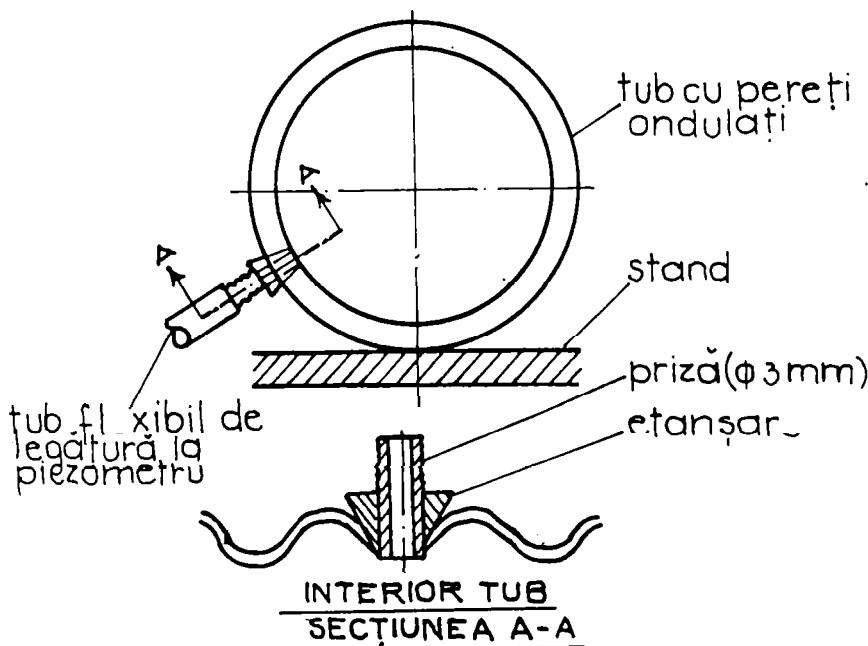


Fig. 4.3 Prize statice (Stand Nr.1)

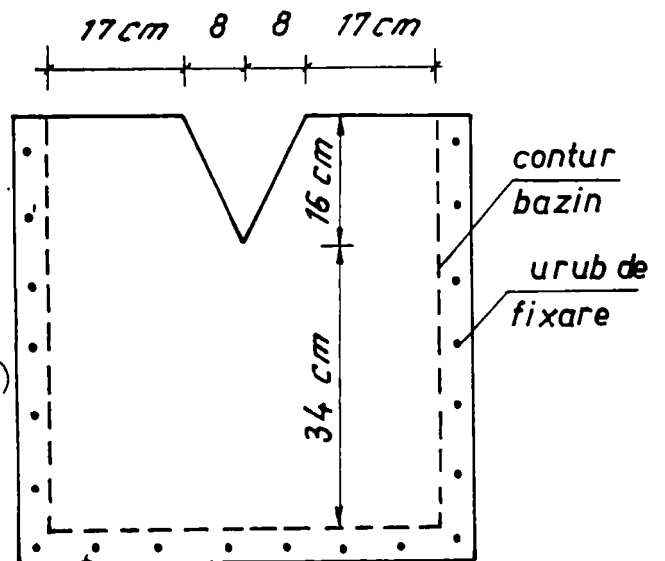


Fig 4.4 Deversor triunghiular
1/2 - 90°

4.2.3 Măsurarea debitelor.

Bazinul de măsurare a debitelor a permis atașarea unor profile deversante de forme diferite în funcție de mărimea debitelor pentru mărirea preciziei de măsurare. Realizarea unei suprafețe libere a apei în bazin fără ondulații a fost asigurată prin trei grătare și un placaș plutitor perforat articulat de ultimul grătar.

Reperarea suprafeței libere a apei s-a făcut cu ajutorul unui limnometru de tip R82, prevăzut și cu semnalizare electrică, la care pentru diminuarea efectului tensiunii superficiale a apei în jurul vârfului-senzor, s-a înlocuit vârful original cu un ac de seringă. Conform sistemului de măsură al limnometrului, precizia este de 0,0001 m. Pentru deplasarea limnometrului în lungul bazinului, limnometrul a fost montat pe un cărucior care se deplasa pe două șine de ghidare, în scopul asigurării distanței de la secțiunea de măsurare în bazin față de creasta deversorului.

Profilurile deversoare folosite la acest stand au fost adoptate în funcție de mărimea debitelor. Pentru debite relativ mici s-a folosit un deversor cu perete subțire de formă triunghiulară de tipul (1/2 90°) Fig. 4.4, valoarea 1/2 reprezentând raportul dintre jumătatea laturii orizontale a profilului triunghiular și înălțimea aferentă, debitul fiind dat de formula:

$$Q = 1.18125 C_d h^{5/2}$$

în care C_d reprezintă un coeficient în funcție de sarcina h a deversorului, indicat tabelar pentru pasul de 1 mm, conform ISO/TC 113 (secretariat 46) 92 F, documentație avută la dispoziție. Acest deversor a fost utilizat pentru măsurarea debitelor până la cca. 11 l/s, această limitare fiind impusă de dimensiunile constructive ale bazinului, respectiv cota zero a deversorului și cota părții superioare a bazinului.

Pentru debite mai mari a fost utilizat un deversor dreptunghiular fără contracție laterală cu lățimea $b = 0.44$ m și înălțimea pragului $p_1 = 0.324$ m, debitul fiind calculat cu relația:

$$Q = mbh\sqrt{2gh}$$

coeficientul de debit m fiind dat de relația:

$$m = 0.404 + 0.054 \frac{h}{p_1} + \frac{0.001}{h}$$

Pentru determinarea sarcinii deversorului a fost utilizată relația:

$$h_{dev} = C_1 - C_0$$

unde:

C_1 este cota citită la limnimetru în secțiunea de măsură;

C_0 este cota zero a deversorului.

4.2.4 Caracteristicile tuburilor cu pereți ondulați.

Pe acest stand au fost efectuate măsurători experimentale pentru tuburile cu pereți ondulați din material plastic cu diametru nominal de 50 mm, 65 mm și 80 mm, neperforate. Lungimea totală a tuburilor a fost de 12 m, distanța între prima și ultima priză statică fiind de 6 m.

Caracteristicile geometrice ale secțiunilor transversale au fost determinate ca și anterior prin decuparea a 5 tronsoane cu lungimea de 30 cm, după efectuarea măsurătorilor, rezultând următoarele valori:

DN 50 mm

- diametrul interior $D_i = 44.12$ mm;
- diametrul exterior $D_e = 50.83$ mm;
- diametrul volumetric $D_v = 46.675$ mm;
- înălțimea ondulației $k = 2.555$ mm;
- pasul ondulației $l = 5.495$ mm;
- grosimea peretelui $t = 0.815$ mm.

DN 65 mm

- diametrul interior $D_i = 56.1$ mm;
- diametrul exterior $D_e = 63.16$ mm;
- diametrul volumetric $D_v = 58.72$ mm;
- înălțimea ondulației $k = 2.62$ mm;
- pasul ondulației $l = 5.52$ mm;
- grosimea peretelui $t = 0.91$ mm.

DN 80 mm

- diametrul interior $D_i = 72.5$ mm;
- diametrul exterior $D_e = 79.42$ mm;
- diametrul volumetric $D_v = 75.01$ mm;
- înălțimea ondulației $k = 2.51$ mm;
- pasul ondulației $l = 5.94$ mm;
- grosimea peretelui $t = 0.95$ mm.

Măsurătorile experimentale au fost prelucrate într-un tabel de forma arătată în Tabelul 4.3.

Regim	h_{dev} (cm)	Q (l/s)	v (m/s)	$\frac{L v^2}{D 2g}$	Δh (cm)	λ	ν ($\times 10^{-6}$)	Re	Panta piezometr.
TUB DN 50 mm $D_e = 46.5$ mm $S = 0.1697366$ dm ² $L = 6$ m $\frac{L}{D_e} = 116.45$									
1	8.36	1.440	0.84795	4.2459	0.509	0.11930	1.045	39020	0.09400
2	8.60	1.549	0.91214	4.9131	0.580	0.11920	1.052	42074	0.10877
3	10.33	2.438	1.4356	12.1703	1.285	0.10504	1.037	68464	0.23740
4	11.90	3.457	2.0357	24.7710	2.622	0.10660	1.043	98230	0.48420
TUB DN 65 mm $D_e = 58.7$ mm $S = 0.2704866$ dm ² $L = 6$ m $\frac{L}{D_e} = 102.21$									
1	13.09	4.3760	1.617825	13.51070	1.220	0.090300	1.0700	87949	0.205214
2	13.50	4.7220	1.745740	15.73167	1.440	0.091535	1.0690	95802	0.242220
3	13.75	4.9420	1.827070	17.23170	1.580	0.091690	1.0580	101325	0.265760
4	14.55	5.6835	2.099180	22.74660	2.100	0.091830	1.0303	119496	0.353240
5	14.26	5.4070	2.002400	20.69740	1.890	0.091320	1.2230	96038	0.317914
6	15.27	6.4060	2.372360	29.05200	2.785	0.091810	1.2030	115815	0.468460
TUB DN 80 mm $D_e = 75.41$ mm $S = 0.44166$ dm ² $L = 6$ m $\frac{L}{D_e} = 78.832$									
1	8.58	1.540	0.34868	0.4860	2.7	0.05497	1.015	26379	0.00454
2	9.45	1.955	0.44264	0.7832	4.5	0.05685	1.024	33487	0.00769
3	10.09	2.356	0.53343	1.1375	6.3	0.05480	1.035	40645	0.01216
4	10.78	2.708	0.61313	1.5028	8.8	0.05790	1.021	47067	0.01480

TABELUL 4.3

CAPITOLUL 5

**PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA MĂSURĂRILOR
EXPERIMENTALE**

5.1 Prelucrarea măsurătorilor experimentale.

Pentru tubul cu DN 50 mm, pentru cele 42 de regimuri de curgere realizate pe cele două standuri, rezultatele prelucrărilor ($R - \lambda$) sunt prezentate în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1

Nr. crt.	Re	λ	Nr. crt.	Re	λ
1	1205	0.1017	22	30694	0.1198
2	1398	0.0935	23	33503	0.1168
3	1481	0.0929	24	39020	0.1193
4	1626	0.1015	25	42074	0.1192
5	1706	0.1062	26	44013	0.1110
6	1776	0.1148	27	49355	0.1105
7	2322	0.1062	28	51602	0.1101
8	2552	0.1119	29	55738	0.10905
9	2776	0.1148	30	42478	0.10773
10	2728	0.1156	31	55180	0.10445
11	3316	0.1175	32	58830	0.10507
12	3711	0.1106	33	62400	0.10151
13	5401	0.1111	34	68464	0.10504
14	5456	0.1106	35	72625	0.1050
15	5485	0.1199	36	77282	0.10525
16	8016	0.1151	37	82690	0.10531

17	9925	0.1111	38	87145	0.10456
18	15471	0.1453	39	92018	0.10551
19	18125	0.1379	40	98230	0.1066
20	21713	0.1355	41	104100	0.1059
21	26367	0.1318	42	112583	0.10441

Pentru tubul cu DN 65 mm, pentru cele 42 de regimuri de curgere realizate pe cele două standuri, rezultatele prelucrărilor ($R - \lambda$) sunt prezentate în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2

Nr. crt.	Re	λ	Nr. crt.	Re	λ
1	14989	0.08369	22	88773	0.09173
2	17147	0.08481	23	89368	0.09129
3	22040	0.08521	24	91781	0.09396
4	25064	0.08604	25	93122	0.0924
5	28669	0.08631	26	95802	0.09153
6	32302	0.08648	27	96038	0.09132
7	35396	0.08796	28	97397	0.09173
8	38963	0.08635	29	98178	0.08872
9	42755	0.08627	30	98649	0.0932
10	46799	0.08821	31	101325	0.09169
11	58057	0.08989	32	107591	0.09122
12	62250	0.08897	33	108900	0.09228
13	66453	0.08829	34	112503	0.09221
14	71195	0.08814	35	115815	0.09181
15	74018	0.08881	36	117275	0.09198
16	77057	0.08933	37	119496	0.09183
17	79743	0.09205	38	123362	0.09258

18	81170	0.09182	39	123754	0.0943
19	84924	0.09177	40	98230	0.08954
20	85726	0.08972	41	104100	0.09145
21	87949	0.09030	42	112583	0.10441

Pentru tubul cu DN 80 mm, rezultatele prelucrărilor ($R - \lambda$) sunt prezentate în tabelul 5.3.

Tabelul 5.3

Nr. crt.	Re	λ	Nr. crt.	Re	λ
1	26379	0.05497	24	134195	0.0643
2	33487	0.0585	25	138790	0.0646
3	36539	0.05677	26	143323	0.06477
4	40645	0.0548	27	149961	0.0656
5	42349	0.0587	28	154106	0.0664
6	47067	0.0579	29	161222	0.06435
7	52754	0.0563	30	163207	0.0663
8	56859	0.05777	31	167787	0.067
9	60718	0.05787	32	175735	0.0666
10	65110	0.05824	33	178706	0.06842
11	71210	0.0591	34	182027	0.0672
12	75455	0.0587	35	185524	0.06828
13	82067	0.0602	36	186468	0.0682
14	84967	0.0603	37	189105	0.0696
15	89906	0.0599	38	194495	0.0683
16	96494	0.0611	39	196719	0.06793
17	102028	0.0618	40	205073	0.07037
18	107290	0.06221	41	210912	0.07045
19	113310	0.06253	42	227081	0.06974

20	117000	0.06342	43	232057	0.06965
21	121706	0.06317	44	239261	0.07011
22	127915	0.0635	45	247179	0.06972
23	132387	0.0638	46	250058	0.07016

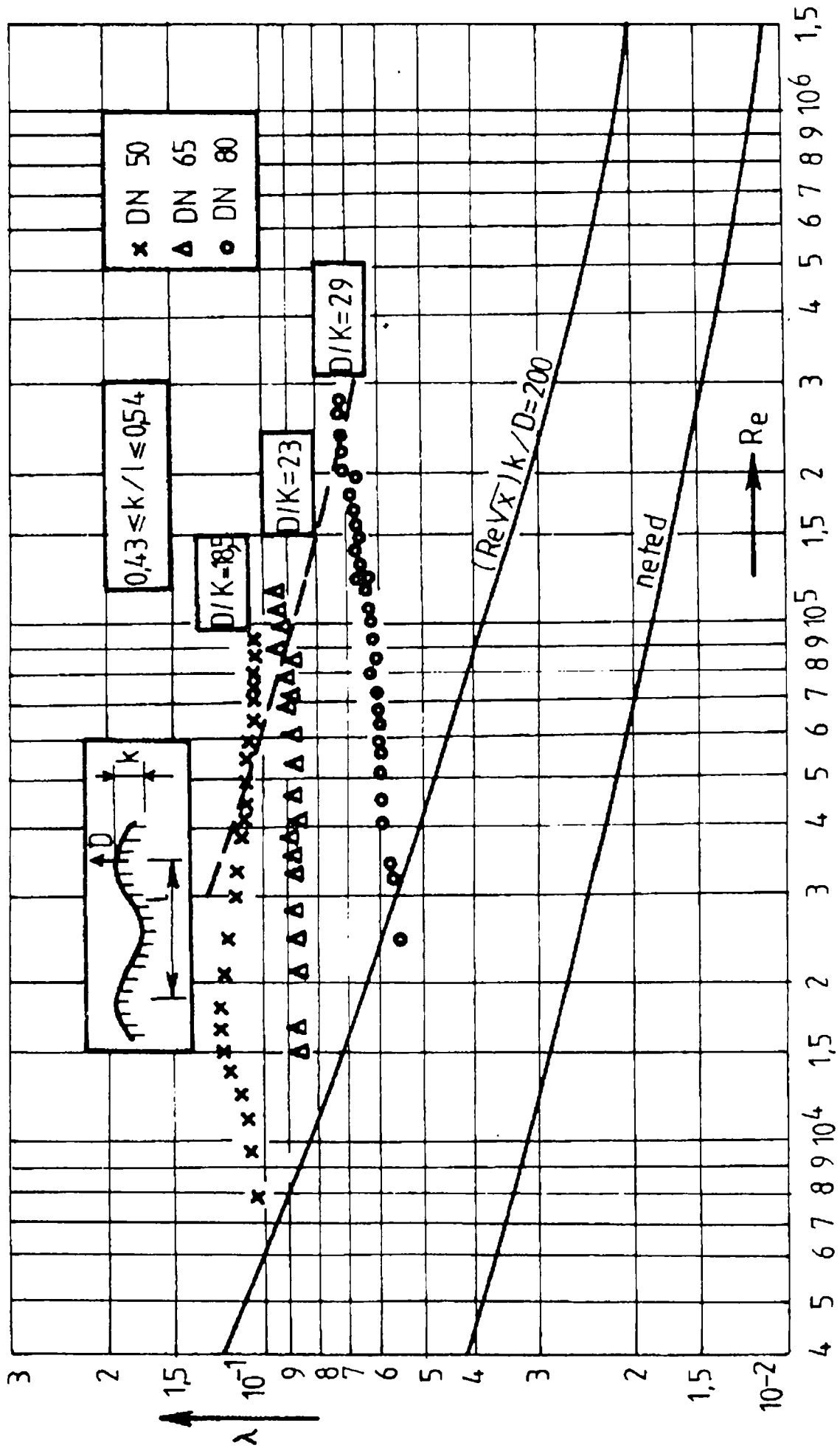
5.2 Încadrarea rezultatelor experimentale în diagrama ($\lambda - Re$)

În diagrama din Fig. 5.1 au fost reprezentate rezultatele prelucrării măsurătorilor experimentale, putând fi trase următoarele concluzii:

- zona de tranziție continuă peste valoarea $Re\sqrt{\lambda} \frac{k}{D} = 200$;
- reprezentarea sugerează o mărime a valorii limitei regimului de tranziție (linia punctată din diagramă), cu observația că numărul punctelor peste această nouă limită este relativ redus, capacitatea instalației nepermițând obținerea de numere Reynolds mai mari;
- pentru tubul cu DN 50 mm, are loc o creștere a valorii coeficientului λ până la un maxim ($\lambda_{max} = 0.1453$), după care urmează o scădere până la valoarea 0.10441;
- pentru tubul cu DN 65 mm are loc o creștere a coeficientului λ până la valoarea 0.010441;
- pentru tubul cu DN 80 mm are loc de asemenea o creștere până la valoarea 0.07045.

În consecință rezultatele sunt similare celorlalte rezultate ale măsurătorilor experimentale prezentate în Capitolul 2.

FIGURA 5.1



5.3 Încadrarea rezultatelor experimentale în diagrama Morris.

Din reprezentarea făcută în diagrama din Fig. 5.2, prin parametrii $\left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \frac{R_0}{l}\right)$ și respectiv $Re\sqrt{\lambda} / \left(\frac{R_0}{l}\right)$ pot fi trase următoarele concluzii:

- pentru tubul cu DN 80 mm, comportarea se aseamănă cu rugozitatea din benzi ondulate;
- pentru tubul cu DN 65 mm, comportarea este oarecum asemănătoare cu rugozitatea din benzi ascuțite;
- pentru tubul cu DN 50 mm, comportarea este asemănătoare cu cea a curbelor Nikuradse.

Poate însă fi semnalat faptul că deși pentru cele trei tuburi raportul k/l variază între valorile 0.43 și 0.54, deci geometria ondulației nu diferă mult, comportarea lor este total diferită. Acest lucru ne poate conduce la concluzia că înlocuirea înălțimii ondulației “k” cu distanța între ondulații “l” nu este corespunzătoare.

De aceea, în continuare se prezintă în conformitate cu relația (3.13) rezultatele obținute prin utilizarea a doi parametrii D/k și L/k .

5.4 Rezultatele obținute prin utilizarea parametrului DL/k^2 în regimul de tranziție.

Pentru tubul cu diametrul nominal DN 50 mm, reprezentând în sistemul de axe $\left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \log \frac{DL}{k^2}\right)$ și $\left(Re\sqrt{\lambda} \frac{k^2}{DL}\right)$, s-a obținut pe baza datelor prezentate în Anexa nr. 1, diagrama din Planșa Nr. 11. Corelația logaritmică a fost obținută prin utilizarea “GRAPHER Version 175 Main. Menu”, “GRAPHER Copyright©, 1988”, Golden Software, Inc. În Planșa nr. 12 se prezintă abaterile punctelor măsurate. Corelația obținută este de forma:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \log \frac{DL}{k^2} = -0.0066 \ln \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{DL} \right) + 6.1752 \quad (5.1)$$

respectiv:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{DL}{k^2} - 0.0152 \log \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{DL} \right) + 6.1752 \quad (5.2)$$

Relația poate fi prelucrată în continuare la formele:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{DL}{k^2} - 2 \log \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{DL} \right)^{0.0076} - 2 \log 10^{3.08} \quad (5.3)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{DL}{k^2} \cdot \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{DL} \right)^{0.0076} \cdot 8.3 \cdot 10^{-4} \right] \quad (5.4)$$

Pentru tubul cu diametrul nominal DN 65 mm, s-a obținut pe baza datelor prezentate în Anexa nr. 2, corelația prezentată în Planșa nr. 14:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \log \frac{DL}{k^2} = -0.0785 \ln \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{DL} \right) + 7.1258 \quad (5.5)$$

respectiv:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{DL}{k^2} - 0.18 \log \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{DL} \right) + 7.1258 \quad (5.6)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{DL}{k^2} - 2 \log \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{D} \right)^{0.009} - 2 \log 10^{3.56} \quad (5.7)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{DL}{k^2} \cdot \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{DL} \right)^{0.009} \cdot 2.75 \cdot 10^{-3} \right] \quad (5.8)$$

Pentru tubul cu diametrul nominal DN 80 mm, s-a obținut pe baza datelor prezentate în Anexa nr. 3, corelația prezentată în Planșa nr. 15 și Planșa nr. 16:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{DL}{k^2} - 0.2308 \ln \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{DL} \right) + 9.0361 \quad (5.9)$$

respectiv:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{DL}{k^2} - 0.53 \log \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{DL} \right) + 9.0361 \quad (5.10)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{DL}{k^2} - 2 \log \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{D} \right)^{0.265} - 2 \log 10^{-4.5} \quad (5.11)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{DL}{k^2} \cdot \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{DL} \right)^{0.265} \cdot 3.16 \cdot 10^{-5} \right] \quad (5.12)$$

Pentru tuburile cu diametrul nominal DN 65 și DN 80 care au o comportare asemănătoare, în sensul că valorile λ cresc cu mărirea numărului Re, pe baza datelor din Tabelul nr. 5.2 și 5.3, s-a obținut corelația dată în Planșa nr. 19:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{DL}{k^2} - 0.2635 \ln \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{DL} \right) + 8.7554 \quad (5.13)$$

respectiv:

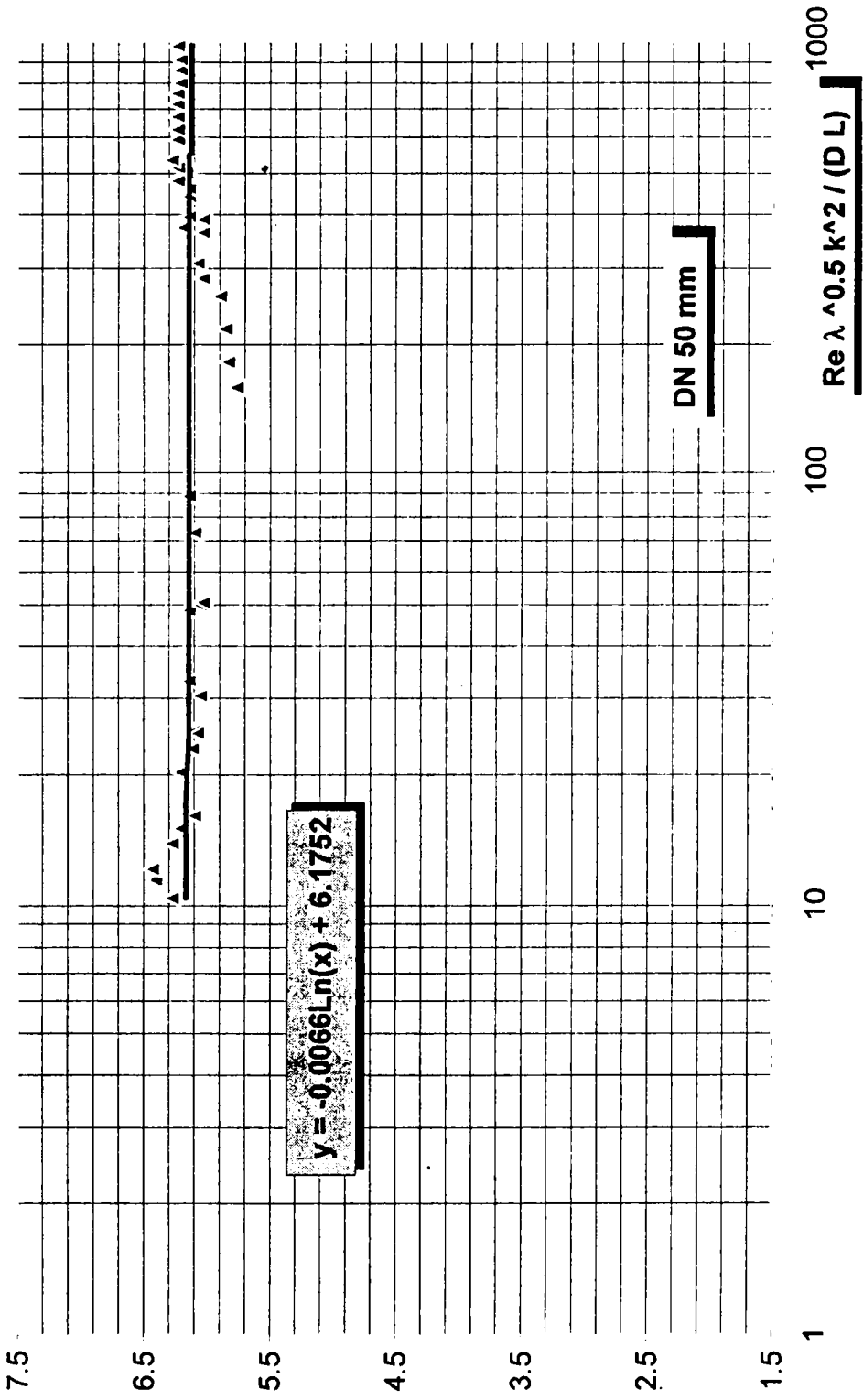
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{DL}{k^2} - 0.607 \log \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{DL} \right) + 8.7554 \quad (5.14)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{DL}{k^2} - 2 \log \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{D} \right)^{0.3035} - 2 \log 10^{-4.378} \quad (5.15)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{DL}{k^2} \cdot \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda} k^2}{DL} \right)^{0.3035} \cdot 4.18 \cdot 10^{-5} \right] \quad (5.16)$$

Plansa nr. 11

$1/\lambda^{0.5} + 2 \log(D L / k^2)$



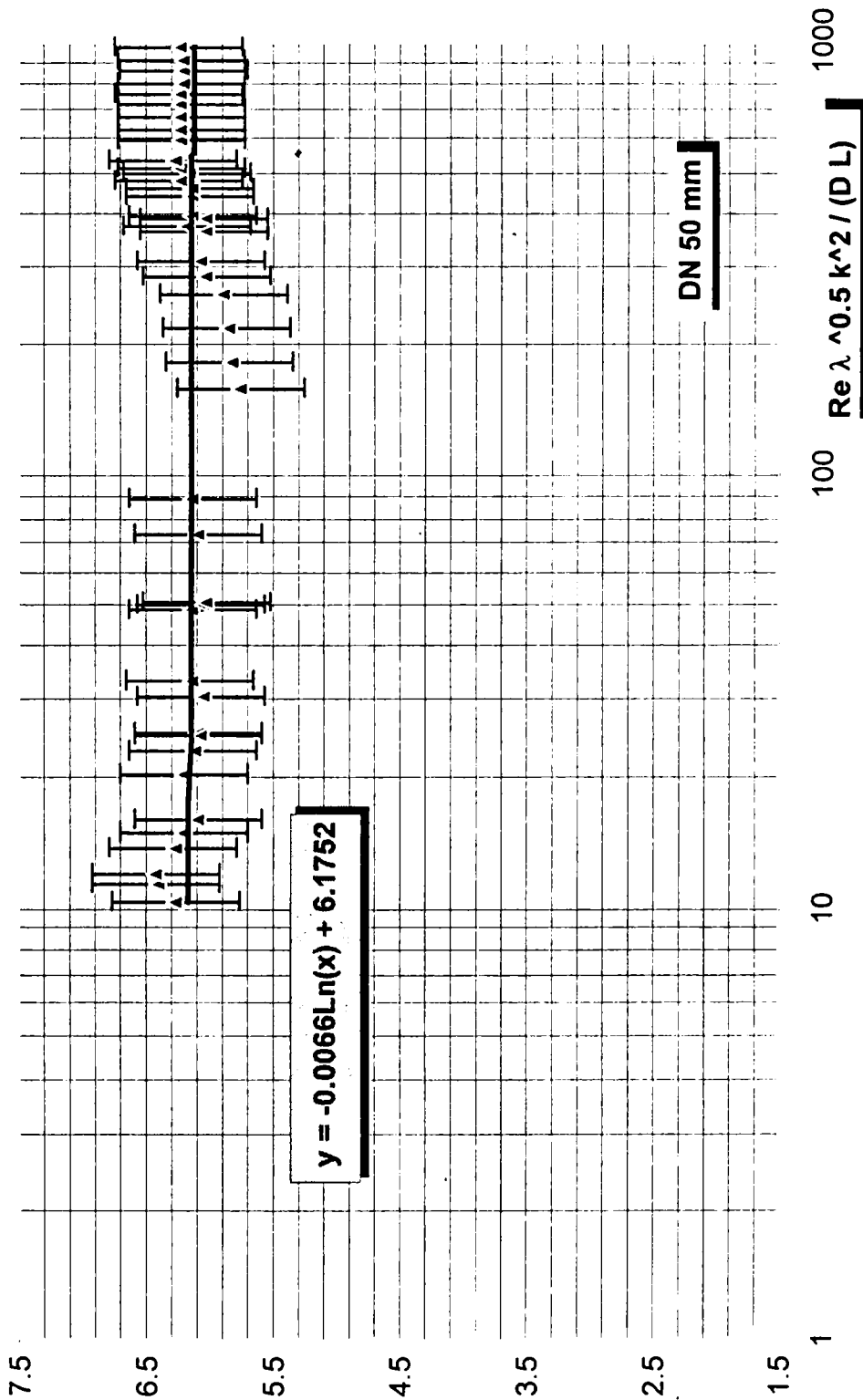
$y = -0.0066 \ln(x) + 6.1752$

DN 50 mm

- ▲ Series1
- Log. (Series1)

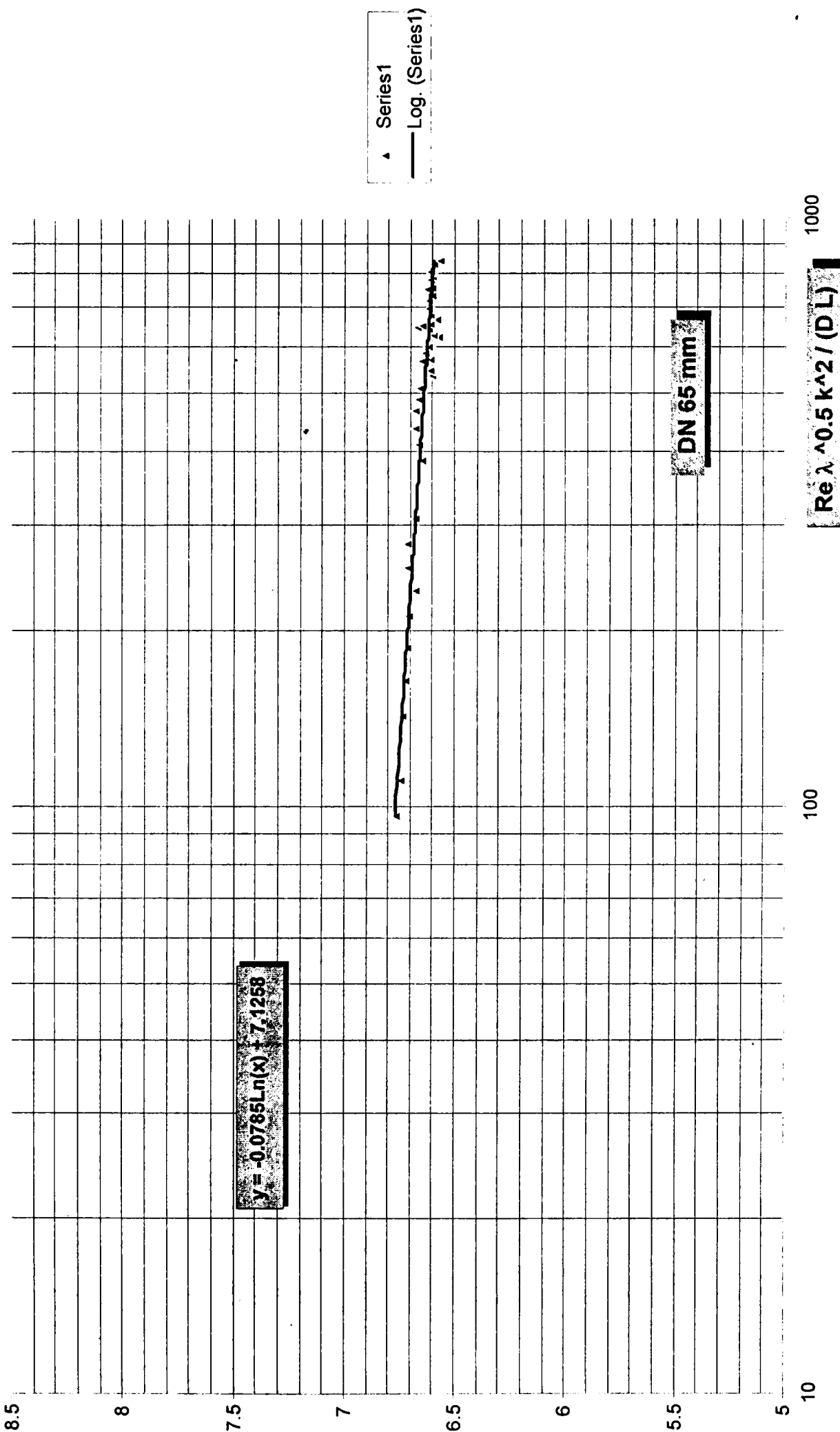
Plansa nr. 12

$$\frac{1}{\lambda} \cdot 0.5 + 2 \log \left(\frac{D L}{k^2} \right)$$



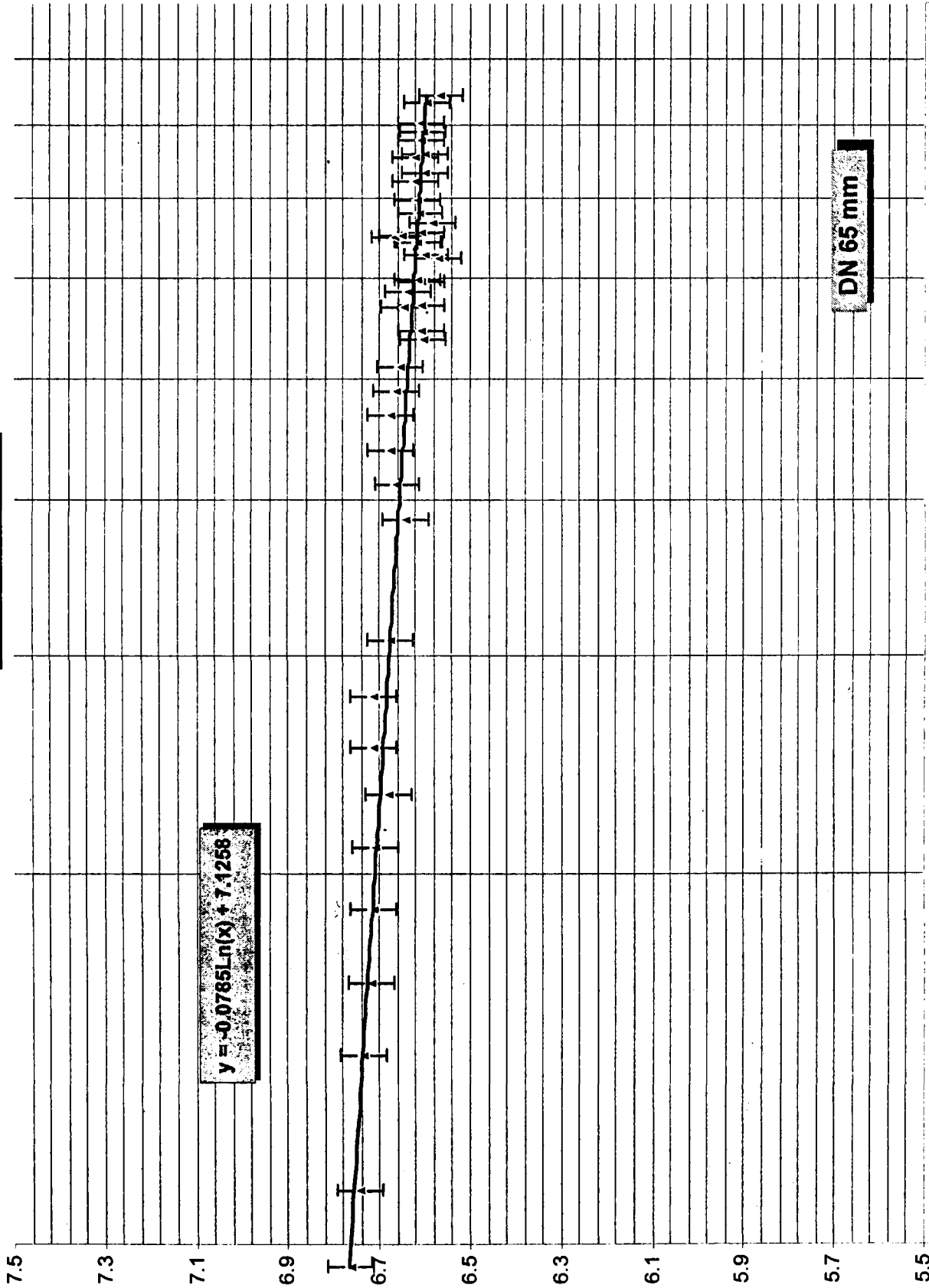
Plansa nr. 13

$$1/\lambda^{0.5} + 2.1 \log(DL/k^2)$$



$1/\lambda \cdot 0.5 \cdot 2 \cdot \log(DL/k^2)$

Plansa nr. 14



1000

$Re \cdot \lambda^{0.5} \cdot k^2 / (DL)$

100

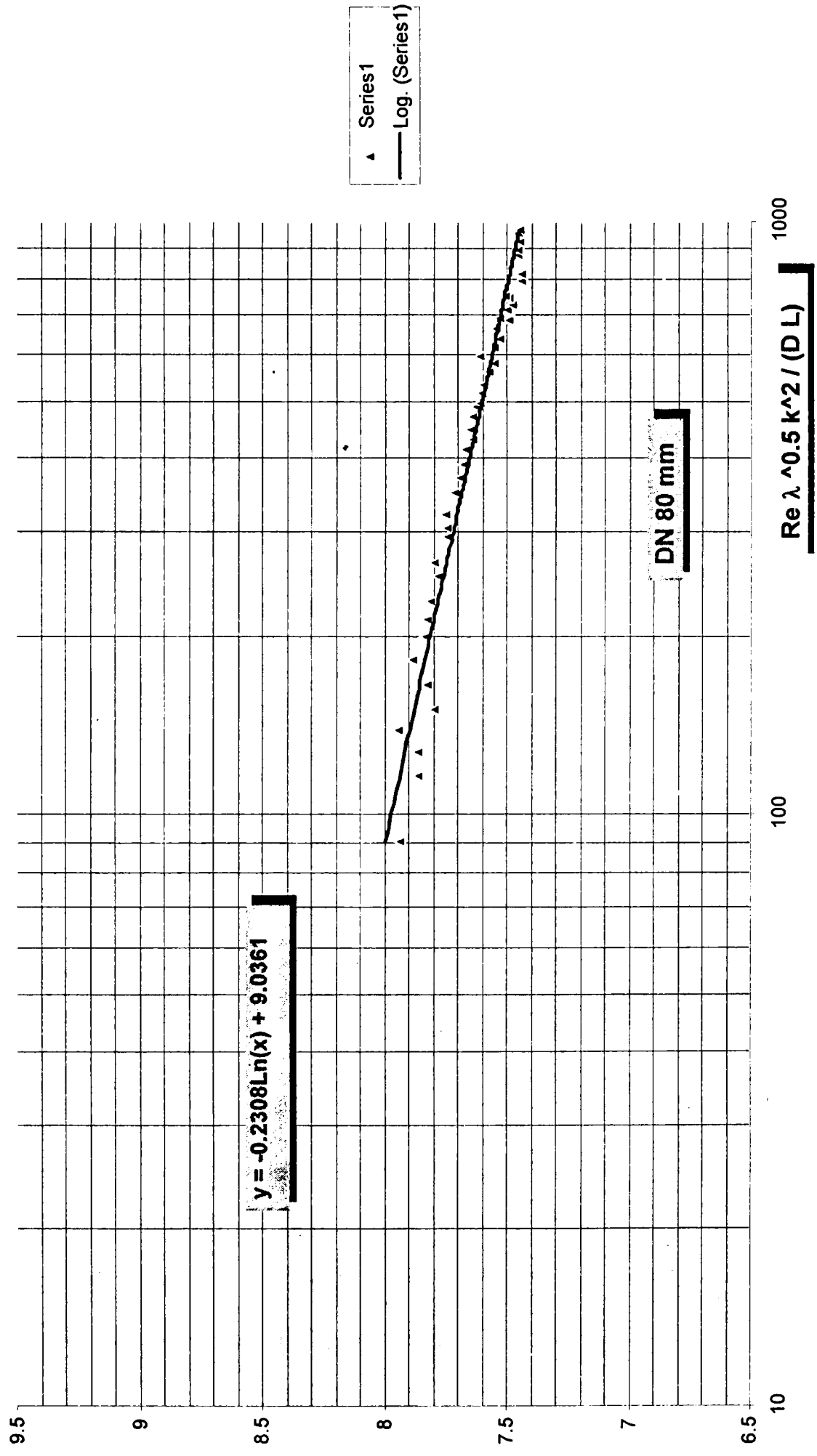
Plansa nr. 15

$1/\lambda^{0.5} + 2 \log(D/L/k^2)$

$y = -0.2308 \ln(x) + 9.0361$

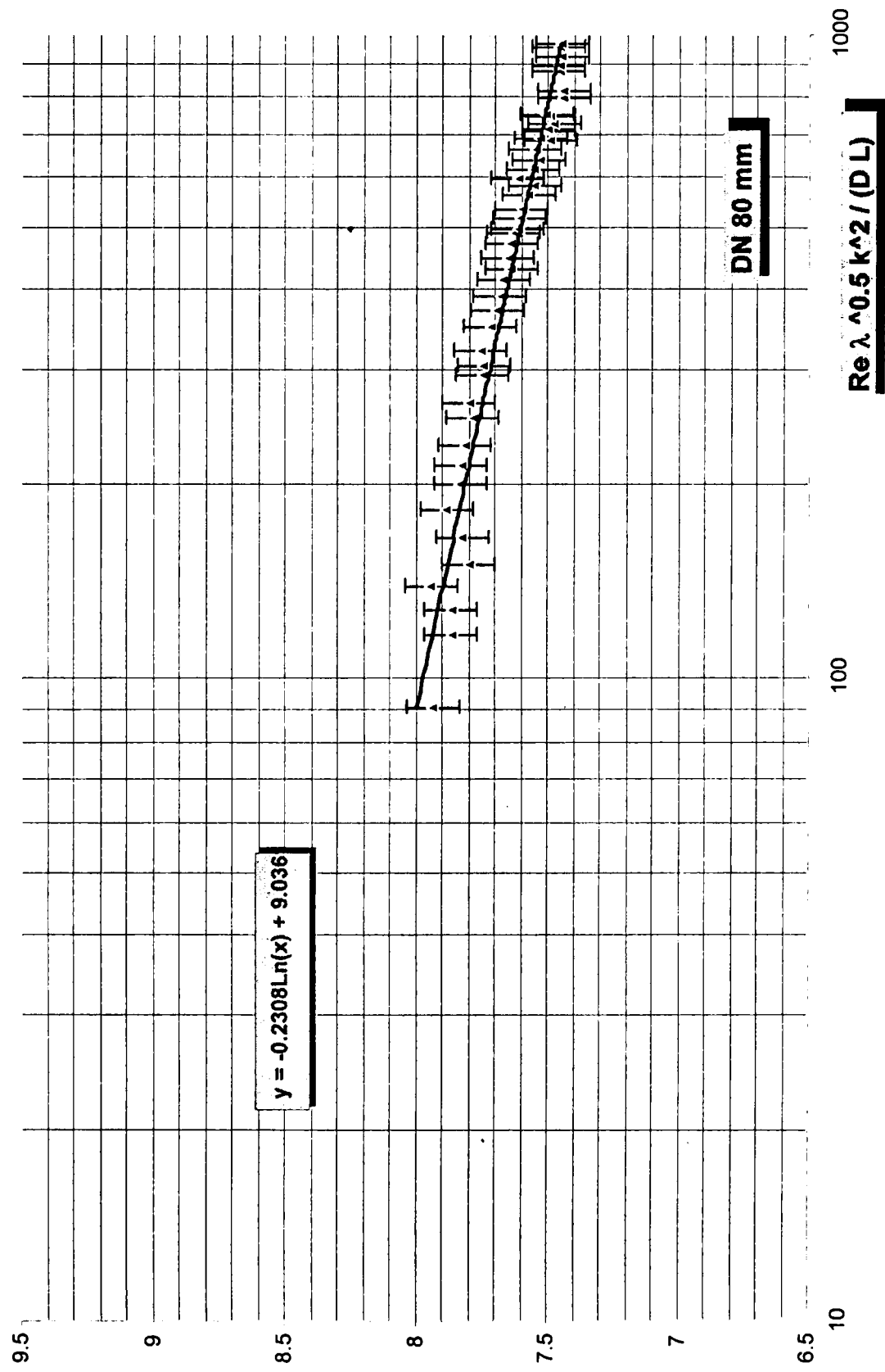
DN 80 mm

$Re \lambda^{0.5} k^2 / (D L)$

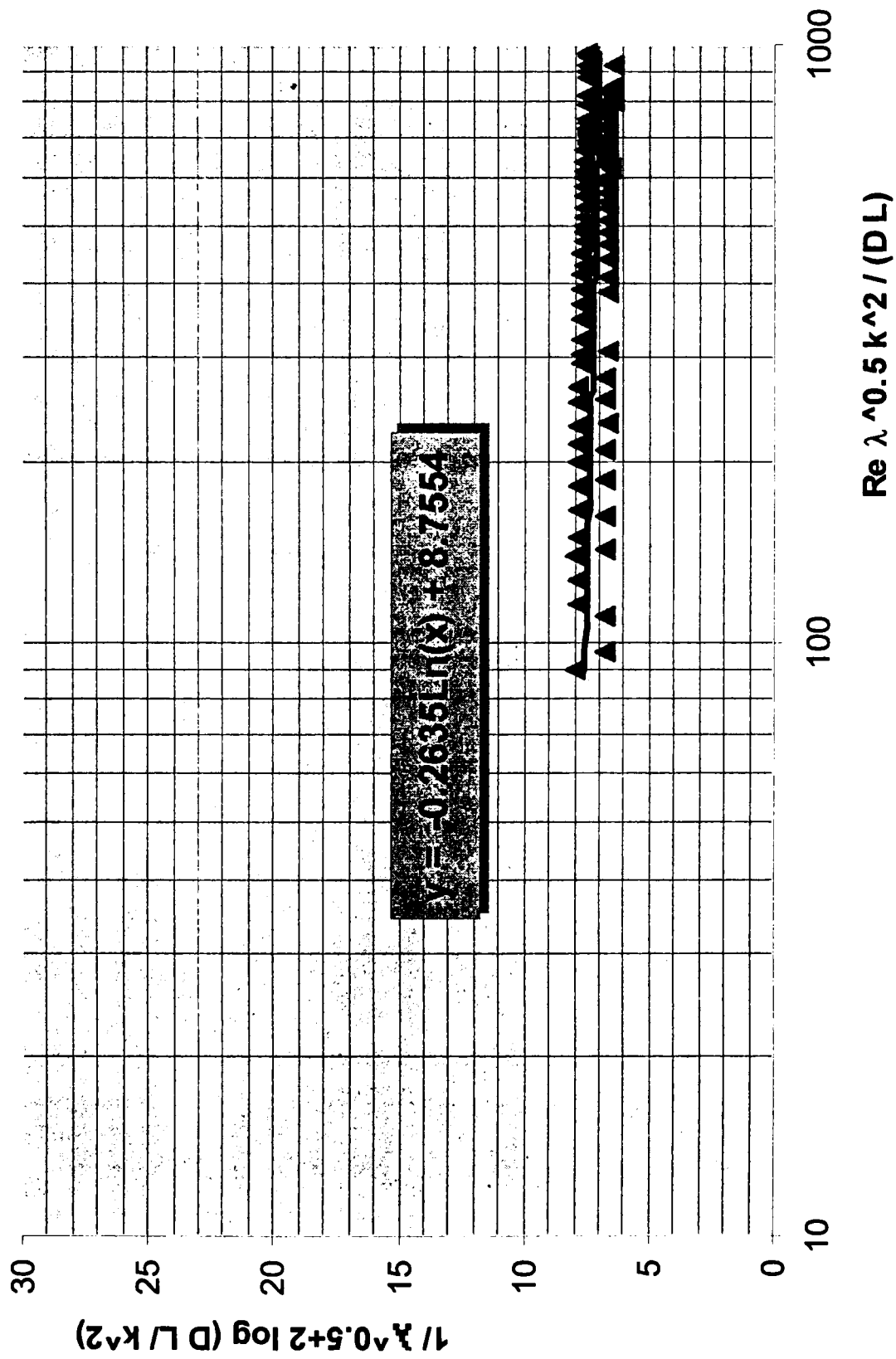


Plansa nr. 16

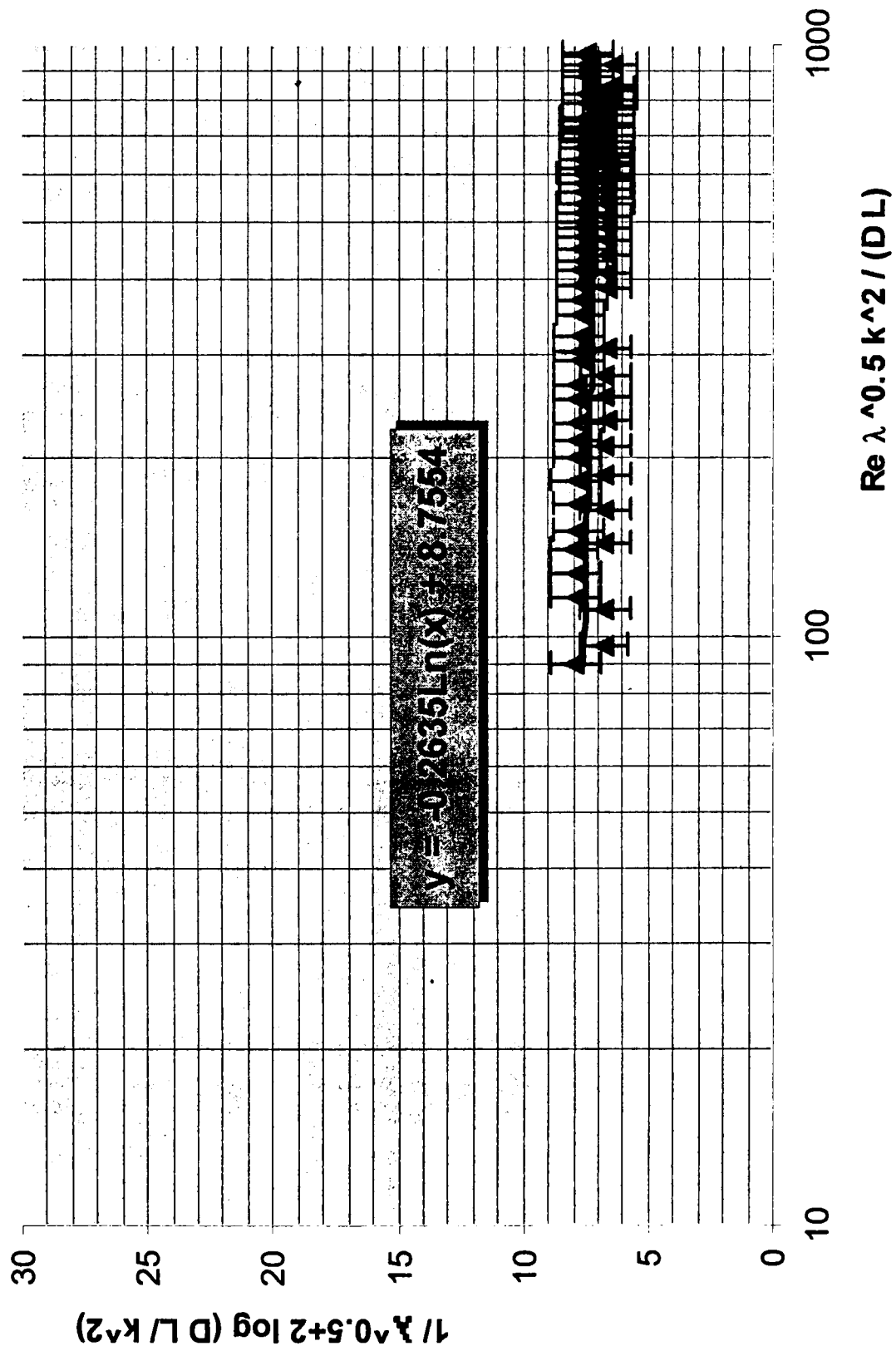
$$1/\lambda^{0.5} + 2 \log(DL/k^2)$$



Plansa nr 9



Plansa nr 20



5.5 Rezultatele obținute prin utilizarea parametrului DL/k^2 în regim turbulent pătratic.

Pentru obținerea unei relații de calcul a coeficientului de rezistență în regim turbulent pătratic, au fost utilizate măsurătorile experimentale efectuate în canal cu rugozitatea patului exprimată prin d_{50} cuprins între 0.2 și 0.7 publicate în [74]. Pentru trecerea de la parametrul $R_{\text{h}}L/k^2$ utilizat în această lucrare la parametrul DL/k^2 , s-a utilizat conceptul coeficientului de formă definit de Schröder R.C.M. [105]. Conform acestui concept coeficientul de formă “f” este definit prin relația:

$$D = fD_h \quad (5.17)$$

în care:

D – diametrul hidraulic în conductă;

D_h – diametrul hidraulic în canal.

Utilizând acest concept, înseamnă că pantele hidraulice în conductă, I_R și în canal I_G , trebuie să fie egale ($I = I_R = I_G$) respectiv:

$$\text{Re} = \frac{v_R D}{\nu} = \frac{v_G D_h}{\nu} = \text{const} \quad (5.18)$$

unde v_R este viteza medie în conductă și v_G este viteza medie în canal.

Utilizând relația Darcy – Weisbach:

$$I_R = \frac{\lambda_R}{D} \frac{v_R^2}{2g} \quad (5.19)$$

respectiv:

$$I_G = \frac{\lambda_G}{D_h} \frac{v_G^2}{2g} \quad (5.20)$$

rezultă că pentru a avea pante egale, trebuie ca:

$$\lambda_G = \lambda_R \left(\frac{D_h}{D} \right)^3 \quad (5.21)$$

Introducând coeficientul de formă definit prin relația (5.17), valoarea coeficientului de formă va fi dată de relația:

$$f = \sqrt[3]{\frac{\lambda_R}{\lambda_{ci}}} \quad (5.22)$$

Corespunzător acestui concept, trebuie ținut cont și de faptul că numerele Reynolds la cele două curgeri trebuie să fie egale. Din prelucrarea unor date experimentale a rezultat că nu există o dependență măsurabilă a coeficientului de formă de numărul Re.

Utilizând valorile coeficientului de formă în funcție de raportul între înălțimea apei h și lățimea canalului b date în diagrama din [67] după [108] s-a trecut astfel de la parametrul $R_h L/k^2$ la parametrul DL/k^2 cu relația:

$$\frac{DL}{k^2} = 4f \frac{R_h}{k^2} \quad (5.23)$$

Rezultatele prelucrării măsurătorilor în canale după [65], [106] sunt prezentate în Anexa nr. 4 și Anexa nr. 5.

În Anexele nr. 6, 7 și 8 sunt cuprinse valorile prelucrate după măsurători în conducte [114], [83] făcându-se valorile maxime obținute având în vedere că variația coeficientului λ cu numărul Re este crescătoare.

În Anexa nr. 9 sunt prezentate cele trei perechi de valori utilizând valorile coeficientului λ corespunzătoare liniei punctate din Planșa nr. 10.

Rezultatele corelației perechilor de valori $1/\sqrt{\lambda}$ și DL/k^2 este prezentat în Planșa nr. 17 și Planșa nr. 18.

În Planșa nr. 17, punctele albastre reprezintă perechile de valori din Anexa nr. 4 și Anexa nr. 5 obținute din măsurători în canale.

Corelația obținută este:

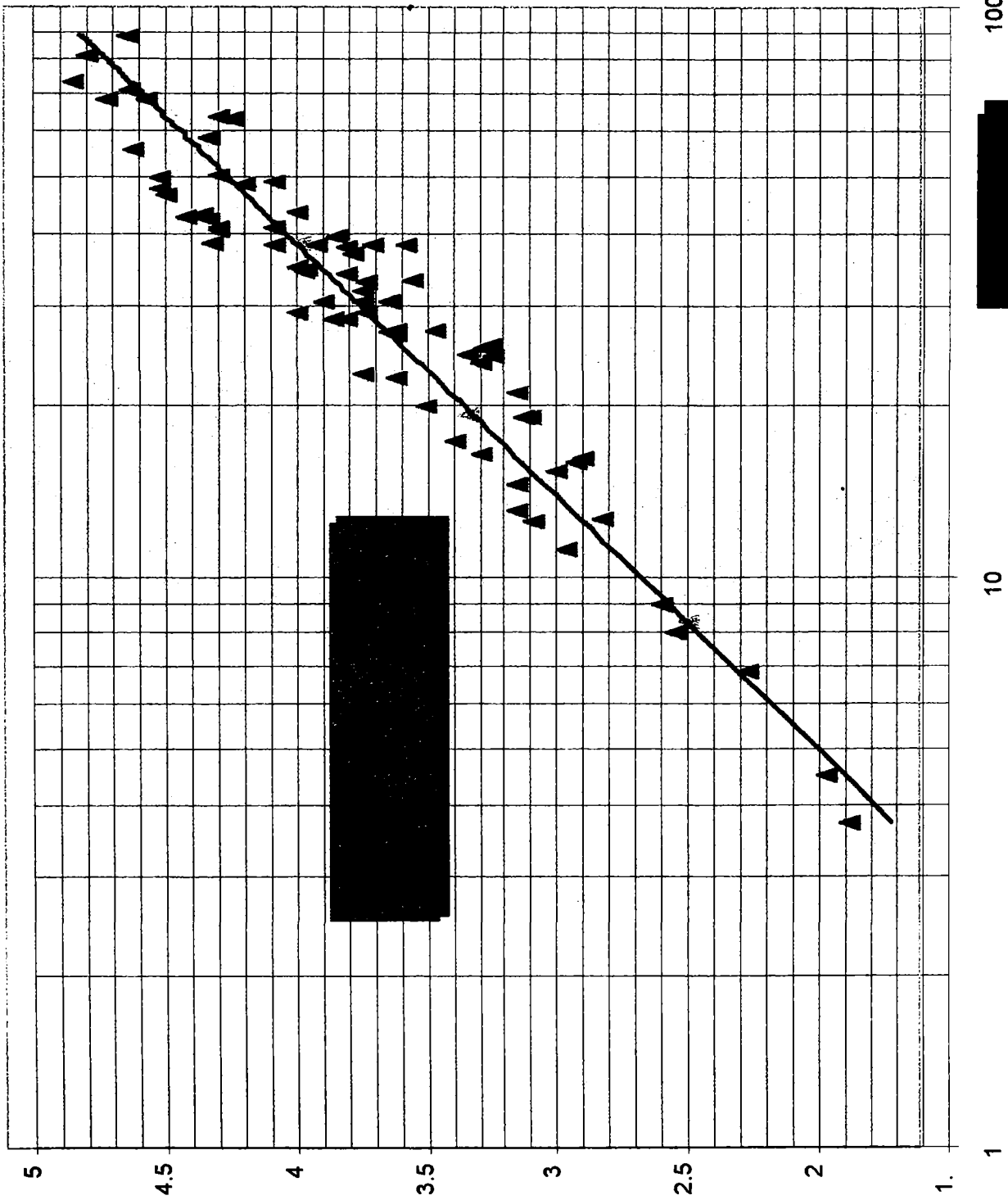
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 0.878 \ln \frac{DL}{k^2} - 1.8189 \quad (5.24)$$

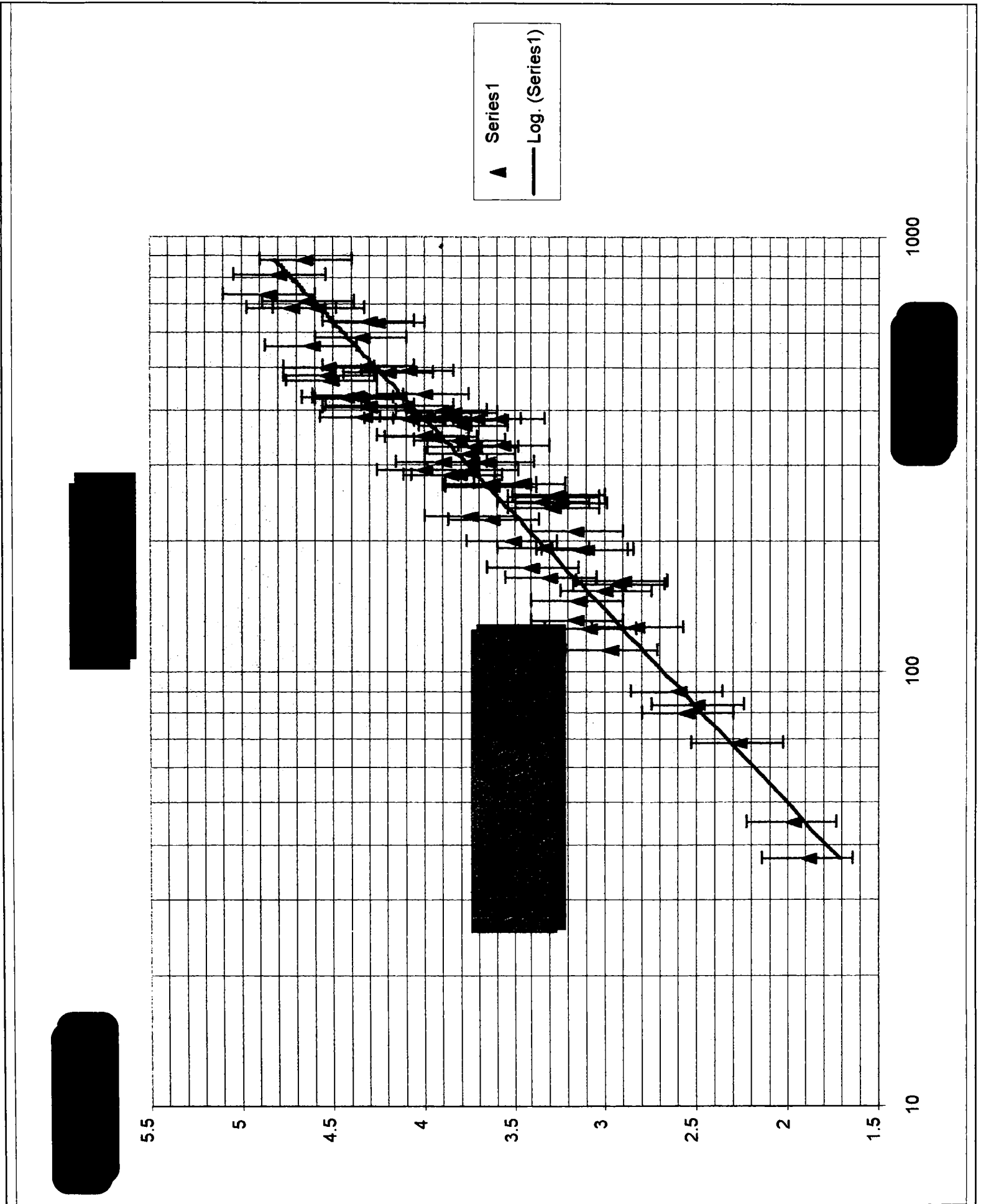
sau

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2.02 \log \frac{DL}{k^2} - 1.8189 \quad (5.25)$$

D. Chivereanu
 Chart IV
 Chart III
 Neill

▲ Series
 — Log.





5.6 Determinarea rugozității echivalente tip nisip.

Din relația (5.25) rezultă valorile coeficienților C_1 și C_2 din relația (3.20) și anume:

$$C_1 = 2.02 \approx 2.0$$

$$C_2 = -1.8189 \approx -1.82$$

Introducând acești coeficienți în relația (3.21) obținem:

$$k_e = \frac{D}{10^{0.50 - 1.82 - 1.141} \cdot \frac{DL}{k^2}} \quad (5.26)$$

sau:

$$k_e = 30.2 \frac{k^2}{L} = 30.2 \cdot k \cdot \left(\frac{k}{L} \right) \quad (5.27)$$

$$\left(0.42 \leq k/L \leq 0.47 \right)$$

În lucrarea [65] se dau valorile rugozității echivalente după alți cercetători:

SHINOHARA / TSUBAKI, 1959:

$$k_e = 7.5 \cdot k \cdot \left(\frac{k}{L} \right)^{0.57}$$

$$\left(0.02 \leq k/L \leq 0.1 \right)$$

SWART, 1976:

$$k_e = 25 \cdot k \cdot \left(\frac{k}{L} \right)$$

$$\left(0.05 \leq k/L \leq 0.2 \right)$$

ACKERS, 1964:

$$k_e = 37.7 \cdot k \cdot \left(\frac{k}{L} \right)^{1.01}$$

$$\left(0.12 \leq k/L \leq 0.17 \right)$$

VAN RIJN, 1982:

$$k_e = 1.1 \cdot \left(1 - e^{-2.5 \frac{k}{L}} \right)$$

$$\left(0.01 \leq k/L \leq 0.2 \right)$$

Determinând valoarea rugozității echivalente pentru cele trei tuburi cercetate în teză rezultă:

$$\text{DN } 50 \text{ mm} : \quad k^2/L = 1.18 \quad \Rightarrow \quad k_e = 35.60 \text{ mm}$$

$$\text{DN } 65 \text{ mm} : \quad k^2/L = 1.24 \quad \Rightarrow \quad k_e = 37.45 \text{ mm}$$

$$\text{DN } 80 \text{ mm} : \quad k^2/L = 1.06 \quad \Rightarrow \quad k_e = 32.00 \text{ mm}$$

Așa cum s-a semnalat și la paragraful (2.3), rezultă că nu este posibilă considerarea unei rugozități echivalente a nisipului, K_e , ca rugozitate relativă k_e/D .

5.7 Interpolarea valorilor experimentale ($\lambda - \text{Re}$) prin funcții spline cubice.

5.7.1 Considerații teoretice.

Definiție:

Fie x_1, x_2, \dots, x_n puncte distincte din \mathfrak{R} . O funcție $G: \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}$ se numește *funcție spline cubică naturală* cu nodurile x_1, x_2, \dots, x_n dacă:

- (i) pe intervalele $(-\infty, x_1]$ și $[x_n, \infty)$, funcția G este un polinom de gradul 1;
- (ii) pe intervalele $[x_k, x_{k+1}]$, $k = 1, 2, \dots, n-1$, funcția G este un polinom de gradul 3 (în general polinoamele atât în cazul (i) cât și în cazul (ii) diferă de la interval la interval);
- (iii) G este de clasă C^2 pe \mathfrak{R} (adică are derivate de ordinul I și II pe \mathfrak{R} și sunt continue pe \mathfrak{R}).

Teorema 1.

Fiind date n puncte distincte și o funcție $f: \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}$, există o funcție spline cubică naturală unică $G: \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}$ astfel încât:

$$G(x_k) = f(x_k), \quad k = 1, 2, \dots, n$$

Demonstrația:

Considerăm următoarele polinoame:

$$P_{3,0}(x) = c_{1,0} + c_{2,0}(x - x_1) \quad \text{dacă } x \in (-\infty, x_1]$$

$$P_{3,k}(x) = c_{1,k} + c_{2,k}(x - x_k) + c_{3,k}(x - x_k)^2 + c_{4,k}(x - x_k)^3 \quad \text{dacă } x \in [x_k, x_{k+1}] \quad k = 1, 2, \dots, n-1$$

$$P_{3,n}(x) = c_{1,n} + c_{2,n}(x - x_n) \quad \text{dacă } x \in [x_n, \infty)$$

Avem:

$$G(x) = \begin{cases} P_{3,0}(x) & \text{dacă } x \in (-\infty, x_1] \\ P_{3,k}(x) & \text{dacă } x \in [x_k, x_{k+1}], k = \overline{1, n-1} \\ P_{3,n}(x) & \text{dacă } x \in [x_n, \infty) \end{cases}$$

Deoarece G trebuie să fie continuă pe \mathfrak{R} , și $G(x_k) = f(x_k)$, vom avea:

$$P_{3,k-1}(x_k) = P_{3,k}(x_k) = f(x_k), \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Deoarece derivata întâi G' este continuă pe \mathfrak{R} avem condițiile:

$$P'_{3,k-1}(x_k) = P'_{3,k}(x_k) = s_k, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Din (1) și (2) rezultă:

$$c_{1,0} = f(x_1), \quad c_{1,k} = f(x_k), \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$c_{2,0} = s_1, \quad c_{2,k} = s_k, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

De asemenea avem:

$$P_{3,k}(x_{k+1}) = f(x_{k+1}), \quad P'_{3,k}(x_{k+1}) = s_{k+1}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Dacă notăm cu $\Delta x_k = x_{k+1} - x_k$, atunci condițiile (5) sunt echivalente cu:

$$\begin{cases} c_{1,k} + c_{2,k}\Delta x_k + c_{3,k}(\Delta x_k)^2 + c_{4,k}(\Delta x_k)^3 = f(x_{k+1}) \\ c_{2,k} + 2c_{3,k}(\Delta x_k) + 3c_{4,k}(\Delta x_k)^2 = s_{k+1} \end{cases} \quad (6)$$

Dacă notăm cu

$$f[x_k, x_{k+1}] = \frac{f(x_{k+1}) - f(x_k)}{x_{k+1} - x_k} \quad (7)$$

atunci din (6) rezultă:

$$\begin{cases} (\Delta x_k) c_{3,k} = 3f[x_k, x_{k+1}] - 2s_k - s_{k+1} \\ (\Delta x_k)^2 c_{4,k} = -2f[x_k, x_{k+1}] + s_k + s_{k+1} \end{cases} \quad (8)$$

$$(k = 1, 2, \dots, n-1)$$

Pentru a afla valorile s_k folosim condiția ca G'' să fie continuă, care impune următoarele condiții:

$$P''_{3,k}(x_{k+1}) = P''_{3,k+1}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (9)$$

Explicitând (9) obținem:

$$\begin{cases} 0 = c_{3,1} \\ c_{3,1} + 3(\Delta x)c_{4,1} = c_{3,2} \\ c_{3,2} + 3(\Delta x)c_{4,2} = c_{3,3} \\ \dots \\ c_{3,n-2} + 3(\Delta x)c_{4,n-2} = c_{3,n-1} \\ c_{3,n-1} + 3(\Delta x)c_{4,n-1} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Ținând seama de (8) în (10) rezultă următorul sistem:

$$\begin{cases} 2s_1 + s_3 = 3f[x_1, x_2] \\ (\Delta x_k)s_{k-1} + 2(x_{k+1} - x_{k-1})s_k + (\Delta x_{k-1})s_{k+1} = 3f[x_{k-1}, x_k]\Delta x_k + 3f[x_k, x_{k+1}]\Delta x_{k-1} \\ s_{n-1} + 2s_n = 3f[x_{n-1}, x_n] \end{cases} \quad (11)$$

$$k = 2, 3, \dots, n-1$$

Sistemul (11) este un sistem tridiagonal în necunoscutele s_1, s_2, \dots, s_n . Se știe că sistemul (11) are soluție unică. O dată aflate valorile s_1, s_2, \dots, s_n , din sistemele (3), (4) și (8) se află coeficienții $c_{1,k}$, $c_{2,k}$, $c_{3,k}$ și $c_{4,k}$.

Pe scurt algoritmul este următorul:

Fie nodurile x_1, x_2, \dots, x_n și valorile $y_k = f(x_k)$, $k = 1, 2, \dots, n$ notăm:

$$\Delta x_k = x_{k+1} - x_k$$

$$f[x_k, x_{k+1}] = \frac{y_{k+1} - y_k}{\Delta x_k}$$

Se rezolvă sistemul tridiagonal:

$$\begin{cases} 2s_1 + s_3 = 3f[x_1, x_2] \\ (\Delta x_2)s_1 + 2(x_3 - x_1)s_2 + (\Delta x_1)s_3 = 3f[x_1, x_2]\Delta x_2 + 3f[x_2, x_3]\Delta x_1 \\ \dots \\ (\Delta x_{n-1})s_{n-2} + 2(x_n - x_{n-2})s_{n-1} + (\Delta x_{n-2})s_n = 3f[x_{n-2}, x_{n-1}]\Delta x_{n-1} + 3f[x_{n-1}, x_n]\Delta x_{n-2} \\ s_{n-1} + 2s_n = 3f[x_{n-1}, x_n] \end{cases}$$

Necunoscutele sunt s_1, s_2, \dots, s_n .

Mai departe avem:

$$c_{1,0} = y_1, \quad c_{1,k} = y_k, \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$c_{2,0} = s_1, \quad c_{2,k} = s_k, \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$c_{3,k} \Delta x_k = 3f[x_k, x_{k+1}] + s_k + s_{k+1}, \quad k = 1, 2, \dots, n-1$$

$$c_{4,k} (\Delta x_k)^2 = -2f[x_k, x_{k+1}] + s_k + s_{k+1}, \quad k = 1, 2, \dots, n-1$$

Funcția spline cubică naturală căutată este:

$$G(x) = \begin{cases} c_{1,0} + c_{2,0}(x - x_1) & \text{daca } x \leq x_1 \\ c_{1,k} + c_{2,k}(x - x_k) + c_{3,k}(x - x_k)^2 + c_{4,k}(x - x_k)^3 & \text{daca } x \in [x_k, x_{k+1}] \\ c_{1,n} + c_{2,n}(x - x_n) & \text{daca } x \geq x_n \end{cases}$$

$$k = 1, 2, \dots, n-1$$

Se demonstrează de asemenea următoarele teoreme:

Teorema 2.

Date fiind punctele x_1, x_2, \dots, x_n se pot găsi constantele A_1, A_2, \dots, A_n depinzând numai de aceste puncte și **nu** de f astfel încât:

$$G(x) = A_1 f(x_1) + A_2 f(x_2) + \dots + A_n f(x_n) \quad (*)$$

Teorema 3.

Formula de interpolare:

$$f(\alpha) = G(\alpha) + E(f, \alpha)$$

, unde $E(f, \alpha)$ reprezintă eroarea, are proprietatea că $E(f, \alpha) = 0$ pentru orice funcție f care este polinom de grad ≤ 1 .

5.3.2-Observații privind eroarea.

Se notează cu $W^m[M_m; a, b]$ clasa funcțiilor $f: [a, b] \rightarrow \mathfrak{R}$ care sunt de clasă C^{m-1} pe $[a, b]$ pentru care există derivata $f^{(m)}$ pe $[a, b]$ și are proprietățile:

- 1) $f^{(m)}$ este continuă pe porțiuni;
- 2) $|f^{(m)}(x)| \leq M_m, \quad \forall x \in [a, b].$

Teorema 4.

Fie $1 \leq m \leq n$ și $f \in W^m[M_m; a, b]$, atunci există o funcție K_m care depinde numai de $m, \alpha, x_1, x_2, \dots, x_n$ astfel încât eroarea în punctul α este dată de formula:

$$E(f, \alpha) = \int_a^b K_m(t) f^{(m)}(t) dt$$

Funcția K_m se numește funcția nucleu Peano și se definește astfel:

$$K_m(t) = \frac{1}{(m-1)!} \left[(\alpha - t)_+^{m-1} - \sum_{k=1}^n L_{n-1,k}(t) (x_k - t)_+^{m-1} \right]$$

unde am utilizat notațiile:

$$(\alpha - t)_+^{m-1} = \begin{cases} (\alpha - t)^{m-1} & \text{dacă } \alpha - t \geq 0 \\ 0 & \text{dacă } \alpha - t < 0 \end{cases}$$

$$L_{n-1,k}(x) = \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \frac{x - x_j}{x_k - x_j}, \quad k = 1, 2, \dots, n$$

În cazul aproximării funcției f cu funcții spline cubice naturale eroarea este dată de $E(f, \alpha) = \int_a^b K_2(t) f''(t) dt$ (dacă $f \in W^2[M_2; a, b]$). Aici $[a, b]$ reprezintă cel mai mic interval care conține nodurile x_1, x_2, \dots, x_n .

Din inegalitatea lui Schwarz rezultă:

$$|E(f, \alpha)|^2 \leq \int_a^b [K_2(t)]^2 dt \int_a^b [f''(t)]^2 dt$$

Aproximarea unei funcții f cu funcții spline cubice naturale este într-un anumit sens cea mai bună, deoarece se poate demonstra următoarea teoremă:

Teorema 6.

Dintre toate formulele de aproximare de tipul (*) (vezi Teorema 2), care sunt exacte pentru polinoame de grad ≤ 1 , formula care rezultă folosind funcțiile spline cubice naturale, are proprietatea că integrala $\int_a^b [K_2(t)]^2 dt$ este minimă.

5.7.2 Prezentarea programului de calcul și a rezultatelor interpolări.

Pentru valorile experimentale $\text{Re}[X(J)]$ și $\lambda[Y(J)]$ măsurate pentru cele trei tuburi, se obțin valorile interpolate $F(I)$ ale coeficientului λ corespunzător valorilor Re cerute.

```

10 REM Functii spline de interpolare
12 CLS
15 INPUT "Nume fisier de iesire ...( nume.out )";Z1$
16 OPEN "O",#9,Z1$
20 DIM X(102),Y(102),C(102,102),B(102),DX(102),DF(102)
30 DIM DIA(102),SUP(102),SBU(102),S(102)
40 INPUT "Numar max de puncte ...(n)";N
50 INPUT "Numar puncte de interpolare...(np)";NP
52 INPUT "Nume fisier puncte de intrare.....(SPLIN1??.DAT)";F1$
54 INPUT "Nume fisier puncte de interpolare...(SPLIN2??.DAT)";F2$
55 CLS
56 LOCATE 20,30: PRINT " Asteptati ! "
57 OPEN "R",#1,F1$,50
58 FIELD #1,25 AS A1$,25 AS A2$
60 FOR I=1 TO N
62 GET #1,I
64 X(I)=VAL(A1$)
68 Y(I)=VAL(A2$)
70 NEXT I
80 CLOSE #1
82 OPEN "R",#2,F2$,20
84 FIELD #2,20 AS B2$
90 N1=N\2
100 N2=N MOD 2
102 PRINT #9, "-----";
103 PRINT #9, "-----"
105 PRINT #9, "| J";TAB(10);" X(J)";TAB(20);
106 PRINT #9, " Y(J)";TAB(30);"| J+1";
108 PRINT #9, TAB(40);" X(J+1)";TAB(50);" Y(J+1)";TAB(62);"|"
109 PRINT #9, "-----";
110 PRINT #9, "-----"
115 FOR J=1 TO N
120 J1=J+1
125 IF J=N THEN
130 IF N2=1 THEN 160
135 END IF
140 PRINT #9, "|";J;TAB(10);
141 PRINT #9, USING "#####.##";X(J);
142 PRINT #9, TAB(20);
143 PRINT #9, USING "##.#####";Y(J);
144 PRINT #9, TAB(30);"|";TAB(35);J1;
145 PRINT #9, TAB(40);
146 PRINT #9, USING "#####.##";X(J1);
147 PRINT #9, TAB(50);
148 PRINT #9, USING "##.#####";Y(J1);
149 PRINT #9, TAB(62);"|"
150 GOTO 170

```



```

160 PRINT #9, J;TAB(10);
162 PRINT #9, USING "#####.##";X(J);
164 PRINT #9, TAB(20);
166 PRINT #9, USING "##.#####";Y(J);
168 PRINT #9, TAB(30);"|";TAB(62);"|"
170 NEXT J
172 PRINT #9, "-----";
174 PRINT #9, "-----"
180 FOR I=1 TO N-1
190 DX(I)=X(I+1)-X(I)
200 DF(I)=(Y(I+1)-Y(I))/DX(I)
210 NEXT I
220 DIA(1)=2
230 SUP(1)=1
240 B(1)=3*DF(1)
250 SBU(N)=1
260 DIA(N)=2
270 B(N)=DF(N-1)
280 FOR I=2 TO N-1
290 SBU(I)=DX(I)
300 DIA(I)=2*(X(I+1)-X(I-1))
310 SUP(I)=DX(I-1)
320 B(I)=3*(DF(I-1)*DX(I)+DF(I)*DX(I-1))
325 NEXT I
330 GOSUB 700
340 FOR I=2 TO N
350 C(1,I)=Y(I-1)
360 C(2,I)=S(I-1)
370 C(3,I)=(3*DF(I-1)-2*S(I-1)-S(I))/DX(I-1)
380 C(4,I)=(-2*DF(I-1)+S(I-1)+S(I))/(DX(I-1)^2)
390 NEXT I
400 C(1,1)=Y(1)
410 C(2,1)=S(1)
420 C(3,1)=0
430 C(4,1)=0
440 C(1,N+1)=Y(N)
450 C(2,N+1)=S(N)
460 C(3,N+1)=0
470 C(4,N+1)=0
480 K=1
481 PRINT #9, "-----"
482 PRINT #9, "| Nr.crt";TAB(10);"| X(K)";TAB(20);
483 PRINT #9, "| F(I)";TAB(31);"|"
485 PRINT #9, "-----"
500 GET #2,K
510 ALF=VAL(B2$)
520 I=N+1
530 AX=ALF-X(I-1)

```

```

540 IF AX > 0 THEN 580
550 IF I <= 2 THEN 580
560 I=I-1
570 GOTO 530
580 SPL=C(1,I)+AX*(C(2,I)+C(3,I)+C(4,I)*AX^2)
582 PRINT #9, "| ";TAB(3);K;TAB(10);"|";
584 PRINT #9, USING "#####.##";ALF;
586 PRINT #9, TAB(20);"|";
588 PRINT #9, USING "##.#####";SPL;
590 PRINT #9, TAB(31);"|";
630 K=K+1
640 IF K<=NP THEN 500
642 PRINT #9, "-----"
645 LOCATE 23,30: PRINT " Apasa orice tasta "
650 STOP
660 END
700 FOR I=2 TO N
710 DIA(I)=DIA(I)-SBU(I)*SUP(I)/DIA(I-1)
720 B(I)=B(I)-B(I-1)*SBU(I)/DIA(I-1)
730 NEXT I
740 S(N)=B(N)/DIA(N)
750 FOR I=N-1 TO 2 STEP -1
760 S(I)=(B(I)-SBU(I)*S(I+1))/DIA(I)
765 NEXT I
770 RETURN
780 END

```

J	X(J)	Y(J)	J+1	X(J+1)	Y(J+1)
1	1205.00	0.101700	2	1398.00	0.093500
2	1398.00	0.093500	3	1481.00	0.092900
3	1481.00	0.092900	4	1626.00	0.101500
4	1626.00	0.101500	5	1706.00	0.106200
5	1706.00	0.106200	6	1776.00	0.114800
6	1776.00	0.114800	7	2322.00	0.106200
7	2322.00	0.106200	8	2552.00	0.111900
8	2552.00	0.111900	9	2776.00	0.114800
9	2776.00	0.114800	10	2728.00	0.115600
10	2728.00	0.115600	11	3316.00	0.117500
11	3316.00	0.117500	12	3711.00	0.110600
12	3711.00	0.110600	13	5401.00	0.111100
13	5401.00	0.111100	14	5456.00	0.117600
14	5456.00	0.117600	15	5485.00	0.119900
15	5485.00	0.119900	16	8016.00	0.115100
16	8016.00	0.115100	17	9925.00	0.111100
17	9925.00	0.111100	18	15471.00	0.145300
18	15471.00	0.145300	19	18125.00	0.137900
19	18125.00	0.137900	20	21713.00	0.135500
20	21713.00	0.135500	21	26367.00	0.131800
21	26367.00	0.131800	22	30694.00	0.119800
22	30694.00	0.119800	23	33503.00	0.116800
23	33503.00	0.116800	24	39020.00	0.119300
24	39020.00	0.119300	25	42074.00	0.119200
25	42074.00	0.119200	26	44013.00	0.111000
26	44013.00	0.111000	27	49355.00	0.110500
27	49355.00	0.110500	28	51602.00	0.110100
28	51602.00	0.110100	29	55738.00	0.109050
29	55738.00	0.109050	30	42478.00	0.107730
30	42478.00	0.107730	31	55190.00	0.104450
31	55190.00	0.104450	32	58830.00	0.105070
32	58830.00	0.105070	33	62400.00	0.101510
33	62400.00	0.101510	34	68464.00	0.105040
34	68464.00	0.105040	35	72625.00	0.105000
35	72625.00	0.105000	36	77282.00	0.105250
36	77282.00	0.105250	37	82690.00	0.105310
37	82690.00	0.105310	38	87165.00	0.104560
38	87165.00	0.104560	39	92018.00	0.105510
39	92018.00	0.105510	40	98230.00	0.106600
40	98230.00	0.106600	41	104100.00	0.105900
41	104100.00	0.105900	42	112583.00	0.104410
42	112583.00	0.104410	43	0.00	0.000000

Nr.crt	X(K)	F(I)
1	2000.00	0.147272
2	3000.00	0.111233
3	4000.00	0.084114
4	5000.00	0.047423
5	6000.00	0.163185
6	7000.00	0.277429
7	8000.00	0.480925
8	9000.00	0.090580
9	10000.00	0.111749
10	15000.00	0.136033
11	20000.00	0.132321
12	25000.00	0.135932
13	30000.00	0.126394
14	40000.00	0.119929
15	50000.00	0.098135
16	60000.00	0.104525
17	70000.00	0.105881
18	80000.00	0.105566
19	90000.00	0.104366
20	100000.00	0.106646
21	110000.00	0.104980

J	X(J)	Y(J)	J+1	X(J+1)	Y(J+1)
1	14989.00	0.083690	2	17147.00	0.084810
2	17147.00	0.084810	3	22040.00	0.085210
3	22040.00	0.085210	4	25064.00	0.086040
4	25064.00	0.086040	5	28669.00	0.086310
5	28669.00	0.086310	6	32302.00	0.086480
6	32302.00	0.086480	7	35396.00	0.087960
7	35396.00	0.087960	8	38963.00	0.086350
8	38963.00	0.086350	9	42755.00	0.086270
9	42755.00	0.086270	10	46799.00	0.088210
10	46799.00	0.088210	11	58057.00	0.089890
11	58057.00	0.089890	12	62250.00	0.088970
12	62250.00	0.088970	13	66453.00	0.088290
13	66453.00	0.088290	14	71195.00	0.088140
14	71195.00	0.088140	15	74018.00	0.088810
15	74018.00	0.088810	16	77057.00	0.089330
16	77057.00	0.089330	17	79743.00	0.092050

J	X(J)	Y(J)	J+1	X(J+1)	Y(J+1)
17	79743.00	0.092050	18	81170.00	0.091820
18	81170.00	0.091820	19	84924.00	0.091770
19	84924.00	0.091770	20	85726.00	0.089720
20	85726.00	0.089720	21	87949.00	0.090300
21	87949.00	0.090300	22	88773.00	0.091730
22	88773.00	0.091730	23	89368.00	0.091290
23	89368.00	0.091290	24	91781.00	0.093960
24	91781.00	0.093960	25	93122.00	0.092400
25	93122.00	0.092400	26	95802.00	0.091530
26	95802.00	0.091530	27	96038.00	0.091320
27	96038.00	0.091320	28	97397.00	0.091730
28	97397.00	0.091730	29	98178.00	0.088720
29	98178.00	0.088720	30	98649.00	0.093200
30	98649.00	0.093200	31	101325.00	0.091690
31	101325.00	0.091690	32	107591.00	0.091220
32	107591.00	0.091220	33	108900.00	0.092280
33	108900.00	0.092280	34	112503.00	0.092210
34	112503.00	0.092210	35	115815.00	0.098170
35	115815.00	0.098170	36	117275.00	0.091980
36	117275.00	0.091980	37	119496.00	0.098320
37	119496.00	0.098320	38	123362.00	0.125800
38	123362.00	0.125800	39	123754.00	0.089430
39	123754.00	0.089430			

Nr.crt	X(K)	F(I)
1	15000.00	0.083690
2	20000.00	0.084900
3	25000.00	0.085787
4	30000.00	0.086263
5	35000.00	0.086667
6	40000.00	0.085859
7	45000.00	0.086896
8	50000.00	0.090011
9	60000.00	0.089453
10	70000.00	0.087977
11	80000.00	0.092075
12	90000.00	0.090870
13	100000.00	0.112078
14	110000.00	0.092110
15	120000.00	0.124328

J	X(J)	Y(J)	J+1	X(J+1)	Y(J+1)
1	26379.00	0.054970	2	33487.00	0.056850
2	33487.00	0.056850	3	36539.00	0.056770
3	36539.00	0.056770	4	40645.00	0.054800
4	40645.00	0.054800	5	42349.00	0.058700
5	42349.00	0.058700	6	47067.00	0.057900
6	47067.00	0.057900	7	52754.00	0.056300
7	52754.00	0.056300	8	56859.00	0.057770
8	56859.00	0.057770	9	60718.00	0.057870
9	60718.00	0.057870	10	65110.00	0.058240
10	65110.00	0.058240	11	71210.00	0.059100
11	71210.00	0.059100	12	75455.00	0.058700
12	75455.00	0.058700	13	82067.00	0.060200
13	82067.00	0.060200	14	84967.00	0.060300
14	84967.00	0.060300	15	89906.00	0.059900
15	89906.00	0.059900	16	96494.00	0.061100
16	96494.00	0.061100	17	102028.00	0.061800
17	102028.00	0.061800	18	107290.00	0.062210
18	107290.00	0.062210	19	113310.00	0.062530
19	113310.00	0.062530	20	117000.00	0.063420
20	117000.00	0.063420	21	121706.00	0.063170
21	121706.00	0.063170	22	127915.00	0.063500
22	127915.00	0.063500	23	132387.00	0.063800
23	132387.00	0.063800	24	134195.00	0.064300
24	134195.00	0.064300	25	138790.00	0.064600
25	138790.00	0.064600	26	143323.00	0.064770
26	143323.00	0.064770	27	149961.00	0.065600
27	149961.00	0.065600	28	154106.00	0.066400
28	154106.00	0.066400	29	161222.00	0.064350
29	161222.00	0.064350	30	163207.00	0.066300
30	163207.00	0.066300	31	167787.00	0.067000
31	167787.00	0.067000	32	175735.00	0.066600
32	175735.00	0.066600	33	178706.00	0.068420
33	178706.00	0.068420	34	182027.00	0.067200
34	182027.00	0.067200	35	185524.00	0.068280
35	185524.00	0.068280	36	186468.00	0.068200
36	186468.00	0.068200	37	189105.00	0.069060
37	189105.00	0.069060	38	194495.00	0.068300
38	194495.00	0.068300	39	196719.00	0.067930
39	196719.00	0.067930	40	205073.00	0.070370
40	205073.00	0.070370	41	210912.00	0.070450
41	210912.00	0.070450	42	227081.00	0.069740
42	227081.00	0.069740	43	232057.00	0.069650
43	232057.00	0.069650	44	239261.00	0.070110

(continuare)

J	X(J)	Y(J)	J+1	X(J+1)	Y(J+1)
44	239261.00	0.070110	45	247179.00	0.069720
45	247179.00	0.069720	46	250058.00	0.070160
46	250058.00	0.070160	47	0.00	0.000000

Nr.crt	X(K)	F(I)
1	30000.00	0.054473
2	40000.00	0.058737
3	50000.00	0.054953
4	60000.00	0.058733
5	70000.00	0.058685
6	80000.00	0.058130
7	90000.00	0.059901
8	100000.00	0.061884
9	110000.00	0.062316
10	120000.00	0.063983
11	130000.00	0.063680
12	140000.00	0.064623
13	150000.00	0.065613
14	160000.00	0.068853
15	170000.00	0.066229
16	180000.00	0.068642
17	190000.00	0.069422
18	200000.00	0.067440
19	210000.00	0.071908
20	220000.00	0.069740
21	230000.00	0.069691
22	240000.00	0.070084
23	250000.00	0.069739

CAPITOLUL 6

SINTEZĂ ȘI CONCLUZII

Abordarea tematicii tezei de doctorat a pornit de la constatarea că metodele utilizate în mod obișnuit pentru considerarea efectelor rugozității asupra coeficientului de rezistență nu corespund în cazul unor suprafețe cu rugozități deosebite de cele obișnuite. În această categorie de probleme nerezolvate [97] se află și suprafețele cu pereți ondulați.

Un alt considerent a fost constatarea că o determinare corectă a frecării este posibilă numai dacă există date experimentale pentru condițiile de curgere și pereți ondulați. La anumite suprafețe frecarea nu poate fi specificată numai printr-o rugozitate echivalentă și în acest caz formula lui Colebrook – White ca și diagrama lui Moody pentru regimul turbulent de tranziție și formula lui Nikuradse își pierd utilitatea lor.

Complexitatea problemelor hidraulice ridicate de funcționarea tuburilor cu pereți ondulați a făcut ca aceasta să primească soluționări parțiale, nefiind stabilite relații satisfăcătoare între geometria rugozității și pierderile prin frecare. În general s-a mers pe linia reprezentării pentru fiecare caz studiat a unor curbe ($\lambda - Re$) pe baza măsurătorilor experimentale. De aceea, s-a încercat în cazul de față să se țină cont de parametrii geometriei specifice ai ondulațiilor analizate asupra coeficientului pierderii de sarcină și găsirea unor relații de calcul care să țină seama de acest lucru.

Un alt obiectiv a fost acela de a efectua o cercetare amănunțită, prin realizarea unui număr relativ mare de regimuri de curgere pentru fiecare tub analizat. O atenție deosebită s-a dat realizării instalațiilor experimentale și a sistemelor de măsurare a parametrilor hidraulici pentru sporirea preciziei măsurătorilor experimentale. Pentru prelucrarea măsurătorilor experimentale s-

a folosit un program de calcul care a permis alegerea corelației corespunzătoare.

Măsurătorile experimentale au fost făcute pe 3 tuburi cu pereți ondulați, din PVC, cu diametrii nominale DN 50 mm, DN 65 mm și DN 80 mm, neperforate. Experimentările au fost extinse la regimuri de curgere cu numere Reynolds până la capacitatea instalației experimentale și nu s-au limitat la cazul obișnuit al funcționării acestor tuburi pentru drenajul agricol.

Principalele concluzii rezultate în urma studiului efectuat sunt următoarele:

1. Comportarea din punct de vedere hidraulic a acestor tuburi, diferă total de cea a conductelor cu rugozități obișnuite. Acest fapt se datorează parametrilor geometrici specifici, în principal înălțimea undulațiilor, distanța longitudinală între vârfurile undulațiilor și forma undulațiilor. Se poate aprecia că o mare importanță o are forma adânciturilor între vârfurile undulațiilor în care are loc, datorită vârtejurilor care se formează, o disipare suplimentară a energiei.

2. Din analiza parametrilor care influențează valoarea coeficientului λ , pe baza datelor din literatura de specialitate au fost reținuți 2 parametri care simultan au un rol preponderent asupra coeficientului de frecare și anume rapoartele D/k și L/k .

3. Pe baza datelor din literatura de specialitate și a prelucrării măsurătorilor experimentale proprii s-a confirmat faptul că regimul turbulent de tranziție se prelungește mult peste limita obișnuită $Re\sqrt{\lambda} \frac{k}{D} = 200$. Curbele $(\lambda - Re)$ prezintă o creștere în cadrul acestui regim de curgere până la un presupus maxim atins datorită capacității instalației experimentale în cele mai multe cazuri. Scăderea valorii coeficientului de frecare după atingerea unui

maxim a fost obținută în cazul măsurătorilor în canale [105] care aveau rugozitate ondulantă doar la bază. În cadrul cercetărilor proprii acest maxim a fost obținut doar la tubul DN 50 mm (diagrama din Fig. 5.1).

4. Analizând influența componentelor coeficientului total de rezistență λ , s-a constatat că partea principală o constituie componenta de formă, λ_f , datorită presiunii pe ondulație care reprezintă între 70 % și 85 % din valoarea totală. Această componentă are o creștere evidentă cu creșterea numărului Re , lucru care explică creșterea curbelor ($\lambda - Re$) în regimul turbulent de tranziție. Componenta de suprafață λ_s , manifestă o scădere cu o asemănare a curbei “neted hidraulic”.

5. Pentru determinarea valorii coeficientului de rezistență în regimul turbulent pătratic au fost utilizate și măsurători experimentale în canale. Pe baza conceptului coeficientului de formă al lui Schröder R.C.M. [105] aceste măsurători sunt folosite pentru găsirea unei relații de calcul a lui λ în acest regim (relația 5.21), relație asemănătoare cu cea a lui Nikuradse. Poate fi remarcă faptul că valorile pentru λ la conducte (diagrama din Planșa nr. 17) se apropie relativ bine de dreapta corelației logaritmice obținute. Cele trei puncte rezultate din cercetările proprii sunt apropiate dreptei de corelație obținute, devierea cea mai mare având-o cel corespunzător diametrului DN 50 mm care așa cum s-a mai precizat (paragrafele 5.2 și 5.3) are o comportare oarecum diferită de tuburile cu DN 65 mm și DN 80 mm. Mai poate fi remarcă faptul că coeficientul C_1 (relația 3.20) obținut are valoarea 2 ca și la relația lui Nikuradse.

6. Determinarea pe baza prelucrării măsurătorilor experimentale din literatura de specialitate și a celor proprii a valorilor pentru coeficienții C_1 și C_2 (din relația 3.20) a permis obținerea unei relații pentru calculul

rugozității echivalente tip nisip. Rugozitățile echivalente calculate cu relația (5.27) și anume $k_e = 35.6$ mm pentru tubul cu DN 50 mm, $k_e = 37.45$ mm pentru tubul cu DN 65 mm și $k_e = 32$ mm pentru tubul cu DN 80 mm, confirmă faptul că la tuburile cu pereți ondulați nu este posibilă utilizarea acestei rugozități.

Anexa nr. 1

cuprinzând rezultatele prelucrării măsurătorilor experimentale
pentru tubul cu DN 50mm.

Nr.crt.	Re	λ	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \log \left(\frac{DL}{k^2} \right)$	$Re \sqrt{\lambda} \frac{k^2}{DL}$
1	1205	0.1017	6.277522	10.32175
2	1398	0.0935	6.412136	11.48204
3	1481	0.0929	6.422680	12.12464
4	1626	0.1015	6.280610	13.91424
5	1706	0.1062	6.210368	14.93301
6	1776	0.1148	6.093193	16.16292
7	2322	0.1062	6.210368	20.32500
8	2552	0.1119	6.131192	22.92988
9	2776	0.1148	6.093193	25.26367
10	2728	0.1156	6.082963	24.91319
11	3316	0.1175	6.059086	30.53089
12	3711	0.1106	6.148710	33.14931
13	5401	0.1111	6.141936	48.35454
14	5456	0.1176	6.057845	50.25555
15	5485	0.1199	6.029741	51.01434
16	8016	0.1151	6.089344	73.04683
17	9925	0.1111	6.141936	88.85739
18	15471	0.1453	5.765202	158.4007
19	18125	0.1379	5.834671	180.7866
20	21713	0.1355	5.858415	214.6819
21	26367	0.1318	5.896283	257.1132
22	30694	0.1198	6.030946	285.3566
23	33503	0.1168	6.067815	307.5467
24	39020	0.1193	6.036994	362.0041
25	42074	0.1192	6.038208	390.1737
26	44013	0.111	6.143287	393.8660
27	49355	0.1105	6.150070	440.6749
28	51602	0.1101	6.155530	459.9030
29	55738	0.10905	6.170004	494.3906
30	42478	0.10773	6.188500	374.4884
31	55190	0.10445	6.235968	479.0939
32	58830	0.10507	6.226825	512.2055
33	62400	0.10151	6.280456	534.0046
34	68464	0.10504	6.227265	595.9991
35	72625	0.105	6.227853	632.1015
36	77282	0.10525	6.224186	673.4346
37	82690	0.10531	6.223308	720.7652
38	87165	0.10456	6.234340	757.0611
39	92018	0.10551	6.220386	802.8337
40	98230	0.1066	6.204606	861.4474
41	104100	0.1059	6.214711	909.9232
42	112583	0.10441	6.236560	977.1244

Anexa nr. 2

cuprinzând rezultatele prelucrării măsurătorilor experimentale
pentru tubul cu DN 65mm.

Nr.crt.	Re	λ	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \log \left(\frac{DL}{k^2} \right)$	$Re \sqrt{\lambda} \frac{k^2}{DL}$
1	14989	0.08369	6.765316	96.13358
2	17147	0.08481	6.742415	110.7076
3	22040	0.08521	6.734346	142.6338
4	25064	0.08604	6.717782	162.992
5	28669	0.08631	6.712446	186.7277
6	32302	0.08648	6.709099	210.5974
7	35396	0.08796	6.680369	232.7354
8	38963	0.08635	6.711657	253.8337
9	42755	0.08627	6.713235	278.4085
10	46799	0.08821	6.675588	308.1493
11	58057	0.08989	6.643976	385.9011
12	62250	0.08897	6.661176	411.6488
13	66453	0.08829	6.674062	437.76
14	71195	0.08814	6.676924	468.5994
15	74018	0.08881	6.664195	489.0283
16	77057	0.08933	6.654414	510.5949
17	79743	0.09205	6.60461	536.377
18	81170	0.09182	6.608736	545.293
19	84924	0.09177	6.609635	570.3566
20	85726	0.08972	6.647134	569.276
21	87949	0.0903	6.636395	585.9229
22	88773	0.09173	6.610354	596.0769
23	89368	0.09129	6.618302	598.6312
24	91781	0.09396	6.570938	623.7204
25	93122	0.0924	6.598362	627.5581
26	95802	0.09153	6.61396	642.5723
27	96038	0.09132	6.617758	643.4158
28	97397	0.09173	6.610354	653.9838
29	98178	0.08872	6.665896	648.3218
30	98649	0.0932	6.584212	667.6769
31	101325	0.09169	6.611074	680.2104
32	107591	0.09122	6.619571	720.4215
33	108900	0.09228	6.6005	733.4109
34	112503	0.09221	6.601749	757.3887
35	115815	0.09181	6.608915	777.9927
36	117275	0.09198	6.605864	788.5293
37	119496	0.09183	6.608556	802.8074
38	123362	0.09258	6.595162	832.1578
39	123754	0.0943	6.565051	842.5211
40	98230	0.08954	6.650488	651.656
41	104100	0.09145	6.615405	697.9242
42	112583	0.10441	6.403378	806.5096

Anexa nr. 3

cuprinzând rezultatele prelucrării măsurătorilor experimentale
pentru tubul cu DN 80mm.

Nr.crt.	Re	λ	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2\log\left(\frac{DL}{k^2}\right)$	$Re \sqrt{\lambda} \frac{k^2}{DL}$
1	26379	0.05497	7.934731	90.48269
2	33487	0.05685	7.863615	116.8116
3	36539	0.05677	7.866569	127.368
4	40645	0.0548	7.941342	139.2008
5	42349	0.0587	7.796995	150.1089
6	47067	0.0579	7.825411	165.6915
7	52754	0.0563	7.884051	183.1276
8	56859	0.05777	7.830085	199.9377
9	60718	0.05787	7.826489	213.6921
10	65110	0.05824	7.813263	229.8808
11	71210	0.0591	7.783004	253.2673
12	75455	0.0587	7.796995	267.4554
13	82067	0.0602	7.745249	294.5853
14	84967	0.0603	7.741868	305.2483
15	89906	0.0599	7.755443	321.9189
16	96494	0.0611	7.71512	348.9516
17	102028	0.0618	7.692143	371.0718
18	107290	0.06221	7.678866	391.5017
19	113310	0.06253	7.668594	414.5308
20	117000	0.06342	7.640434	431.0655
21	121706	0.06317	7.648284	447.5193
22	127915	0.0635	7.637932	471.5771
23	132387	0.0638	7.628591	489.2153
24	134195	0.0643	7.613168	497.8358
25	138790	0.0646	7.604001	516.0821
26	143323	0.06477	7.598834	533.6385
27	149961	0.0656	7.573897	561.9201
28	154106	0.0664	7.550306	580.9623
29	161222	0.06435	7.611636	598.3329
30	163207	0.0663	7.553231	614.8085
31	167787	0.067	7.53289	635.3895
32	175735	0.0666	7.544475	663.4981
33	178706	0.06842	7.49259	683.8723
34	182027	0.0672	7.527137	690.3428
35	185524	0.06828	7.496507	709.2367
36	186468	0.0682	7.498751	712.4277
37	189105	0.06906	7.474834	727.0439
38	194495	0.0683	7.495947	743.6406
39	196719	0.06793	7.506354	750.1039
40	205073	0.07037	7.439248	795.8782
41	210912	0.07045	7.437107	819.0042
42	227081	0.06974	7.456237	877.3363
43	232057	0.06965	7.458683	895.9826
44	239261	0.07011	7.446232	926.8431
45	247179	0.06972	7.45678	954.8488
46	250058	0.07016	7.444886	969.0136

Anexa nr. 4

cuprinzând valori prelucrate după H.U.Höfer
seriile: A, B, C, D, E, F, G [65]

Nr.crt.	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$	$\frac{DL}{k^2}$	Nr.crt.	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$	$\frac{DL}{k^2}$
1	4.072	291.3	24	3.644	303.2
2	4.199	304.4	25	3.984	386.1
3	4.579	685.2	26	4.34	423.3
4	4.725	686.1	27	4.504	467.3
5	4.851	735.8	28	3.162	210.2
6	3.659	173.5	29	3.29	238.3
7	3.857	282.9	30	3.466	270.7
8	3.807	339.2	31	3.623	272.1
9	4.299	406.1	32	3.56	331.2
10	4.419	426.2	33	4.00	349.2
11	4.195	488.9	34	4.089	408
12	3.511	199.4	35	4.082	490.1
13	3.734	291.6	36	4.303	503.3
14	3.74	304.5	37	3.244	244.8
15	3.744	318.9	38	3.651	267.8
16	3.807	378.1	39	3.953	347.46
17	4.319	385.9	40	4.618	561
18	4.295	409.7	41	3.727	329.1
19	4.36	429.1	42	3.922	383.1
20	4.366	432.1	43	4.52	501.1
21	4.522	481.2	44	4.34	586.8
22	3.346	246.3	45	4.633	710.6
23	3.625	267.4	46	4.795	815.7

Anexa nr. 5

cuprinzând valori prelucrate după V.A.Vanoni
seriile: A, B, C, D, E, F, G [106]

Nr.crt.	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$	$\frac{DL}{k^2}$	Nr.crt.	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$	$\frac{DL}{k^2}$
1	3.15	146.2	9	3.62	224.6
2	3.75	226.8	10	3.3	164.1
3	2.5	84.3	11	3.81	283.7
4	2.97	112.3	12	3.78	369.4
5	3.09	126.1	13	3.84	396.1
6	2.56	153.4	14	3.9	399.6
7	3.16	131.1	15	4	433.4
8	2.56	80.6			

Anexa nr. 6

cuprinzând valori prelucrate după SHEETS 224-1/2
[114]

Nr.crt.	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$	$\frac{DL}{k^2}$	Nr.crt.	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$	$\frac{DL}{k^2}$
1	2.83	127.2	4	3.26	254.4
2	2.93	159	5	3.58	381.6
3	3.1	190.8	6	3.92	636.1

Anexa nr. 7

cuprinzând valori prelucrate după SHEETS 224-1/4
[114]

Nr.crt.	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$	$\frac{DL}{k^2}$	Nr.crt.	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$	$\frac{DL}{k^2}$
1	2.61	89.8	3	4.08	383.1
2	3.338	192.3			

Anexa nr. 8

cuprinzând valori prelucrate după Charles R. Neill
[83]

Nr.crt.	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$	$\frac{DL}{k^2}$	Nr.crt.	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$	$\frac{DL}{k^2}$
1	2.91	161.5	4	3.58	380.7
2	3.13	190.4	5	3.95	642.1
3	3.28	253.8	6	4.34	888.3

Anexa nr. 9

cuprinzând valori prelucrate după D. Chivereanu

Nr.crt.	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$	$\frac{DL}{k^2}$	Nr.crt.	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$	$\frac{DL}{k^2}$
1	1.89	37.3	3	2.28	68.4
2	1.98	45.1			

BIBLIOGRAFIE

- [1] Ackers, P. – “Resistance to Fluids in Channels and Pipes”, Hydraulic Research Paper no. 1, H.M.S.O., London 1958
- [2] Ackers, P. – “Design methods for flow in rough conduits (discussion)”, Journal of the Hydraulics Division, HY-1, 1960
- [3] Allen, J. – “Flow in Corrugated Pipes” by R.J. Schipton and H.R. Graze (discussion), Journal of the Hydraulics Division, HY-8, 1977
- [4] Allen, J. – “Flow of Incompressible Fluids through Corrugated Pipes”, Proceedings of the Institute of Civil Engineers, London, vol 28, mai 1964
- [5] Altsul, D.A. – “Ghidrovlicheskie poter na traniev v Amboprovodah”, Gosudarstvense Energeticescoe Izoatelstvo Moskva-Leningrad, 1963
- [6] Ambrose, H.H. – “Flow in rough conduits (discussion)”, Transaction of ASCE, vol 12, 1955
- [7] Antonio, R.A., Luxton, R.E. – “The Respons of a turbulent boundary layer to a step change in surface roughness”, Part 1. Smoot to rough, Journal of Fluid Mechanics, vol 48, Part 4, Aug 1971
- [8] Antonio, R.A., Luxton, R.E. – “The Respons of a turbulent boundary layer to a step change in surface roughness” Part 2. Rough to smoot, Journal of Fluid Mechanics, vol 53, Part 4, Jun 1972
- [9] Barr, D.I.H. – “Explicit Working for Turbulent Pipe Flow Problems”, Journal of the Hydraulics Division, No HY-5, 1975
- [10] Barr, D.I.H. – “Discussion of Accurate Explicit Equation for Friction Factor” by A.K. Jein, Journal of the Hydraulics Division, No HY-3, 1977

- [11] Bauer, W.J. – “Turbulent boundary layer on steep slopes”, Transaction ASCE, vol 119, 1954
- [12] Bilonok, N. – “Design methods for flow in rough conduits (discussion)”, Journal of the Hydraulics Division, HY-1, 1960
- [13] Blench, T. – “The fourth root $n-f$ diagram”, Journal of the Hydraulics Division, HY-1, 1960
- [14] Blench, T. – “Hydraulic roughness of corrugated pipes (discussion)”, Journal of the Hydraulics Division, HY-6, 1962
- [15] Blidaru, E., Bartha, I., Leibu, H., Cojocaru, I., Blidaru, V. – “Fixarea parametrilor hidraulico funcionali ai drenurilor din PVC riflat. Studii hidraulice și supra gradului de colmatare”, Sesiunea Științifică Jubiliară, I.P. Iași, 28-29 oct. 1978
- [16] Blidaru, E. – “Contribuții la calculul hidraulic al instalațiilor mobile de irigații prin aspersiune. Aripile de aspersiune.”, Lito. I.P. Iași, 1971
- [17] Stroud, A. H. – “Numerical quadrature and solution of ordinary differential equations”, Springer Verlag, Berlin, 1974
- [18] Blidaru, E., Cojocaru, I., Nicolau, A., Nițescu, E., Bartha, J. – “Cercetări teoretico-experimentale asupra eficienței filtrelor ce protejează drenurile din material plastic”, Sesiunea Științifică Jubiliară, I.P. Iași, 28-29 oct. 1978
- [19] Blidaru, E. – “Curs de Hidraulică”, Ed Did. și Pedagogică, București, 1964, 1965
- [20] Blidaru, E. – “Sisteme de irigații și drenaje”, Ed Did. și Pedagogică, București, 1976
- [21] Bossy, H.G. – “Hydraulic roughness of corrugated pipes (discussion)”, Journal of the Hydraulics Division, HY-1, 1963
- [22] Böhler, E. – “Zum Rauigkeitverhalten von Wasserleitungsrohren im Betrieb”, Wasser Wirtschaft Technik, H6, 1963

- [23] Bretting, A. E. – “A Set of Practical Hydraulic Formulas Based on recent Experimental Research”, IAHR, 2-nd Meeting, no. 24, 1948
- [24] Carstens, N.R., Charug-Ning Chen – “Resistance Coefficient of uniform Sand Roughness”, Journal of the Hydraulics Division, HY-2, 1969
- [25] Chamberlein, A.R. – “Effects of Boundary Form on Fine Sand Transport in Twelve-Inch Pipes”, Raport CER No. 55, ARC 6, Departament of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, 1955
- [26] Chamberlein, A.R., Bilonox, N. – “Friction Factors in corrugated metal pipe (discussion closed), Journal of the Hydraulics Division, HY-3, 1960
- [27] Chivereanu, D. – “Considerații asupra capacității de transport a drenurilor riflate”, Sesiunea Științifică IP Timișoara, 1979
- [28] Chivereanu, D., Uncianschi, M., Sans V., Ronilă, E. – “Influența undulațiilor tuburilor de drenaj asupra normei de drenaj”, A XXIII-a Sesiune de comunicări Științifice Studentești, IP Timișoara, mai 1982
- [29] Chivereanu, D. – “Cercetări asupra curgerii în tuburi cu pereți ondulați”, Bul St. și Tehnic al IPTV Timișoara, Tom 34(48), 1989
- [30] Crețu, Gh., Prelushek, E. – “Programe de calcul în limbajul FORTRAN pentru calculul unor corelații în hidrologie
- [31] Ciobanu, C., Bilință, E., Rusu, J. – “Asupra calculului hidraulic al conductelor din material plastic”, Buletinul Științific, IP Iași, 1967
- [32] Cioc, D. – “Hidraulică”, Ed. Did. și Pedagogică, București, 1983
- [33] Cîrlig, A. – “Rugozitatea tuburilor din material plastic”, Analele ICIFP, Seria Hidrotehnică, vol I, 1957
- [34] Cîrlig, A. – “Studiul rugozității conductelor de fontă”, Memoriu ISCH, 1965
- [35] Cîrlig, A. – “Studiul rugozității conductelor de azbociment și beton precomprimat tip PREMO”, Memoriu ISCH, 1965

- [36] Cohn, Morris, M. – “The magic of chemistrie – Pipe Lines for Progress”, Certain The Products Corp
- [37] Cone, V.M., Trimble, R.E., Jones, P.S. – “Frictional resistance in Artificial Waterways”, Bulletin No 194, Colorado Agricultural Experiment Station, Fort Collins, 1914
- [38] David, I. – “Hidraulică”, Vol I (Bazele teoretice), Litografia I.P. “Traian Vuia” Timișoara, 1982
- [39] David, I. – “Über ein Berechnungsverfahren der Verlusthöhe beim Eintrittswiderstand der Wasser in die Brainrohre”, Revue Romaine des Sciences Tehnique, teme 28, no. 1, 1983
- [40] David, I. – “Asupra evaluării energiei mecanice disipate pentru un segment de tub de curent cu debit variabil pe parcurs”, Conferința Națională de Energetică, București, nov. 1983
- [41] Davis, G.S., Gieselman, W.W. – “Rigid Drain Tile: Past, Present and Future”, Conference Proceedings National Drainage Symposium, Chicago, Illinois, Dec. 6-7, 1971
- [42] Denis, C.W. – “The Hydraulic characteristics of Plastic Land Drainage Pipe”, Technical Note 75. Proceedings of the Institute of Civil Engineers, London, England, Part 2, Mar. 1973
- [43] Dinc, G., Merva, G.E., Kidder, E.H. – “Hydraulic Roughness of Corrugated Plastic Drain Tubing”, Conference Proceedings National Drainage Symposium, Chicago, Illinois, 1971
- [44] Diskin, M.H. – “Friction Factors in Corrugated pipes (discussion)”, Journal of the Hydraulics Division, HY-2, 1960
- [45] Donnau, W.W. - “an Overview of Drainage Worldwide”, Conference Proceesings National Drainage Symposium, Chicago, Illinois, 1976
- [46] Drablos, C.J.W., Schwab, G.O. – “Field and Laboratory Evaluation of 4-in Corrugated Plastic Drainc Tubes”, Conference Proceedings National Drainage Symposium, Chicago, Illinois, Dec. 1971

- [47] Easton, B.E., Taylor, R., Sweet, G., Chenevey, G. – “Polyvinil Chloride Corrugated Tubing”, Conference Proceedings National Drainage Symposium, Chicago, Illinois, Dec. 1976
- [48] Ede, A.N. – “European standards and specification for drainage materials”, ASAE, Paper No. 65-730 Mich. 49085
- [49] Einstein, H.A. – “Hydraulic roughness of Corrugated Pipes (discussion)”, Journal of the Hydraulic Division, HY-6, 1962
- [50] Engel, F.V.A., Ackers, P., Bilonox, N., Roberson, J.A. – “Design Methods for flow in rough Conduits (discussion)”, Journal of the Hydraulic Division, HY-6, 1962
- [51] Florea, J., Pancitescu, V. – “Mecanica Fluidelor”, Ed. Did. și Pedagogică, București, 1979
- [52] Fouss, J.L. – “Status of Specification for Corrugated Plastic Drain Tubing”, Conference Proceedings National Drainage Symposium, Chicago, Illinois, Dec. 1971
- [53] Fouss, J.L. – “Plastic Drains and their installation”, Drainage for Efficient Crop. Production Conference, ASAE Proceedings, ASAE St. Joseph, M: 49.085
- [54] Fouss, J.L. – “Structural design procedure for Corrugated drainage tubing”, USDA, Technical Bulletin, July, 1972
- [55] Fouss, J.L. – “Drain tube materials and installation”, ASAE Monograph, No. 14, 1972
- [56] Fouss, J.L., Winger, Jr.R.J. – “Status of Specification and Standards”, Conference Proceedings National Drainage Symposium, Chicago, Illinois, Dec. 1976
- [57] Franke, P.G. – “Die Rauigkeitstverhältnisse im Teilgefüllten Rohr”, Wasser Wirtschaft 12/1956

- [58] Gerde, R.J. – “Sediment Transport Through Pipes”, Report CER 40.56 – Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, 1956
- [59] Gheorghiu, V. – “Funcții de rugozitate pentru sistematizarea rezistenței hidraulice a conductelor tehnice”, Studii și cercetări de mecanică aplicată, Nr. 2, Tomul 35, Ed. Academiei RSR, 1975
- [60] Gibson, H.A. – “The Flow of Water in a Corrugated Pipe”. The Philosophical Magazine, vol 50, 1925
- [61] Giurconiu, M. – “Construirea diagramelor pentru calculul conductelor și canalelor cu regim turbulent”, Standardizarea 2-1969
- [62] Giurconiu, M., Mirel, I., Păcurariu, M., Popa Gh. – “Diagrame, monograme și tabele pentru calculul lucrărilor hidroedilitare”, Ed. Facla, Timișoara, 1977
- [63] Goldberg, D.E., Stoner, M.A. – “Water Hammer in PVC and Reinforced Plastic Pipe (discussion). Journal of the Hydraulics Division, HY-5, 1977
- [64] Granville, P.S. – “Shear measurement technique for rough surface (discussion)”, Journal of the Hydraulics Division, HY-5, 1963
- [65] Grass, A.J. – “Structural features of turbulent flow over smooth and rough boundaries”, Journal of Fluid Mechanics, vol. 50, Part 2, 1971
- [66] Höfer, U.H. – “Beginn der Sedimentbewegung bei Gewässersohlen mit Riffeln oder Dünen”, Institut für Wasserbau, Technische Hochschule Darmstadt, Technische Berichte, Nr. 32-1984
- [67] Heinzelman, C., Höfer, U. – “Transportbeginn auf geriffelten Sohle unter dem Einfluss einer Stationar gleichförmigen Stromung mit überlagerter Schwallwalle”, Institut für Wasserbau, Technische Hochschule Darmstadt, Technische Berichte, Nr. 37-1987
- [68] Herndon, L.W. – “Use of corrugated plastic tubing for subsurface drainage”, ASAE Paper No. NA-69-406, ASAE St. Joseph, Mich. 49085

- [69] Johnson, H.P. – “Hydraulic Roughness in Drain Tile”, Conference Proceedings National Drainage Symposium, Chicago, Illinois, 1971
- [70] Kellerhals, R., Bassy H.G. – “Hydraulic roughness of Corrugated pipes (discussion)”, Journal of the Hydraulics Division, HY-1, 1963
- [71] Kirschmer, O. – “Tabelle zur Berechnung von Rohrleitungen nach Prandtl-Colebrook”, Wasserbau Chemie und Technik, Heidelberg, 1954
- [72] Li, W.H., Lam, S.H. – “Principles of fluid mechanics”, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1964
- [73] Man, T.E. – “Studiul rezistențelor hidraulice la drenurile agricole”, Teză de doctorat, IPTV Timișoara, 1983
- [74] Marchi, E. – “Sul moto uniforme turbulento delle correnti liquide”, Atti della Accademia Nazionale dei Lincei, 1960
- [75] Marchi, E. – “Il moto uniforme delle correnti per condotti chiusi e aperti”, L'Energia Elettrica No. 4/5, 1961
- [76] Monzavi, M.T. – “Widerstandsgesetz auf statischer Basis für extreme natürliche Rauigkeiten in Druckrohren”, Technische Berichte, Nr. 8 dem Institut für Hydraulik und Hydrologie der Technische Hochschule Darmstadt, 1972
- [77] Moore, L.D. – “Relationships Between Pipe Resistance Formulas”, Journal of the Hydraulics Division, HY-3, 1959
- [78] Morazov, A.A. – “Utilizarea energiei apelor”, Ed. Tehnică, 1952
- [79] Morris, H.M. – “Flow in rough conduits”, Transaction of ASCE, vol. 120, 1955
- [80] Morris, H.M. – “Flow in rough conduits (closed discussion)”, Transaction of ASCE, vol. 120, 1950
- [81] Morris, H.M. – “Design methods for flow in rough Conduits”, Journal of the Hydraulics Division, HY-7, 1959
- [82] Morris, H.M. – “Design methods for flow in rough Conduits (closed discussion)”, Journal of the Hydraulics Division, HY-1, 1961

- [83] Muss, L.D. – “Friction losses in lines with service connections”, Journal of the Hydraulics Division, HY-1, 1960
- [84] Năstase, V. – “Noi diagrame pentru calculul hidraulic al conductelor”, Lucrările Institutului de Petrol și Gaze, nr. 4, 1958
- [85] Nosenko, P.P., Zonn, I.S. – “Land Drainage in World”, International Commission of Irrigation and Drainage Symposium, ICID Biannual Bulletin, Ian 1976
- [86] Neill, C.R. – “Hydraulic Roughness of Corrugated Pipes (discussion by R. Kellerhols and H.G. Bossy)”, Journal of the Hydraulics Division, HY-1, 1963
- [87] Neill, C.R. – “Hydraulic Roughness of Corrugated Pipes”, Journal of the Hydraulics Division, HY-3, 1962
- [88] Neill, C.R. – “Hydraulic Roughness of Corrugated Pipes (closed discussion)”, Journal of the Hydraulics Division, HY-4, 1963
- [89] Nicoară, T. – “Contribuții la hidraulica disipării energiei în canalele rapide cu macrorugozități de geometrie regulată”, Teză de doctorat, I.P. Timișoara, 1973
- [90] Panaitescu, V. – “Metodă de calcul a pierderilor de sarcină în conducte lungi”
- [91] Perry, A.E., Schofield, W.N., Joubert, P.N. – “Rough wall Turbulent Boundary Layers”, Journal of Fluid Mechanics, vol. 37, Part 2, 1969
- [92] Popescu, P., Miharescu, P. – “Măsurarea debitului în tehnică”, Ed. Tehnică, București, 1969
- [93] Popov, V.N. – “Calculul hidraulic al conductelor forțate ale centralelor hidroelectrice (traducere din limba rusă)”, Ed. Energetică de Stat, București, 1953
- [94] Preißler – Ballrich – “Technische Hydromechanik”, Band 1, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1980

- [95] Rand, W. – “Flow in rough conduits (discussion)”, *Transactions of ASCE*, vol. 120, 1955
- [96] Ree, W.O. – “Friction factors in corrugated metal pipe (discussion)”, *Journal of the Hydraulics Division*, HY-4, 1960
- [97] Reynolds, A.J. – “Curgeri turbulente în tehnică (traducere din limba engleză)”, Ed. Tehnică, București, 1982
- [98] Roberson, J.A. – “Design methods for flow in rough conduits (discussion)”, *Journal of the Hydraulics Division*, HY-1, 1960
- [99] Roberson, J.A. – “Surface Resistance as a Function of the Concentration and Size of Roughness Element”, Ph. D. Dissertation, Iowa Institut of Hydraulic Research, Univ of Iowa, 1961
- [100] Rouse, H. – “Critical analysis of open channel resistance”, *Journal of the Hydraulics Division*, HY-4, 1965
- [101] Rusănescu, N. – “Rugozitatea și hidraulica conductelor ce transportă soluții de NaCl”, Teză de doctorat, I.P.Timișoara, 1978
- [102] Săndulescu, T., Haret, C., Stanciu, I. – “Stadiul actual al folosirii materialelor plastice la drenarea terenurilor agricole și perspectivele pentru folosirea lor în țara noastră”, CIDH, Seria D-Îmbunătățiri Funciare, Nr. 2, 1973
- [103] Schilfgaard, J. – “Drainage Iesterday, Today and Tomorrow”, Conference Proceedings National Drainage Symposium Chicago, Illinois, Dec. 1971
- [104] Dalwig, H.J. – “Fließformeln und Formbewerte eine Kritische untersuchung ublicher berechnungsmethoden für Gerinnestromungen”, Technische Berichte nr. 12, Institut für Hydraulic und Hydrologie an der Technischen Hochschule Darmstadt, 1974
- [105] Schröder, R.C.M. – “Virkung periodischen Wandwelligkten auf den Stromungswiderstand”, Technische Berichte nr. 12, Institut für Hydraulic und Hydrologie an der Technischen Hochschule Darmstadt, 1974

- [106] Shipton, J.R., Graze, R.H. – “Flow in Corrugated Pipes”, Journal of the Hydraulics Division, HY-9, 1976
- [107] Straub, L.G., Morris, H.M. – “Hydraulic Test on Corrugated Metal Culvert Pipes”, Technical Paper No. 5, Series B, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, University of Minnesota, Minneapolis, 1950
- [108] Söhngen, B. – “Das Formbeiwertkonzept zur Berechnung des Fließwiderstandes in Rohren und Gerinnen”, Technische Berichte nr. 39, Institut für Wasserbau, Technische Hochschule Darmstadt, 1987
- [109] Tsang, G., Irwin, R.W. – “Friction Factors for Corrugated Plastic Tubing (by Lee F. Hermsmeier and L.S. Willardson discussion)”, Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE vol. 97, no. I.R.2, Paper 8156, June 1971
- [110] Von der Beken, A. – “Friction Factors for corrugated Plastic Tubing (by Lee F. Hermsmeier and L.S. Willardson discussion)” Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE vol. 97, no. I.R.2, Paper 8156, June 1971
- [111] Van Someren, C.L. – “The use of plastic drainage pipes in the Netherlands”, Ministry of Agriculture and Fisheries, 1964
- [112] Webster, M.I., Metcalf, L.R. – “Friction factors in Corrugated Metal Pipe”, Proceedings, ASCE, vol 85, HY-9, 1959
- [113] Wehry, A. – “Desecări”, Vol. I, II, Litografia I.P. Timișoara
- [114] Wehry, A., David, I., Man, T.E. – “Probleme actuale în tehnica drenajului”, Ed. Facla, Timișoara, 1982
- [115] Wehry, A., Chivereanu, D., Man, T.E. – “Îndrumător pentru lucrări practice de irigații și drenaje”, Litografia I.P. Timișoara, 1978
- [116] Wesseling, J., Homma, F. – “Hydraulic resistances of drain pipes”, Neth. J. Agric. Sci 15-1967
- [117] Wood, H. David – “Flow in Corrugated pipes (by R.j. Shipton and H.R. Graze discussion)”, Journal of the Hydraulics Division, HY-6, 1977

- [118] Yarnell, D.L., Nagler, F.A., Woodward, S.M. – “Flow of Water Trough Culverts”, Bulletin 1, studies in Engineering, University of Iowa, Iowa City, 1926
- [119] Zeigler, E.R. – “Hydraulic Laboratory Manning’s “k” and Grade Deviation Study for 4-inch-diameter Nonperforated, Corrugated Plastic Drain Tubing”, Engineering and research center Bureau of Reclamation, Denver CO 80225, 1978, REC-ERC-78-2
- [120] *** - Agricultural Engineers Yearbook, 1971, ASAE Recommendation, ASAE R 260.2
- [121] *** - Bonneville Hydraulic Laboratory, Portland District CE, “Friction Losses in Corrugated Metal Pipe, CWI 828”, Report No. 40-1, Portland, Oreg. July 1955
- [122] *** - Hydraulic Design Criteria-Sheets 224-1/2 to 224-1/4, Resistance Coefficients Corrugated Metal Pipe. Revised 1-68. Prepared by US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi
- [123] *** - Sinteze programului de dezvoltare în perspectivă a acțiunilor de îmbunătățiri funciare. DIFCA- București, 8 sept. 1975
- [124] *** - Specification for corrugated polyethylene tubing. USDA, Soil Conservation Service Engineering, 1971
- [125] *** - Standard recommended practice for subsurface installation of corrugated thermoplastic tubing for agricultural drainage or water table control. ASTM, F 447-76, USA
- [126] *** - Standard specification for Corrugated Polyethylene Tubing and Fittings. American Society for Testing and Materials (ASTM), ANSI / ASTM F405-76
- [127] *** - U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE. “Resistance Coefficients for Structural Plate Corrugated Pipe, Hydraulic Model Investigation” by J.L. Grace, Jr. Technical Report No. 2-715, Vicksburg, Miss. February 1966

- [128] *** - U.S. department of Agriculture - " Friction Factors for Metalical Corrugated Pipe" by C.E. Rice, ARS 41-119, Agricultural Research Service, Washington D.C., February 1966

CUPRINS

Capitolul 1

CONSIDERAȚII ASUPRA APLICAȚIILOR TEHNICE ALE TUBURILOR CU PEREȚI ONDULAȚI

- | | |
|--|--------|
| 1.1 Clasificarea tuburilor cu pereți ondulați | pag. 1 |
| 1.2 Caracteristicile geometrice ale tuburilor cu pereți ondulați | pag. 2 |
| 1.3 Considerații asupra utilizării tuburilor cu pereți ondulați | pag. 5 |
| 1.4 Utilizarea tuburilor cu pereți ondulați pentru drenajul agricol din țara noastră | pag. 6 |

Capitolul 2

STADIUL ACTUAL AL HIDRAULICII TUBURILOR CU PEREȚI ONDULAȚI

- | | |
|--|---------|
| 2.1 Considerații asupra parametrilor hidraulici și geometrici | pag. 9 |
| 2.1.1 Probleme hidraulice ce se pun în legătură cu tuburile cu pereți ondulați utilizate la drenajul agricol | pag. 9 |
| 2.2 Particularități ale curgerii în tuburi cu pereți ondulați | pag. 12 |
| 2.2.1 Rezistența curentului | pag. 12 |
| 2.2.2 Influența rugozității. Probleme nerezolvate. | pag. 12 |
| 2.3 Conceptul lui H.M. Morris privind curgerea în condiții rugoase | pag. 17 |
| 2.3.1 Introducere | pag. 17 |
| 2.3.2 Tipuri de bază ale curgerii | pag. 19 |
| 2.4 Regimul turbulent de tranziție pentru tuburi cu pereți ondulați | pag. 22 |
| 2.5 Coeficientul de rezistență la conducte metalice cu pereți ondulați | pag. 25 |
| 2.6 Formula vitezei pentru conducte cu pereți ondulați | pag. 28 |

Capitolul 3

INFLUENȚA PARAMETRILOR HIDRAULICI ȘI GEOMETRICI ASUPRA REZISTENȚEI LA CURGERE

- | | |
|---|---------|
| 3.1 Evidențierea componentelor rezistenței la curgere în tuburile cu pereți ondulați pe baza rezistenței totale | pag. 33 |
| 3.2 Evidențierea componentelor rezistenței la curgere pe baza analizei dimensionale | pag. 36 |

Capitolul 4**DESCRIEREA DISPOZITIVULUI EXPERIMENTAL**

4.1 Standul experimental numărul 1	pag. 39
4.1.1 Caracteristicile standului	pag. 39
4.1.2 Descrierea standului	pag. 40
4.1.3 Caracteristicile tubului cu pereți ondulați	pag. 42
4.1.4 Prizele de presiune. Măsurarea presiunilor	pag. 42
4.1.5 Măsurarea debitului	pag. 43
4.2 Standul experimental numărul 2	pag. 47
4.2.1 Descrierea standului	pag. 47
4.2.2 Prizele de presiune. Măsurarea presiunilor	pag. 47
4.2.3 Măsurarea debitului	pag. 49
4.2.4 Caracteristicile tuburilor cu pereți ondulați	pag. 50

Capitolul 5**PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA MĂSURĂTORILOR EXPERIMENTALE**

5.1 Prelucrarea măsurătorilor experimentale	pag. 53
5.2 Încadrarea rezultatelor experimentale în diagrama ($\lambda - Re$)	pag. 56
5.3 Încadrarea rezultatelor experimentale în diagrama Morris	pag. 58
5.4 Rezultate obținute prin utilizarea parametrului DL/k^2 în regimul de tranziție	pag. 58
5.5 Rezultate obținute prin utilizarea parametrului DL/k^2 în regimul turbulent pătratic	pag. 69
5.6 Determinarea rugozității echivalente tip nisip	pag. 73
5.7 Interpolarea valorilor experimentale ($\lambda - Re$) prin funcții Spline cubice	pag. 74
5.7.1 Considerații teoretice	pag. 74
5.7.2 Observații privind eroarea	pag. 74

Capitolul 6**SINTEZĂ ȘI CONCLUZII**

ANEXA Nr. 1	pag. 88
ANEXA Nr. 2	pag. 92
ANEXA Nr. 3	pag. 93
ANEXA Nr. 4	pag. 94
ANEXA Nr. 5,6,7	pag. 95
ANEXA Nr. 5,6,7	pag. 96
ANEXA Nr. 8,9	pag. 97

BIBLIOGRAFIE

pag. 98