INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA"
T I M I S O A R A
Facultatea de construcţii

Ing. MARIA ARSENIE

CONTRIBUTII LA REZOLVAREA UNOR PROBLEME DE REGULARIZAREA ALBIILOR

- Teză de doctorat -

Conducător ştiinţific
Prof.dr.ing. CORNEL JURA

- Timişoara 1976 -

CONTRIBUTII LA REZOLVAREA UNOR PROBLEME DE REGULARIZAREA ALBIILOR

Cuprins

Capitolul I - INTRODUCERE

§ 1.- Problema apei în lume și în R.S.R.

Folosirea rațională a resurselor de apă este un imperativ al epocii contemporane, sub diferite aspecte această problema fiind dezbătută în cadrul unor reuniuni cu caracter politic, științific sau tehnico-economic, și concretizată în numeroase documente adoptate atît pe plan mondial cît și pe plan național.

După cum este cunoscut România se situează printre țările cu resurse de apă relativ reduse, resursele rîurilor interioare fiind evaluate în medie la 35 miliarde mc/an revenind 1750 mc/an.locuitor, față de 4800 mc/an.locuitor cît este media pe întreaga Europă. Situația este dezavantajoasă datorită repartiției neuniforme a acestor resurse pe teritoriul țării și datorită neuniformității debitelor în cursul anului. Aceasta justifică atenția deosebită acordată problemei apei la noi în țară.

Pe plan național, politica în domeniul apelor a fost elaborată treptat de către P.C.R. începînd cu Conferința națională din 1945. O importanța deosebită pentru tratarea unitară a problemei apelor a avut adoptarea de către Plenara C.C. al P.C.R. din 17-19 martie 1970 a "Programului național pentru gospodărirea rațională a resurselor de apă și extinderea lucrărilor de îmbunătățiri funciare", în perioada actuală.

Importanța acordată problemei apelor este clar pusă în evidență și de un document atît de important cum este "Programul P.C.R. de făurire a societății socialiste multilateral dezvoltate și înaintare a României spre comunism" adoptat la Congresul al XI-lea. În partea a III-a privind obiectivele fundamentale ale etapei este prezentată, la punctul al treilea, politica în domeniul gospodăririi apelor și protecției mediului înconjurător, imediat după politica industrială și [illegible] a partidului.

Pe plan de stat, politica generală în domeniul apelor este oglindită într-un cadru legislativ, cel mai important document adoptat de M.A.N. în această problemă fiind Legea Nr.8/1974 (legea apelor) care reglementează pe baze unitare probleme privind conservarea, valorificarea și protecția resurselor de apă în cadrul fiecărui bazin hidrografic, modul coordonat în care trebuie să se realizeze și să se exploateze toate lucrările hidrotehnice necesare folosirii complexe a apelor, apărării contra inundațiilor, satisfacerii cerințelor de apă în continuă creștere ale populației și economiei naționale.

Pagubele produse de inundațiile din anii 1970,1972 și 1975 au demonstrat importanța lucrărilor de regularizare a cursurilor naturale de apă și a canalelor în cadrul ansamblului de lucrări hidrotehnice necesitate de folosirea rațională a resurselor de apă.

§ 2.- Problema regularizării cursurilor de apa

Proiectarea,execuția și întreținerea lucrărilor de regularizare a albiilor naturale pun probleme tehnice deosebit de complicate datorită caracterului complex al proceselor de albie determinate de inter-acțiunea unei multitudini de factori a căror acțiune în timp nu poate fi izolată și în consecința nici măsurată.

Avînd în vedere cele de mai sus,fundamentarea pe baze științifice a lucrărilor de regularizare este de dată relativ recentă (în trecut aceste lucrări se executau,în general,pe baze empirice).

Cercetările științifice efectuate pe plan mondial ar putea fi grupate în principal în următoarele trei direcții :

- cinematica curenților lichizi,avînd drept obiect studiul curenților de apă la care mișcarea aluviunilor apare ca un fenomen secundar,ce poate fi neglijat ;
- dinamica aluviunilor la care atenția este concentrată asupra mișcării aluviunilor sub acțiunea curentului lichid;
- studiul proceselor de albie,la care se face sinteza celor două aspecte prezentate mai sus,avînd ca obiect determinarea elementelor albiei stabile privită ca rezultat al acțiunii simultane a curentului lichid și a mișcării aluviunilor asupra patului aluvionar.

Dintre aluviuni cele transportate prin tîrîre au un rol hotarîtor în formarea albiei.Autoarea consideră ca termenul de "tîrîre" utilizat în literatura tehnica românească poate crea o imagine falsa asupra modului de deplasare a acestor aluviuni,ei sugerind o mișcare de translație,de alunecare,a particulei aluvionare aflată într-un permanent contact cu patul rigid.În realitate o astfel de mișcare a aluviunilor nu există deplasarea particulei făcindu-se mai mult prin rotație și relativ puțin prin translație.În mișcarea de rotație,datorita neregularităților particulei aluvionare și a patului,este posibil ca particula să facă mici salturi pierzînd temporar contactul cu patul rigid.

Este cunoscut faptul că în general un curs natural de apă are în plan un traseu sinuos,caracterizat de existenţa a numeroase curbe,în timp ce un canal artificial se execută cu lungimă mari de sectoare rectilinii.

Curbarea firelor de lichid componente ale curentului are loc şi la confluenţa curenţilor,la despărţirea rîului în braţe, la ocolirea diferitelor obstacole naturale sau construcţii hidrotehnice.Deşi în general aceste fenomene sînt considerate locale,este de menţionat că această localizare are un caracter convenţional deoarece cercetările experimentale indică faptul că la sfîrşitul unei curbe nu se reface distribuţia vitezelor caracteristică sectorului rectiliniu /Z-1/,ci pentru aceasta este necesară încă o porţiune rectilinie destul de lungă,aproximativ de acelaşi ordin cu lăţimea albiei.

Avînd în vedere cele de mai sus nu este exagerat de a afirma că în cazul albiilor naturale,spre deosebire de cazul canalelor artificiale,mişcarea rectilinie a curenţilor se întîlneşte rar,iar mişcarea în curbe are,în consecinţa,o importanţa practică incontestabilă.Studiul ştiinţific al acestui fenomen este însă deosebit de dificil.Pentru a sublinia acest lucru cunoscutul om de ştiinţă francez Saint-Venant a afirmat chiar că studiul mişcării lichidului în curbe este un mijloc de a ajunge la disperare /P-5/,afirmaţie care îşi păstreaza în parte valabilitatea şi în prezent.Particularitatea esenţiala a mişcării lichidelor în curbe o constituir apariţia unei curgeri secundare într-un plan radial,care compusă cu curgerea longitudinală principală dă o curgere elicoidala.Circulaţia transversala a lichidului provoaca o redistribuire a vitezelor longitudinale,comparativ cu curgerea pe sectoare rectilinii,datorită faptului că particulele lichide antrenate în aceasta circulaţie poseda cantităţi de mişcare diferite de cele ale straturilor pe care le străbat. Sub efectul forţei centrifuge apare şi o denivelare a suprafeţei apei în sens radial ceea ce conduce la o schimbare pe porţiuni şi a pantelor longitudinale.Redistribuirea pe lăţime şi adîncime a vitezelor conduce la creşterea pierderilor de sarcină în curbe odată cu aceasta schimbîndu-se şi caracteristicile de turbulenţă Aşa ar apare,în primă aproximaţie,fenomenul în cazul albiilor cu pat fix.In cazul albiilor cu pat mobil problema se complica simţitor prin faptul ca schimbarea cîmpului de viteze în curbe conduce inevitabil la schimbarea capacităţii de transport a curentului,la redistribuirea aluviunilor pe secţiunea vie a curentului.Se produce astfel o schimbare a condiţiilor de deformare a albiei în curbe care are ca urmare schimbarea secţiunii transversale a acesteia.Schimbarea geometriei albiei produce la rîndul ei o schimbare a cîmpului de viteze ; prin interacţiunea dintre curent şi albia deformabilă se produce astfel complicatul proces de formare a albiei. In acest fenomen deosebit de complex obţinerea unor rezultate teoretice este posibilă numai în condiţiile acceptării ideii necesităţii unor ipoteze simplificatoare, care să exprime esenţa fenomenului.Pe această cale s-a mers în cadrul tezei obţinîndu-se rezultate finale avînd o concordanţă acceptabilă cu determinările experimentale,rezultate care se pot folosi în practică.

De asemenea,complexitatea fenomenului face ca,în momentul actual să nu fie posibilă elaborarea unor metode sau criterii unice,care să prindă toate aspectele acestui fenomen complex, ci metodele sau criteriile existente au caracterul unor condiţii necesare dar nu şi suficiente.Dacă se proiectează de exemplu o albie stabilă,în prezent,putem folosi metoda analogiilor naturale,metoda relaţiilor morfometrice,morfometrico-hidraulice,teoria regimului,relaţii bazate pe echilibrul limită al particulelor de fund,indicatori de stabilitate;mai puţin pusă la punct pentru a fi utilizată în proiectare este metoda rezistenţelor hidraulice a lui Einstein-Barbarossa.Este necesar ca elementele albiei stabile proiectate să fie calculate cu toate aceste metode care exprimă condiţii referitoare la diferite aspecte ale unui aceluiaşi fenomen.

In teză se dezvoltă o metodă originala de determinare a elementelor albiei stabile,care nu poate fi inclusă în nici una dintre metodele enunţate anterior.Metoda porneşte de la formula debitului solid tîrît sub forma dată de Meyer-Peter şi Müller şi de la utilizarea efectivă a principiului disipării minime a energiei curentului enunţat calitativ de Velikanov.Acest principiu al disipării minime a energiei,un principiu variaţional,a fost utilizat efectiv de prof.dr.doc.S.Hâncu /H-1 şi H-2/ la deducerea unor relaţii privind stabilitatea albiei;stabilitatea locală a albiei este asigurată,conform acestui principiu dacă efortul tangenţial de frecare la perete este aproximativ egal cu de 10 ori efectul tangenţial critic.

In teză se utilizează într-un alt mod acest principiu variaţional,elaborîndu-se o metoda detaliată de determinare a elementelor albiei stabile care a fost verificata prin experimente proprii pe model şi prin măsurători efectuate de alţi cercetători pe modele şi în natură.Metoda propusă,în teză,consideră că albia stabilă este aceea care la anumit debit lichid transportă un debit solid tîrît maxim.Luînd în considerare în primul rînd debitul solid tîrît metoda conduce,asemenea celorlalte metode,la condiţii necesare,dar nu şi suficiente de stabilitate,rezultatele obţinute trebuind să fie verificate şi prin celelalte metode; în final este de dorit a se efectua şi încercări pe modele hidraulice care să confirme rezultatele teoretice.

In ceea ce priveşte aplicarea metodelor variaţionale,în rezolvarea problemelor de hidrotehnică,ele sînt destul de slab utilizate pe plan naţional.In afară de prof.dr.doc.S.Hâncu,care a utilizat aceste metode şi în rezolvarea altor probleme /H-1 şi H-2/ se menţionează şi ciclul de lucrări /A-1,A-2,A-3,A-4 şi A-5/ la elaborarea cărora am participat în calitate de coautoare.

§ 3.- Utilitatea şi obiectul tezei

In urma unei activităţi de aproape două decenii,desfăşurată în legătură cu execuţia,întreţinerea şi proiectarea lucrărilor de regularizare,am ajuns la concluzia că o lucrare care să conţină o tratare aprofundată a unor laturi ale acestui subiect, în care să se aducă esenţiale contribuţii la rezolvarea unor probleme concrete,este deosebit de utilă.

Această concluzie se bazează pe faptul că cercetarea unui vast material bibliografic de specialitate,care a fost posibil a fi consultat,mi-a permis să constat ca majoritatea informaţiilor sînt dispersate în multe lucrări,unele foarte greu de procurat.

In ceea ce priveşte lucrările de sinteză ele rar depăşesc nivelul unor cursuri studenţeşti,avînd prin natura lor un caracter general,repetînd noţiunile clasice de bază necesare a fi cunoscute,dar insuficiente pentru rezolvarea unor probleme speciale,de o dificultate sporită cum sînt cele care apar în anumite situaţii reale pe care le au de rezolvat proiectanţii lucrărilor de regularizare.

Teza de faţă caută să remedieze parţial această situaţie prin aceea că aprofundează cîteva probleme care interesează în mod nemijlocit proiectantul lucrărilor de specialitate,referitor la fiecare problemă fiind dată şi o scurtă şi critică sinteză bibliografică.

Din necesitatea încadrării într-un număr limitat de pagini nu se vor expune aici în mod detaliat conţinutul capitololor şi al paragrafelor, indicînd la fiecare contribuţiile aduse, deoarece acest lucru se va face în capitolul VII intitulat "Concluzii"

In cadrul acestui paragraf introductiv se va face doar o prezentare generală a obiectului tezei.

Contribuţiile originale cuprinse în teză se referă la următoarele patru probleme, care fac obiectul a patru capitole:

- cinematica curenţilor cu faţa liberă pe sectoarele în aliniament ;
- cinematica curenţilor cu faţa liberă pe sectoarele în curbă ;
- stabilitatea albiei la eroziune pe sectoarele în aliniament ;
- stabilitatea albiei la eroziune pe sectoarele în curbă.

Alegerea acestor patru probleme nu a fost întîmplatoare, ci ele au fost sugerate de realizarea în cadrul Catedrei de CHIF a unor contracte de colaborare cu producţia pe teme de regularizare, unde s-a răspuns, în termen scurt, problemelor puse de proiectanţi. In acest scop s-a utilizat metoda modelării hidraulice, metodele teoretice de rezolvare a problemelor speciale menţionate în contractele de cercetare nefiind suficient de clare.

Ulterior, într-un interval de timp mult mai lung, prin consultarea intensă a bibliografiei, prin adoptarea unor ipoteze simplificatoare şi schematizări ale fenomenelor, a devenit posibilă o generalizare pe plan teoretic a rezultatelor obţinute şi elaborarea unor metode utilizabile în proiectare.

Toate propunerile originale făcute au fost minuţios verificate atît cu rezultate experimentale proprii cît mai ales cu rezultatele obţinute în laborator sau în natură de alţi cercetători.

In ceea ce priveşte cinematica curenţilor cu faţa liberă pe sectoarele în aliniament problema principală constă în determinarea distribuţiei de viteze pe secţiunea vie a curentului. Dacă în ceea ce priveşte distribuţia vitezei pe înălţime, în aproximaţia mişcării plane există relaţii relativ numeroase, în ceea ce priveşte distribuţia pe lăţime asemenea relaţii nu sînt cunoscute.

In cadrul respectivului capitol se face o minuţioasă verificare a aplicabilităţii relaţiilor cunoscute în condiţiile cursurilor naturale de apă utilizînd în principal date din carnetele de măsurători existente în arhiva Institutului de meteorologie şi hidrologie,filiala Timişoara,pentru rîurile Timiş şi Bega.Existînd posibilitatea de îmbunătăţi relaţiile cunoscute, în teză se propun relaţii originale de repartiţie a vitezei bazate pe principiul variaţional al puterii disipate minime la un debit constant dat,dezvoltîndu-se unele consideraţii teoretice publicate în cîteva lucrări,dintre care pentru problema tratată în teza cea mai importantă este lucrarea /A-4/.

Întrucît relaţiile iniţiale sînt stabilite pentru o secţiune vie de formă dreptunghiulară se va indica modul de adaptare a lor pentru a fi aplicate în cazul unei albii naturale. Relaţiile propuse sînt verificate într-un paragraf special consacrat acestei probleme.Calitatea relaţiilor se apreciază prin calculul a doi indicatori statistici caracteristici : abaterea medie relativă şi abaterea medie pătratică.

În cadrul următorului capitol se tratează cinematica curgerii pe sectoarele în curbă.

Problemele fundamentale care se pun sînt pe de o parte determinarea reliefului suprafeţei libere,variabil pe sectoarele în curbă de la secţiune la secţiune,iar pe de altă parte determinarea distribuţiei vitezelor în curgerea longitudinală şi radială.

Cinematica curenţilor în curbe are un caracter complex, unanim recunoscut,întrucît peste mişcarea longitudinală principală apare o mişcare secundară circulatorie,în planul radial.

În teză se propune o schematizare a evoluţiei nivelurilor în axa longitudinală a curbei,o metodă de calcul,prin diferenţe finite,a denivelărilor transversale şi un algoritm cu program de calcul automat pentru determinarea distribuţiei vitezelor. Propunerile sînt bazate în esenţă pe considerarea redistribuirii continue a vitezelor longitudinale sub efectul circulaţiei transversale, distribuţia iniţială fiind tocmai cea obţinută prin rezolvarea primei probleme referitoare la cinematica în aliniament.In felul acesta capitolul al III-lea apare ca o consecinţă naturală a capitolului al II-lea.

Rezultatele teoretice se verifică şi în cadrul capitolului al III-lea,în diferite condiţii,folosind rezultate experimentate proprii şi rezultate ale altor cercetători.

Aceste două capitole ale tezei tratînd aspectele cinematice ale curgerii,deşi au un evident caracter aplicativ şi vor sta în continuare la baza elaborării unor metode privind stabilitatea la eroziune,au în acelaşi timp un caracter fundamental.Rezultatele obţinute aici se pot folosi şi la rezolvarea altor probleme cum sînt cele puse de proiectarea construcţiilor de captare,stabilirea legităţilor de meandrare ale albiei,proiectarea lucrărilor de traversare,elaborarea unor procedee de îmbunătăţire a condiţiilor de navigaţie,dimensionarea lucrărilor de protecţie a malurilor etc.

In cadrul capitolului referitor la stabilitatea albiilor in aliniament se consideră ca factor preponderent transportul aluviunilor tîrîte şi se dau metode de rezolvare a patru probleme tipice : două dintre ele fiind probleme de proiectare,iar celelalte două,probleme de prognoza.Metoda de rezolvare este fundamentată pe principiul energiei disipate minime,a cărui primă utilizare în domeniul dinamicii albiilor naturale este atribuită lui M.A.Velicanov.In lucrare s-a utilizat însă forma echivalentă sub care acest principiu a fost formulat de prof.dr.doc.S. Hâncu.Acest principiu permite obţinerea unei relaţii suplimentare intre mărimile esenţiale ce intervin în fenomen,care se adaogă la cele două relaţii uzuale (ecuaţia debitului lichid şi ecuaţia debitului solid tîrît).

Metodica propusă a fost aplicată la calculul elementelor albiei stabile pe rîul Jiu in zona Rovinari.Datele necesare calculului s-au extras din articolele care au apărut în revista "Hidrotehnica" în legătură cu această amenajare.Important a fost faptul că în această zona s-au făcut măsurători înainte şi după executarea lucrărilor de regularizare ceea ce permite să se tragă concluzii certe.

De asemenea metoda a fost verificată cu datele obţinute pe modelul sectorului de rîu Argeş.

In aceea ce priveşte creşterea capacităţii de eroziune a unui curent pe sectoarele in curbă comparativ cu sectoarele rectilinii la acelaşi debit,respectiv la aceeaşi viteză medie,ea a fost evaluată cantitativ cu ajutorul unui coeficient.Acest coeficient,supraunitar,notat c este definit ca raport a două viteze medii ambele corespunzînd momentului de iniţiere a procesului de eroziune :

- $v_{eroz.rectil.}$ este viteza medie la care încep să apară eroziunile pe sectorul rectiliniu calculată prin împărţirea debitului aferent la secţiunea vie a curentului pe acest sector ;

- $v_{eroz.curb}$ este viteza medie la care încep să apară eroziuni pe sectorul in curbă,calculată prin împărţirea debitului aferent la secţiunea vie a curentului pe sectorul rectiliniu

Conform indicaţiilor din /H-1/, secţiunea vie a curentului în curbă este aproximativ egala cu secţiunea vie a curentului în aliniament la un debit dat. Se preferă utilizarea secţiunii vii a curentului pe sectorul în aliniament drept mărime de referinţa deoarece ea se determină mult mai uşor.

In urma acestor considerente rezultă că problema fundamentala a evaluării creşterii capacităţii de eroziune pe sectorul în curbă este exprimată prin scăderea vitezei de eroziune a curentului în aliniament, scădere care se realizeaza prin împărţirea cu un coeficient supra unitar, denumit din acest motiv şi coeficient de reducere a vitezei de eroziune. Prin aceasta se fac utilizabile datele care există referitor la viteza de eroziune în aliniament şi pentru determinarea vitezei de eroziune în curbe, condiţionat de cunoaşterea valorii coeficientului de reducere c .

Metoda de calcul a coeficientului c constitue obiectul unui paragraf, ideea de bază fiind aceea a descompunerii coeficientului c într-un produs de factori, fiecare reflectînd o anumită latură a fenomenului creşterii capacităţii de eroziune în curbe. Metoda propusă va fi şi în acest caz verificată prin încercări pe model.

Un capitol al tezei are drept obiect prezentarea legilor de similitudine care au stat la baza efectuării cercetărilor prin modelare şi prezentarea modelului unui sector al rîului Argeş construit în cadrul laboratorului Catedrei CHIF a Institutului politehnic "Traian Vuia" Timişoara.

In cadrul acestui capitol este justificată alegerea scării modelului, modul de realizare a rezistenţelor hidraulice pe model, modul de efectuare a măsurătorilor şi sînt prezentate un număr de 12 fotografii privind ansamblul modelului, detalii de execuţie, detalii privind cinematica curenţilor şi aluviunile.

In ultimul capitol sînt prezentate rezumativ conţinutul fiecărui paragraf şi contribuţiile proprii aduse în rezolvarea problemelor tratate.

x

x x

In încheierea acestui capitol introductiv, mulțumesc tuturor celor care m-au ajutat la elaborarea prezentei teze și în mod special conducerii institutului, conducerii catedrei, conducătorului științific și colectivului catedrei de C.H.I.F.

Capitolul II

CONTRIBUTII LA CINEMATICA CURGERII PE SECTOARELE IN ALINIAMENT

1. Repartizarea vitezei pe verticală

§ 1-1 Relatii recomandate în literatura de specialitate

Problema repartiţiei vitezei după verticală în canale de secţiune dreptunghiulară şi trapezoidală, ca şi în albiile rîurilor a fost mult studiată atît din punct de vedere teoretic cît şi din punct de vedere experimental fără a fi complet epuizată.

In cele ce urmează se prezintă pe scurt, relaţiile referitoare la sectoare în aliniament cu secţiunea transversală aproximativ simetrică şi fundul plat.

Relaţiile recomandate de literatura de specialitate pot fi grupate în următoarele trei categorii : relaţii de tip parabolic, de tip eliptic şi de tip logaritmic.

a.- Relaţiile de tip parabolic sînt reprezentate caracteristic de aşa numita "lege la 1/7" recomandată în lucrarea /H-1 p.18/ :

$$\frac{\overline{u}}{\overline{u}_{max}} = \left(\frac{z}{h}\right)^{\frac{1}{n}} \qquad (II-1-1-1)$$

în care :

$\overline{u}$, este viteza medie temporală corespunzătoare distanţei z de la fundul albiei ;

$\overline{u}_{max}$, este viteza maximă (medie temporală) în aceeaşi verticală în care s-a determinat şi u ; se consideră că viteza maximă se realizează la suprafaţa apei ($z = h$) ;

n , un exponent care în cele mai multe cazuri are valoarea 7.

O indicaţie privind variaţia exponentului "n" este dată de cercetările experimentale minuţioase efectuate de Nikuradze /S-1 p.538-540/ în domeniul $4.10^3 \leq Re \leq 3,2.10^6$ în cazul conductelor. Experienţele au indicat o slabă dependenţă a exponentului "n" de numărul Reynolds (Re). In cazul albiilor în locul diametrului se recomandă a se lua de patru ori raza hidraulică a secţiunii vii a curentului în calculul numărului Re şi funcţie de acesta următoarele valori "n" obţinute sînt date în tabela Nr. II-1-1-1.

Tabela Nr. II-1-1-1

Re în 10^3	4	100	3240
n	6	7	10

Cercetările lui Nikuradze au indicat abateri ale valorilor experimentale de la această lege în zona centrală a conductelor și a canalelor.

In cazul acestei relații de repartiție, prin integrarea legii (II-1-1-1) între limitele $z = 0$ și $z = h$, se obține următoarea legătură între viteza medie notată $\bar{u}$ și viteza maximă $\bar{u}_{max}$ a verticalei respective :

$$\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \qquad \text{(II-1-1-2)}$$

In tabela Nr.II-1-1-2 este dat raportul $\bar{u}/\bar{u}_{max}$ pentru diferite valori ale exponentului "n".

Tabela II-1-1-2

n	6	7	8	9	1o
$\bar{u}/\bar{u}_{max}$	o,791	o,817	o,837	o,852	o,865

Avînd în vedere importanța poziției vitezei maxime pe verticală este necesar a se face un comentariu care să justifice ipoteza adoptată. Faptul că se acceptă maximul vitezei la suprafață este echivalent, pentru modelul mișcării plane, cu neglijarea frecării între suprafața apei și aerul de deasupra. Deoarece această frecare este mult mai mică decît cea care se produce la curgerea în lungul pereților solizi este de așteptat ca eroarea făcută prin adoptarea unei astfel de ipoteze să fie mică. Referitor la formulele practice recomandate, pentru cazul rîurilor, se menționează admisibilitatea considerării unei repartiții parabolice cu maximul vitezei la suprafață /P-1 p.256-258/. Cantitativ, în lucrarea citată, se apreciază că adîncimea de la suprafața apei pînă la nivelul la care se realizează viteza maximă reprezintă o,oo17 - o,o9 din adîncimea curentului pe verticala respectivă.

Un al doilea factor care influențează coborîrea nivelului la care se realizează viteza maximă se referă la lățimea relativă a cursului de apă (care condiționează și utilizarea modelului plan al curgerii) și anume coborîrea este mai mare la canale înguste decît la cele de lățime mare (care fac obiectul tezei).

O cercetare experimentală concludentă referitoare la poziția vitezei maxime pe verticală, realizată într-un canal de lățime 4o cm și adîncimi variabile, este redată în lucrarea /G-2 fig.14 p.1o9/ din care s-au făcut reproduceri parțiale în fig.(II-1-1-1).

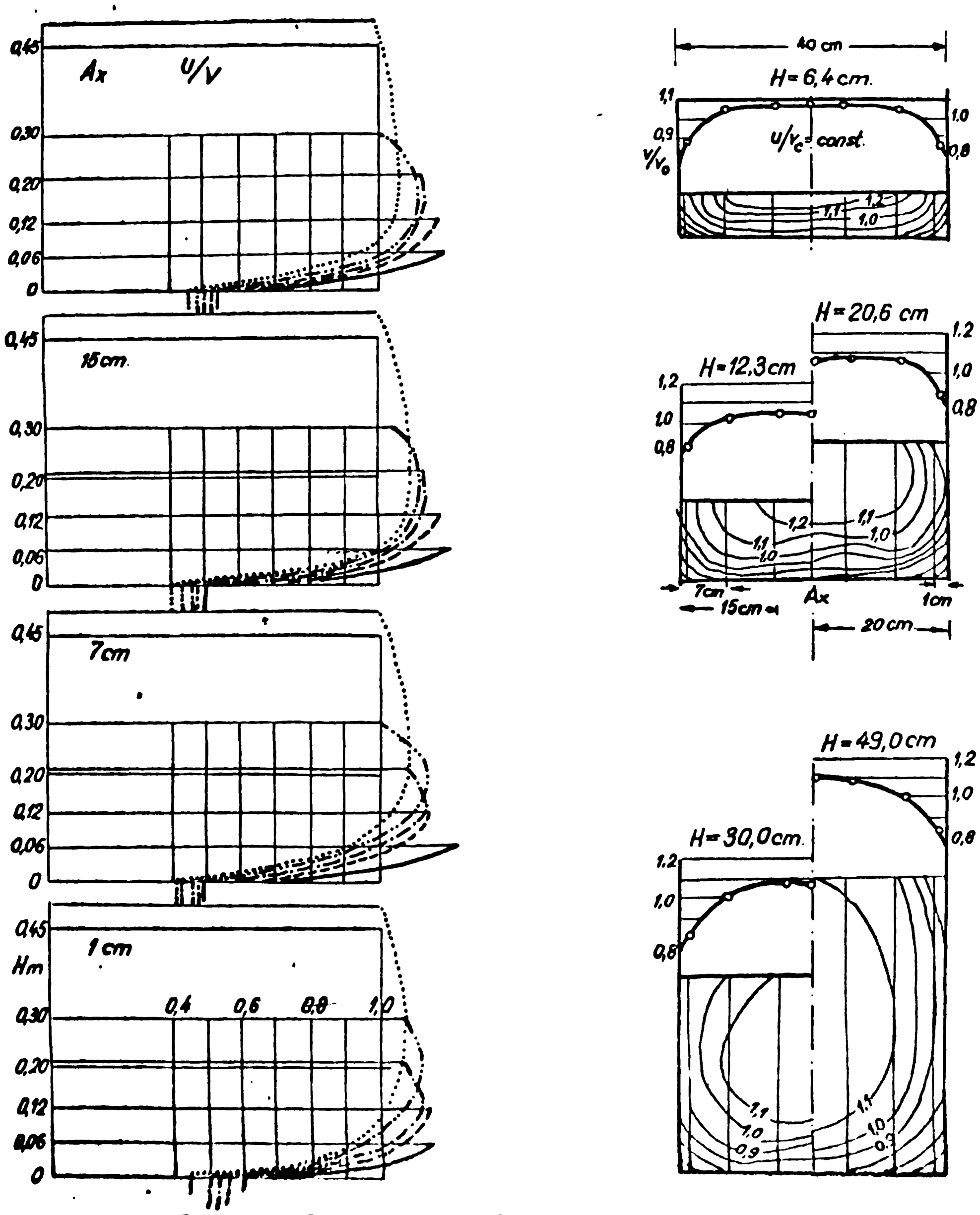


Fig.II 1-1-1. Cîmpul vitezelor functie de înăltimea apei într-un canal dreptunghiular cu rugozitate mare.

In lucrarea /S-5,p.10-11-12/ sînt date distribuţiile de viteze pentru 100 verticale pe rîul Trotuş la postul hidrometric Tîrgu-Ocna,obţinute într-un interval de timp de peste patru ani,acoperind întreaga lăţime a rîului şi la care adîncimea apei a fost mai mare de 0,8 m.Din cauza spaţiului limitat al prezentei teze se reproduc în fig.(II-1-1-2) doar un număr de 36 distribuţii de viteze pe verticală.

In fine un al treilea factor de luat în considerare este rugozitatea patului.Efectul rugozităţii este clar evidenţiat în figura (II-1-1-3 a) redată după /V-2,p.25) figură care nu mai necesită alte comentarii.

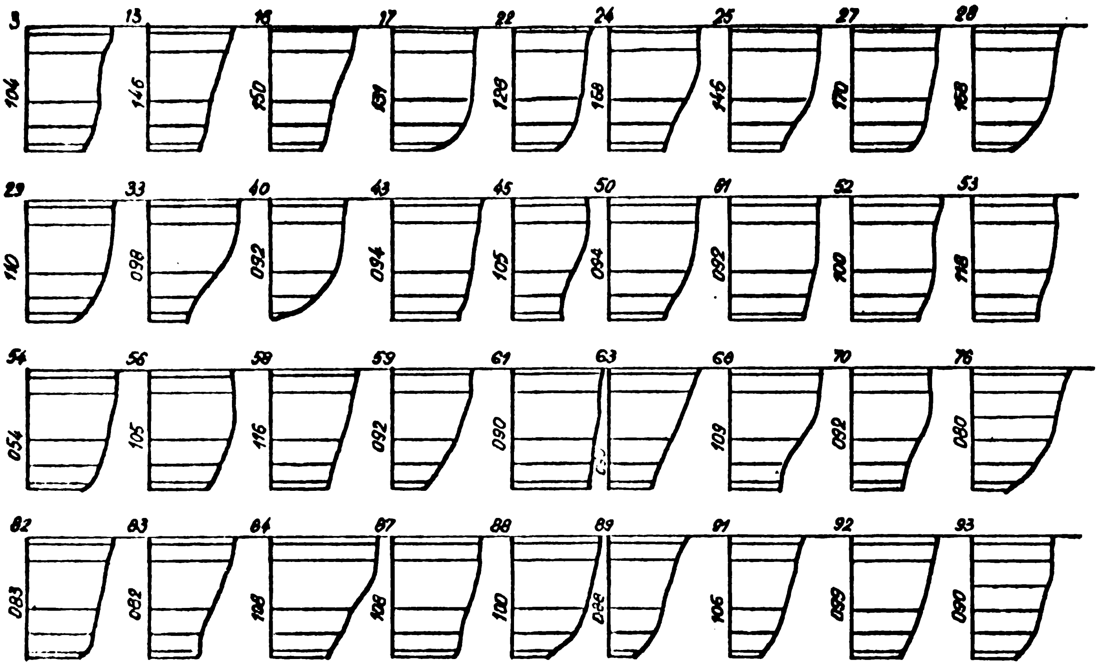


Fig. II.1-1-2
Epurele vitezelor pentru 36 de verticale pe rîul Trotuş, postul hidrometric Tîrgu-Ocna.

Tot după /V-2,p.24-25/ într-un canal larg,rapid şi puţin adînc sau într-un canal foarte neted,viteza maximă poate fi deseori găsită la suprafaţa curentului fig.(II-1-1-3 b) în timp ce într-un canal îngust viteza maximă coboară fig.(II-1-1-3 c).

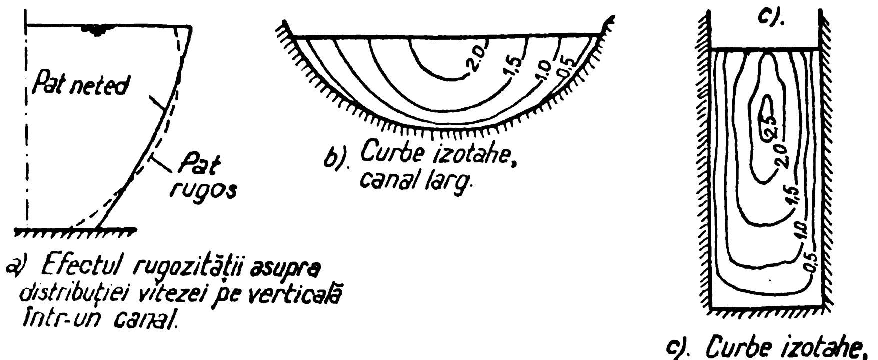


Fig. II.1-1.3 Repartiţii de viteză în canale.

Şi în cazul albiilor naturale largi viteza maximă se întîlneşte adeseori la suprafaţă.Spre exemplificare se dau figurile (II-1-1-4 a) după /C-1,p.93/ şi (II-1-1-4 b) după /O-1,p.51/.

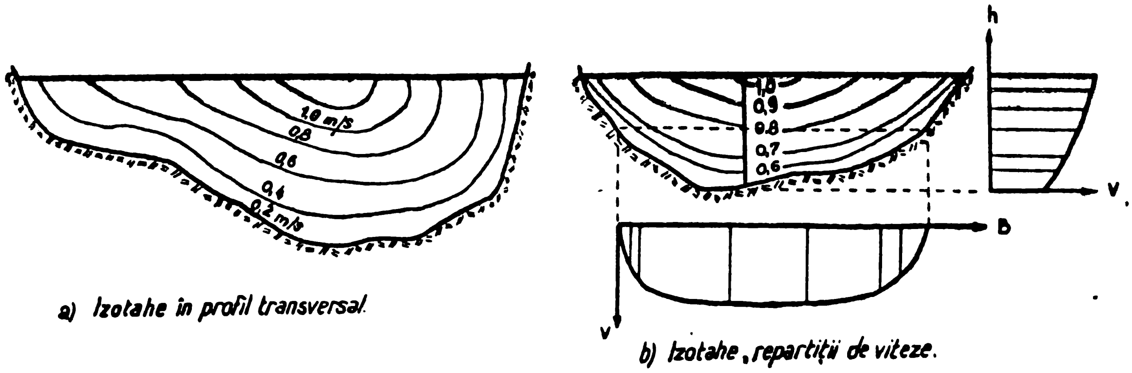


Fig. II.1-1-4. Repartiţii de viteze în albii naturale.

b.- Relaţiile de tip eliptic sînt în general mai puţin utilizate. Dintre ele se menţionează relaţia propusă de A.V. Carauşev după /A-6/ :

$$\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{max}} = \sqrt{1 - P\left(1 - \frac{z}{h}\right)^2} \qquad (II\text{-}1\text{-}1\text{-}3)$$

în care parametrul P are valoarea medie 0,55, iar vitezele maxime de la suprafaţă sînt legate de viteza medie de pe verticala respectivă prin relaţia :

$$\bar{u}_{max} = 1{,}11\,\bar{u} \qquad (II\text{-}1\text{-}1\text{-}4)$$

Această ultimă relaţie se obţine prin integrarea lui (II-1-1-3) între limitele z = 0 şi z = h.

Deficienţa principală a formulelor de tip parabolic şi eliptic referitoare la repartiţia pe verticală a vitezelor constă în aceea că ele supraestimează valorile vitezelor de fund (în zona $z/h < 0{,}1$). Din această cauză utilizarea lor în determinarea vitezelor de fund, este acoperitoare.

c.- Relaţiile de tip logaritmic reflectă cel mai bine dintre toate relaţiile propuse, caracterul repartiţiei vitezelor (determinate pe cale experimentală).

Astfel, prelucrînd rezultatele a 100 determinări experimentale /M-5, p.246/ pentru adîncimi cuprinse între 0,14 m şi 12,05 m efectuate de Velinev, s-a constatat că cele mai bune rezultate pe toată înălţimea curentului, cu excepţia unei mici zone de la fund, le dau legile de tip logaritmic.

In lucrarea /V-3, vol. II, p.323/ se arată că cel mai bun profil pentru repartiţia vitezei este cel logaritmic şi în consecinţă se recomandă utilizarea lui.

De asemenea în /G-3, p.428/ se face observaţia că, curentul uniform cu faţa liberă la numere Froude mici este o astfel de curgere turbulentă, la care repartiţia logaritmică a vitezelor este satisfăcută cu cea mai mare exactitate.

Dintre relaţiile logaritmice se menţionează :

- relaţia clasică a lui L. Prandtl /S-1, p.531/ denumită şi "legea universală a deficitului de viteză" :

$$\frac{\bar{U}_{max}-\bar{U}}{v_*}=\frac{1}{\varkappa}\ln\frac{h}{z} \qquad \text{(II-1-1-5)}$$

respectiv :

$$\frac{\bar{U}_{max}-\bar{U}}{v_*}=5{,}75\lg\frac{h}{z} \qquad \text{(II-1-1-5')}$$

în care :

$v_* = \sqrt{gRJ}$ este denumită viteza tensiunii de frecare sau viteza dinamică de frecare şi constitue o importantă caracteristică a turbulenţei curentului ;

g , acceleraţia gravitaţională ;

R , raza hidraulică ;

J , panta suprafeţei libere a apei, care în cazul albiilor regularizate de secţiune constantă funcţionînd în regim uniform, este egală şi cu panta fundului albiei ;

$\varkappa$, constantă universală, avînd în general valoarea $\varkappa = 0{,}4$; în unele lucrări este denumită şi constanta lui Karman.

Această relaţie, obţinută pe cale semi-empirică, prin considerarea transferului de impuls în cazul curgerii turbulente în lungul unui perete plan, prezintă pe lîngă o concordanţă bună cu rezultatele experimentale şi avantajul simplităţii ceea ce poate deveni un factor hotărîtor în alegerea relaţiei de utilizat în dezvoltări analitice ulterioare.

In ceea ce priveşte viteza dinamică de frecare, în cazul canalelor sau al albiilor largi, se poate înlocui raza hidraulică cu adîncimea medie H obţinîndu-se astfel relaţia de calcul a acestei mărimi sub forma :

$$v_* = \sqrt{gHJ} \qquad \text{(II-1-1-6)}$$

După lucrarea /G-1,p.67/ pe rîul Turuncik din U.R.S.S. s-au obţinut pentru v_* valori cuprinse între 1 cm/s şi 5 cm/s, iar pe rîul Udji din Japonia $v_* = 4{,}5$ cm/s.

După lucrarea /I-1,p.513-523/ în canalul Sosui din Japonia la regimul de curgere corespunzător adîncimii medii H = 180 cm şi $Re = 1{,}2.10^6$ s-a obţinut pentru viteza dinamică valoarea 5,4 cm/s.

Studii asupra majorităţii rîurilor din Cehoslovacia /R-1,p.310-339/ la care panta J a avut valori de ordinul 10^{-3}, au condus la valori pentru v_* cuprinse între 6,4 cm/s şi 11,8 cm/s.

După cum am amintit anterior, viteza dinamică v_* constitue o importantă caracteristică a turbulenţei curentului. Astfel în /F-1,p.1630-1644/, comparîndu-se rezultatele obţinute în laborator cu datele măsurătorilor pe cursuri naturale, se constată că la aceleaşi valori ale vitezei dinamice pulsaţiile turbulente apar apropiate ca mărime în condiţii destul de diferite ale curgerii ca şi pentru diferite rugozităţi ale patului. Din prelucrarea acestor rezultate s-a găsit că o importantă caracterizare a începutului punerii în mişcare a aluviunilor se poate da cu ajutorul unei viteze dinamice "critice" ;

- relaţia clasică a lui T.Karman /S-1,p.530/ este de asemeni o "lege universală a deficitului de viteză" pusă sub forma

$$\frac{\dot{\bar{U}}_{max} - \bar{U}}{v_*} = -\frac{1}{K}\left[\ln\left(1 - \sqrt{1-\frac{z}{h}}\right) + \sqrt{1-\frac{z}{h}}\right] \quad \text{(II-1-1-7)}$$

în care constanta lui Karman are valoarea determinată experimental K = 0,36. Relaţia lui Karman, obţinută de asemenea pe cale semiempirică prin considerente de similitudine pentru curgerea turbulentă în lungul unui perete plan, este bine verificată de rezultatele experimentale, fiind însă mai puţin simplă decît relaţia lui Prandtl se pretează mai puţin la prelucrări analitice

Cele două relaţii logaritmice prezentate se utilizează atît pentru curgeri în canale şi albii regularizate cît şi în cazul conductelor.

Privind utilizarea relaţiilor de distribuţie a vitezei pe verticală enumerate pînă aici trebuie făcute următoarele două observaţii esenţiale :

a.- relaţiile presupun o curgere plană, care se realizează în general în sectoarele de aliniament ale canalelor prismatice şi albiilor regularizate. Este evident că în cazul canalelor şi albiilor relativ largi de care se ocupă teza în mod special, acest model al curentului plan este utilizabil în condiţiuni bune.

După unele cercetări de la sfîrşitul secolului XIX şi începutul secolului XX a rezultat concluzia că şi într-o albie prismatică rectilinie pot apare curenţi transversali (Stearns în SUA 1883, Max Müller în Germania 1881, Losievski în Rusia 1890). Totuşi aşa cum au arătat măsurătorile îngrijite ale lui Gibson din Anglia 1909, viteza curenţilor transversali în albii rectilinii reprezintă maximum 5 % din viteza longitudinală. După unele date mai recente /M-2,p.22/ viteza curenţilor transversali la colţurile canalelor dreptunghiulare nu reprezintă decît (0,6 - 2) % din viteza longitudinală, procentele cele mai reduse înregistrîndu-se în cazul pereţilor cu rugozitate mică. Ca atare în sectoarele de aliniament s-a neglijat şi în lucrare circulaţia transversală.

După /V-2,p.26-27/ în canale foarte largi măsurătorile au arătat că distribuţia vitezei în regiunea centrală este în esenţă aceeaşi ca într-un canal dreptunghiular de lăţime infinită. Cu alte cuvinte, în aceste condiţii malurile canalului practic nu au influenţă asupra distribuţiei vitezei în zona centrală şi curgerea în această regiune poate fi considerată, în consecinţă ca bidimensională (plană). Experimente îngrijite au arătat că regiunea centrală are această proprietate în canale dreptunghiulare doar dacă lăţimea este mai mare decît de 5-10 ori adîncimea apei în canal, funcţie de rugozitatea patului. Cum această condiţie este realizată în cadrul canalelor şi albiilor regularizate largi, studiate în cadrul tezei, rezultă că adoptarea modelului plan al curgerii este în acest caz pe deplin îndreptăţită.

b.- relaţiile prezentate au fost elaborate şi verificate pentru cazul curgerii în lungul unor pereţi hidraulic netezi, respectiv al unor canale şi albii cu pereţi netezi. Aceste condiţii sînt cel mai bine realizate în cazul canalelor şi albiilor cu pat fix neerodabil.

Multe studii au fost intreprinse pentru a se constata dacă distribuţia vitezelor locale rămîne logaritmică şi în cazul curenţilor rectilinii uniformi pe un pat mobil. După /L-1,p.76/ care se referă la lucrările publicate în Occident, cele mai importante în această direcţie au fost cercetările lui V.A.Vanoni (1946), E.Meyer-Peter şi R.Müller (1948), T.Tsubaki şi Furuya (1951), T.Tsubaki , T.Kawasumi şi T.Yasutomi (1953), Y.Iwagaki (1954), H.A.Einstein şi Ning-Chien (1955), A, I.Raudkiri (1953), R.I.Garde şi A.S.Paintal (1964) şi E.V.Richardson (1965). Aceste studii au arătat că pe albiile erodabile trebuie distinse două tipuri de curgeri :

- curgeri pe fund plat (cu sau fără transport de aluviuni tîrîte) sau curgeri pe fund cu rifluri ;
- curgeri pe fund cu dune şi antidune.

Pentru curgerile de primul tip, vitezele rămîn practic aceleaşi atît în timp cît şi în spaţiu, iar distribuţia lor pe verticală este logaritmică în raport cu ordonata z care exprimă distanţa de la fundul plan :

$$\frac{U}{v_*} = \frac{1}{\varkappa} \ln \frac{z}{\delta} \qquad \text{(II-1-1-8)}$$

unde δ este un parametru cinetic marginal avînd dimensiune de lungime. Pentru eliminarea parametrului marginal se recurge la viteza maximă obţinîndu-se în final relaţia (II-1-1-5). Spre deosebire însă de cazul clasic al canalelor cu pat fix funcţionînd cu apă curată, în cazul patului erodabil se încetează de a mai fi o constantă universală, iar parametrul δ încetează de a mai fi independent de condiţiile curgerii. Ambii parametri depind de caracteristicile lichidului şi ale aluviunilor de diferite tipuri (tîrîte şi în suspensie), de condiţiile curgerii, iar în cazul în care curgerea este însoţită de deformaţii ale fundului şi de înălţimea şi lungimea de undă a riflurilor. Deşi studiile întreprinse în această direcţie sînt numeroase ele nu au condus încă la concluzii certe, utilizabile în proiectare. Totuşi se pot da unele indicaţii şi anume :

- "constanta universală" $\varkappa$ variază de la valoarea 0,15 pînă la valori supraunitare, aproximativ invers proporţional cu numărul Froude stelat : $Fr_* = \frac{v_*}{\sqrt{(\frac{\rho_s}{\rho}-1)gd}}$ depinzînd şi de parametrul de formă Δ/λ a ondulaţiilor fundului, în care :

- ρ_s este densitatea fazei solide (aluviuni) şi ρ a fazei lichide ;
- d este diametrul mediu al aluviunilor constituente a patului ;
- Δ înălţimea riflurilor şi a dunelor ;
- λ este distanţa medie între două creste consecutive (lungime de undă).

- parametrul marginal δ, care poate servi la caracterizarea rugozităţii fundului, variază aproximativ direct proporţional cu numărul Froud stelat, cu numărul Froud al curentului şi cu parametrul de formă Δ/λ al ondulaţiilor fundului.

In ceea ce priveşte curgerile pe fund cu dune şi antidune, vitezele locale variază în spaţiu, în lungul curentului de la o verticală la alta (după poziţia relativă a verticalei faţă de creste şi adîncuri). Dacă în cazul dunelor distribuţia vitezelor (medii temporale în spaţiu poate fi aproximată cu o lege logaritmică de distribuţie, în ceea ce priveşte antidunele nici măcar această aproximare nu mai poate fi făcută.

In cadrul tezei se aduc contribuţii la cinematica curgerii în albiile cu fundul plat.

§ 1.2. Relaţie propusă pentru lungimea de amestec

Obiectul prezentului paragraf îl constitue obţinerea unei relaţii originale pentru lungimea de amestec, care să permită stabilirea unei relaţii originale, mai apropiată de realitate a distribuţiei vitezei pe verticală.

a.- Necesitatea unei noi relaţii de distribuţie a vitezei pe verticală

Necesitatea obţinerii unei noi relaţii pentru sectoarele în aliniament ale albiilor regularizate şi ale canalelor largi, rezultă din compararea unor rezultate experimentale cu relaţiile teoretice anterior prezentate, care pun în evidenţă o diferenţă relativ mică, dar sistematică între ele. Astfel în lucrarea /G-1, p.66/ este dat un grafic care ilustrează afirmaţia anterioară, graficul fiind întocmit pe baza măsurătorilor efectuate de respectivul autor (Grimvald) pe rîul Turuncic în cursul anilor 1966-1971 (Fig. II-1-2-1). S-au efectuat 60 şedinţe de măsurare a vitezelor cu ajutorul micromoriştilor, măsurătorile făcîndu-se în 10 puncte echidistante pe fiecare verticală. Durata măsurătorilor a fost 300 secunde. In aceeaşi figură s-a trasat graficul dat de formula lui Prandtl (II-1-1-5) constatîndu-se că există o diferenţă de acelaşi semn între valorile celor două curbe.

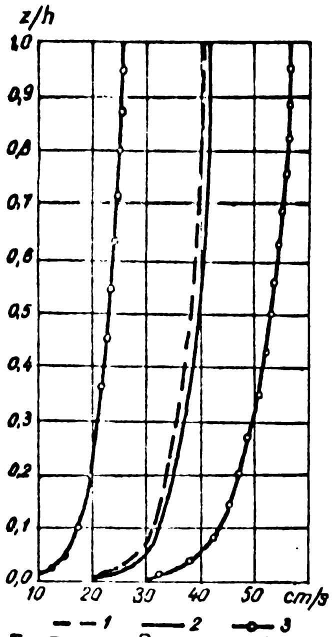


Fig. II 1-2-1 Repartiţia vitezei pe verticală, rîul Turuncic.

1- după măsurători
2- după legea logaritmică
3- abaterile medii pătratice

In cadrul unui contract de cercetare s-a construit modelul unui sector al rîului Argeş, modelul fiind amplasat în cadrul laboratorului Catedrei de construcţii hidrotehnice şi îmbunătăţiri funciare a Facultăţii de construcţii din Institutul politehnic "Traian Vuia" Timişoara. Pe sectoarele rectilinii ale acestui model s-au efectuat determinări experimentale ale repartiţiei vitezelor pe fiecare verticală în şase puncte. Comparate cu relaţiile teoretice de tip logaritmic (II-1-1-5) şi (II-1-1-7) se constată existenţa unor abateri sistematice (fig. II-1-2-2). Se menţionează că modul de reprezentare comparativă a rezultatelor teoretice şi experimentale adoptat pentru modelul de la Argeş este diferit de cel adoptat în /G-1/ pentru rîul Turuncic şi anume : la Argeş comparaţia s-a făcut pornindu-se de la aceeaşi viteză medie pe verticală a curentului, respectiv de la un acelaşi debit. De aici a rezultat că este principial imposibil să se obţină o diferenţă de semn constant între curba teoretică şi cea experimentală : în timp ce unele puncte experimentale se vor situa de o parte a curbei teoretice a lui Prandtl, în mod obligatoriu celelalte puncte se vor situa de cealaltă parte a acestei curbe astfel încît viteza medie să rămînă neschimbată. Ca o concluzie generală, din această comparaţie se observă că vitezele reale spre suprafaţă sînt mai mici decît cele teoretice date de relaţia Prandtl, iar spre fund sînt puţin mai mari. De aceea aici, prin abatere sistematică între curba teoretică şi cea experimentală se înţeleg tocmai aceste diferenţe.

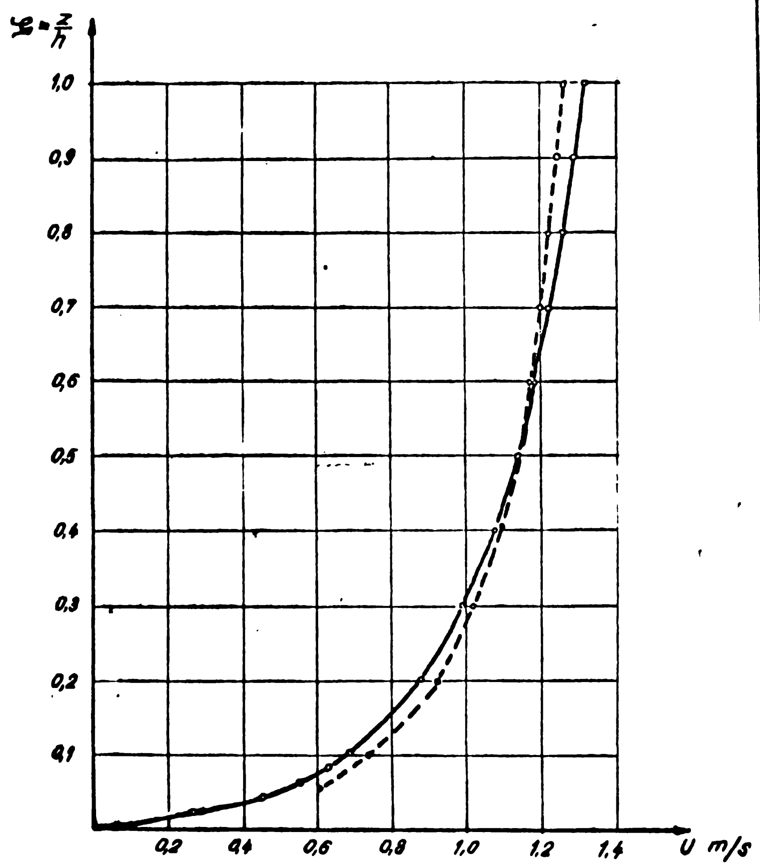


Fig. II.1-2-2 Repartiţia vitezei pe verticală (model Argeş)
---1. după măsurători
——2. după legea logaritmică

În fine în figura II-1-2-3 sînt reprezentate comparativ distribuţiile de viteze determinate pe cale experimentală şi teoretică; datele experimentale au fost obţinute din arhiva Institutului de meteorologie şi hidrologie filiala Timişoara şi se referă la rîul Timiş în secţiunea 2.1.4. Lugoj.

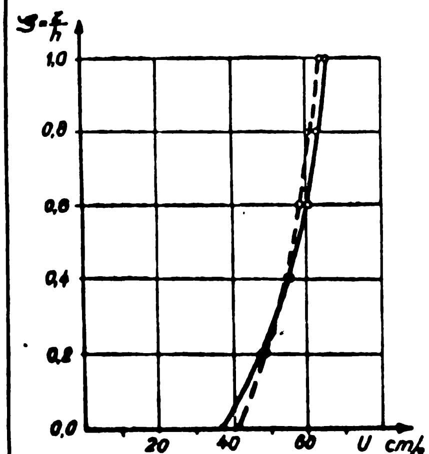


Fig. II.1-2-3. Repartiţia vitezei pe verticală, rîul Timiş
- - 1. după măsurători
—— 2. după legea logaritmică

Concluzia unică la care conduce aceste trei exemple reprezentative arătate anterior este aceea că în cazul canalelor şi albiilor regularizate largi există o abatere sistematică, în acelaşi sens, între rezultatele măsurătorilor şi cele teoretice, abatere relativ mică. Existenţa acestei abateri justifică încercarea de a stabili o nouă relaţie pentru repartiţia vitezei pe verticală, mai exactă şi care urmează a fi folosită ca bază de pornire pentru cinematica curgerii în sectoarele curbe.

b.- Modelul curgerii

Aşa cum este indicat şi în /H-2, p.88-89/ pentru a depăşi dificultăţile cauzate de existenţa suprafeţei libere (orizontale) în determinarea legii de repartiţie a vitezelor, se consideră că secţiunea vie a curentului este echivalentă cu jumătate din aceea a unui curent fără faţă liberă. In cazul modelului plan adoptat, în primă instanţă, în cazul canalelor şi albiilor relativ largi, aceasta revine la echivalenţa indicată în Fig. II-1-2-4.

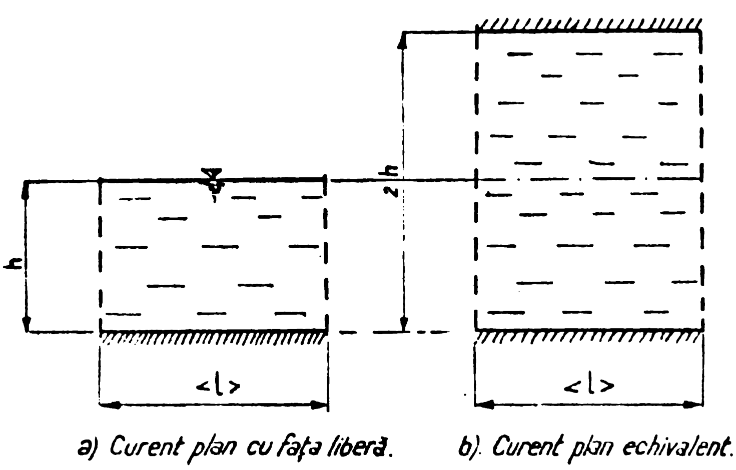
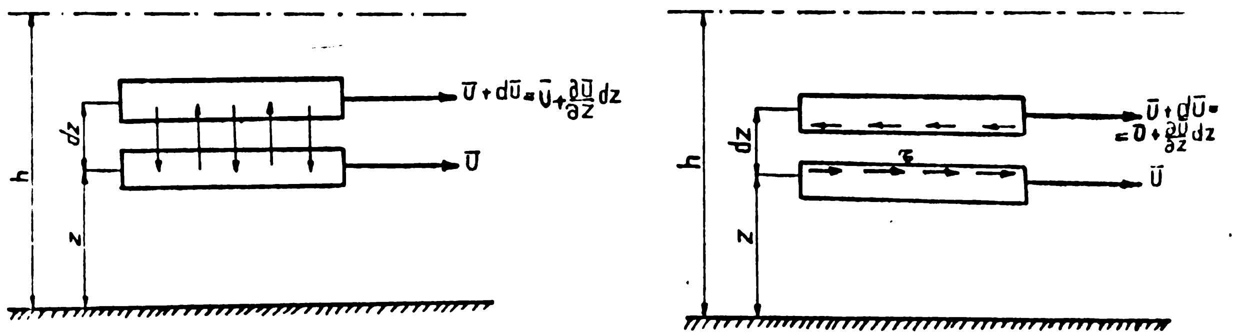


Fig. II 1-2-4 Schemă pentru calculul repartiţiei vitezei pe verticală.

Repartiţia vitezei, pentru curentul echivalent, ar trebui principial să fie obţinută pe cale teoretică prin integrarea sistemului de ecuaţii Reynolds care reprezintă modelul matematic al curgerii turbulente, sistem alcătuit din trei ecuaţii scalare de bilanţ de impuls ale mişcării mediate temporal (ecuaţiile de mişcare) şi o ecuaţie de bilanţ al masei (ecuaţia de continuitate). Din păcate acest sistem de ecuaţii redat în tratatele de hidraulică şi mecanica fluidelor nu este un sistem închis, el conţinînd un număr de 10 necunoscute şi 4 ecuaţii independente. Acest ultim considerent a făcut ca, în scopul obţinerii unor soluţii utilizabile în tehnică să se adopte căi mixte, parţial bazate pe teorie şi parţial pe rezultate empirice, cunoscute sub numele de "teorii semiempirice ale turbulenţei". După cum este cunoscut,atît teoria semiempirică a lui Prandtl care a condus la relaţia (II-1-1-5) cît şi teoria semiempirică a lui Karman care a condus la relaţia (II-1-1-7) consideră curenţi în lungul unui singur perete plan (Fig.II-1-2-4 a).In cele ce urmează se va utiliza modelul din (fig.II-1-2-4 b) pentru a se ţine cont şi de influenţa celui de al doilea perete ; influenţa este mică deci calitativ de acelaşi ordin de mărime şi de acelaşi sens cu diferenţa între rezultatele teoretice şi experimentale anterior menţionată.

In ceea ce priveşte modelul curgerii turbulente,necesar scrierii lucrului mecanic al tensiunilor de frecare,s-a adoptat modelul utilizat pentru prima dată de către Boussinesq /C-3, p.108-110/.In esenţă acest model înlocuieşte curgerea reală schematizată în (Fig.II-1-2-5 a) conform căreia între două straturi vecine de lichid există un permanent schimb de particule (difuzie turbulentă) dar nu există eforturi tangenţiale turbulente,cu una echivalentă din punct de vedere dinamic prezentată în (Fig. II-1-2-5 b) conform căreia între două straturi vecine de lichid nu mai există schimb de particule dar există eforturi de frecare turbulente (denumite uneori din această cauză şi "aparente"



a) Mişcare reală cu schimb de particule între straturi.

b) Mişcare echivalentă cu eforturi de frecare turbulentă între straturi.

Fig. II.1-2-5. Schema Boussinesq pentru curgerea turbulentă.

c.- Tensiunile de frecare

In timp ce în mişcarea laminară tensiunile de frecare sînt exclusiv de natură vîscoasă (moleculară),exprimate analitic prin relaţia generalizată a lui Newton,în mişcarea turbulentă apariţia vitezelor pulsatorii instantanee generează prin mediere temporală termeni suplimentari,puşi în evidenţă de caracterul neliniar al ecuaţiilor fundamentale Navier-Stokes.Aceşti termeni suplimentari,expresie analitică a fenomenului fizic al difuziei turbulente exercită asupra mişcării mediate temporal o influenţă de acelaşi sens cu cea a vîscozităţii (moleculare) de aceea au fost denumiţi tensiuni turbulente (tensiuni aparente). Pentru a evidenţia acest aspect, ecuaţiile Reynolds ale bilanţului de impuls se scriu uneori sub forma /M-6/ :

$$\rho \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial t} + \rho \bar{U}_k \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_k} = \rho \bar{X}_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_k}\Big(\underbrace{\eta \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_k}}_{\text{tensiuni vîscoase}} \underbrace{- \rho \overline{U_i' U_k'}}_{\text{tensiuni turbulente}} \Big) \qquad (II-1-2-1)$$

Notaţiile fiind uzuale şi ecuaţiile Reynolds bine cunoscute nu se mai insistă asupra semnificaţiei literelor din această relaţie.

Particularizînd sistemul Reynolds pentru un curent plan paralel în regim permanent (în sens strict cvasi-permanent datorită fluctuaţiilor turbulente) cu axa x_3 orientată perpendicular pe frontiera solidă şi cu axa x_1 orientată longitudinal, ecuaţia (II-1-2-1) se reduce la :

$$\frac{\partial}{\partial x_3}\left(\eta \frac{\partial \bar{U}_1}{\partial x_3} - \rho \overline{U_1' U_3'} \right) = 0 \qquad (II-1-2-2)$$

In scrierea ecuaţiei s-a neglijat componenta longitudinală a gravitaţiei X_1 deoarece curgerea se produce pe un pat aproape orizontal şi s-a considerat gradientul de presiune nul. Ecuaţia astfel scrisă exprimă faptul că componenta longitudinală a impulsului este constantă după direcţia normală la pereţi şi în consecinţă şi tensiunea rezultantă de frecare va fi constantă după direcţia respectivă :

$$\tau(x_3) = \eta \frac{\partial \bar{U}_1}{\partial x_3} - \rho \overline{U_1' U_3'} = \tau_0 = \text{constant} \qquad (II-1-2-3)$$

în care τ_0, este tensiunea de frecare la perete ($x_3 = 0$).

Această concluzie se găseşte şi în teoria semiempirică elaborată de Ludwig Prandtl.

Dacă se modifică dintre ipotezele considerate cea a anulării gradientului de presiune, considerîndu-se curgerea din (Fig. II-1-2-4 b) prima ecuaţie a sistemului Reynolds va conduce la :

$$\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_1} = \frac{\partial}{\partial x_3}\left(\eta \frac{\partial \bar{U}_1}{\partial x_3} - \rho \overline{U_1' U_3'} \right) \qquad (II-1-2-4)$$

Cea de a treia ecuaţie a sistemului va avea forma :

$$\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_3} = -\rho \frac{\partial \overline{U_3'^2}}{\partial x_3} + X_3 \ ; \ (X_3 \cong g) \qquad (II-1-2-5)$$

Prin integrarea acestei ecuaţii în raport cu x_3 între limitele 0 şi x_3 :

$$\bar{p} + \rho \overline{U_3'^2} = \bar{p}_0 + x_3 g_{medii} \qquad (II-1-2-6)$$

Avînd în vedere omogenitatea mişcării temporale în planul x_3 = constant în raport cu deplasarea în lungul curentului $\left(\frac{\partial \rho \overline{U_3'^2}}{\partial x_1} = 0\right)$, din derivarea ultimei relaţii parţial în raport cu x_1 se obţine :

$$\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_1} = \frac{\partial \bar{p}_0}{\partial x_1} = \gamma J \quad = \text{constant în lungul curentului} \qquad \text{(II-1-2-7)}$$

Combinînd acum relaţiile (II-1-2-4) şi (II-1-2-7) se poate efectua şi în acest caz integrarea în raport cu x_3 între limitele 0 şi x_3 şi se obţine :

$$\tau = \eta \frac{\partial \overline{U_1}}{\partial x_3} - \rho \overline{u_1' u_3'} = \gamma J x_3 + C \qquad \text{(II-1-2-8)}$$

unde C este o constantă de integrare. Pentru $x_3 = 0$, tensiunea la perete fiind notată τ_0, rezultă imediat :

$$\tau = \gamma J x_3 + \tau_0 \qquad \text{(II-1-2-9)}$$

Pe de altă parte datorită simetriei rezultă că în axa curentului ($x_3 = h$) tensiunea de frecare trebue să fie nulă, adică :

$$\tau_0 = -\gamma J h \qquad \text{(II-1-2-10)}$$

Din eliminarea lui γJ între ultimele două relaţii se obţine legea de variaţie a tensiunii de frecare pe înălţimea curentului :

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{x_3}{h}\right) \qquad \text{(II-1-2-11)}$$

Această concluzie se găseşte şi în teoria semiempirică elaborată de Theodor von Karman.

Se observă cu uşurinţă că pentru valori $x_3 \ll h$, $\tau \cong \tau_0$ deci şi în acest caz există un strat lîngă peretele canalului în care tensiunea de frecare este practic constantă.

In urma obţinerii celor două legi de variaţie a tensiunii de frecare, la care s-a ajuns, se pune în mod firesc întrebarea care dintre ele să fie adoptată în continuare. Din modul în care au fost deduse rezultă că legea de variaţie liniară Karman a avut la bază o ipoteză generală relativă la gradientul de presiune, în timp ce legea de variaţie Prandtl a fost dedusă pentru valoare particulară a acestui gradient. Cele de mai sus ar reprezenta un argument în favoarea adoptării legii de variaţie liniară.

Un argument decisiv în favoarea adoptării legii de variaţie liniară este dat de utilizarea principiului disipaţiei minime la un debit dat (respectiv a unui debit maxim la o disipaţie dată) principiu enunţat calitativ, în cazul curenţilor cu faţa liberă, de către Velicanov şi valorificat pentru obţinerea unor relaţii cantitative în lucrările /H-1/ şi /H-2/ în cazul curenţilor cu faţa liberă ca şi în lucrările /A-1/ şi /A-2/ în cazul curenţilor sub presiune.

Considerînd /A-2/ efortul de frecare între straturile elementare de fluid corespunzător unui regim de curgere arbirar (laminar turbulent) se poate scrie expresia lucrului mecanic în unitatea de timp (puterea) al acestui efort,în mişcarea plană,pe unitatea de lungime a curentului :

$$P = 2\int_0^h \tau \frac{d\overline{U}_1}{dx_3} dx_3 \qquad \text{(II-1-2-12)}$$

în timp ce debitul este dat de relaţia :

$$Q = 2\int_0^h \overline{U}_1 \, dx_3 \qquad \text{(II-1-2-13)}$$

Scriind ecuaţia lui Euler pentru funcţionala $P-\lambda Q$ în care funcţia necunoscută este $\overline{U}_1$,iar variabila independentă x_3, ecuaţia care corespunde principiului variaţional enunţat se obţine :

$$\lambda + \frac{d\tau}{dx_3} = 0 \qquad \text{(II-1-2-14)}$$

Prin integrare în raport cu x_3 şi folosind aceleaşi condiţii de margine ca în cazul anterior se obţine legea de variaţie liniară (II-1-2-11) care a fost adoptată semiempiric de Karman.

Din motivele expuse mai sus s-a adoptat în continuare în teză variaţia liniară a efortului de frecare pe înălţimea curentului,variaţie care independent de expresia legii tensiunii de frecare (diferită în cazul regimului laminar şi al regimului turbulent) conduce la satisfacerea principiului variaţional enunţat.

d.- <u>Consideraţii privind lungimea de amestec</u>

Conceptul lungimii de amestec,notată ℓ ,a fost introdus de către L.Prandtl în anul 1925 în cadrul teoriei semiempirice a turbulenţei bazată pe transferul după verticală a impulsului longitudinal.

De asemeni în teoria semiempirică a lui Teylor bazată pe transferul după verticală al vîrtejurilor,s-a preluat conceptul lungimii de amestec.

Lungimea de amestec este concepută ca o mărime care reprezintă drumul pe care particula fluidă poate fi considerată că există ca o unitate de sine stătătoare din punct de vedere mecanic.Pentru ea,Prandtl a considerat formula :

$$\ell = \varkappa z \qquad \text{(II-1-2-15)}$$

în care :

$\varkappa \cong 0,40$ este o constantă universală adimensională,determinată experimental ; într-o comunicare /A-5/ susţinută la Seminarul Naţional de hidraulică aplicată,Timişoara noiembrie 1973 (care urmează să apară în revista "Studii şi cercetări de mecanică aplicată") am arătat natura statistică a acestei constante universale ;

z – distanţa punctului în care se calculează lungimea de amestec de la peretele rigid,considerîndu-se cazul unui curent plan de înălţime infinită,în lungul unui singur perete plan.

Lungimea de amestec poate fi considerată analoagă bine cunoscutului "drum liber" al moleculelor din teoria cinetico-mileculară a gazelor şi a "lungimii de penetrare" introdusă de R.A.Bagnold în 1951 în studiul fenomenelor aluvionare care au loc pe rîuri şi canale,ca o măsură scalară a inter-acţiunii dintre scurgerea fluidă şi particulele aluvionare /H-3,p.432/.

In concordanţă cu modelul adoptat,în care curentul plan are o înălţime finită şi egală cu 2h,s-a căutat să se aducă o contribuţie prin aceea că s-a introdus şi efectul celui de al doilea perete asupra lungimii de amestec.

O problemă similară s-a pus atunci cînd a apărut problema utilizării relaţiei lui Prandtl la profilul de formă circulară,unde s-a propus considerarea unei expresii de forma :

$$\ell = \varkappa y f\left(\frac{z}{R}\right) \qquad \text{(II-1-2-16)}$$

în care funcţia $f\left(\frac{z}{R}\right)$ urmează tocmai să exprime influenţa peretelui solid circular.Funcţia $f\left(\frac{z}{R}\right)$ este evident că trebuie să satisfacă următoarea condiţie la limită :

$$\lim_{z \to 0} f\left(\frac{z}{R}\right) = 1 \text{ , respectiv } f\left(\frac{z}{R}\right) \cong 1 \text{ pentru } \frac{z}{R} << 1 \qquad \text{(II-1-2-17)}$$

ceea ce exprimă fizic faptul că în zona din imediata apropiere a unui perete,influenţa celuilalt perete este neglijabilă.

In cazul unui canal de înălţime 2h,similar modelului adoptat în teză,în lucrările /C-2/ şi /T-1/ se analizează influenţa legii adoptate pentru lungimea de amestec asupra mişcării turbulente din stratul de lubrifiant pentru următoarele expresii :

- variaţia trigonometrică : $\ell = \frac{2\varkappa z}{\pi} \sin\frac{\pi z}{2h}$ (II-1-2-18)
- variaţie parabolică : $\ell = \varkappa z\left(1 - \frac{z}{2h}\right)$

O relaţie de un alt tip a fost adoptată de Satkevici A. /S-2/ :

$$\ell = \varkappa z\sqrt{1 - \frac{z}{h}} \qquad \text{(II-1-2-19)}$$

Este de menţionat că toate aceste expresii au fost alese întîmplător,fără nici o justificare logică sau fizică .

In lucrarea /C-2/ se dă pentru lungimea de amestec o expresie care poate fi considerată ca generalizînd toate expresiile anterioare,avînd aspectul unei serii de puteri :

$$l = \varkappa y + \varkappa' y^2 + \varkappa'' y^3 + \dots \qquad \text{(II-1-2-20)}$$

Din păcate această generalizare este doar formală, practic neutilizabilă deoarece nu se dă nici o indicație privind modul de determinare al coeficienților seriei de puteri.

In încheierea acestor scurte considerații referitoare la lungimea de amestec se mai semnalează că experimental /S-1,p.544/ I.Nikuradze a obținut în cazul conductelor netede și rugoase, la numere Reynolds mai mari decît 10^5 o lege de variație după o parabolă de gradul patru :

$$\frac{l}{R} = 0{,}14 - 0{,}08\left(1 - \frac{z}{R}\right) - 0{,}06\left(1 - \frac{z}{R}\right)^4 \qquad \text{(II-1-2-21)}$$

Pentru z/R mic, adică în apropierea frontierei solide se poate utiliza relația aproximativă :

$$\frac{l}{R} \cong 0{,}4\frac{z}{R}\left(1 - \frac{z}{R}\right) \qquad \text{(II-1-2-22)}$$

In (Fig.II-1-2-6) au fost reprezentate grafic legile de variație menționate evidențiindu-se faptul că pentru distanțe relativ mici de perete ele conduc la valori sensibil egale pentru lungimea de amestec (aceasta fiind zona cea mai importantă pentru disiparea energiei prin frecare). La distanțe relativ mari de la perete ele conduc la valori care se deosebesc esențial una de alta.

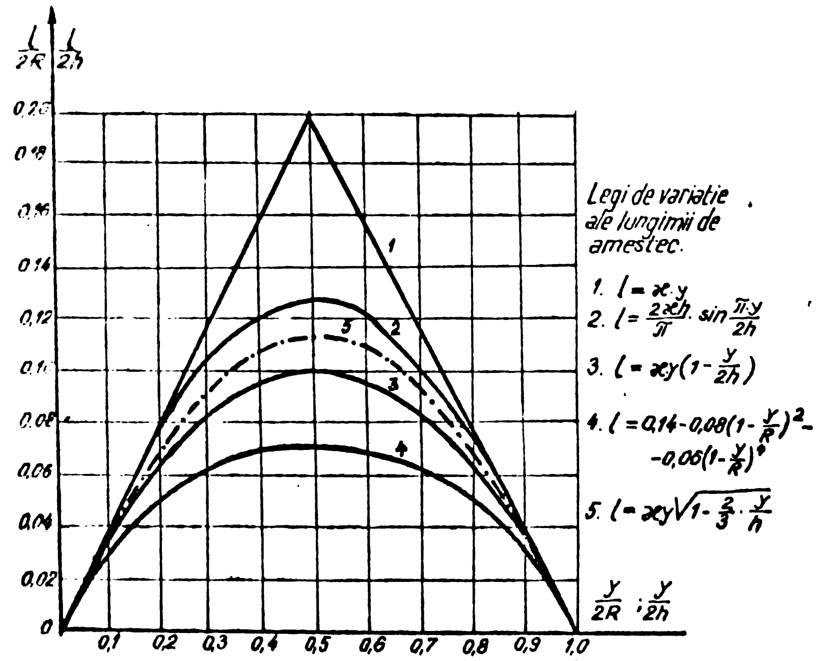


Fig. II.1-2-6 Reprezentare comparativă a legilor de variație a lungimii de amestec.

In lucrările /C-2/ și /T-1/ analizîndu-se influența pe care o are relația adoptată pentru lungimea de amestec asupra distribuției vitezei pentru o mișcare de tip Couette, se ajunge la concluzia că această influență nu este importantă.

e.- <u>O formulă originală pentru lungimea de amestec</u>

In continuare se încearcă să se obțină o formulă pentru lungimea de amestec care să conțină influența celui de al doilea perete şi care,faţă de celelalte formule propuse,să aibă o fundamentare raţională.

In lucrările /A-1/ şi /A-3/ s-a demonstrat că în cazul regimului laminar de curgere a lichidelor newtoniene,repartiţia parabolică a vitezei conduce pentru un debit dat la o energie disipată minimă.Este firesc a încerca utilizarea unor astfel de condiţii de extrem,denumite şi principii de tip variaţional şi în cazul curenţilor turbulenţi,în lucrarea /S-3/ fiind enumerate mai multe încercări de acest fel.Se semnalează în special /M-8,p.185-195/ şi /R-2/ în care,pe baza postulării unor condiţii de extrem,se deduce repartiţia de viteze în regimul turbulent,considerîndu-se :

- drept distribuţie stabilă a fluctuaţiilor (de forma oscilaţiilor liniare de instabilitate) acea distribuţie care realizează maximul disipaţiei (în esenţă disipaţie molecular-vîscoasă în straturile de lîngă perete) şi
- că energia cinetică a fluctuaţiilor este preluată din energia mişcării medii.

In cadrul tezei,condiţia de extrem se va pune direct asupra mărimilor medii.

In relaţiile ce se vor scrie pentru regimul turbulent presupus complet dezvoltat se operează cu mărimi mediate temporal,avînd semnificaţie fizică bine definită şi cărora operaţia de mediere le conferă un caracter determinist.

Deşi există fluctuaţii aleatoare ale mărimilor instantanee de la valorile medii temporale,s-a demonstrat cu ajutorul anemometriei cu fir cald că aceste fluctuaţii sînt relativ mici /S-3,p.29/.

Aceste ultime două considerente (valori medii cu caracter determinist,fluctuaţii aleatoare relativ mici) au permis stabilirea unor legi relativ la mărimile medii temporale,legi verificabile experimental.

Se porneşte de la scrierea energiei mecanice disipate în cadrul modelului descris la punctul b) al prezentului paragraf.Dacă între straturile de lichid acţionează efortul unitar de frecare turbulentă notat τ ,atunci pe suprafaţa de contact dintre straturi de arie S va acţiona o forţă rezultantă de frecare turbulentă τS .

Pe de altă parte deplasarea relativă între cele două straturi în unitatea de timp va fi egală cu diferenţa dintre vitezele celor două straturi adică cu $\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} dz$

Avînd în vedere că $\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}=\frac{\partial \bar{u}}{\partial y}=0$ datorită unor proprietăți introduse prin modul în care a fost definită mișcarea rezultă că $\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}=\frac{d\bar{u}}{dz}$. Rezultă că energia pierdută prin frecare turbulentă (în realitate datorită difuziei turbulente) într-un interval arbitrar de timp va fi egală cu lucrul mecanic al eforturilor unitare turbulente efectuat în acelaşi interval de timp la deplasarea relativă a straturilor.

Analitic, pentru canalul de înălțime 2h şi lățime unitară, acest lucru mecanic în unitatea de timp, notat P va fi :

$$P=2\int_0^h \tau \frac{d\bar{u}}{dz}dz=2\int_0^h \rho l^2\left|\frac{du}{dz}\right|\left(\frac{d\bar{u}}{dz}\right)^2 dz \qquad (II\text{-}1\text{-}2\text{-}23)$$

în timp ce debitul corespunzător va fi :

$$Q=2\int_0^h \bar{u}\,dz \qquad (II\text{-}1\text{-}2\text{-}24)$$

Se formulează, acum, următorul principiu variațional : <u>distribuția vitezelor în regimul turbulent se realizează astfel încît la un debit dat, puterea mecanică disipată prin frecare turbulentă să fie minimă</u>. Acest principiu poate fi reformulat pe baza principiului general al reciprocității valabil în cazul problemelor de extrem condiționat şi astfel ; <u>distribuția vitezelor în regimul turbulent se realizează astfel încît la o disipație dată a energiei mecanice să corespundă un debit maxim.</u>

Se menționează că valabilitatea acestui principiu a fost demonstrată în lucrarea /A-4/ pentru curentul de înălțime infinită în lungul unui singur perete plan (în care caz cade legătura olonomă exprimată de debit) deoarece în cazul menționat pe această cale s-a obținut $\bar{u}=C_1 \ln z + C_2$ (care în final, după determinarea constantelor de integrare a condus la legea logaritmică a lui Prandtl).

Condiția de extrem condiționat enunțată se pune analitic prin scrierea ecuației diferențiale Euler pentru funcționala $H=P-\lambda Q$ cu funcția necunoscută u şi variabila independentă z :

$$\lambda+\frac{d}{dz}\left[3\rho l^2\left(\frac{d\bar{u}}{dy}\right)^2\right]=0 \Longrightarrow \lambda z+3\rho l^2\left(\frac{d\bar{u}}{dz}\right)^2=C \qquad (II\text{-}1\text{-}2\text{-}25)$$

în care C este constanta de integrare.

Se observă că în această ecuație pe lîngă funcția necunoscută $\bar{u}$ nu este cunoscută nici funcția l a lungimii de amestec. Pentru a ieşi din acest impas şi a merge mai departe se va porni de la legea universală a vitezelor a lui Prandtl (care reprezintă soluția exactă în cazul curgerii în lungul unui singur perete plan şi care este aproximativ verificată de rezultatele experimentale :

$$\frac{\bar{u}_{max} - \bar{u}}{v_*} = \frac{1}{\varkappa} \ln \frac{h}{z} \Longrightarrow \frac{d\bar{u}}{dz} = \frac{v_*}{\varkappa z} \qquad \text{(II-1-2-26)}$$

Inlocuind expresia derivatei în relaţia (II-1-2-25) se obţine (după efectuarea operaţiilor respective) următoarea expresie intermediară a lungimii de amestec, valabilă în intervalul $0 \leq z \leq h$:

$$l = \varkappa z \sqrt{\frac{C - \lambda z}{3 \rho v_*^2}} \qquad \text{(II-1-2-27)}$$

Punînd condiţia ca în punctul z = h lungimea de amestec să aibă o valoare maximă se determină valoarea constantei de integrare :

$$\left.\frac{dl}{dz}\right|_{z=h} = 0 \Longrightarrow C = \frac{3\lambda h}{2} \qquad \text{(II-1-2-28)}$$

Cu aceasta, lungimea de amestec se poate exprima prin :

$$l = \frac{\varkappa z}{v_*} \sqrt{\frac{\lambda h}{2\rho}\left(1 - \frac{2}{3}\frac{z}{h}\right)} \qquad \text{(II-1-2-29)}$$

In expresia de mai sus a rămas nedeterminată valoarea multiplicatorului λ. El se va deduce din condiţia ca pentru z foarte mic, lungimea de amestec să coincidă aproximativ cu cea a lui Prandtl corespunzătoare unui singur perete plan. Din această condiţie se obţine pentru multiplicatorul λ :

$$\lambda = \frac{2\rho v_*^2}{h} \qquad \text{(II-1-2-30)}$$

ceea ce conduce la următoarea formulă finală pentru lungimea de amestec :

$$l = \varkappa z \sqrt{1 - \frac{2}{3}\frac{z}{h}} \qquad \text{(II-1-2-31)}$$

In expresia de mai sus influenţa celui de al doilea perete (peretele depărtat) este exprimată prin funcţia radical în timp ce efectul primului perete este exprimat de $\varkappa z$.

In concordanţă cu intuiţia, a rezultat şi pe cale analitică faptul că al doilea perete contribue la micşorarea lungimii de amestec, această reducere crescînd de la valoarea zero la peretele cel mai apropiat (z = 0), pînă la o valoare maximă la mijlocul distanţei dintre cei doi pereţi (z = h).

Pentru z = h se obţine lungimea de amestec maximă care are expresia :

$$l_{max}(z=h) = \frac{\varkappa h}{\sqrt{3}} \cong 0{,}23\,h \qquad \text{(II-1-2-32)}$$

Rezultă că cel de al doilea perete a redus lungimea de amestec maximă de la 0,4 h, cît este în cazul unui singur perete (Prandtl) pînă la 0,23 h în cazul a doi pereţi.

Avînd în vedere rezultatele experimentale ale lui Nikuradze în cazul conductelor la care secţiunea vie era complet mărginită de o frontieră solidă, unde lungimea maximă de amestec fusese redusă de la 0,4 R (Prandtl) la 0,14 R, rezultatul obținut în cazul canalelor pare a fi foarte bun canalul cu doi pereți reprezentînd o situație intermediară din punct de vedere al frontierei solide între curgerea în lungul unui singur perete (Prandtl) și într-o secțiune complet închisă (Nikuradze).

Reprezentarea grafică a variației lungimii de amestec în raport cu z este dată în (figura II-1-2-6) pe care se constată o foarte bună încadrare între curbele considerate de alți cercetători.

Pe baza relației obținută pentru lungimea de amestec se poate trece la rezolvarea problemei principale care constă în obținerea unei relații originale pentru distribuția vitezei pe verticală, lege care să fie mai bine verificată în cazul canalelor și al albiilor largi decît relațiile recomandate în prezent în literatura de specialitate.

§ 1-3. Relație propusă pentru repartiția vitezei pe verticală

a.- Deducerea relației

Pentru deducerea relației se folosesc următoarele patru formule prezentate și utilizate și pe parcursul paragrafului precedent :

- legea de variație pe verticală a efortului de frecare turbulentă a lui Karman, care a primit în cadrul tezei o nouă fundamentare :

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{z}{h}\right) \qquad \text{(II-1-3-1)}$$

- legea frecării turbulente a lui Prandtl bazată pe transferul de impuls :

$$\tau = \rho l^2 \left|\frac{d\bar{u}}{dz}\right| \frac{d\bar{u}}{dz} \qquad \text{(II-1-3-2)}$$

- legea de variație pe verticală a lungimii de amestec stabilită în teză :

$$l = \varkappa z \sqrt{1 - \frac{2}{3}\frac{z}{h}} \qquad \text{(II-1-3-3)}$$

- relația de definire a vitezei dinamice de frecare :

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \qquad \text{(II-1-3-4)}$$

Din aceste patru relații se pot elimina următoarele trei mărimi : τ_0, τ și l și ținînd cont de faptul că în domeniul studiat $(0 \leq z \leq h)$ există relația $\left|\frac{d\bar{u}}{dz}\right| = \frac{d\bar{u}}{dz} > 0$, prin calcule algebrice obișnuite se ajunge la următoarea ecuație diferențială ordinară de ordinul întîi cu variabile separabile ;

$$\frac{d\bar{u}}{dz} = \frac{v_*}{\varkappa z} \sqrt{\frac{3(h-z)}{3h-2z}} \qquad \text{(II-1-3-5)}$$

In vederea integrării s-a făcut la început substituţia :
$$\frac{3h-3z}{3h-2z}=x \Longrightarrow z=\frac{3h(x-1)}{2x-3};\quad dz=\frac{-3h}{(2x-3)^2}dx \qquad (II-1-3-6)$$

In noua variabilă x ecuaţia diferenţială devine :
$$d\bar{U}=-\frac{v_*}{\varkappa}\,\frac{\sqrt{x}}{(x-1)(2x-3)}dx \qquad (II-1-3-7)$$

Descompunînd în fracţii simple problema integrării se reduce la efectuarea a două integrale binome care se încadrează într-unul din cele trei cazuri de integrabilitate ale lui Cebîşev :
$$d\bar{U}=\frac{v_*}{\varkappa}\left(\frac{\sqrt{x}}{x-1}-\frac{2\sqrt{x}}{2x-3}\right)dx \qquad (II-1-3-8)$$

Prin integrare nedefinită, notînd cu C constanta de integrare :
$$\bar{u}=-\frac{v_*}{\varkappa}\left[\ln\frac{1+\sqrt{x}}{1-\sqrt{x}}-\sqrt{\frac{3}{2}}\ln\frac{\sqrt{\frac{3}{2}}+\sqrt{x}}{\sqrt{\frac{3}{2}}-\sqrt{x}}\right]+C \qquad (II-1-3-9)$$

şi prin revenire la variabila iniţială se obţine :
$$\bar{U}=-\frac{v_*}{\varkappa}\left[\ln\frac{1+\sqrt{\frac{3(h-z)}{3h-2z}}}{1-\sqrt{\frac{3(h-z)}{3h-2z}}}-\sqrt{\frac{3}{2}}\ln\frac{\sqrt{\frac{3}{2}}+\sqrt{\frac{3(h-z)}{3h-2z}}}{\sqrt{\frac{3}{2}}-\sqrt{\frac{3(h-z)}{3h-2z}}}\right]+C \qquad (II-1-3-10)$$

Constanta de integrare se determină ca şi în relaţiile Prandtl sau Karman, făcînd uz de viteza maximă, corespunzătoare valorii $y = h$. Se obţine imediat $C = \bar{u}_{max}$.

Rezultatul obţinut se pretează cu uşurinţă a fi scris sub forma unei legi a deficitului de viteză :
$$\frac{\bar{U}_{max}-\bar{U}}{v_*}=\frac{1}{\varkappa}\left[\ln\frac{1+\sqrt{\frac{3(h-z)}{3h-2z}}}{-\sqrt{\frac{3(h-z)}{3h-2z}}}-\sqrt{\frac{3}{2}}\ln\frac{\sqrt{\frac{3}{2}}+\sqrt{\frac{3(h-z)}{3h-2z}}}{\sqrt{\frac{3}{2}}-\sqrt{\frac{3(h-z)}{3h-2z}}}\right] \qquad (II-1-3-11)$$

Această formă a legii deficitului prezintă dezavantajul că este relativ complicată şi în consecinţă nu se pretează a fi folosită cu uşurinţă în dezvoltările matematice ulterioare, referitoare la sectoarele curbe de rîuri regularizate şi canale largi. In consecinţă, utilizînd unele reguli de calcul aproximativ, relaţia la care s-a ajuns va fi prelucrată în mod suplimentar :
$$\frac{\bar{U}_{max}-\bar{U}}{v_*}=\frac{1}{\varkappa}\left\{\ln\frac{\left[1-\sqrt{\frac{3(h-z)}{3h-2z}}\right]^2}{\frac{z}{3h-2z}}-\sqrt{\frac{3}{2}}\ln\frac{\left[\sqrt{\frac{3}{2}}+\sqrt{\frac{3(h-z}{3h-2z}}\right]^2}{\frac{3h}{2(3h-2z)}}\right\} \qquad (II-1-3-12)$$

Punînd în evidenţă raportul z/h (notat pentru prescurtare cu ς) care apare atît în relaţia Prandtl cît şi în cea a lui Karman :
$$\frac{\bar{U}_{max}-\bar{U}}{v_*}=\frac{1}{\varkappa}\left[\ln\frac{1}{\varsigma}+\ln\left[\sqrt{3-2\varsigma}+\sqrt{3(1-\varsigma)}\right]^2-\sqrt{\frac{3}{2}}\ln\left[\sqrt{3-2\varsigma}+\sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{3(1-\varsigma)}\right]^2\right\} \qquad (II-1-3-13)$$

Avînd în vedere formulele de calcul aproximativ :

$$(1+a)^x \cong 1+ax \quad \text{dacă } a \text{ este mic } (a<<1)$$
$$\ln(1-a) \cong -a \quad \text{dacă } a \text{ este mic} \qquad \text{(II-1-3-14)}$$

se va scrie legea deficitului sub o formă care să permită utilizarea acestei aproximații :

$$\frac{U_{max}-U}{v_*}=\frac{1}{\varkappa}\left| \ln\frac{1}{\xi}+2\ln\frac{\sqrt{3-2\xi}+\sqrt{3(1-\xi)}}{(3-2\xi)^{\frac{1}{2}\sqrt{\frac{3}{2}}}\left[1+\sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}\right]^{\sqrt{\frac{3}{2}}}}\right| \qquad \text{(II-1-3-15)}$$

Aplicînd regula de calcul anterior menționată :

$$\frac{U_{max}-U}{v_*}\cong\frac{1}{\varkappa}\left\{\ln\frac{1}{\xi}+2\ln\frac{\sqrt{3-2\xi}+\sqrt{3(1-\xi)}}{(3-2\xi)^{\frac{1}{2}\sqrt{\frac{3}{2}}}\left[1+\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}\right]}\right\} \qquad \text{(II-1-3-16)}$$

După simplificările care se impun :

$$\frac{U_{max}-U}{v_*}\cong\frac{1}{\varkappa}\left[\ln\frac{1}{\xi}-\left(\sqrt{\frac{3}{2}}-1\right)\ln(3-2\xi)\right] \qquad \text{(II-1-3-17)}$$

se observă că termenul adițional care apare în relația de mai sus față de relație Prandtl are valorile :

$$z=0 \Longrightarrow \xi=0 \Longrightarrow -\left(\sqrt{\frac{3}{2}}-1\right)\ln 3 \cong -0{,}24$$
$$z=h \Longrightarrow \xi=1 \Longrightarrow -\left(\sqrt{\frac{3}{2}}-1\right)\ln 1 = 0 \qquad \text{(II-1-3-18)}$$

Eroarea relativă făcută prin aceste prelucrări este foarte mică deoarece atunci cînd termenul prelucrat prin simplificare are valoarea maximă el se adună cu un alt termen foarte mare, iar atunci cînd este nul se adună cu un termen de asemenea nul (în acest al doilea caz valoarea termenului adițional este exactă, prin prelucrările făcute neintroducîndu-se nici o eroare).

Rezultă că în continuare se poate utiliza legea deficitului sub forma :

$$\frac{U_{max}-U}{v_*}=\frac{1}{\varkappa}\left[\ln\frac{1}{\xi}-0{,}22\ln(3-2\xi)\right] \qquad \text{(II-1-3-19)}$$

Pentru a putea face în viitor o comparație între formula propusă în teză și celelalte formule recomandate în literatura de specialitate, se transcriu formulele în totalitate introducîndu-se variabila adimensională $\xi=\frac{z}{h}$:

- relația parabolică la puterea unu pe șapte :

$$\frac{U}{U_{max}}=\xi^{\frac{1}{7}}$$

- relația de tip eliptic :

$$\frac{U}{U_{max}}=\sqrt{1-0{,}55(1-\xi)^2}$$

- relația de tip logaritmic :

Prandtl : $$\frac{U_{max}-U}{v_*}=-\frac{1}{\varkappa}\ln\xi \qquad \text{(II-1-3-20)}$$

Karman : $$\frac{U_{max}-U}{v_*}=-\frac{1}{K}\left[\ln\left(1-\sqrt{1-\xi}\right)+\sqrt{1-\xi}\right]$$

Teză : $\dfrac{\overline{U}_{max}-\overline{U}}{v_*}=-\dfrac{1}{\varkappa}\left[\ln\dfrac{1-\sqrt{\dfrac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}{1+\sqrt{\dfrac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}-\sqrt{\dfrac{3}{2}}\ln\dfrac{\sqrt{\dfrac{3}{2}}-\sqrt{\dfrac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}{\sqrt{\dfrac{3}{2}}+\sqrt{\dfrac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}\right]$

Teză, simplificată: $\dfrac{\overline{U}_{max}-\overline{U}}{v_*}=-\dfrac{1}{\varkappa}\left[\ln\xi+0{,}22\,(3-2\xi)\right]$.

Relaţiile de tip logaritmic (Prandtl, Karman şi din teză) sînt reprezentate în figura II-1-3-1. In aceeaşi figură sînt reprezentate unele înregistrări experimentale după Grinvald şi din experienţe proprii care, după cum se observă, sînt mult mai apropiate de relaţia propusă în teză.

b.- Determinarea legăturii între viteza medie şi viteza maximă

Legătura între viteza medie a verticalei respective $\overline{v}$ şi viteza maximă $\overline{u}_{max}$ se determină, pentru relaţia simplificată, prin exprimarea debitului pe unitatea de lăţime a curentului plan q în două moduri diferite :

- cu ajutorul vitezei medii :

$$q = h\,v \qquad \text{(II-1-3-21)}$$

- prin integrarea distribuţiei de viteze :

$$q=\int_0^h u\,dz=h\int_0^1\left[\overline{U}_{max}+\frac{v_*}{\varkappa}\ln\xi+0{,}22\frac{v_*}{\varkappa}\ln(3-2\xi)\right]d\xi \qquad \text{(II-1-3-22)}$$

După efectuarea integralei se obţine :

$$q=h\left[\overline{U}_{max}-\frac{v_*}{\varkappa}+0{,}22\times0{,}64\frac{v_*}{\varkappa}\right]=h\left[\overline{u}_{max}-0{,}86\frac{v_*}{\varkappa}\right] \qquad \text{(II-1-3-23)}$$

In efectuarea integralelor apare o integrală generalizată, la care integrantul devine infinit pentru una dintre limite, integrală care este însă convergentă astfel că nu ridică probleme deosebite deoarece :

$$\lim_{\substack{\xi\to0\\ \xi>0}}\xi\ln\xi=\lim_{\substack{\xi\to0\\ \xi>0}}\frac{\ln\xi}{\frac{1}{\xi}}=\lim_{\substack{\xi\to0\\ \xi>0}}\frac{\frac{1}{\xi}}{-\frac{1}{\xi^2}}=\lim_{\substack{\xi\to0\\ \xi>0}}(-\xi)=0 \qquad \text{(II-1-3-24)}$$

Prin egalarea celor două expresii obţinute pentru debit, după simplificarea cu h, se obţine relaţia căutată :

$$\overline{v}=\overline{U}_{max}-0{,}86\frac{v_*}{\varkappa} \qquad \text{(II-1-3-25)}$$

Deoarece prin modul de definire a vitezei de frecare rezultă:

$$v_*=\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}=\sqrt{\frac{\gamma RJ}{\rho}}=\sqrt{g\,RJ} \qquad \text{(II-1-3-26)}$$

iar din relaţia lui Chezy scrisă pentru viteza medie a curentului :

$$v=C\sqrt{RJ}=\overline{v} \qquad \text{(II-1-3-27)}$$

se poate obţine următoarea relaţie între viteza de frecare şi viteza medie :

$$v_*=\frac{\sqrt{g}}{C}\,\overline{v} \qquad \text{(II-1-3-28)}$$

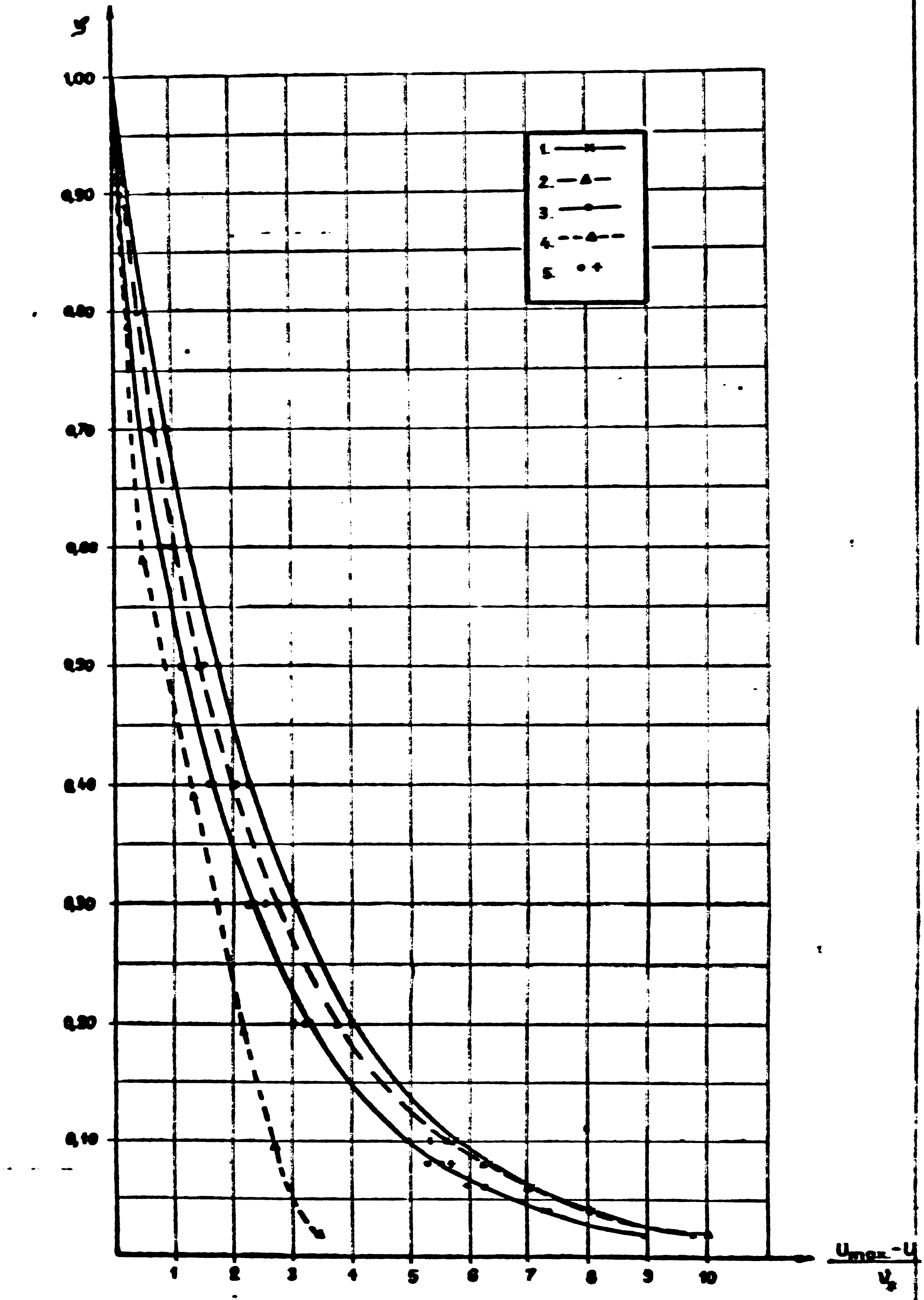


Fig. II.1-3-1 Reprezentarea legii deficitului de viteză după
1 ecuaţia propusă de Prandtl,
2 ecuaţia propusă de von Karman
3 ecuaţia propusă în teză;
4 după Grinvald;
5 date experimentale proprii.

Această ultimă relație permite a exprima legătura dintre viteza medie și maximă a unei verticale sub forma :

$$\overline{U}_{max} = \overline{\mathcal{V}} + 0{,}86\frac{\sqrt{g}}{\varkappa C}\,\overline{\mathcal{V}} = \left(1+2\frac{\sqrt{g}}{C}\right)\overline{\mathcal{V}} \qquad \text{(II-1-3-29)}$$

Pentru a avea o verificare asupra corectitudinii importantei relații care leagă viteza maximă de viteza medie, s-a obținut această legătură și prin integrarea distribuției de viteze dată de formula nesimplificată obținută în cadrul tezei, integrare care s-a făcut cu ajutorul formulei de integrare aproximativă a lui Simpson, cu patru intervale. Aproximînd funcția de integrat pe intervale cu polinome de gradul doi și necesitînd o diviziune a intervalului de integrare în 2 n intervale parțiale egale, această metodă este considerată a fi una dintre cele mai precise metode de integrare aproximativă. Demonstrația formulei Simpson și gradul ei de precizie sînt expuse în lucrarea /N-1, p. 498/, formula finală care se folosește fiind :

$$\int_a^b f(x)dx \cong \frac{(b-a)}{6n}\left\{f(a)+f(b)+4\left[f(x_1)+f(x_3)+\dots+f(x_{2n-1})\right]+2\left[f(x_2)+\dots+f(x_{2n-2})\right]\right\} \qquad \text{(II-1-3-30)}$$

Se va nota :

$$\frac{\overline{U}_{max}-\overline{U}}{\mathcal{V}_*} = f(\xi) = -\frac{1}{\varkappa}\left[\ln\frac{1-\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}{1+\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}} - \sqrt{\frac{3}{2}}\,\ln\frac{\sqrt{\frac{3}{2}}-\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}{\sqrt{\frac{3}{2}}+\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}\right] \qquad \text{(II-1-3-31)}$$

Cu această notație se obține imediat :

$$\frac{\overline{U}_{max}-\overline{U}}{\mathcal{V}_*} = f(\xi) \Longrightarrow \overline{U} = \overline{U}_{max} - \mathcal{V}_*\, f(\xi) \qquad \text{(II-1-3-32)}$$

Pentru determinarea legăturii dintre viteza medie și viteza maximă se integrează relația de mai sus :

$$\int_0^h \overline{U}dh = \overline{\mathcal{V}}h = \overline{U}_{max}h - \mathcal{V}_* h\int_0^1 f(\xi)\,d\xi \Longrightarrow$$

$$\overline{U}_{max} = \overline{\mathcal{V}}\left[1+\frac{\mathcal{V}_*}{\overline{\mathcal{V}}}\int_0^1 f(\xi)\,d\xi\right] = \overline{\mathcal{V}}\left[1+\frac{\sqrt{g}}{C}\int_0^1 f(\xi)\,d\xi\right] \qquad \text{(II-1-3-33)}$$

Integrala care apare în relația (II-1-3-33) s-a efectuat utilizînd formula Simpson, împărțind intervalul de integrat în douăzeci subintervale parțiale egale $\Delta\xi = 0{,}05$ și făcînd aproximația suplimentară $\xi_0 = 0 = 0{,}001$ necesitată de faptul că integrantul $f(\xi)$ devine infinit pentru valoarea $\xi_0 = 0$. Această aproximare este în concordanță și cu evoluția fizică reală a fenomenului conform căreia legea logaritmică este valabilă pînă în imediata apropiere a peretelui, dar nu și strict la perete.

Calculele numerice sînt cuprinse rezumativ în tabela Nr. II-1-3-1.

TABEL PENTRU CALCULUL FUNCTIEI $f(\xi)$ şi $f^2(\xi)$

Tabela Nr. II-1-3-1

ξ	$\ln \frac{1+\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}{1-\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}$	$\sqrt{\frac{3}{2}} \ln \frac{\sqrt{\frac{3}{2}}+\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}{\sqrt{\frac{3}{2}}-\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}$	$\ln \frac{1+\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}{1-\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}} - \sqrt{\frac{3}{2}} \ln \frac{\sqrt{\frac{3}{2}}+\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}{\sqrt{\frac{3}{2}}-\sqrt{\frac{3(1-\xi)}{3-2\xi}}}$	$f(\xi)=\frac{U_{max}-U}{v_*}$	$f^2(\xi)$
0,001	9,37287	2,80668	6,56619	16,4155	269,4686
0,01	7,08650	2,79761	4,28889	10,7222	114,9656
0,05	5,43792	2,75658	2,68134	6,7034	44,9356
0,10	4,70036	2,70322	1,99714	4,9929	24,9291
0,15	4,24847	2,64741	1,60106	4,0027	16,0216
0,20	3,91167	2,58884	1,32283	3,3071	10,9369
0,25	3,63682	2,52714	1,10968	2,7742	7,6962
0,30	3,40001	2,46218	0,93789	2,3446	5,4971
0,35	3,18813	2,39337	0,79476	1,9869	3,9478
0,40	2,99320	2,32040	0,67280	1,6820	2,8291
0,45	2,80974	2,24246	0,56728	1,4182	2,0113
0,50	2,63395	2,15893	0,47502	1,1876	1,4104
0,55	2,46240	2,06888	0,39352	0,9838	0,9677
0,60	2,29263	1,97120	0,32143	0,8036	0,6458
0,65	2,12127	1,86415	0,25712	0,6128	0,3755
0,70	1,94591	1,74576	0,20015	0,5004	0,2504
0,75	1,76277	1,61293	0,14984	0,3746	0,1403
0,80	1,56681	1,46099	0,10582	0,2646	0,0700
0,85	1,35027	1,28227	0,06800	0,1700	0,0289
0,90	1,09861	1,06187	0,03674	0,0919	0,0084
0,95	0,77516	0,76222	0,01294	0,0324	0,0010
1,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,0000

Cu datele din această tabelă :

$f(\varsigma_0) = 16,4155$; $f(\varsigma_{20}) = 0,0000$;

$f(\varsigma_1)+f(\varsigma_3)+\ldots+f(\varsigma_{19}) = 18,8877$;

$f(\varsigma_2)+f(\varsigma_4)+\ldots+f(\varsigma_{18}) = 15,1146$;

$$\int_0^1 f(\varsigma)d\varsigma = \frac{1}{60}(16,4155+4\times18,8877+2\times15,1146)=2,037 \qquad \text{(II-1-3-34)}$$

Astfel, legătura între viteza medie şi viteza maximă prin această metodă devine :

$$\overline{U}_{max} = \left(1 + 2,037\frac{\sqrt{g}}{C}\right)\overline{v} \qquad \text{(II-1-3-35)}$$

Numărul de cifre cu care s-a lucrat a fost suficient pentru a asigura trei zecimale exacte.

Se constată că faţă de relaţia (II-1-3-29) diferenţa este neglijabilă deoarece termenul $\sqrt{g}/C$ nu depăşeşte decît cu totul excepţional valoarea 0,1 (fiind în mod uzual în jur de 0,05). Astfel diferenţa dintre cele două formule este de cel mult 0,3 %. In continuare se va adopta relaţia (II-1-3-29) deoarece în metoda Simpson s-au anulat valorile foarte mari din intervalul 0,000 la 0,001.

Deoarece la canale largi şi rîuri regularizate coeficientul de rezistenţă hidraulică C variază între valorile C = 15 şi C = 60 se obţine :

$$C=15 \Longrightarrow \overline{U}_{max} = 1,451\,\overline{v}$$
$$C=60 \Longrightarrow \overline{U}_{max} = 1,104\,\overline{v} \qquad \text{(II-1-3-36)}$$

Relaţiile obţinute concordă foarte bine cu indicaţiile existente în literatură referitoare la legătura care există între viteza medie şi viteza maximă.

In lucrarea /C-1,p.96/ referitoare la măsurătorile hidrologice care se fac pe cursurile de apă se menţionează că sînt cazuri în care nu se poate măsura decît viteza la suprafaţă $\overline{U}_s$. In asemenea situaţii calculul vitezei medii se face cu ajutorul formulei :

$$\overline{v} = k\,\overline{U}_s \qquad \text{(II-1-3-37)}$$

în care k este un coeficient ce se determină experimental şi care variază în mod obişnuit între 0,7 şi 0,9. In calcule preliminare se admite uneori k = 0,85.

In cazul de faţă $\overline{u}_s = \overline{u}_{max}$.

Prelucrînd relaţia de mai sus rezultă :

$$k=0,7 \Longrightarrow \overline{U}_{max} = 1,43\,\overline{v}$$
$$k=0,9 \Longrightarrow \overline{U}_{max} = 1,11\,\overline{v} \qquad \text{(II-1-3-38)}$$

Se constată că aceste relaţii empirice sînt într-o foarte bună concordanţă cu cele stabilite teoretic în lucrare (II-1-3-36).

După N.V.Boldakov, citat din lucrarea /M-7,p.92) variația coeficientului k cu caracterul albiei este conformă tabelului II-1-3-2 care confirmă valabilitatea relației (II-1-3-36).

Valorile coeficientului k Tabela II-1-3-2

Caracteristicile cursului de apă	k
Albie normală	0,90
Albie strangulată sau torent de dimensiuni mijlocii	0,87
Torent violent	0,80
Luncă cu vegetație slabă	0,80
Luncă cu vegetație puternică	0,70

O altă confirmare a justeții relației obținute pentru legea de distribuție a vitezei o constituie comparația cu rezultatele obținute de prof.dr.doc.ing.Dorin Pavel în lucrarea /P-1,p.257/ în care se indică următoarea relație practică între viteza medie și viteza de suprafață (care este considerată viteza maximă) :

$$\overline{v} = \overline{U}_{max} - K\sqrt{hJ} \; ; \; K = \frac{20}{3} \cong 6{,}66 \quad \text{pentru canale largi} \quad \text{(II-1-3-39)}$$

Din formula (II-1-3-29) se poate obține o relație de aceeași structură :

$$\overline{U}_{max} = \overline{v} + 0{,}86\frac{\sqrt{g}}{\varkappa C}C\sqrt{RJ} = \overline{v} + 6{,}64\sqrt{RJ} \quad \text{(II-1-3-40)}$$

diferența corespunzătoare termenului adițional fiind de aproximativ 0,3 %.

In cazul canalelor largi $R = h$ și în consecință :

$$\overline{v} = \overline{U}_{max} - 6{,}64\sqrt{hJ} \quad \text{(II-1-3-41)}$$

relație care practic coincide cu relația prof.Dorin Pavel.

c.- <u>Determinarea factorului de corecție "β" al verticalei</u>

In dezvoltările ulterioare va apare necesitatea de a calcula integrala $\int_0^h \overline{U}^2 dz$. Această integrală se poate ușor exprima dacă este cunoscut factorul de corecție β definit asemănător factorului de corecție din relația lui Bernoulli pentru curenți cu secțiuni finite în mișcarea nepermanentă /M-1,p.161/

$$\beta = \frac{\int_0^h U^2 dz}{\overline{v}^2 h} \quad \text{(II-1-3-42)}$$

In scopul calculului acestui coeficient, din relațiile (II-1-3-32) și (II-1-3-29) se deduce :

$$\overline{U} = \left[\frac{\overline{U}_{max}}{\overline{v}} - \frac{v_*}{\overline{v}} f(\varsigma)\right]\overline{v} = \left[1 + 2{,}00\frac{\sqrt{g}}{C} - \frac{\sqrt{g}}{C} f(\varsigma)\right]\overline{v} \quad \text{(II-1-3-43)}$$

$$\overline{U}^2 = \overline{v}^2\left[\left(1 + 2{,}00\frac{\sqrt{g}}{C}\right)^2 - 2\frac{\sqrt{g}}{C}\left(1 + 2{,}00\frac{\sqrt{g}}{C}\right)f(\varsigma) + \frac{g}{C^2}f^2(\varsigma)\right]$$

Determinarea coeficientului β al verticalei se va face, ca şi în cazul stabilirii legăturii dintre viteza medie şi viteza maximă, prin cele două metode :

- prin integrarea aproximativă (Simpson) a formulei nesimplificate ;

- prin integrarea formulei simplificate.

In cazul utilizării metodei Simpson, s-au calculat valorile funcţiei $f^2(\xi)$ care au fost trecute în ultima coloană a tabelei Nr.II-1-3-1. S-a menţinut şi aici diviziunea intervalului în douăzeci de subintervale parţiale egale, ca şi aproximaţia $\xi_0 = 0 \cong 0{,}001$

$$\int_0^h \overline{U}^2 dz = \overline{U}^2 h\left[\left(1-2{,}00\frac{\sqrt{g}}{C}\right)^2 - 2\frac{\sqrt{g}}{C}\left(1-2{,}00\frac{\sqrt{g}}{C}\right)\int_0^1 f(\xi)d\xi + \frac{g}{C^2}\int_0^1 f^2(\xi)d\xi\right] \quad \text{(II-1-3-44)}$$

Prima integrală a mai fost folosită în cadrul punctului a) al acestui paragraf, unde s-a adoptat în final :

$$\int_0^1 f(\xi)d\xi \cong 2{,}00$$

In ceea ce priveşte cea de-a doua integrală, din datele înscrise în tabela Nr.II-1-3-1 au rezultat valorile :

$$f^2(\xi_0) = 269{,}4686 \; ; \qquad f^2(\xi_{20}) = 0{,}0000 \; ;$$

$$f^2(\xi_1)+f^2(\xi_3)+\ldots\ldots+f^2(\xi_{19}) = 75{,}7430 \; ;$$

$$f^2(\xi_2)+f^2(\xi_4)+\ldots\ldots+f^2(\xi_{18}) = 46{,}2774 \; ; \qquad \text{(II-1-3-45)}$$

$$\int_0^1 f^2(\xi)d\xi = \frac{1}{60}(269{,}4686+4\times 75{,}7430+2\times 46{,}2774) = 11{,}0833$$

Ca urmare, în cazul utilizării formulei Simpson valoarea coeficientului de corecţie β este :

$$\beta = 1-4{,}6225\frac{g}{C^2}+11{,}0833\frac{g}{C^2} = 1+6{,}4608\frac{g}{C^2} \qquad \text{(II-1-3-46)}$$

In cazul utilizării formulei simplificate, funcţia $f(\xi)$ are valoarea :

$$f(\xi) = -\frac{1}{\varkappa}\left[\ln\xi + 0{,}22\ln(3-2\xi)\right] = -2{,}5\ln\xi - 0{,}55\ln(3-2\xi) \quad \text{(II-1-3-47)}$$

$$f^2(\xi) = 6{,}25\ln^2\xi + 2{,}75\ln\xi\ln(3-2\xi) + 0{,}3025\ln^2(3-2\xi)$$

Avînd în vedere următoarele integrale /G-4,p.217/ :

$$\int_0^1 \ln^2\xi\, d\xi = 2$$

$$\int_0^1 \ln^2(3-2\xi)d\xi = \frac{3}{2}\ln^2 3 - 3\ln 3 + 2 = 0{,}5146 \qquad \text{(II-1-3-48)}$$

Deoarece integrala în care apar cei doi logaritmi nu se poate integra sub formă finită cu ajutorul funcţiilor elementare ea s-a prelucrat în modul următor :

$$\int_0^1 \ln\xi\ln(3-2\xi)\,d\xi = \int_0^1 \ln\xi\left[\ln 3 + \ln\left(1-\frac{2\xi}{3}\right)\right]d\xi \cong$$

$$\cong \int_0^1 \ln\xi\left[\ln 3 - \frac{2\xi}{3} + \frac{1}{2}\left(\frac{2\xi}{3}\right)^2 - \frac{1}{3}\left(\frac{2\xi}{3}\right)^3 + \frac{1}{4}\left(\frac{2\xi}{3}\right)^4 - \frac{1}{5}\left(\frac{2\xi}{3}\right)^5 + \frac{1}{6}\left(\frac{2\xi}{3}\right)^6\right]d\xi \qquad \text{(II-1-3-49)}$$

Numărul mare de termeni păstrat în dezvoltarea lui $\ln\left(1-\frac{2\xi}{3}\right)$ asigură o eroare neglijabilă.

Deoareoe se poate sorie formula de integrare :

$$\int_0^1\left(\frac{2\varsigma}{3}\right)^K \ln\varsigma\, d\varsigma = \left(\frac{2}{3}\right)^K\int_0^1 \varsigma^K \ln\varsigma\, d\varsigma = \qquad (II-1-3-50)$$
$$= \left(\frac{2}{3}\right)^K\left[\frac{\varsigma^{K+1}}{K+1}\ln\varsigma\Big|_0^1 - \frac{1}{K+1}\int\varsigma^K d\varsigma\right] = -\left(\frac{2}{3}\right)^K\frac{1}{(K+1)^2}$$

se ootşine,după oalculele algebrioe elementare :

$$\int_0^1 \ln\varsigma \ln(3-2\varsigma)\, d\varsigma = -\ln 3 + \frac{2}{3}\frac{1}{2^2} + \frac{1}{2}\left(\frac{2}{3}\right)^2\frac{1}{3^2} + \frac{1}{3}\left(\frac{2}{3}\right)^3\frac{1}{4^2} + \frac{1}{4}\left(\frac{2}{3}\right)^4\frac{1}{5^2} + \qquad (II-1-3-51)$$
$$+\frac{1}{5}\left(\frac{2}{3}\right)^5\frac{1}{6^2} + \frac{1}{6}\left(\frac{2}{3}\right)^6\frac{1}{7^2} = -1,0986 + 0,2005 = -0,8981$$

Astfel pe aoeastă oale se obţine din relaţia (II-1-3-47) :

$$\int_0^1 f^2(\varsigma)\, d\varsigma = 12,50 - 2,75\times 0,8981 + 0,3025\times 0,5146 = 10,1859 \qquad (II-1-3-52)$$

valoare oare introdusă în (II-1-3-44) conduoe la :

$$\beta = 1 - 4,6225\frac{g}{C^2} + 10,1859\frac{g}{C^2} = 1 + 5,5634\frac{g}{C^2} \qquad (II-1-3-53)$$

Avînd în vedere că raportul g/C^2 este mai mio decît o,ol rezultă că diferenţa între valoarea ooefioientului β oaloulat ou oele 2 metode este în mod uzual sub o,5 %. Se va adopta în continuare o valoare medie :

$$\beta \cong 1 + 6\frac{g}{C^2} \qquad (II-1-3-54)$$

d.- <u>Verifioarea formulei propusă pentru distribuţia vitezei pe vertioală</u>

Formula propusă în teză,în oadrul prezentului paragraf pentru distribuţia vitezei pe vertioală :

$$\frac{U_{max}-U}{v_*} = f(\varsigma) = -\frac{1}{\varkappa}\left[\ln\frac{1-\sqrt{\frac{3(1-\varsigma)}{3-2\varsigma}}}{1+\sqrt{\frac{3(1-\varsigma)}{3-2\varsigma}}} - \sqrt{\frac{3}{2}}\ln\frac{\sqrt{\frac{3}{2}}-\sqrt{\frac{3(1-\varsigma)}{3-2\varsigma}}}{\sqrt{\frac{3}{2}}+\sqrt{\frac{3(1-\varsigma)}{3-2\varsigma}}}\right] \qquad (II-1-3-20)$$

împreună ou relaţia dintre viteza maximă şi viteza medie a vertioalei :

$$U_{max} = \left(1 - 2\frac{\sqrt{g}}{C}\right)\overline{v} \qquad (II-1-3-29)$$

au fost verifioate prin intermediul unor măsurători în natură pe rîul Timiş şi pe oanalul Bega,puse la dispoziţie de Institutul de meteorologie şi hidrologie,filiala Timişoara,prin date din luorarea /B-4,p.17/ oa şi prin măsurători proprii efeotuate pe modelul seotorului rîului Argeş,model exeoutat în oadrul unui oontraot de oeroetare ou I.S.P.H.Buoureşti şi la oare am fost responsabilă de contraot.

In tabela Nr.II-1-3-3 sînt extrase datele neoesare din oarnetul de măsurători ou indioativul Ban 2.1.4 pe anii 196o şi 197o de la staţia hidrometrioă Lugoj de pe rîul Timiş.Acest tabel ouprinde distribuţia vitezei pe vertioala Nr. III măsurată de zeoe ori într-un an speoific seootos (196o) şi de zeoe ori într-un an specific ploios (1970).

Tabela Nr.II-1-3-4 conţine prelucrarea comparativă a datelor din măsurători şi datelor obţinute pe cale teoretică,pe de o parte prin utilizarea legii de distribuţie a lui Prandtl iar pe de altă parte prin utilizarea legii de distribuţie propusă în teză.Drept indicatori statistici s-au considerat valoarea medie a abaterii şi abaterea medie pătratică.Ambii indicatori sînt favorabili formulei propusă în cadrul tezei sporul de precizie fiind pentru valoarea medie a abaterii de la -1,39 % în cazul utilizării formulei Prandtl la -1,11 % în cazul utilizării formulei propusă în cadrul tezei,iar în cazul abaterii medii pătratice de la 5,66 % în cazul utilizării formulei Prandtl la 4,15 % în cazul utilizării formulei propusă în cadrul tezei.Repartiţia pe verticală a vitezei $\overline{u}$ şi a raportului $\overline{u}/\overline{v}$ sînt reprezentate în figurile II-1-3-2 şi II-1-3-3 pentru ape mici respectiv pentru ape mari.Din tabele şi reprezentări se observă că abaterile sînt mai mari la ape mari (figura II-1-3-3).

In tabela Nr.II-1-3-5 sînt extrase datele necesare prelucrărilor din carnetele de măsurători cu indicativul Ban.1.1.3 pe anul 1966 la postul hidrometric Balinţ de pe rîul Bega.In secţiunea de măsurători s-au considerat distribuţiile de viteze pe 10 verticale măsurate la 16 februarie şi 15-23 aprilie 1966 (anul 1966 fiind considerat an reprezentativ ploios în Banat).

Tbela II-1-3-6 conţine prelucrarea comparativă a datelor în aceeaşi manieră în care a fost făcută şi pentru rîul Timiş,prin calculul valorilor medii a abaterii între valorile măsurate şi cele rezultate din aplicarea formulei lui Prandtl pe de o parte şi cele calculate cu formula propusă în teză pe de altă parte.De asemenea s-a calculat în ambele cazuri abaterea medie pătratică.Se constată că în cazul rîului Bega,ambii indicatori statistici sînt de asemenea mai buni în cazul distribuţiei propusă în teză decît în cazul distribuţiei lui Prandtl, sporul de precizie fiind de la -0,82 % la -0,47 % în cazul valorii medii a abaterii,respectiv de la 9,30 % la 7,24 % în cazul abaterii medii pătratice.Reprezentările respective sînt date în figurile II-1-3-4 şi II-1-3-5.

In tabela Nr.II-1-3-7 au fost trecute datele măsurătorilor efectuate pe modelul sectorului de rîu Argeş referitoare la distribuţia vitezelor pe un număr de cîte cinci verticale în secţiunile 0-0,P.1 şi în şapte verticale din secţiunea P.138, toate secţiunile fiind situate pe sectoare în aliniament ale modelului.

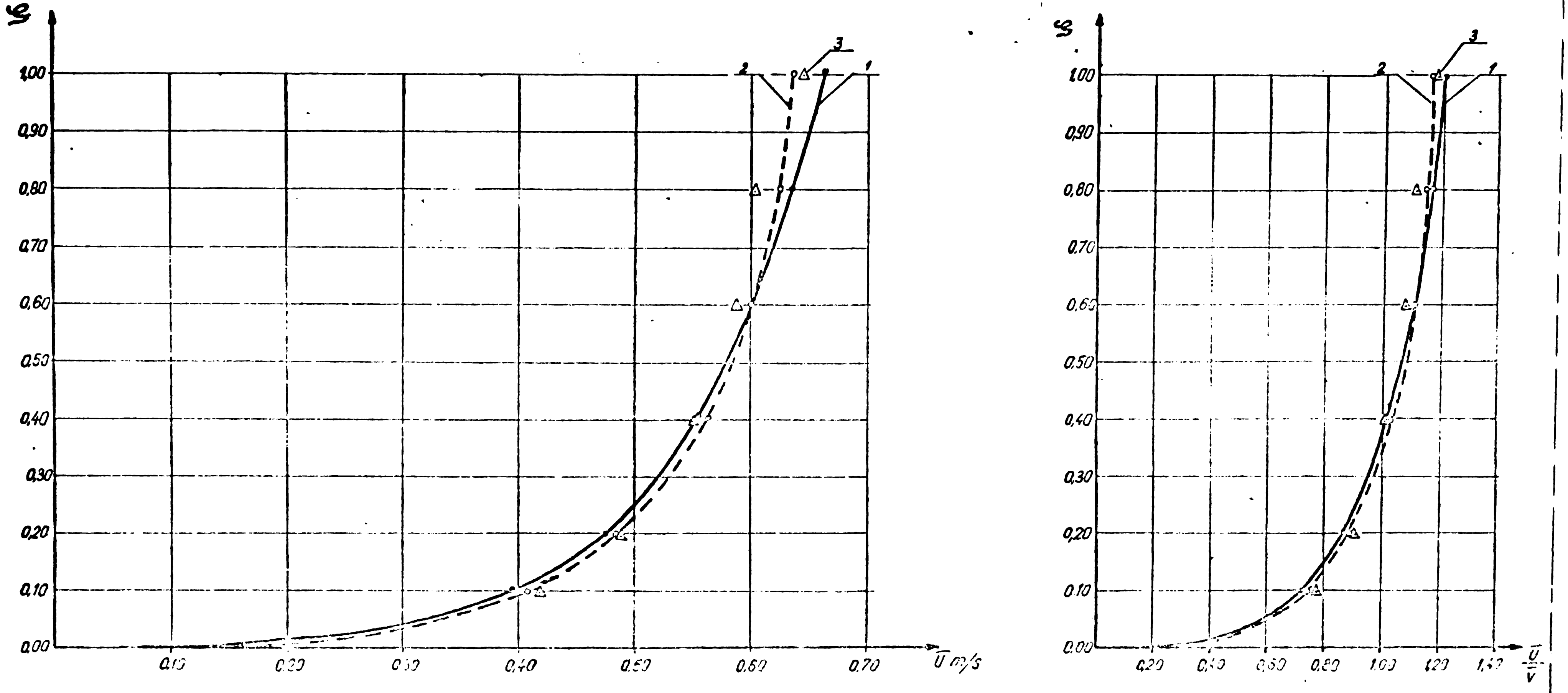


Fig. II 1-3-2 Repartiția pe verticală a vitezei ($\overline{U}$) și variația raportului $\overline{U}/\overline{V}$ pe rîul Timiș la ape mici:

1) după formula lui Prandtl.

2) după formula propusă în teză.

△ 3) înregistrări din măsurători

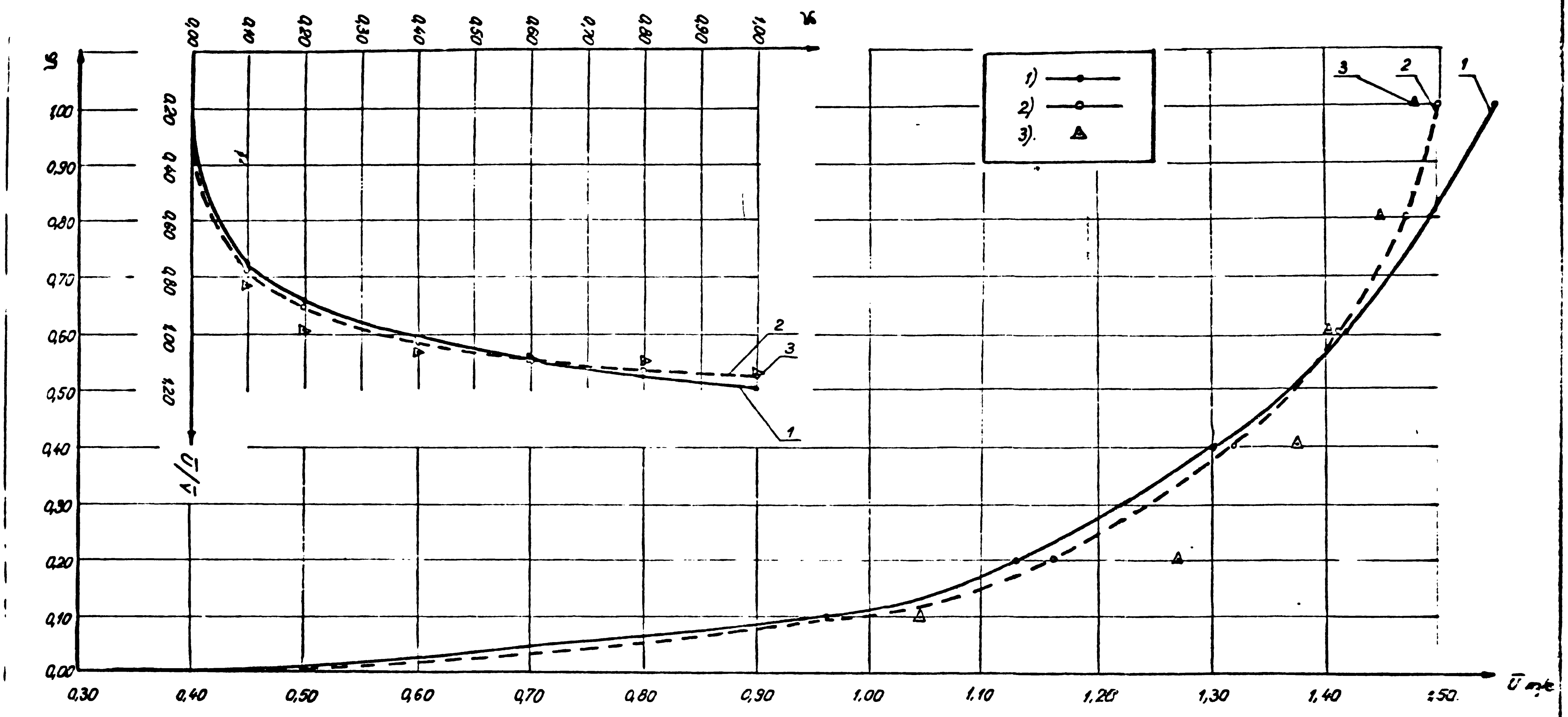


Fig. II.1.3-3 Repartiția pe verticală a vitezei ($\bar{U}$) și variația raportului $\bar{U}/\bar{V}$ pe rîul Timiș la ape mari:

1) *după formula lui Prandtl;*
2) *după formula propusă în teză.*
3) *înregistrări din măsurători.*

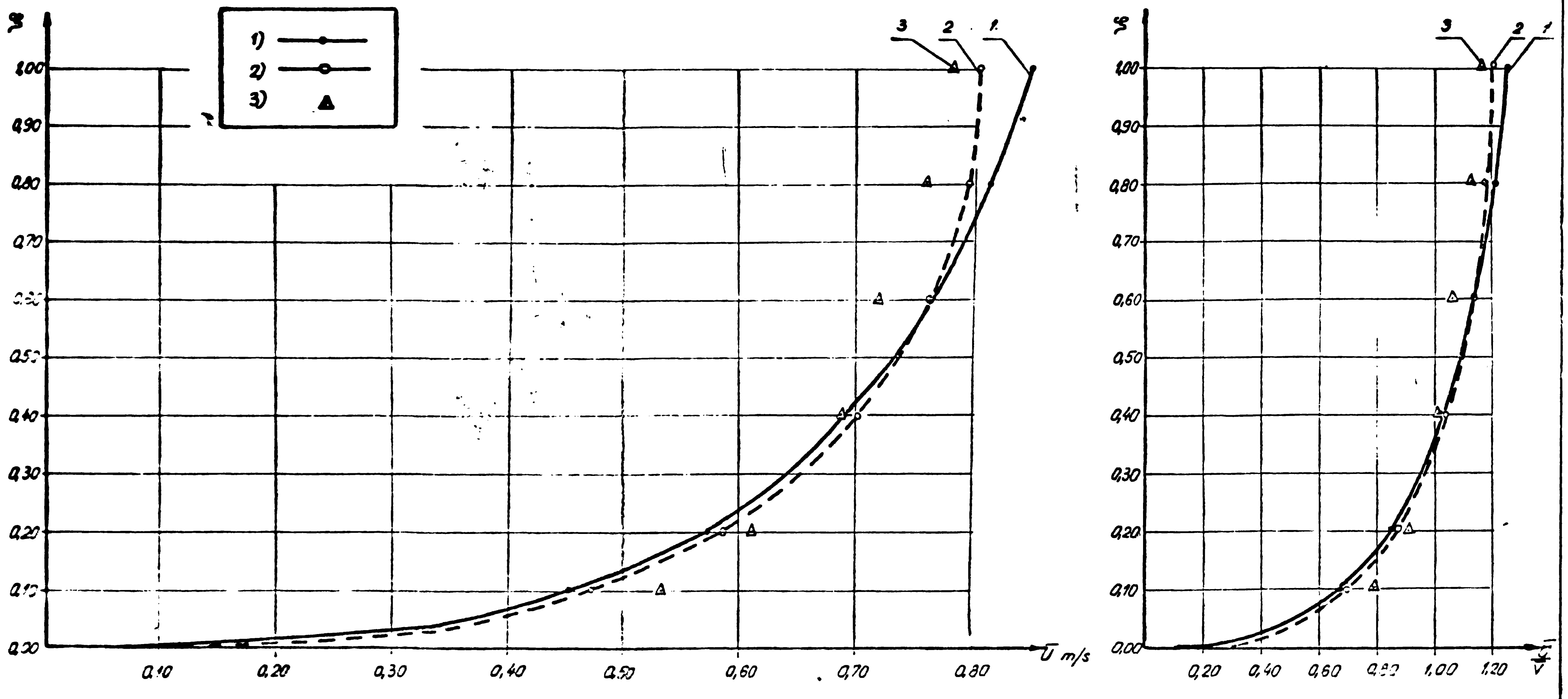


Fig II. 1-3-4. Repartiția pe verticală a vitezei ($\overline{u}$) și variația raportului $\overline{U}/\overline{V}$ pe rîul Bega (I):

1) după formula lui Prandtl.
2) după formula propusă în teză;
3) înregistrări din măsurători.

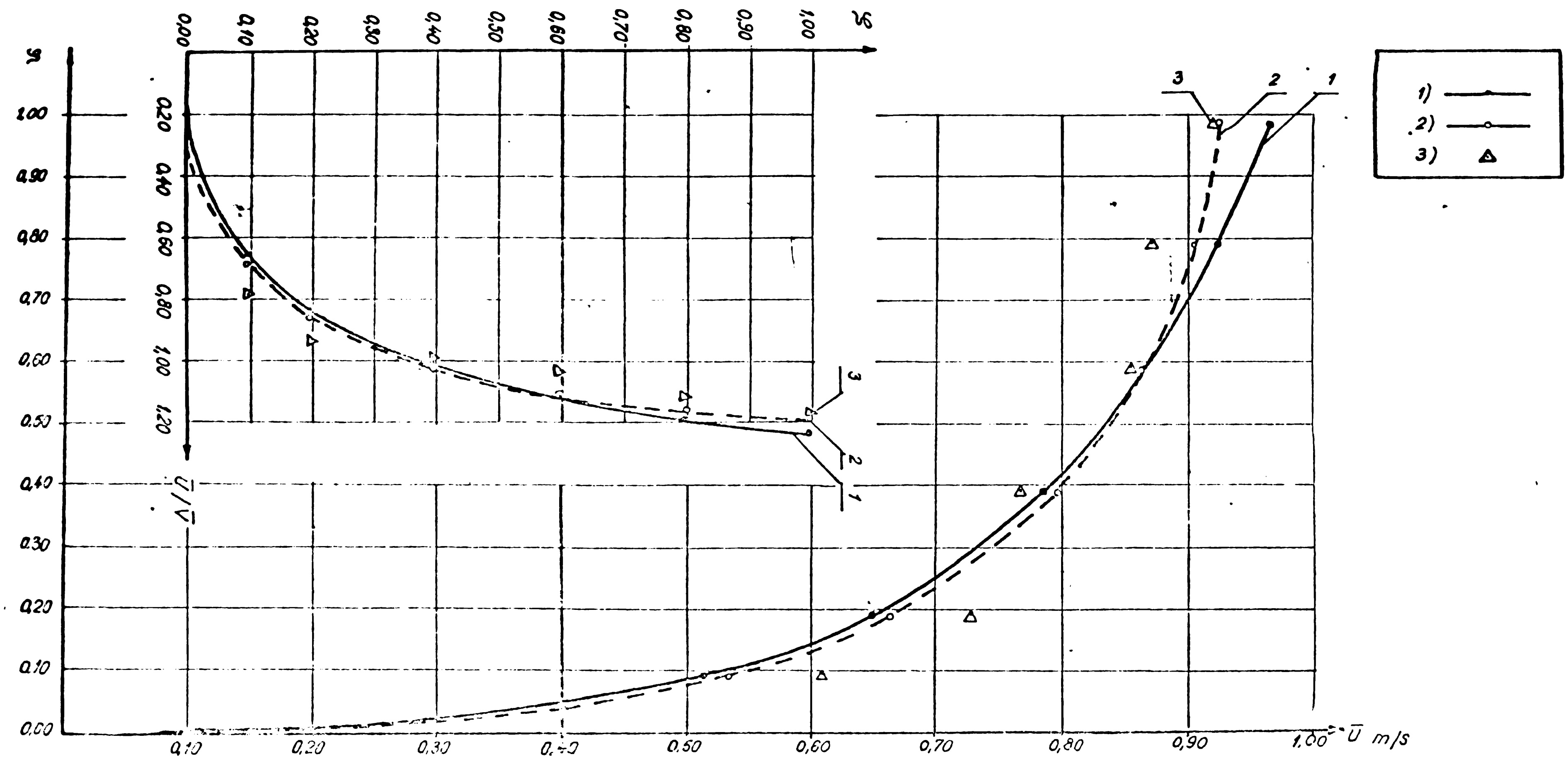


Fig II 1-3-5 Repartiția pe verticală a vitezei (Ū) și variația raportului Ū/V̄ pe rîul Bega(II):

1) după formula lui Prandtl;
2) după formula propusă în teză;
3) înregistrări din măsurători.

Tabela Nr.II-1-3-8 conține calculul indicatorilor statistici.Se constată că în acest caz (în care albia are o formă trapezoidală,regulată,ceea ce nu a fost decît aproximativ realizat în cazul rîurilor Timiș și Bega) indicatorii statistici arată un semnificativ avantaj de partea distribuției propusă în teză comparativ cu distribuția lui Prandtl,mai ales în ceea ce privește abaterea medie pătratică : valoarea medie a abaterii a scăzut de la +0,85 % (Prandtl) la +0,32 % (teză),iar abaterea medie pătratică de la 4,14 % Prandtl la 0,98 % (teză).Si reprezentarea grafică dată în figura II-1-3-6 arată drept avantajoasă formula propusă în teză.

In fine în tabela Nr.II-1-3-9 și II-1-3-10 sînt extrase datele necesare din lucrarea /B-4,p.17/ conținînd măsurători de viteză efectuate în șase verticale a unei secțiuni transversale pe un rîu din U.R.S.S.,ca și prelucrările statistice respective. In acest caz valoarea medie a abaterii a rezultat de -1,87 % cînd s-a aplicat formula lui Prandtl și de +0,14 % în cazul formulei propuse în teză,în timp ce abaterea medie pătratică a rezultat de 4,05 % în cazul formulei Prandtl și de 2,86 % în cazul formulei propuse.

Calculînd în final o valoare medie a celor doi indicatori statistici rezultă următoarele valori mediate :

- pentru valoarea medie a abaterii -0,81 % cu formula Prandtl,respectiv -0,28 % cu formula propusă în teză;
- pentru abaterea medie pătratică 5,79 % cu formula Prandtl,respectiv 3,81 % cu formula propusă în teză.

Este de remarcat faptul că în cazul albiilor naturale repartiția vitezelor dedusă pentru cazul ideal al unui curent plan infinit în lungul unui perete plan (Prandtl),respectiv al unui curent plan între doi pereți plan-paraleli situați la distanță finită (teză) este perturbată de neregularitățile albiei. Se observă însă că prin medierea pe un număr suficient de mare de cazuri aceste perturbații,care pot fi considerate aleatoare pentru problema în studiu,se compensează reciproc ceea ce explică valorile foarte mici obținute în final pentru valoarea medie a abaterii.In schimb această compensare nu are loc în cazul abaterii medii pătratice de aceea acest indicativ exprimă mai bine împrăștierea rezultatelor față de formulele teoretice.Se constată din cifrele de mai sus că distribuția propusă în teză este semnificativ mai bună decît distribuția lui Prandtl.Așa cum s-a arătat și în (II.1-1-2) relativ la necesitatea stabilirii unei

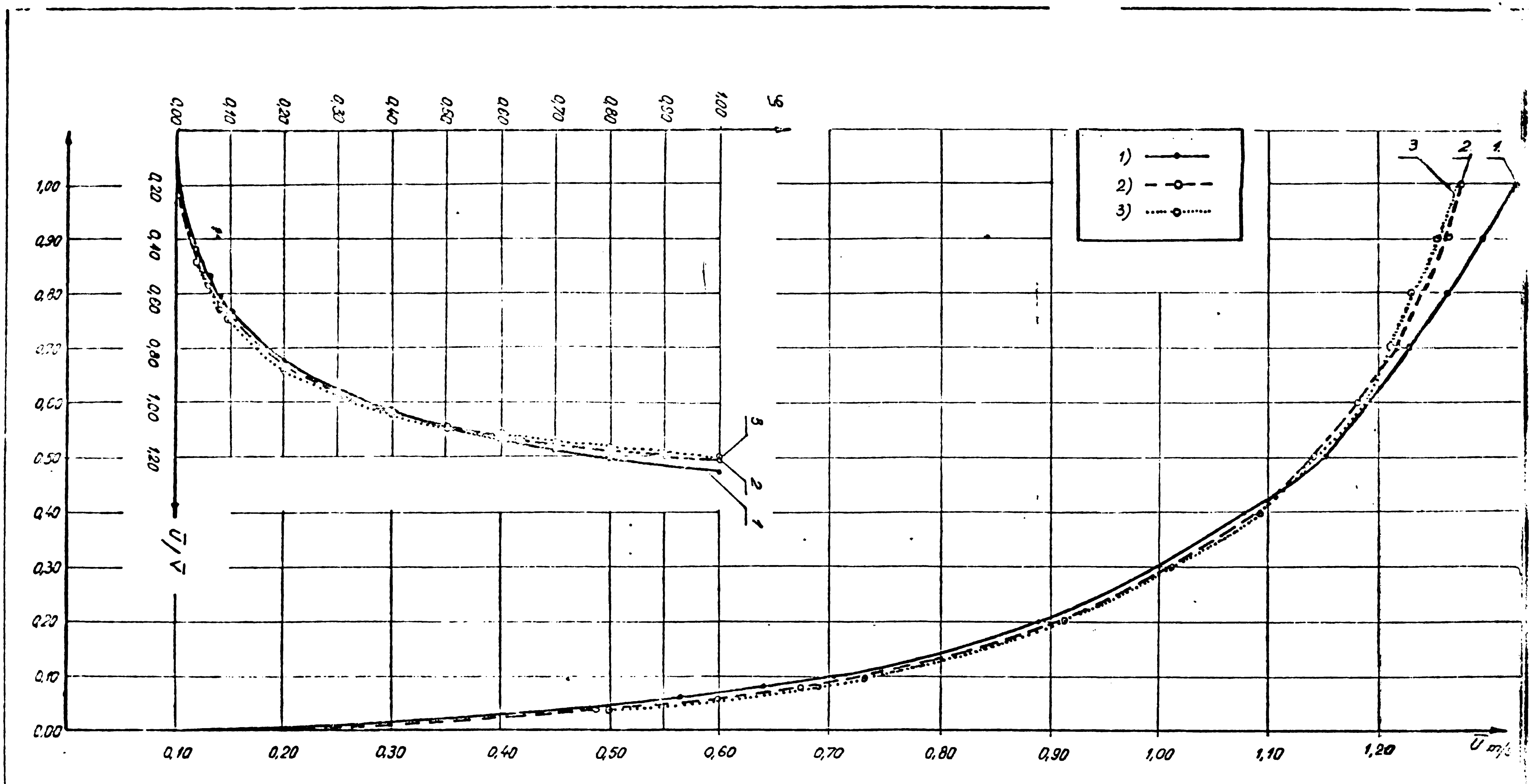


Fig. II.1-3-6. Repartiția pe verticală a vitezei ($\bar{U}$) și variația raportului $\bar{U}/\bar{V}$ pe modelul sectorului de rîu Argeș:

1) după formula L. Prandtl.
2) după formula propusă în teză;
3) după înregistrările experimentale.

noi relații de distribuție,formula lui Prandtl dă viteze sistematic mai mari la suprafață și sistematic mai mici la fund decît cele măsurate în natură (la aceeași viteză medie).Formula propusă în teză corectează întrucîtva această deficiență,ea oglindind mai fidel evoluția fenomenului.Comparațiile făcute arată că formula Prandtl este pe de plin folosibilă în primă aproximație,iar în cazul în care se cere o precizie sporită este indicat a se utiliza formula propusă în teză.

In cadrul acestui paragraf s-a făcut și o comparație între valoarea vitezei maxime și valoarea vitezei medii pentru aceeași verticală,obținute prin măsurători și pe cale teoretică prin utilizarea formulei propusă în cadrul tezei :

$$\frac{\overline{U}_{max}}{v} = 1 - 2\,\frac{\sqrt{g}}{C} \qquad (II\text{-}1\text{-}3\text{-}29')$$

In tabela Nr.II-1-3-11 referitoare la rîul Timiș,s-a găsit pentru valoarea medie a abaterii +0,09 %,iar pentru abaterea medie pătratică 6,50 %.

In tabela Nr.II-1-3-12 referitoare la rîul Bega,s-a obținut pentru valoarea medie a abaterii +2,94 %,iar pentru abaterea medie pătratică 9,05 %.

In tabela Nr.II-1-3-13 referitoare la modelul sectorului de rîu Argeș a rezultat pentru valoarea medie a abaterii +0,07 % iar pentru abaterea medie pătratică 6,12 %.

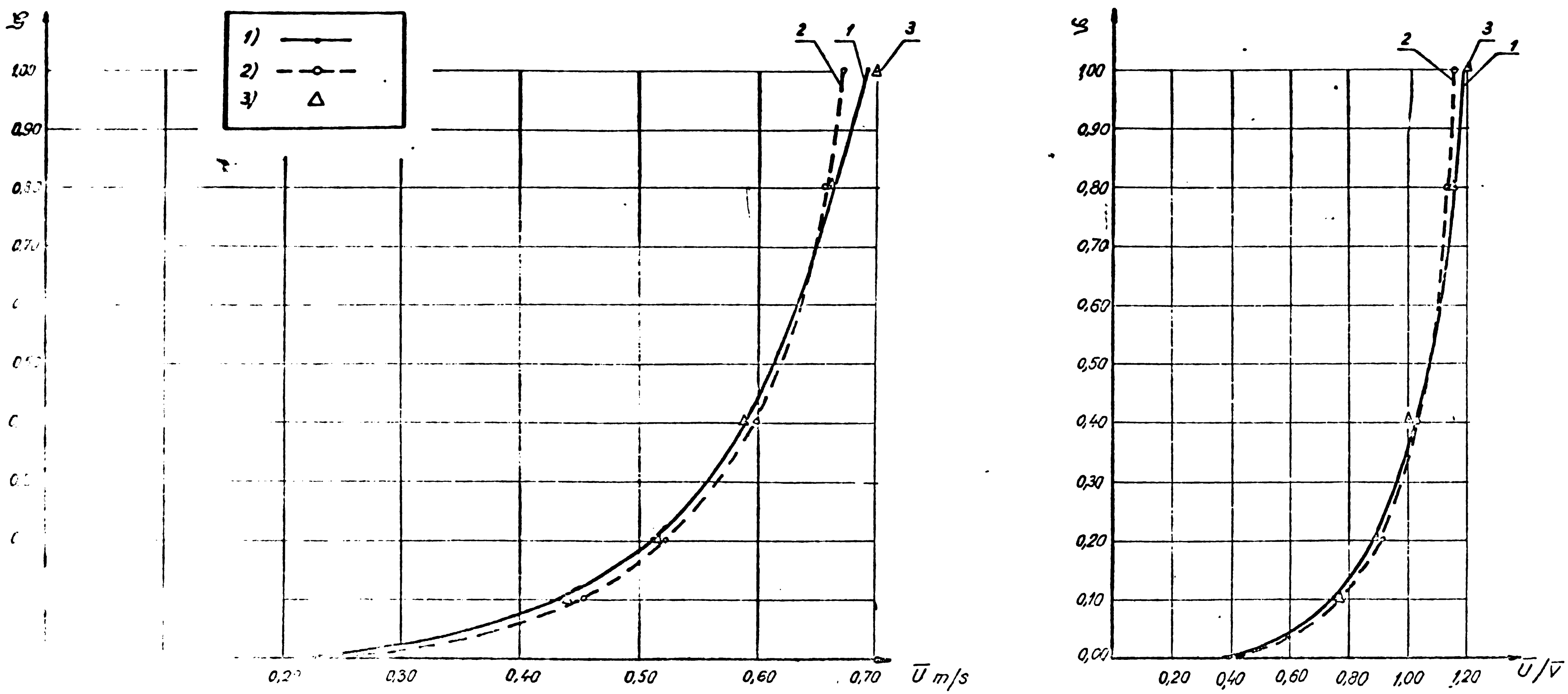
In fine,în tabela Nr.II-1-3-14 sînt înscrise datele referitoare la un rîu din U.R.S.S.,rezultînd pentru valoarea medie a abaterii -3,83 % și pentru abaterea medie pătratică 6,50%

Calculînd și în acest caz valorile medii ale acestor indicatori statistici s-a obținut :

- pentru valoarea medie a abaterii -0,18 % ;
- pentru abaterea medie pătratică 7,04 %.

Se constată că și aici,ca și în cazul distribuției vitezei pe verticală apar abateri datorită,în primul rînd,neregularităților albiei,a căror pondere în cazul valorii medii a abaterii scade prin mediere ceea ce se explică prin compensarea reciprocă.In cazul abaterii medii pătratice valoarea obținută indică o oarecare împrăștiere a rezultatelor,acest indice ne mai permițînd compensarea reciprocă.

Reprezentarea grafică comparativă sub forma legii deficitului de viteză este dată în figura II-1-3-8.In această figură sînt reprezentate atît legile teoretice (a lui Prandtl și cea din teză) cît și rezultatele măsurătorilor prelucrate în teză (de pe Timiș,Bega,sectorul modelat al Argeșului și după /B-4/



... p... ...ticală a vitezei (Ū) şi variaţia raportului Ū/V̄ la un rîu din U.R.S.S. [B-4]:

... Prandtl;

... în lează;

sau din literatura de specialitate :

- după Rao şi Chandrasekhar /G-1,p.66/ pentru $v_* h/\nu$ = = 18000 - 30000 ;
- dupa Fidman /F-1,p.1630/ pentru $v_* h/\nu$ = 1010 ;
- dupa Klata şi Ippen /G-1,p.66/ pentru $v_* h/\nu$ = 2850.

Din aceasta reprezentare grafica, in coordonate semilogaritmice care utilizeaza relaţia de distribuţie a vitezei sub forma deficitului de viteză, se constată ca cercetările efectuate pe modele mici, caracterizate printr-o valoare relativ mica a numarului $Re_* = \frac{v_* h}{\nu}$ cum sint cele efectuate din Fidman (9) sau Klata şi Ippen (10) dau o concordanţă mai buna cu relaţia lui Prandtl in vreme ce masuratorile efectuate pe modele la scară mare (6) sau direct in natura (3-4-5-7) dau o concordanţa mai buna cu relaţia propusa in teza.

Se remarca in special concordanţa relaţiei propuse cu rezultatele (3) care au fost obţinute prin prelucrarea statistică a unui mare numar de masuratori efectuate pe riurile din URSS.

In incheierea paragrafului se menţioneaza că studiul referitor la repartiţia vitezei pe verticală a fost făcut cu scopul de :

- a stabili indicatori statistici care să permită a aprecia gradul de aproximaţie facut prin utilizarea relaţiilor din literatura;
- a da o relaţie proprie care să reflecte mai bine distribuţia vitezelor pe verticala in cazul specific al albiilor naturale ;
- a dispune astfel de o baza solidă, temeinică verificată, cu rezultate experimentale care să permită abordarea in continuare a altor probleme in cadrul tezei unde repartiţia vitezei pe verticala apare ca un element iniţial cunoscut. In această categorie intra in special problema cinematicii curenţilor pe sectoarele in curba şi problema stabilităţii albiilor pe sectoarele in curbă.

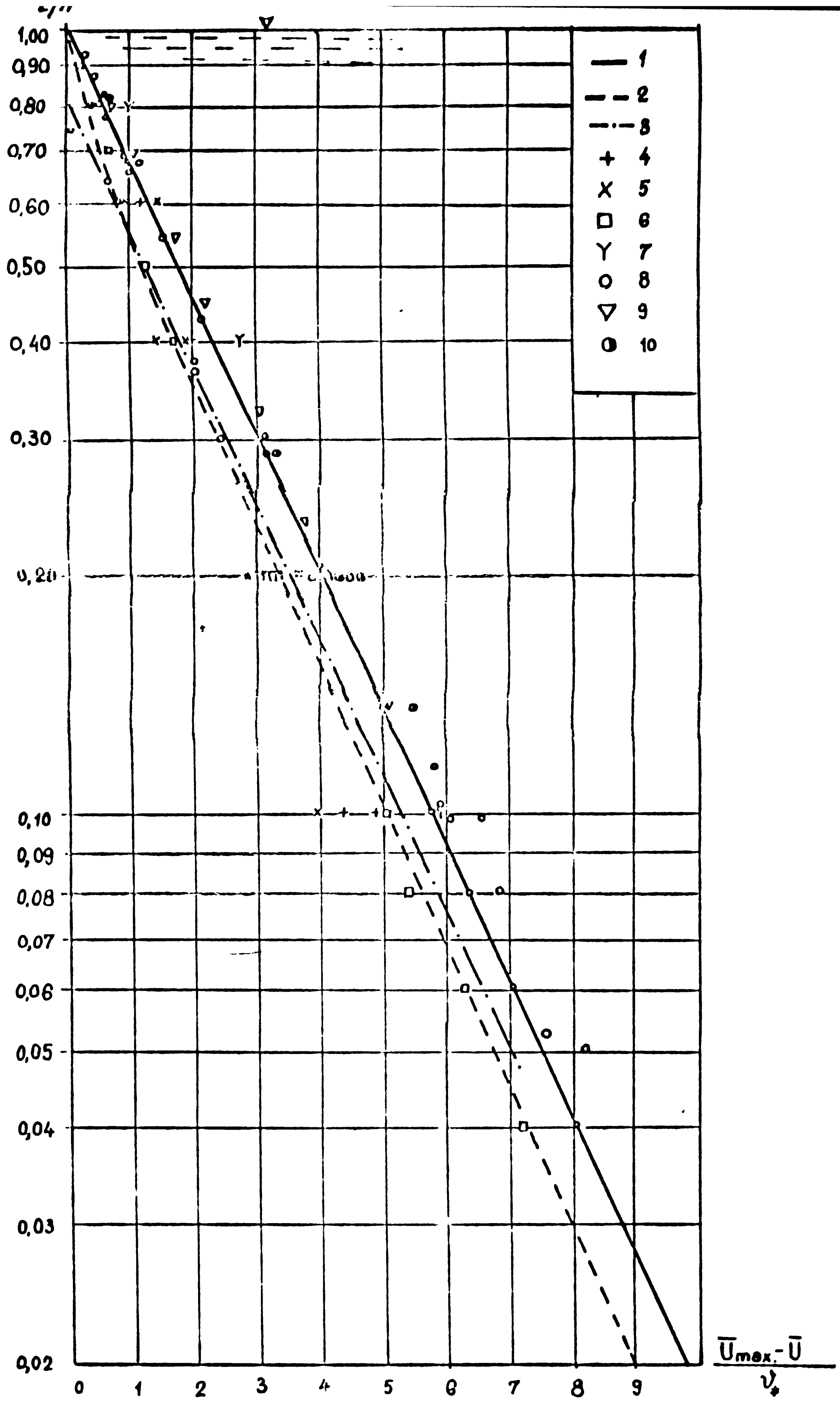


Fig. II.1-3-8 Reprezentare grafică comparativă privind legea deficitului de viteză.

1. *teoretic după relația lui Prandtl;*
2. *teoretic după relația propusă în teză;*
3. *măsurători în natură efectuate pe rîurile din U.R.S.S. [G.1-p.66];*
4. *măsurători pe rîul Timiș prelucrare după [I.4.a],* $v_* h/\nu = 96000 \div 452\,000$;
5. *măsurători pe rîul Bega prelucrare după [I.4.c],* $v_* h/\nu = 28.000 \div 42.000$;
6. *măsurători pe modelul sectorului de rîu Argeș;* $v_* \cdot h/\nu = 8980$;
7. *măsurători prelucrate după [B.4-p.17],* $v_* h/\nu = 62800$;
8. *măsurători după Rao și Chandrasekhar [G.1-p 66],* $v_* h/\nu = 18000 \div 30800$;
9. [illegible]

MASURATORI DE VITEZE PE VERTICALA pe rîul Timiş

$\langle \bar{u} \rangle = \langle \bar{V} \rangle = 1$ m/s ; $\langle h \rangle = 1$ m

Tabela II-1-3-3

Inregistrări de pe rîul Timiş-staţia Lugoj-Ban.2.1.4(carnete de măsurători)anul 1960(ape mici);vert.II

1-ξ	Nr.5 23.III	Nr.6 30.IV.	Nr.7 27.V.	Nr.8 31.V.	Nr.10 11.VI.	Nr.11 13.VI.	Nr.12 25.VI.	Nr.13 26.VIII	Nr.15 15.X.	Nr.16 31.X.	$\Sigma\bar{u}$	$\frac{1}{n}\Sigma\bar{u}$
supr	0,806	0,558	0,522	0,627	0,603	0,962	0,457	0,605	0,795	0,492	6,427	0,643
0,2	0,743	0,530	0,492	0,596	0,580	0,845	0,442	0,588	0,727	0,470	6,013	0,601
0,4	0,697	0,518	0,449	0,581	0,569	0,889	0,429	0,572	0,702	0,452	5,858	0,586
0,6	0,642	0,480	0,424	0,525	0,533	0,863	0,414	0,567	0,656	0,427	5,531	0,553
0,8	0,580	0,332	0,363	0,480	0,407	0,820	0,368	0,522	0,587	0,401	4,868	0,487
fund	0,506	0,393	0,284	0,322	0,392	0,594	0,335	0,497	0,511	0,359	4,193	0,419
$\bar{V}_m$	0,650	0,469	0,416	0,529	0,515	0,820	0,403	0,549	0,652	0,440	5,443	0,544
h	2,70	3,50	2,60	3,40	2,25	2,95	2,20	2,73	2,70	2,30	27,330	2,733

Inregistrări de pe rîul Timiş staţia Lugoj-Ban.2.1.4(carnete de măsurători)anul 1970(ape mari);vert.II

1-ξ	Nr.1 8.I.	Nr.4 11.II.	Nr.5 14.II.	Nr.6 16.II.	Nr.10 29.III	Nr.12 10.IV.	Nr.14 13.IV.	Nr.16 25.V.	Nr.18 6.VI.	Nr.24 21.VII.	$\Sigma\bar{u}$	$\frac{1}{n}\Sigma\bar{u}$
supr	0,988	1,279	1,003	1,670	1,328	1,499	1,914	2,119	1,414	1,504	14,718	1,472
0,2	0,973	1,182	0,980	1,349	1,328	1,414	1,855	2,119	1,393	1,494	14,087	1,409
0,4	0,967	1,182	0,954	1,414	1,317	1,414	1,855	2,102	1,328	1,485	14,018	1,402
0,6	0,954	1,134	0,961	1,414	1,182	1,414	1,855	2,087	1,307	1,485	13,793	1,379
0,8	0,851	1,064	0,946	1,328	1,055	1,393	1,748	1,592	1,307	1,460	12,744	1,274
fund	0,680	0,577	0,612	0,754	1,098	1,250	1,592	1,370	1,064	1,451	10,448	1,045
$\bar{V}_m$	0,913	1,041	0,923	1,232	1,118	1,390	1,605	1,830	1,285	1,480	12,817	1,282
h	6,13	6,37	6,06	6,53	4,84	5,00	5,20	7,00	6,45	6,86	60,38	6,04

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTIŢIA VITEZELOR PE VERTICALĂ pe rîul Timiş

$\langle\overline{u}\rangle = \langle\overline{v}\rangle = 1$ m/s ; $c = 37\ m^{1/2}/s$; (ape mici 1960) Tabela II-1-3-4

ξ	Valori măsurate $\overline{u}$	Valori măsurate $\frac{\overline{u}}{\overline{v}}$	După formula lui Prandtl $\frac{\overline{u}_P}{\overline{v}}$	După formula lui Prandtl $\Delta = \frac{\overline{u}_P - \overline{u}}{\overline{v}}$	După formula lui Prandtl $\frac{\Delta}{\overline{u}/\overline{v}} \cdot 100$	După formula lui Prandtl $\left(\frac{\Delta}{\overline{u}/\overline{v}} \cdot 100\right)^2$	După formula propusă în teză $\frac{\overline{u}_T}{\overline{v}}$	După formula propusă în teză $\Delta = \frac{\overline{u}_T - \overline{u}}{\overline{v}}$	După formula propusă în teză $\frac{\Delta}{\overline{u}/\overline{v}} \cdot 100$	După formula propusă în teză $\left(\frac{\Delta}{\overline{u}/\overline{v}} \cdot 100\right)^2$
0,10	0,419	0,771	0,725	-0,046	-5,97	35,60	0,747	-0,024	-3,12	9,70
0,20	0,487	0,895	0,871	-0,024	-2,68	7,20	0,889	-0,006	-0,67	0,45
0,40	0,553	1,018	1,017	-0,001	-0,98	0,97	1,032	+0,014	+1,37	1,89
0,60	0,586	1,080	1,104	+0,024	+2,22	4,92	1,102	+0,022	+2,04	4,15
0,80	0,601	1,105	1,165	+0,060	+5,43	29,50	1,147	+0,042	+3,79	14,40
1,00	0,643	1,180	1,212	+0,032	+2,71	7,32	1,169	-0,011	-0,93	0,87
				Σ	+0,73	85,51		Σ	+2,48	31,46

$\langle u\rangle = \langle v\rangle = 1$ m/s ; $c = 41\ m^{1/2}/s$; (ape mari 1970)

ξ	Valori măsurate $\overline{u}$	Valori măsurate $\frac{\overline{u}}{\overline{v}}$	După formula lui Prandtl $\frac{\overline{u}_P}{\overline{v}}$	După formula lui Prandtl $\Delta = \frac{\overline{u}_P - \overline{u}}{\overline{v}}$	După formula lui Prandtl $\frac{\Delta}{\overline{u}/\overline{v}} \cdot 100$	După formula lui Prandtl $\left(\frac{\Delta}{\overline{u}/\overline{v}} \cdot 100\right)^2$	După formula propusă în teză $\frac{\overline{u}_T}{\overline{v}}$	După formula propusă în teză $\Delta = \frac{\overline{u}_T - \overline{u}}{\overline{v}}$	După formula propusă în teză $\frac{\Delta}{\overline{u}/\overline{v}} \cdot 100$	După formula propusă în teză $\left(\frac{\Delta}{\overline{u}/\overline{v}} \cdot 100\right)^2$
0,10	1,045	0,826	0,752	-0,074	-8,96	80,30	0,772	-0,054	-6,54	42,70
0,20	1,274	0,994	0,883	-0,111	-11,18	124,20	0,900	-0,094	-9,45	89,20
0,40	1,379	1,073	1,015	-0,058	-5,41	29,20	1,029	-0,044	-4,10	16,80
0,60	1,402	1,092	1,094	+0,002	+0,18	0,03	1,092	0,000	0,00	0,00
0,80	1,409	1,099	1,149	+0,050	+4,56	20,70	1,133	+0,034	+3,09	9,60
1,00	1,472	1,151	1,191	+0,040	+3,47	12,10	1,153	+0,002	+0,17	0,03
				Σ	-17,34	266,53		Σ	-15,83	158,33

$\overline{u}_P$ = viteza calculată după relaţia Prandtl ; $\overline{u}_T$ = viteza calculată cu relaţia propusă în teză

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{\overline{u}_P-\overline{u}}{\overline{u}}\right) = -1,39\%$ respectiv $M\left(\frac{\overline{u}_T-\overline{u}}{\overline{u}}\right) = -1,11\%$. Abaterea medie patratică $\sigma\left(\frac{\overline{u}_P-\overline{u}}{\overline{u}}\right) = 5,6\%$ respectiv $\sigma\left(\frac{\overline{u}_T-\overline{u}}{\overline{u}}\right)$ 4,16%

MASURATORI DE VITEZE PE VERTICALA pe rîul Bega

$<\overline{u}> = <\overline{V}> = 1$ m/s ; $<h> = 1$ m

Tabela II-1-3-5

I) Inregistrări de pe rîul Bega-postul Balint-Ban.1.1.3(carnete de măsurători)pe anul 1966 (ploios)

1-ξ	V.I	V.II	V.IV	V.V	V.VII	V.X	V.XI	V.XII	V.XIII	V.XIV	$\Sigma\overline{u}$	$\frac{1}{n}\Sigma\overline{u}$
	Carnet Nr.3-16 februarie 1966 - morişcă tip I.S.C.H.(completat)-Q = 11,6 mc/s ; B = 31,00 m											
supr	0,502	0,991	1,220	0,520	0,907	0,679	0,865	1,123	0,409	0,593	7,809	0,781
0,2	0,441	0,986	1,205	0,520	0,904	0,657	0,790	1,120	0,395	0,590	7,608	0,761
0,4	0,400	0,989	1,145	0,520	0,868	0,577	0,720	1,045	0,385	0,578	7,167	0,717
0,6	0,382	0,920	1,060	0,468	0,858	0,565	0,665	0,985	0,375	0,568	6,846	0,685
0,8	0,260	0,805	1,028	0,438	0,803	0,502	0,603	0,900	0,237	0,473	6,109	0,611
fund	0,247	0,750	0,780	0,242	0,725	0,443	0,600	0,935	0,200	0,421	5,343	0,534
$\overline{V}_m$	0,372	0,905	1,058	0,450	0,858	0,563	0,658	0,975	0,370	0,562	6,781	0,678
h	0,40	0,58	0,72	0,65	0,86	0,55	0,50	0,40	0,27	0,32	5,25	0,525

II)

1-ξ	V.I	V.III	V.VII	V.IX	V.X	V.I	V.II	V.IV	V.IX	V.XI	$\Sigma\overline{u}$	$\frac{1}{n}\Sigma\overline{u}$
	Carnet Nr.6-15-IV-1966-morişcă tip ISCH					Carnet Nr.8-23.IV.1966 morişcă ISCH					Medierea valorilor	
supr	0,889	1,102	1,204	0,851	1,101	0,697	1,050	0,802	0,702	0,752	9,150	0,915
0,2	0,820	1,064	1,170	0,831	0,991	0,675	0,957	0,752	0,683	0,736	8,679	0,868
0,4	0,794	1,041	1,064	0,800	0,807	0,665	0,752	0,714	0,652	0,730	8,019	0,802
0,6	0,720	0,997	1,062	0,762	0,794	0,595	0,674	0,673	0,641	0,725	7,643	0,764
0,8	0,676	0,991	1,032	0,743	0,689	0,524	0,657	0,615	0,602	0,723	7,252	0,725
fund	0,505	0,800	0,888	0,604	0,638	0,482	0,502	0,500	0,544	0,582	6,045	0,605
$\overline{V}_m$	0,716	0,966	1,060	0,753	0,840	0,584	0,726	0,662	0,639	0,701	7,647	0,765
h	0,72	1,27	0,87	0,60	0,65	0,50	0,64	0,58	0,57	0,58	6,98	0,698

Tabela II-1-3-6

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTIȚIA VITEZELOR PE VERTICALA pe rîul Bega

I - $\langle\overline{u}\rangle = \langle\overline{v}\rangle = 1$ m/s ; $c = 30,4\ m^{1/2}/s$

ξ	Valori măsurate		După formula lui Prandtl				După formula propusă în teză			
	$\overline{u}$	$\frac{\overline{u}}{v}$	$\frac{\overline{u}_P}{v}$	$\Delta = \frac{\overline{u}_P - \overline{u}}{\overline{u}}$	$\frac{\Delta}{\frac{u}{v}} \cdot 100$	$\left(\frac{\Delta}{\frac{u}{v}} \cdot 100\right)^2$	$\frac{\overline{u}_T}{v}$	$\Delta = \frac{\overline{u}_T - \overline{u}}{\overline{u}}$	$\frac{\Delta}{\frac{u}{v}} \cdot 100$	$\left(\frac{\Delta}{\frac{u}{v}} \cdot 100\right)^2$
0,10	0,534	0,788	0,666	-0,122	-15,50	240,0	0,692	-0,096	-12,20	149,00
0,20	0,611	0,902	0,843	-0,059	-6,54	42,70	0,865	-0,037	-4,10	16,80
0,40	0,685	1,010	1,021	+0,010	+0,99	0,98	1,039	+0,029	+2,87	8,22
0,60	0,717	1,058	1,126	+0,068	+6,43	41,40	1,124	0,066	+6,25	39,00
0,80	0,761	1,121	1,201	+0,080	+7,14	51,00	1,179	0,058	+5,17	26,70
1,00	0,781	1,152	1,257	+0,105	+9,12	83,20	1,206	0,054	+4,68	21,90
				Σ	+1,64	459,28		Σ	+2,67	261,62

II - $\langle u\rangle = \langle v\rangle = 1$ m/s ; $c = 30,4\ m^{1/s}/s$

ξ	Valori măsurate		După formula lui Prandtl				După formula propusă în teză			
	$\overline{u}$	$\frac{\overline{u}}{v}$	$\frac{\overline{u}_P}{v}$	$\Delta = \frac{\overline{u}_P - \overline{u}}{\overline{u}}$	$\frac{\Delta}{\frac{u}{v}} \cdot 100$	$\left(\frac{\Delta}{\frac{u}{v}} \cdot 100\right)^2$	$\frac{\overline{u}_T}{v}$	$\Delta = \frac{\overline{u}_T - \overline{u}}{\overline{u}}$	$\frac{\Delta}{\frac{u}{v}} \cdot 100$	$\left(\frac{\Delta}{\frac{u}{v}} \cdot 100\right)^2$
0,10	0,605	0,791	0,666	-0,125	-15,80	250,00	0,692	-0,099	-12,50	156,50
0,20	0,725	0,948	0,843	-0,105	-11,10	123,00	0,865	-0,083	-8,75	76,60
0,40	0,764	1,000	1,021	+0,021	+2,10	4,40	1,039	+0,039	+3,90	15,20
0,60	0,802	1,049	1,126	+0,077	+7,35	54,00	1,124	+0,075	+7,17	51,30
0,80	0,868	1,135	1,201	+0,066	+5,82	33,80	1,179	+0,044	+3,88	15,00
1,00	0,915	1,196	1,257	+0,061	+5,10	26,00	1,206	0,010	+0,83	0,70
				Σ	-6,53	491,20		Σ	-5,47	315,30

$\overline{U}_P$ = viteza calculată cu relația Prandtl ; $\overline{U}_T$ = viteza calculată cu relația propusă în teză ;

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{\overline{U}_P - \overline{u}}{\overline{u}}\right) = -0,82\%$ respectiv $M\left(\frac{\overline{U}_T - \overline{U}}{\overline{u}}\right) = -0,47\%$

Abaterea medie patratică $\delta\left(\frac{\overline{U}_P - \overline{u}}{\overline{u}}\right) = 9,30\%$ respectiv $\delta\left(\frac{\overline{U}_T - \overline{U}}{\overline{u}}\right) = 7,24\%$

MASURATORI DE VITEZE PE VERTICALA la modelul sectorului de rîu Argeş

$<\bar{u}> = <\bar{v}> = 1$ m/s ; $<h> = 1$ cm

Tabela II-1-3-7

ξ	SECT 0-0 ; b = 170 cm ; h = 10,76 cm									
	V 2		V 5		V 6		V 7		V 8	
	Ys = 65 cm		Yd = 10 cm		Yd = 35 cm		Yd = 60 cm		Yd = 85 cm	
	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}$ max	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}$ max	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}$ max	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}$ max	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}$ max
0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51	0,380
0,05	-	-	-	-	-	-	0,58	0,415	-	-
0,08	0,69	0,522	0,70	0,511	0,69	0,490	-	-	-	-
0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,20	1,05	0,800	1,03	0,751	1,01	0,720	1,07	0,770	1,05	0,789
0,30	1,15	0,878	1,14	0,8[illegible]0	1,10	0,785	1,14	0,820	1,15	0,869
0,40	1,24	0,945	1,24	0,905	1,19	0,850	1,21	0,870	1,25	0,945
0,50	1,26	0,960	1,26	0,920	1,25	0,893	1,24	0,892	1,27	0,960
0,60	1,28	0,975	1,27	0,930	1,31	0,938	1,28	0,917	1,32	0,998
0,70	1,29	0,985	1,30	0,947	1,33	0,950	1,29	0,928	1,32	0,998
0,80	1,31	0,997	1,32	0,962	1,35	0,962	1,32	0,950	1,31	0,990
0,90	1,31	0,998	1,35	0,984	1,38	0,985	1,36	0,975	1,32	0,998
1,00	1,31	1,000	1,37	1,000	1,40	1,000	1,39	1,000	1,33	1,000
$\bar{v}_m$	1,18	0,892	1,19	0,868	1,19	0,850	1,15	0,826	1,18	0,890
h	10,50		10,40		10,40		10,40		10,70	
$\bar{u}_{max}$	1,312		1,370		1,40		1,391		1,326	

BUPT

continuare tabela II-1-3-7

ξ	SECT.P 1 ; b = 170 cm ; h = 9,65 cm											
	V 2		V 3		V 4		V 5		V 6		V 7	
	Ys = 65 cm		Ys = 40 cm		Ys = 15 cm		Yd = 10 cm		Yd = 35 cm		Yd = 60 cm	
	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$
0,04	–	–	0,49	0,330	–	–	0,54	0,380	–	–	–	–
0,06	–	–	–	–	0,61	0,414	–	–	–	–	0,63	0,441
0,08	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,10	0,76	0,545	–	–	–	–	–	–	0,77	0,530	–	–
0,20	1,07	0,775	1,00	0,678	1,03	0,700	0,98	0,685	1,08	0,750	1,05	0,740
0,30	1,15	0,830	1,18	0,800	1,20	0,812	1,18	0,825	1,16	0,800	1,21	0,850
0,40	1,22	0,880	1,27	0,861	1,27	0,861	1,27	0,888	1,24	0,858	1,27	0,892
0,50	1,27	0,918	1,33	0,901	1,32	0,902	1,31	0,915	1,28	0,880	1,31	0,921
0,60	1,33	0,960	1,39	0,940	1,36	0,921	1,34	0,938	1,31	0,906	1,35	0,950
0,70	1,30	0,940	1,42	0,961	1,39	0,938	1,38	0,960	1,34	0,920	1,36	0,962
0,80	1,33	0,962	1,45	0,982	1,41	0,953	1,41	0,985	1,36	0,932	1,38	0,970
0,90	1,36	0,980	1,46	0,989	1,44	0,978	1,42	0,995	1,40	0,970	1,40	0,985
1,00	1,3[illegible]	1,000	1,48	1,000	1,48	1,000	1,43	1,000	1,45	1,000	1,42	1,000
[illegible]	1,19	0,850	1,23	0,835	1,24	0,840	1,22	0,852	1,22	0,840	1,23	0,865
	9,30		9,60		9,90		10,10		9,80		9,60	
[illegible]	1,334		1,475		1,475		1,432		1,450		1,420	

cont. re tabela II-1-3-7

ξ	SECT.103 ; b = 232 cm ; h = 12,1 cm									
	V 2		V 3		V 4		V 5		V 6	
	Ys = 84 cm		Ys = 59 cm		Ys = 34 cm		Ys = 9 cm		Yd = 16 cm	
	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$
0,04	-	-	0,47	0,476	0,47	0,448	-	-	-	-
0,06	0,58	0,592	-	-	-	-	0,59	0,513	0,59	0,500
0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,20	0,70	0,715	0,70	0,715	0,66	0,636	0,71	0,618	0,79	0,676
0,30	0,74	0,758	0,73	0,748	0,71	0,682	0,86	0,747	0,82	0,700
0,40	0,78	0,798	0,79	0,808	0,79	0,760	0,94	0,816	0,88	0,751
0,50	0,82	0,838	0,87	0,888	0,87	0,838	1,02	0,886	0,98	0,838
0,60	0,88	0,900	0,89	0,908	0,91	0,874	1,04	0,902	1,03	0,880
0,70	0,93	0,949	0,96	0,980	0,94	0,904	1,06	0,921	1,09	0,930
0,80	0,96	0,980	0,96	0,980	0,98	0,942	1,09	0,949	1,12	0,956
0,90	0,97	0,990	0,97	0,989	1,02	0,981	1,12	0,989	1,15	0,980
1,00	0,98	1,000	0,98	1,000	1,04	1,000	1,15	1,000	1,17	1,000
V_m	0,81	0,825	0,80	0,815	0,79	0,759	0,90	0,732	0,84	0,718
h	12,2		12,1		12,0		12,3		12,1	
u_{max}	0,98		0,98		1,04		1,152		1,170	

continuare tabela II-1-3-7

ξ	V 7		V 8		Sumele		Val.medii experimentale	
	Yd = 41 cm		Yd = 66 cm					
	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$	$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{max}$
0,04	–	–	–	–	2,48	2,014	0,496	0,403
0,06	–	–	–	–	3,58	2,905	0,596	0,484
0,08	–	–	–	–	2,08	1,523	0,690	0,508
0,10	0,70	0,592	0,70	0,735	2,93	2,402	0,730	0,600
0,20	0,76	0,645	0,80	0,840	16,54	13,012	0,919	0,723
0,30	0,82	0,696	0,82	0,862	18,26	14,292	1,014	0,794
0,40	0,91	0,771	0,87	0,915	19,63	15,374	1,090	0,854
0,50	1,00	0,850	0,93	0,980	20,57	16,180	1,142	0,899
0,60	1,03	0,875	0,92	0,970	21,24	16,682	1,180	0,927
0,70	1,10	0,930	0,92	0,970	21,72	17,073	1,207	0,948
0,80	1,11	0,940	0,92	0,970	22,09	17,362	1,227	0,965
0,90	1,14	0,968	0,94	0,990	22,51	17,724	1,250	0,985
1,00	1,18	1,000	0,95	1,000	22,89	18,000	1,272	1,000
[illegible]	0,87	0,738	0,83	0,872	19,06	14,927	1,058	0,829
[illegible]	12,20		12,10		195,70		10,87	
$\bar{u}$[illegible]	1,13		0,95		22,887		1,271	

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTIȚIA VITEZELOR PE VERTICALA la modelul sectorului de rîu Argeș

$<\overline{U}> = <\overline{V}> = 1$ m/s ; $c = 30{,}6\ m^{1/2}/s$

Tabela II-1-3-8

ρ	Experimental		După formula lui Prandtl				După formula propusă în teză			
	$\overline{U}$	$\frac{\overline{U}}{v}$	$\frac{\overline{U}_p}{v}$	$\Delta = \frac{\overline{U}_p - \overline{U}}{\overline{U}}$	$\frac{\Delta}{\frac{u}{v}} 100$	$\left(\frac{\Delta}{\frac{u}{v}} 100\right)^2$	$\frac{\overline{U}_T}{v}$	$\Delta = \frac{\overline{U}_T - \overline{U}}{\overline{U}}$	$\frac{\Delta}{\frac{u}{v}} 100$	$\left(\frac{\Delta}{\frac{u}{v}} 100\right)^2$
0,04	0,496	0,469	0,432	-0,037	-7,89	62,20	0,464	-0,005	-1,07	1,14
0,06	0,596	0,564	0,537	-0,027	-4,80	22,90	0,566	+0,002	+0,35	0,13
0,08	0,690	0,651	0,609	-0,042	-6,45	41,60	0,640	-0,011	-1,69	2,86
0,10	0,730	0,690	0,658	-0,022	-3,19	10,20	0,694	+0,004	+0,58	0,33
0,20	0,919	0,869	0,8[illegible]	-0,025	-2,88	8,30	0,866	-0,003	-0,35	0,12
0,30	1,014	0,961	0,949	-0,012	-1,25	1,56	0,965	+0,004	+0,42	0,17
0,40	1,090	1,030	1,021	-0,009	-0,87	0,76	1,039	+0,009	+0,87	0,76
0,50	1,142	1,080	1,095	+0,015	+1,39	1,94	1,083	+0,003	+0,28	0,77
0,60	1,180	1,114	1,125	+0,011	+0,99	0,98	1,123	+0,009	+0,81	0,65
0,70	1,207	1,140	1,164	+0,024	+2,11	4,44	1,154	+0,014	+1,23	1,51
0,80	1,227	1,160	1,199	+0,039	+3,36	11,30	1,174	+0,014	+1,21	1,46
0,90	1,250	1,181	1,228	+0,047	+3,98	15,80	1,196	+0,015	+1,27	1,62
1,00	1,272	1,202	1,256	+0,054	+4,49	20,15	1,205	+0,003	+0,25	0,06
				Σ	+11,01	202,13		Σ	+4,16	11,58

$\overline{U}_p$ = viteza calculată cu relația Prandtl ; $\overline{U}_T$ = viteza calculată cu relația propusă în teză ;

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{\overline{U}_p - \overline{U}}{\overline{U}}\right) = +0{,}85\%$ respectiv $M\left(\frac{\overline{U}_T - \overline{U}}{\overline{U}}\right) = +0{,}32\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\overline{U}_p - \overline{U}}{\overline{U}}\right) = 4{,}14\%$ respectiv $\sigma\left(\frac{\overline{U}_T - \overline{U}}{\overline{U}}\right) = 0{,}98\%$

MASURATORI DE VITEZE PE VERTICALA pe un rîu din U.R.S.S.

$<\bar{U}> = <\bar{V}> = 1$ m/s ; $<h> = 1$ m

Tabela II-1-3-9

	Valorile vitezelor în verticalele :						Valori mediate	
$1-\xi$	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	V 6	$\Sigma \bar{u}$	$1/6 \Sigma \bar{u}$
supr.	0,444	0,934	0,844	0,803	0,642	0,558	4,225	0,704
0,2	0,420	0,881	0,813	0,724	0,606	0,528	3,972	0,662
0,6	0,382	0,754	0,713	0,621	0,542	0,463	3,475	0,579
0,8	0,363	0,658	0,647	0,552	0,461	0,411	3,092	0,515
fund	0,291	0,559	0,553	0,479	0,404	0,337	2,623	0,437
$\bar{V}_m$	0,387	0,750	0,727	0,610	0,541	0,469	3,484	0,580
h	1,70	2,40	2,05	1,70	1,42	1,61	10,88	1,81

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTITIA VITEZELOR PE VERTICALA la un rîu din U.R.S.S.

$<\bar{U}> = <\bar{V}> = 1$ m/s ; $c = 40$ $m^{1/2}/s$

Tabela II-1-3-10

ξ	Valori măsurate		După formula lui Prandtl				După formula propusă în teză			
	$\bar{u}$	$\frac{\bar{u}}{v}$	$\frac{\bar{U}_P}{v}$	$\Delta = \frac{\bar{U}_P - \bar{U}}{v}$	$\frac{\Delta}{\frac{\bar{u}}{v}} 100$	$\left(\frac{\Delta}{\frac{\bar{u}}{v}} 100\right)^2$	$\frac{\bar{U}_T}{v}$	$\Delta = \frac{\bar{U}_T - \bar{U}}{v}$	$\frac{\Delta}{\frac{\bar{u}}{v}} 100$	$\left(\frac{\Delta}{\frac{\bar{u}}{v}} 100\right)^2$
0,10	0,437	0,754	0,745	-0,009	-1,19	1,42	0,766	+0,012	+1,59	2,54
0,20	0,515	0,888	0,881	-0,007	-0,79	0,62	0,897	+0,009	+1,01	1,03
0,40	0,579	1,000	1,016	+0,016	+1,60	2,56	1,030	+0,030	+3,00	9,00
0,80	0,662	1,141	1,053	-0,088	-7,72	59,60	1,136	-0,005	-0,44	0,19
1,00	0,704	1,211	1,196	-0,015	-1,24	1,54	1,157	-0,054	-4,46	19,90
				Σ	-9,34	65,74		Σ	+0,70	32,66

$\bar{U}_P$ = viteza calculată cu relația Prandtl ; $\bar{U}_T$ = viteza calculată cu relația propusă în teză ;

Val.med.a abaterii $M\left(\frac{\bar{U}_P - \bar{U}}{\bar{U}}\right) = -1,89\%$ respectiv $M\left(\frac{\bar{U}_T - \bar{U}}{\bar{U}}\right) = +0,14\%$ Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\bar{U}_P - \bar{U}}{\bar{U}}\right) = 4,05\%$ respectiv $\sigma\left(\frac{\bar{U}_T - \bar{U}}{\bar{U}}\right) = 2,86\%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND VITEZA MAXIMA pe rîul Timiş

$<\bar{U}_{max}> = <\bar{V}> = 1$ m/s   Tabela II-1-3-11

Verticala	Carnet măs. Nr.	Din măsurători $\bar{U}_{max}$	$\bar{v}$	$\frac{\bar{U}_{max}}{\bar{v}}$	Calculat $\frac{\bar{U}_{maxT}}{\bar{v}}$	$\Delta = \frac{\bar{U}_{maxT}-\bar{U}_{max}}{\bar{v}}$	$\frac{\Delta}{\frac{\bar{U}_{max}}{\bar{v}}}100$	$\left(\frac{\Delta}{\frac{\bar{U}_{max}}{\bar{v}}}100\right)^2$
				1960				
III	5	0,806	0,650	1,240	1,169	-0,071	+5,72	32,70
	6	0,558	0,469	1,190	1,169	-0,021	-1,76	3,11
	7	0,522	0,416	1,254	1,169	-0,085	-6,78	46,00
	8	0,627	0,529	1,185	1,169	-0,016	-1,35	1,83
	10	0,603	0,515	1,170	1,169	-0,001	-0,08	0,01
	11	0,962	0,820	1,171	1,169	-0,002	-0,17	0,03
	12	0,457	0,403	1,135	1,169	+0,034	+2,99	8,99
	13	0,605	0,549	1,103	1,169	+0,066	+5,97	35,75
	15	0,795	0,652	1,220	1,169	-0,051	-4,18	17,50
	16	0,492	0,440	1,120	1,169	+0,049	+4,37	19,20
						$\sum$	-6,71	165,12

Verticala	Carnet măs. Nr.	Din măsurători $\bar{U}_{max}$	$\bar{v}$	$\frac{\bar{U}_{max}}{\bar{v}}$	Calculat $\frac{\bar{U}_{maxT}}{\bar{v}}$	$\Delta = \frac{\bar{U}_{maxT}-\bar{U}_{max}}{\bar{v}}$	$\frac{\Delta}{\frac{\bar{U}_{max}}{\bar{v}}}100$	$\left(\frac{\Delta}{\frac{\bar{U}_{max}}{\bar{v}}}100\right)^2$
				1970				
III	1	0,988	0,913	1,081	1,153	+0,072	+6,65	44,30
	4	1,279	1,041	1,257	1,153	-0,104	-8,28	68,40
	5	1,003	0,923	1,089	1,153	+0,064	+5,87	34,60
	6	1,670	1,232	1,353	1,153	-0,200	-14,75	218,00
	10	1,328	1,118	1,188	1,153	-0,035	-2,94	8,68
	12	1,499	1,390	1,076	1,153	+0,077	+7,16	51,20
	14	1,914	1,605	1,192	1,153	+0,039	-3,27	10,70
	16	2,119	1,830	1,154	1,153	+0,001	+0,09	0,01
	18	1,414	1,285	1,101	1,153	+0,052	+4,72	22,30
	24	1,504	1,480	1,016	1,153	+0,137	+13,45	181,00
						$\sum$	+8,52	639,19

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{\bar{U}_{maxT}-\bar{U}_{max}}{\bar{U}_{max}}\right) = +0,09\,\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\bar{U}_{maxT}-\bar{U}_{max}}{\bar{U}_{max}}\right) = 6,50\,\%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND VITEZA MAXIMA pe rîul Bega

$\langle \bar{U}_{max} \rangle = \langle \bar{V} \rangle = 1$ m/s

Tabela II-1-3-12

Carnet măs. Nr.	Verticala V	Din măsurători (I) $\bar{U}_{max}$	$\bar{v}$	$\frac{\bar{U}_{max}}{\bar{v}}$	Calculat $\frac{\bar{U}_{maxT}}{\bar{v}}$	$\Delta = \frac{\bar{U}_{maxT} - \bar{U}_{max}}{\bar{v}}$	$\frac{\Delta}{\bar{U}_{max}/\bar{v}} 100$	$\left(\frac{\Delta}{\bar{U}_{max}/\bar{v}} 100\right)^2$
3	I	0,502	0,372	1,350	1,206	-0,144	-10,65	113,00
	II	0,991	0,905	1,095	1,206	+0,111	+10,10	102,50
	IV	1,220	1,058	1,153	1,206	+0,053	+4,59	21,20
	V	0,520	0,460	1,130	1,206	+0,076	+6,72	45,30
	VII	0,907	0,858	1,058	1,206	+0,148	+13,97	195,00
	X	0,679	0,563	1,205	1,206	+0,001	+0,08	0,01
	XI	0,865	0,658	1,313	1,206	-0,107	-8,15	66,30
	XII	1,123	0,975	1,152	1,206	+0,054	+4,68	21,80
	XIII	0,409	0,370	1,105	1,206	+0,101	+9,15	83,60
	XIV	0,593	0,562	1,055	1,206	+0,151	+14,30	204,00
						Σ	+44,79	852,71

Carnet măs. Nr.	Verticala V	Din măsurători (II) $\bar{U}_{max}$	$\bar{v}$	$\frac{\bar{U}_{max}}{\bar{v}}$	Calculat $\frac{\bar{U}_{maxT}}{\bar{v}}$	$\Delta = \frac{\bar{U}_{maxT} - \bar{U}_{max}}{\bar{v}}$	$\frac{\Delta}{\bar{U}_{max}/\bar{v}} 100$	$\left(\frac{\Delta}{\bar{U}_{max}/\bar{v}} 100\right)^2$
6	I	0,889	0,716	1,241	1,206	-0,035	-2,82	7,95
	III	1,102	0,966	1,140	1,206	+0,066	+5,78	33,50
	VII	1,204	1,060	1,135	1,206	+0,071	+6,25	39,10
	IX	0,851	0,753	1,130	1,206	+0,076	+6,72	45,20
	X	1,101	0,840	1,311	1,206	-0,105	-8,01	64,10
8	I	0,697	0,584	1,192	1,206	+0,014	+1,17	1,38
	II	1,050	0,726	1,442	1,206	-0,236	-16,38	268,00
	IV	0,802	0,662	1,212	1,206	-0,006	-0,49	0,25
	IX	0,702	0,639	1,100	1,206	+0,106	+9,64	92,80
	XI	0,752	0,701	1,074	1,206	+0,132	+12,27	151,00
						Σ	+14,13	703,28

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{\bar{U}_{maxT} - \bar{U}_{max}}{\bar{U}_{max}}\right) = 2,94\,\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\bar{U}_{maxT} - \bar{U}_{max}}{\bar{U}_{max}}\right) = 9,05\,\%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND VITEZA MAXIMA pe modelul sectorului de rîu Argeş

$<\overline{u}_{max}> = <\overline{v}> = 1$ m/s

Tabela II-1-3-13

Secţ	Verticala V	Valori experiment. $\overline{U}_{max}$	$\overline{v}$	$\frac{\overline{U}_{max}}{\overline{v}}$	Calculat $\frac{\overline{U}_{maxT}}{\overline{v}}$	$\Delta = \frac{\overline{U}_{maxT}-\overline{U}_{max}}{\overline{v}}$	$\frac{\Delta}{\frac{\overline{U}_{max}}{\overline{v}}}100$	$\left(\frac{\Delta}{\frac{\overline{U}_{max}}{\overline{v}}}100\right)^2$
0-0	2	1,31	1,18	1,110	1,205	+0,095	+8,55	73,20
	5	1,37	1,19	1,151	1,205	+0,054	+4,88	23,80
	6	1,40	1,19	1,176	1,205	+0,029	+2,46	6,08
	7	1,39	1,15	1,208	1,205	-0,003	-0,25	0,06
	8	1,33	1,18	1,128	1,205	+0,077	+6,83	46,60
P.1.	2	1,38	1,19	1,160	1,205	+0,045	+3,88	15,10
	3	1,48	1,23	1,202	1,205	+0,003	+0,25	0,06
	4	1,48	1,24	1,192	1,205	+0,013	+1,09	1,19
	5	1,43	1,22	1,171	1,205	+0,034	+2,90	8,41
	6	1,45	1,22	1,189	1,205	+0,016	+1,35	1,82
	7	1,42	1,23	1,153	1,205	+0,052	+4,51	20,30
108	2	0,98	0,81	1,209	1,205	-0,004	-0,33	0,11
	3	0,98	0,80	1,223	1,205	-0,018	-1,47	2,17
	4	1,04	0,79	1,317	1,205	-0,112	-8,50	72,20
	5	1,15	0,90	1,278	1,205	-0,073	-5,72	32,70
	6	1,17	0,84	1,392	1,205	-0,187	-13,41	180,00
	7	1,18	0,87	1,357	1,205	-0,152	-11,20	125,00
	8	0,95	0,83	1,144	1,205	+0,061	+5,33	28,30
						Σ	+1,15	637,15

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{\overline{U}_{maxT}-\overline{U}_{max}}{\overline{U}_{max}}\right) = 0,07\,\%$

Abaterea medie pătratică $6\left(\frac{\overline{U}_{maxT}-\overline{U}_{max}}{\overline{U}_{max}}\right) = 6,12\,\%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND VITEZA MAXIMA la un rîu din URSS

$<u_{max}> = <V> = 1$ m/s

Tabela II-1-3-14

Verticala	Din măsurători $\overline{U}_{max}$	$\overline{v}$	$\frac{\overline{U}_{max}}{\overline{v}}$	Calculat $\frac{\overline{U}_{maxT}}{\overline{v}}$	$\Delta = \frac{\overline{U}_{maxT}-\overline{U}_{max}}{\overline{v}}$	$\frac{\Delta}{\frac{\overline{U}_{max}}{\overline{v}}}100$	$\left(\frac{\Delta}{\frac{\overline{U}_{max}}{\overline{v}}}100\right)^2$
V 1	0,444	0,387	1,141	1,157	+0,016	+1,40	1,96
V 2	0,934	0,750	1,242	1,157	-0,085	-6,84	46,80
V 3	0,844	0,727	1,160	1,157	-0,003	-0,26	0,07
V 4	0,803	0,610	1,318	1,157	-0,161	-12,21	149,00
V 5	0,642	0,541	1,184	1,157	-0,027	-2,28	5,20
V 6	0,558	0,469	1,190	1,157	-0,033	-2,77	7,70
					Σ	-22,96	210,73

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{\overline{U}_{maxT}-\overline{U}_{max}}{\overline{U}_{max}}\right) = -3,83\,\%$

Abaterea medie pătratică $6\left(\frac{\overline{U}_{maxT}-\overline{U}_{max}}{\overline{U}_{max}}\right) = 6,50\,\%$

TABEL PRIVIND LEGEA UNIVERSALA A DEFICITULUI DE VITEZA

$<\overline{u}> = <\overline{u}_{max}> = <\overline{V}> = <\overline{V_*}> = 1$ m/s ; $<h> = 1$ m ; $<\nu> = 1$ m^2/s Tabela II-1-3-15

ξ	Curs de rîu natural Timiş				Curs de rîu regul.Bega				Sector de rîu modelat (Argeş)		Rîu din URSS	
	1960		1970		1966 (ape mici)		1966 (ape mari)					
	$\overline{u}$	$\frac{\overline{u}_{max}-\overline{u}}{v_*}$	$\overline{u}$	$\frac{\overline{u}_{max}-\overline{u}}{v_*}$	$\overline{u}$	$\frac{\overline{u}_{max}-\overline{u}}{v_*}$	$\overline{u}$	$\frac{\overline{u}_{max}-\overline{u}}{v_*}$	$\overline{u}$	$\frac{\overline{u}_{max}-\overline{u}}{v_*}$	$\overline{u}$	$\frac{\overline{u}_{max}-\overline{u}}{v_*}$
0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	0,496	7,17	-	-
0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	0,596	6,21	-	-
0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	0,690	5,38	-	-
0,10	0,419	4,87	1,045	4,36	0,534	3,54	0,605	3,93	0,730	5,01	0,437	5,87
0,20	0,487	3,39	1,274	2,02	0,611	2,43	0,725	2,41	0,919	3,26	0,515	4,16
0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	1,014	2,39	-	-
0,40	0,553	1,96	1,379	0,95	0,685	1,37	0,764	1,91	1,090	1,68	0,579	2,75
0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	1,142	1,20	-	-
0,60	0,586	1,24	1,402	0,71	0,717	0,92	0,802	1,43	1,180	0,85	-	-
0,70	-	-	-	-	-	-	-	-	1,207	0,60	-	-
0,80	0,601	0,91	1,409	0,64	0,761	0,29	0,868	0,59	1,227	0,42	0,662	0,92
0,90	-	-	-	-	-	-	-	-	1,250	0,20	-	-
1,00	0,643	0,00	1,472	0,00	0,781	0,00	0,915	0,00	1,272	0,00	0,704	0,00
$\overline{u}_{max}$	0,643		1,472		0,781		0,915		1,272		0,704	
$\overline{V}$	0,544		1,282		0,678		0,765		1,058		0,58	
V_*	0,046		0,098		0,0693		0,079		0,1082		0,0454	
$V_* h/\nu$	96.000		452.000		28.000		42.000		8.930		62.800	

§ 2. Repartiţia vitezei pe lăţime

In vederea rezolvării problemei principale,referitoare la cinematica curentului pe sectoarele în curbă ale cursurilor de apă,este necesar în prealabil să se stabilească modul în care vitezele medii pe verticală,notate V , variază pe lăţimea B a albiei,în sectoarele rectilinii ale aceloraşi cursuri.

Intr-adevăr,după cum va rezulta din paragrafele următoare,pentru precizarea prin calcul a cinematicii curentului pe sectoarele în curbă,se va indica un procedeu interativ,care permite rezolvarea problemei din aproape în aproape,de la secţiune la secţiune (în sensul de curgere).Este evident că prezintă o mare importanţă cunoaşterea cît mai corectă a distribuţiei vitezei în secţiunea de unde se începe calculul.

In cadrul tezei se au în vedere sectoarele curbe care urmează unor sectoare rectilinii suficient de lungi,astfel încît se consideră că în secţiunea de la care se începe calculul repartiţia vitezei este aceea corespunzătoare unui sector rectiliniu.Dacă în paragraful anterior s-a studiat repartiţia vitezelor punctuale în direcţie verticală,în cadrul acestui paragraf se studiază repartiţia vitezei medii pe verticală în direcţie orizontală,pe lăţimea albiei.

In mod uzual,în cazul albiilor largi,în primul rînd se defineşte lăţimea secţiunii vii ca fiind lăţimea albiei la oglinda apei şi se notează cu B .Se defineşte apoi o înălţime medie,echivalentă notată h_e , denumită în /V-2,p.23/ şi "înălţimea hidraulică" rezultată prin împărţirea secţiunii vii a curentului la lăţimea B a secţiunii la oglinda apei.Cu alte cuvinte,într-o primă aproximaţie se echivalează secţiunea transversală reală cu o secţiune dreptunghiulară.Se va adopta şi în teză,în primă aproximaţie acest model de schematizare,deoarece în acest fel se poate stabili pe o bază unitară,logică,atît distribuţia vitezei după direcţia verticală cît şi distribuţia vitezei după direcţia orizontală.

Apar în mod natural următoarele etape obligatorii în stabilirea unei relaţii pentru distribuţia vitezelor după orizontală :

a.- stabilirea pe baze raţionale a unei legi de repartiţie pe orizontală pentru secţiunea dreptunghiulară echivalentă;

b.- adaptarea acestei relaţii pentru secţiunile neregulate,reale ale albiilor ;

c.- verificarea în practică a relației propuse.

a.- **Formula propusă pentru repartiția vitezei pe lățimea albiei**

In stabilirea unei legi de repartiție pe orizontală se pleacă tot de la lucrarea /A-2/ în care s-a tratat repartiția vitezei pentru un curent plan între două plane paralele situate la distanță finită. Se menționează că aceeași lucrare a stat și la baza determinării repartiției vitezei după direcția orizontală. Spre deosebire însă de cazul anterior, acum cei doi pereți care delimitează curentul au poziția verticală, distanța între ei fiind egală cu lățimea B a albiei. Preluînd rezultatele prezentate detaliat la paragraful anterior, rezultă imediat următoarea relație care dă distribuția vitezei în direcția orizontală :

$$\frac{U_{max}-U}{v_*}=-\frac{1}{\varkappa}\left[\ln\frac{1-\sqrt{\frac{3(1-\eta)}{3-2\eta}}}{1+\sqrt{\frac{3(1-\eta)}{3-2\eta}}}-\sqrt{\frac{3}{2}}\ln\frac{\sqrt{\frac{3}{2}}-\sqrt{\frac{3(1-\eta)}{3-2\eta}}}{\sqrt{\frac{3}{2}}+\sqrt{\frac{3(1-\eta)}{3-2\eta}}}\right]=f(\eta) \qquad \text{(II-2-1')}$$

Apare ca avantajos faptul că funcția $f(\eta)$ este identică cu funcția $f(\xi)$ utilizată pentru distribuția vitezei pe verticală, iar valorile respectivei funcții au fost calculate din sutime în sutime în intervalul de variație $\eta \in (0,1)$. Pentru prezentarea rezumativă a valorilor funcției $f(\eta)$ este valabil tabelul II-1-3-1.

In figura II-2-1 este prezentată schematizarea adoptată pentru secțiunea transversală și cu precizarea variabilei adimensionale $\eta = 1-\frac{2|y|}{B}$

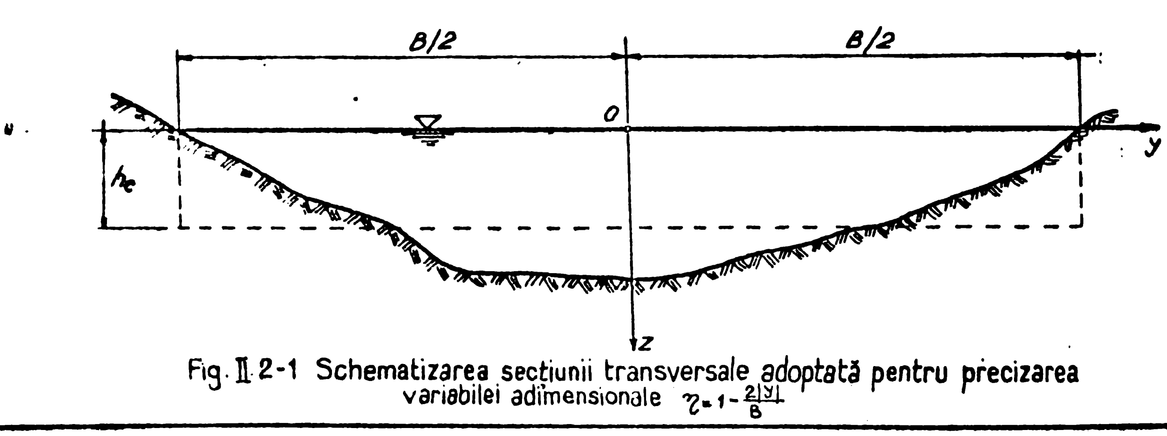


Fig. II 2-1 Schematizarea secțiunii transversale adoptată pentru precizarea variabilei adimensionale $\eta = 1-\frac{2|y|}{B}$

(II-2-2)

Integrînd relația de mai sus pe adîncimea h_e, după simplificarea cu h_e ea devine :

$$\frac{\overline{v}_{max}-\overline{v}}{v_*}=-\frac{1}{\varkappa}\left[\ln\frac{1-\sqrt{\frac{3(1-\eta)}{3-2\eta}}}{1+\sqrt{\frac{3(1-\eta)}{3-2\eta}}}-\sqrt{\frac{3}{2}}\ln\frac{\sqrt{\frac{3}{2}}-\sqrt{\frac{3(1-\eta)}{3-2\eta}}}{\sqrt{\frac{3}{2}}+\sqrt{\frac{3(1-\eta)}{3-2\eta}}}\right]=f(\eta) \quad \text{(II-2-1)}$$

în care :

$\overline{V}_{max}$ este viteza corespunzătoare verticalei axiale şi

$\overline{V}$ - viteza corespunzătoare unei verticale curente.

Prin integrare pe lăţimea B ,după efectuarea operaţiilor elementare se obţine relaţia între viteza verticalei axiale notată cu $\overline{V}_{max}$ şi viteza medie a curentului v = Q/S şi anume :

$$\overline{v}_{max}=\left(1+2\frac{\sqrt{g}}{C}\right)v \quad \text{(II-2-3)}$$

Cu ajutorul acestei relaţii legea de distribuţie a vitezelor medii verticale,după orizontală,poate fi pusă şi sub forma convenabilă :

$$\frac{\overline{v}}{v}=1+\frac{\sqrt{g}}{C}\left[2-f(\eta)\right] \quad \text{(II-2-4)}$$

Din combinarea repartiţiei pe orizontală cu repartiţia pe verticală rezultă că într-un punct oarecare al secţiunii dreptunghiulare viteza este dată de relaţia :

$$\frac{\overline{u}(\xi,\eta)}{v}=\left[1+2\frac{\sqrt{g}}{C}-\frac{\sqrt{g}}{C}f(\xi)\right]\left[1+2\frac{\sqrt{g}}{C}-\frac{\sqrt{g}}{C}f(\eta)\right] \quad \text{(II-2-5)}$$

De asemenea mai rezultă că la oglinda apei repartiţia vitezei se face după relaţia :

$$\frac{\overline{u}(1,\eta)}{v}=\left(1+2\frac{\sqrt{g}}{C}\right)\left[1+2\frac{\sqrt{g}}{C}-\frac{\sqrt{g}}{C}f(\eta)\right] \quad \text{(II-2-6)}$$

In fine,rezultă că viteza cea mai mare din secţiunea se obţine la suprafaţă în axul secţiunii (y = 0 , z = 0) şi are expresia :

$$\frac{\overline{u}(1,1)}{v}=\left(1+2\frac{\sqrt{g}}{C}\right)^2 \quad \text{(II-2-7)}$$

In tabela Nr.II-2-1 este dată o comparaţie între distribuţia teoretică a vitezei medii verticale pe lăţimea unui canal de secţiune dreptunghiulară cu măsurătorile publicate în lucrarea /G-2,p.156/.Prin prelucrarea acestor date s-au calculat următorii indicatori statistici :

- valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{v_T-v}{v}\right)=-0{,}88\%$
- abaterea medie pătratică $\zeta\left(\frac{v_T-v}{v}\right)=3{,}10\%$

După cum se observă acești indicatori arată o foarte bună apropiere a rezultatelor teoretice obţinute folosind distribuţia propusă în teză cu rezultatele experimentale.

In continuare nu se va insista pe verificarea experimentală a acestei relaţii stabilită pentru secţiunea schematizată (dreptunghiulară) pentru motivul că se urmărește adaptarea şi aplicarea ei pentru cazul albiilor largi care au de obicei o secţiune neregulată,destul de diferită de cea dreptunghiulară.

b.- Adaptarea formulei pentru secţiuni neregulate

In continuare se pune problema modului în care se pot extinde relaţiile anterioare în cazul albiilor naturale. In acest scop s-a adoptat următorul mod de lucru : se stabileşte secţiunea dreptunghiulară echivalentă cu cea reală avînd lăţimea B (egală cu lăţimea la oglinda apei) şi înălţimea h_e (egală cu raportul dintre secţiunea vie şi lăţime).

Viteza în secţiunea dreptunghiulară echivalentă,numită în cele ce urmează viteză echivalentă va fi dată de relaţia stabilită anterior :

$$\overline{U}_e(\eta,\xi) = \left[1+2\frac{\sqrt{g}}{C}-\frac{\sqrt{g}}{C}f(\eta)\right]\left[1+2\frac{\sqrt{g}}{C}-\frac{\sqrt{g}}{C}f(\xi)\right]v \qquad (II-2-8)$$

Prin mediere pe verticală :

$$\overline{v}_e(\eta) = \left[1+2\frac{\sqrt{g}}{C}-\frac{\sqrt{g}}{C}f(\eta)\right]v \qquad (II-2-9)$$

Admiţînd,în concordanţă cu relaţia lui Chezy,că viteza medie pe verticală este proporţională cu $\sqrt{R}=\sqrt{h}$ se poate scrie :

$$\frac{\overline{v}}{\sqrt{h}} = \frac{\overline{v}_e}{\sqrt{h_e}} \Longrightarrow \overline{v}_e = \overline{v}\,\frac{\sqrt{h_e}}{\sqrt{h}} \qquad (II-2-10)$$

în care $\overline{v}$ este viteza medie reală pe verticala respectivă de adîncime h.

După o primă cercetare a concordanţei între rezultatele teoretice şi măsurători s-a ajuns la concluzia că în ultima relaţie nu trebuie considerată doar verticala respectivă,ci au influenţă şi adîncimile în porţiunile învecinate,de aceea relaţia a fost transformată în :

$$\overline{v}_e = \overline{v}\sqrt{\frac{h_e}{h_m}} \qquad (II-2-11)$$

în care h_m este adîncimea medie a verticalei considerate. Practic,în secţiunea transversală de lăţime B au fost considerate verticale la distanţă suficient de mică (1 - 2 m).Pentru determinarea adîncimii h_{i_m} , a unei verticale notată cu indicele "i", s-a făcut media aritmetică dintre adîncimea h_i a verticalei considerate şi adîncimile h_{i-1} şi h_{i+1} a celor două verticale vecine :

$$h_{im} = \frac{h_{i-1}+h_i+h_{i+1}}{3} \qquad (II-2-12)$$

Schema de calcul respectivă este prezentată în figura II-2-2.

Cu aceste adaptări,relaţia propusă a exprima distribuţia vitezelor medii verticale pe lăţimea B a albiei capătă forma finală : $\dfrac{\overline{v}}{v}=\left[1+2\dfrac{\sqrt{g}}{C}-\dfrac{\sqrt{g}}{C}f(\eta)\right]\sqrt{\dfrac{h_m}{h_e}}$

(II-2-13)

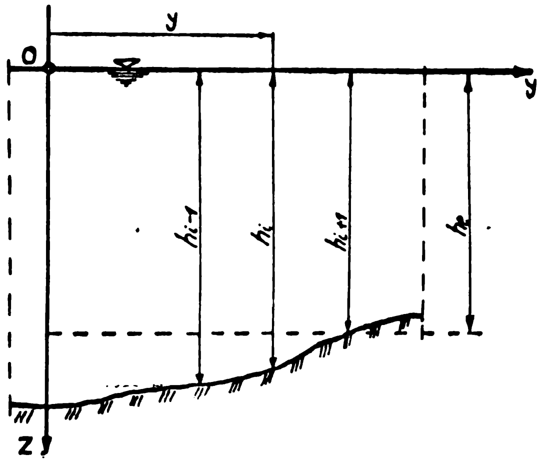


Fig.II.2-2 Schema pentru calculul adîncimii medii într-o verticală h_i

c.- Verificarea relaţiei propuse pentru repartiţia pe orizontală a vitezei

Pentru verificarea relaţiei propuse s-au utilizat următoarele materiale cuprinzînd rezultate experimentale :

- măsurători de viteze medii pe verticală la rîul Timiş postul hidrometric Sadova-Veche pentru an caracteristic secetos (1961) şi pentru an caracteristic ploios (1966) în Banat ;
- măsurători de viteze medii pe verticală la rîul Bega postul hidrometric Balinţ de asemenea pentru an caracteristic secetos (1967) şi pentru an caracteristic ploios (1966) în Banat;
- rezultate experimentale proprii pe modelul hidraulic al unui sector al rîului Argeş din zona centralei hidroelectrice
- rezultate experimentale publicate în lucrarea /B-4,p. 17/ ;
- rezultate experimentale cuprinse în lucrarea /P-5,fig. 3-3 şi 4-7/.

In tabelele Nr.II.2-2 pînă la Nr.II.2-5 au fost înscrise datele referitoare la măsurătorile de pe rîul Timiş,postul hidrometric Sadova-Veche care are secţiunea vie liberă (neperturbată de existenţa altor lucrări)ceea ce a determinat alegerea acestui post.Măsurătorile de viteze s-au făcut pe verticale situate la distanţă de 2 m una de alta.S-au obţinut următorii indicatori statistici medii :

- valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{v_r - v}{v}\right) = -0.02\%$
- abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{v_r - v}{v}\right) = 5.55\%$

Reprezentarea comparativă a repartiției vitezei medii din verticală pe lățimea albiei este dată în figurile II.2-4; II.2-5; II.2-6; II.2-7 din care se observă ca și din indicatorii statistici că legea de variație propusă este destul de bună, iar corecția adoptată $\sqrt{\frac{h_m}{h_e}}$ conduce la diferențe mici între calcul și măsurători.

Tabelele Nr. II.2-6 pînă la Nr. II.2-9 cuprind date ale măsurătorilor efectuate pe rîul Bega postul hidrometric Balinț. Măsurătorile de viteze s-au făcut de asemenea pe verticale situate la distanța de 2 m una de alta în secțiune de scurgere liberă. Au rezultat următorii indicatori statistici medii :

- valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{v_r - v}{v}\right) = -0.53\%$
- abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{v_r - v}{v}\right) = 3.39\%$

Reprezentările comparative ale repartiției vitezelor medii din verticale pe lățimea albiei sînt date în figurile II.2-8, II.2-9, II.2-10 și II.2-11 construite pentru rîul Bega după aceeași manieră ca pentru rîul Timiș. Si din aceste reprezentări se poate deduce concluzia că formula propusă în teză este bună.

Tabelele Nr. II.2-10 pînă la Nr. II.2-13 conțin date de măsurători proprii efectuate pe sectoarele rectilinii ale modelului unui sector al rîului Argeș, model realizat în cadrul laboratorului Catedrei de construcții hidrotehnice și îmbunătățiri funciare a Institutului politehnic "Traian Vuia" Timișoara. Măsurătorile de viteze s-au făcut pe verticale situate la distanța de 0,25 m una de alta. Valorile medii ale indicatorilor statistici obținuți sînt următoarele :

- valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{v_r - v}{v}\right) = +0.37\%$
- abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{v_r - v}{v}\right) = 7.06\%$

Reprezentările comparative ale repartiției vitezelor medii din verticale pe lățimea modelului sînt redate în figurile II.2-12, II.2-13, II.2-14 și II.2-15 și se observă că în cazul acesta (model cu fund plat) corecția adoptată nu are influență mare decît la taluze.

In tabela Nr. II-2-14 sînt prezentate și prelucrate datele referitoare la un rîu din URSS, verticalele de măsurători fiind luate din 5 în 5 m. S-au găsit următoarele valori ale indicatorilor statistici :

- valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\overline{v}_r - \overline{v}}{\overline{v}}\right) = +0{,}26\,\%$
- abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\overline{v}_r - \overline{v}}{\overline{v}}\right) = 3{,}63\,\%$

Reprezentarea respectivă este dată în figura II.2-16 din care se observă foarte bine eficienţa pentru cursurile naturale a corecţiei $\sqrt{\frac{h_m}{h_e}}$ propusă în teză.

In tabela Nr.II.2-15 sînt prezentate şi prelucrate datele referitoare la un canal optim hidraulic de formă trapezoidală studiat în lucrarea /P-5/.Verticalele de măsurători au fost luate din 3,5 în 3,5 cm.S-au obţinut următoarele valori ale indicatorilor statistici :

- valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\overline{v}_r - \overline{v}}{\overline{v}}\right) = -0{,}56\,\%$
- abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\overline{v}_r - \overline{v}}{\overline{v}}\right) = 6{,}30\,\%$

Reprezentarea respectivă este dată în figura II.2-17 şi arată că în cazul unui canal experimental cu secţiune trapezoidală corecţia propusă în teză este eficientă.

Făcînd media generală a valorilor indicatorilor statistici rezultă :

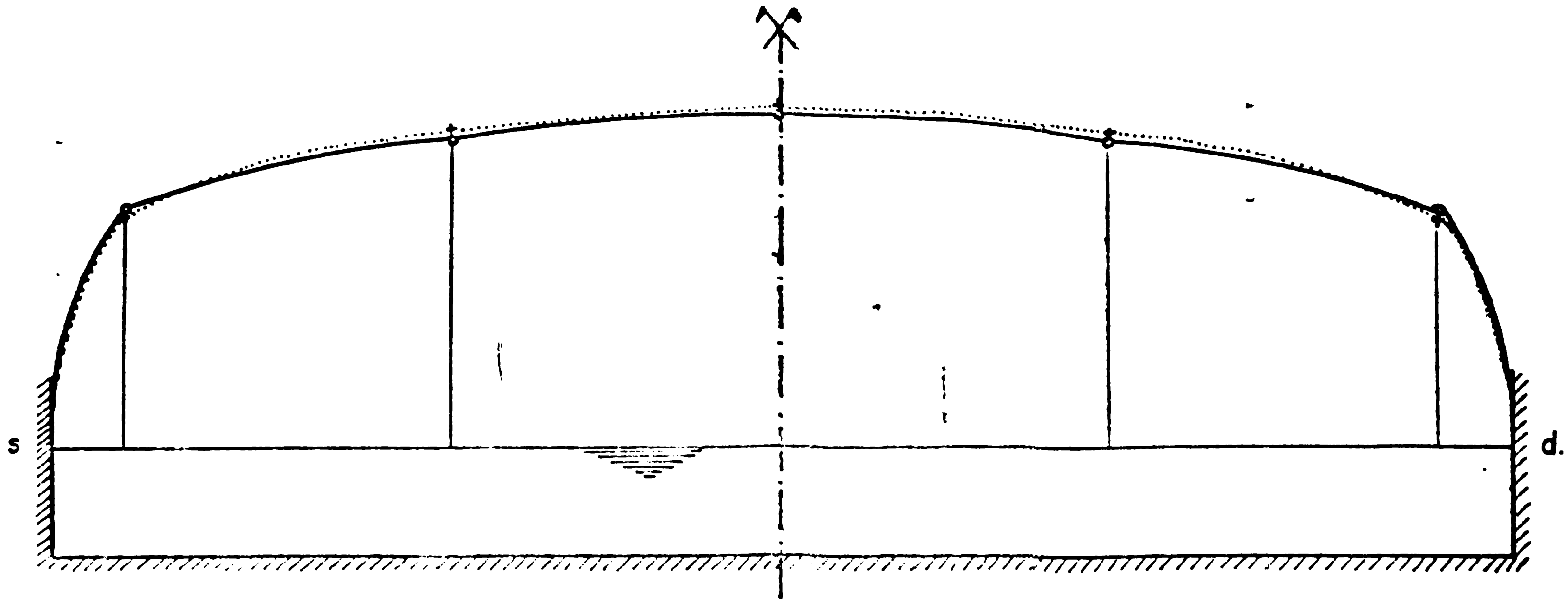
- valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\overline{v}_r - \overline{v}}{\overline{v}}\right) = -0{,}10\,\%$
- abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\overline{v}_r - \overline{v}}{\overline{v}}\right) = 5{,}19\,\%$

După cum se observă valoarea medie aritmetică a erorii relative este foarte mică,ceea ce explică prin faptul că în această situaţie unele abateri fiind pozitive şi altele abateri fiind negative,în final se realizează o compensare a abaterilor. Precizia formulei este dată în special de al doilea indicator şi poate fi considerată bună pentru acest domeniu.

De asemenea se constată că abaterile valorilor măsurate de cele teoretice sînt mai mari în spre maluri,unde înălţimea apei este mai mică şi unde,probabil influenţa factorilor locali este mai mare.

Se mai menţionează că în prelucrările statistice s-a considerat de la început o concordanţă perfectă între măsurători şi teorie în punctele de contact între albie şi curentul lichid,unde,datorită condiţiei de aderenţă viteza curentului s-a considerat egală cu zero.

Legea stabilită pentru repartiţia vitezelor medii verticale după orizontală verificată bine de rezultatele experimentale urmează să fie folosită la rezolvarea cinematicii curentului în sectoarele curbe.



Adîncimea	*<h>=1cm*	3,00		3,00		3,00		3,00		3,00		3,00	3,00
Distanța	*<y>=1cm*		2,0		9,0		9,0		9,0		9,0		2,0
Viteza medie pe verticală	*măsurată* —o—	0,00		6,48		8,40		9,12		8,40		6,48	0,00
<v> = 1cm/s	*calculată cu formula propusă* ......+......	0,00		6,16		8,64		9,20		8,64		6,16	0,00

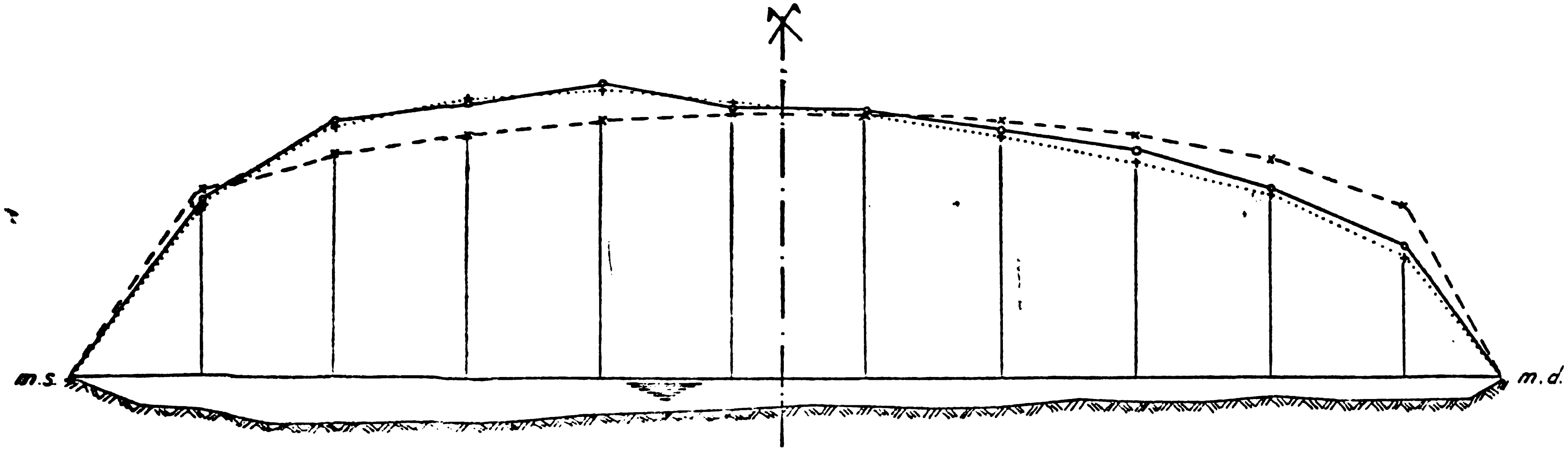
Fig. II. 2-3 Reprezentarea comparativă a repartiției vitezei medii verticale pe lățime într-un canal experimental de secțiune dreptunghiulară (măsurători după Gonciarov)

(Formula propusă a fost aplicată fără corecție avînd în vedere secțiunea dreptunghiulară)

Scara pentru distanțe (y) 1:2

Scara pentru adîncimi (h) 1:2

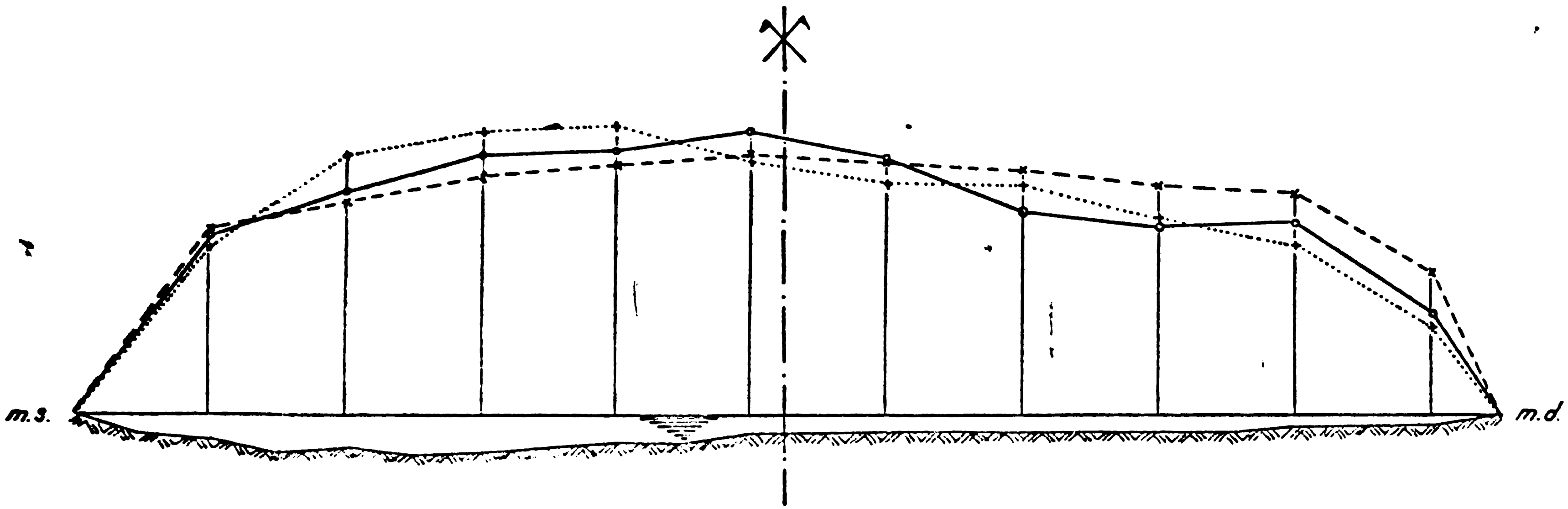
Scara pentru reprezentarea vitezelor: 1 cm ⇒ 2 cm/s.



Adîncimea ‹h› = 1m	0,00	0,40	0,46	0,64	0,64	0,62	0,62	0,56	0,50	0,46	0,46	0,34	0,38	0,42	0,40	0,30	0,34	0,36	0,26	0,32	0,32	0,32	0,00
Distanța ‹y› = 1m		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50
Viteza medie pe verticală ‹v› = 1m/s — măsurată —o—	0,00		0,536		0,773		0,870		0,883		0,811		0,800		0,742		0,682		0,564		0,384		0,00
calculată ·····+·····	0,00		0,530		0,754		0,874		0,872		0,889		0,786		0,731		0,649		0,562		0,348		0,00
calculată fără infl. înalț. — —x— —	0,00		0,665		0,676		0,738		0,776		0,800		0,795		0,770		0,725		0,655		0,616		0,00

Fig. II. 2-4 Reprezentarea comparativă a repartiției vitezelor medii verticale pe lățime la rîul Timiș postul hidrometric Sadova-Veche (I)

Scara pentru distanțe (y) 1:100
Scara pentru adîncimi (h) 1:100
Scara pentru reprezentarea vitezelor: 1cm => 0,2 m/s



Adîncimea ‹h› = 1 m		0,00	0,20	0,32	0,54	0,44	0,66	0,56	0,44	0,38	0,38	0,26	0,26	0,24	0,24	0,25	0,24	0,28	0,26	0,16	0,16	0,16	0,00
Distanța ‹y› = 1m		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Viteza medie pe verticală ‹v› = 1 m/s	măsurată —o—	0,00		0,520		0,658		0,768		0,771		0,863		0,755		0,592		0,554		0,560		0,287	0,00
	calculată cu formula corectată ······	0,00		0,488		0,770		0,863		0,842		0,740		0,680		0,665		0,588		0,492		0,257	0,00
	calculată cu formula necorectată – – x – –	0,00		0,534		0,638		0,696		0,731		0,752		0,743		0,716		0,671		0,654		0,424	0,00

Fig. II.2-5 Reprezentarea comparativă a repartiției vitezelor medii verticale pe lățime la rîul Timiș postul hidrometric Sadova-Veche (II)

Scara pentru distanțe (y) 1:100

Scara pentru adîncimi (h) 1:100

Scara pentru reprezentarea vitezelor : 1 cm => 0,2 m/s

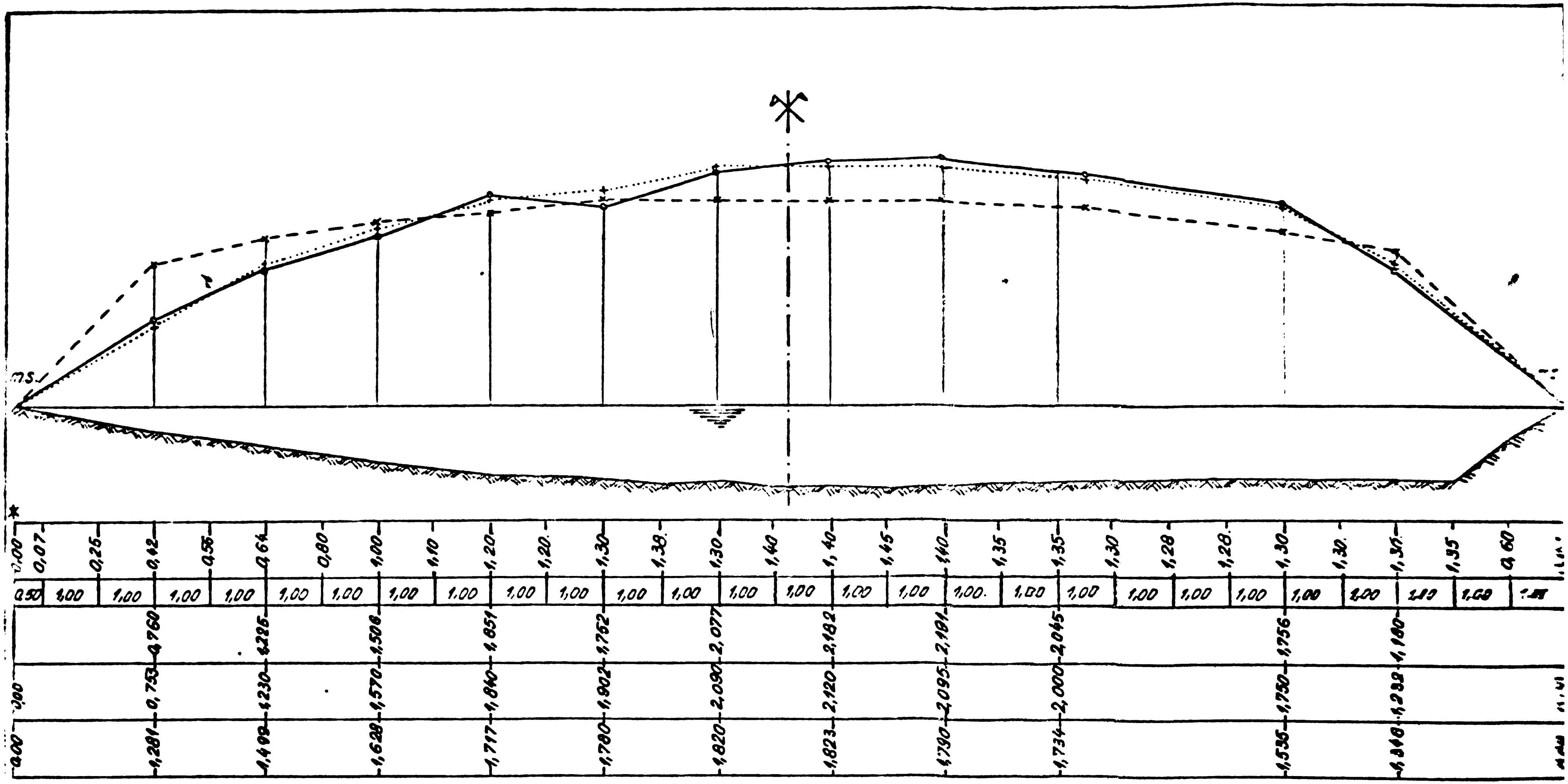


Fig.II.2-6 Reprezentarea comparativă a repartiției vitezelor medii verticale pe lățime la rîul Timiș, postul hidrometric Sadova-Veche (III)

Scara pentru distanțe (y) 1:100.
Scara pentru adîncimi (h) 1:100
Scara pentru reprezentarea vitezelor : 1 cm ⟶ 0,5 m/s.
** Capul de profil transversal este ca la Fig II 2-4.*

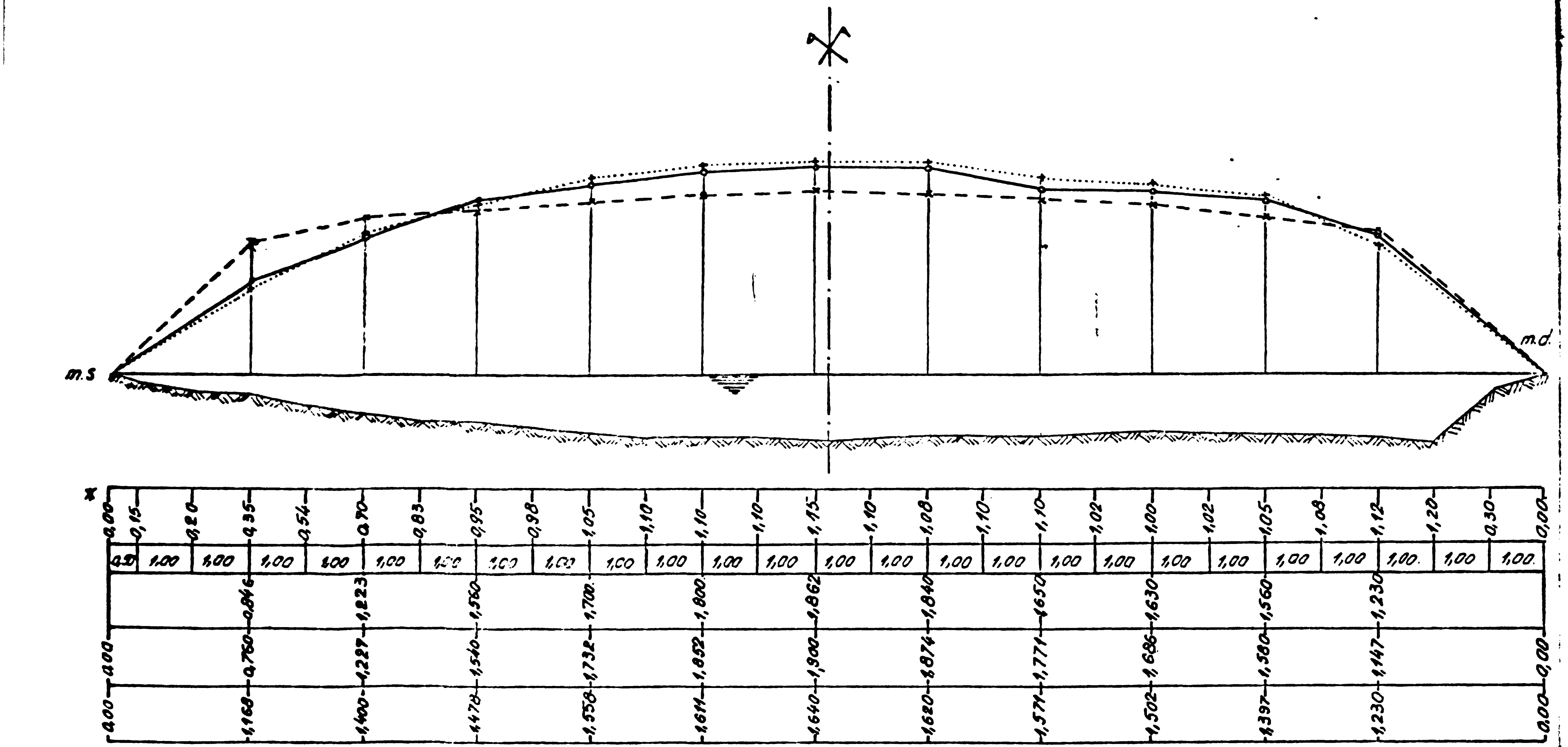


Fig. II. 2-7 Reprezentarea comparativă a repartiției vitezelor medii verticale pe lățime la rîul Timiș postul hidrometric Sadova-Veche (IV)

Scara pentru distanțe (y) 1:100
Scara pentru adîncimi (h) 1:100
Scara pentru reprezentarea vitezelor: 1cm => 0,5 m/s
** Capul de profil transversal este ca la Fig II. 2-7.*

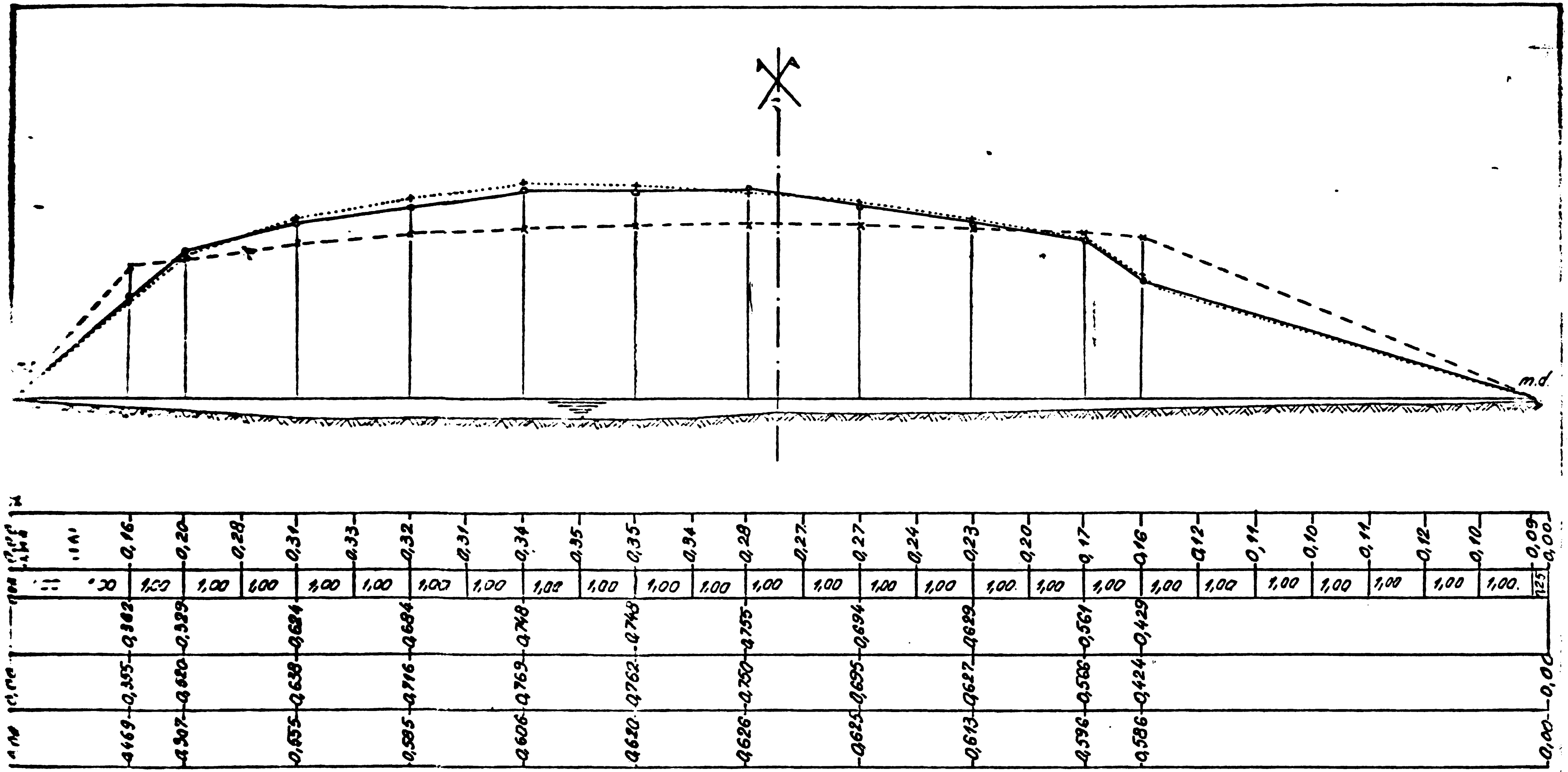
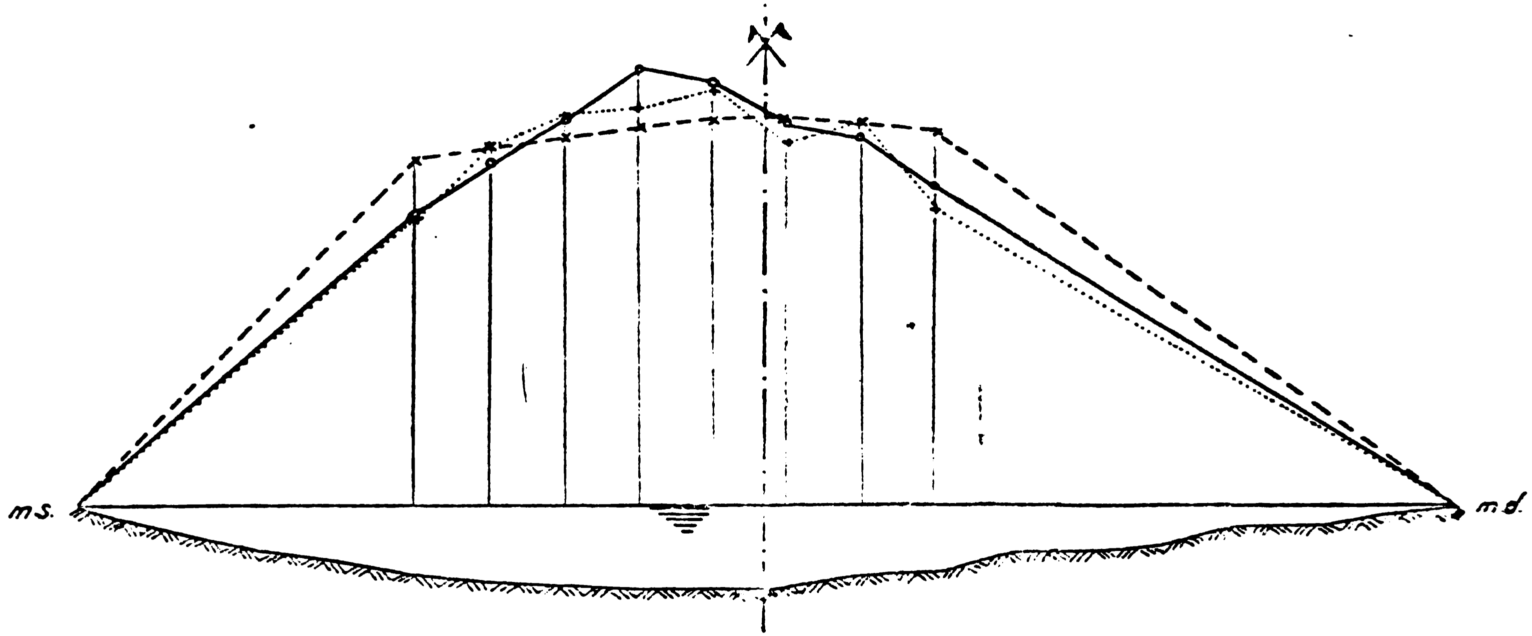


Fig. II.2-8. Reprezentarea comparativă a repartiției vitezelor medii verticale pe lățime la rîul Bega postul hidrometric Balinț (I)

Scara pentru distanțe (y) 1:100.
Scara pentru adîncimi (h) 1:100
Scara pentru reprezentarea vitezelor: 1cm => 0,2 m/s.
** Capul de profil transversal este ca la Fig. II.2-4.*



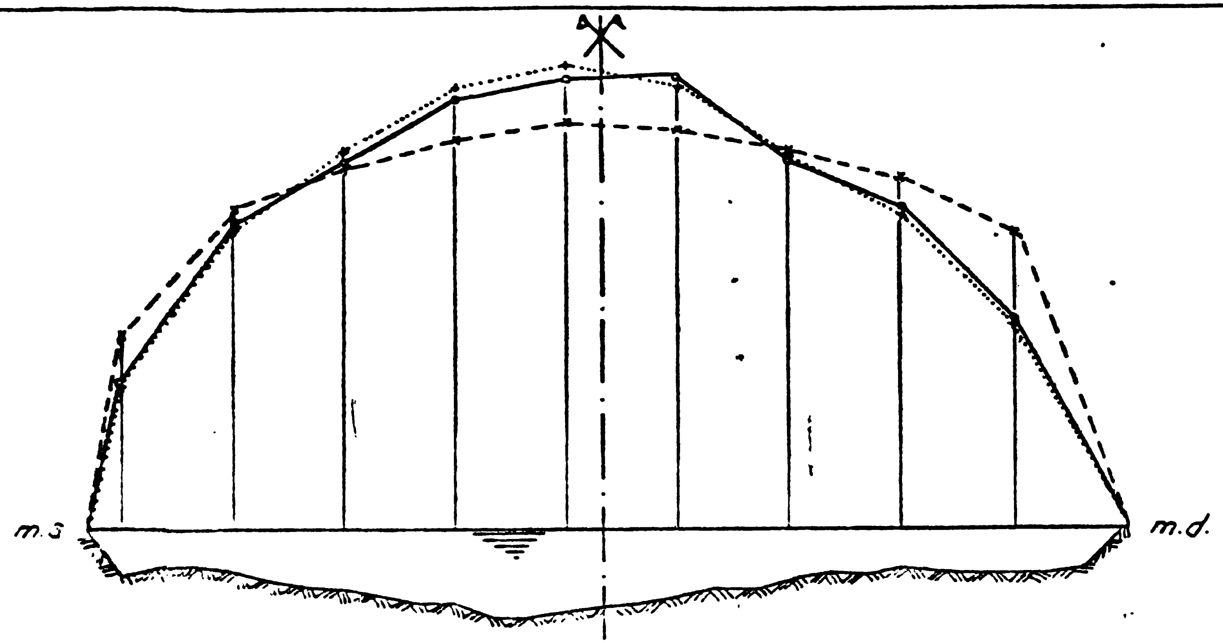
Adîncimea <h> = 1m.	0,00	0,03	0,08	0,12	0,14	0,18	0,20	0,20	0,22	0,22	0,21	0,18	0,17	0,12	0,12	0,10	0,05	0,05	0,02	0,00
Distanța <y> = 1m		0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00.
Viteza medie pe verticală <v> = 1m/s — măsurată —o—						0,393	0,462	0,518	0,588	0,566	0,513	0,494	0,429							
calculată cu formula corectată ·····+·····	0,00					0,384	0,483	0,521	0,534	0,556	0,488	0,511	0,398							0,00
calculată cu formula necorectată – – ×– –	0,00					0,464	0,483	0,496	0,508	0,576	0,576	0,511	0,501							0,00

Fig. II.2-9 Reprezentarea comparativă a repartiției vitezelor medii verticale pe lățime la rîul Bega postul hidrometric Balinț (II)

Scara pentru distanțe (y) 1:100

Scara pentru adîncimi (h) 1:20.

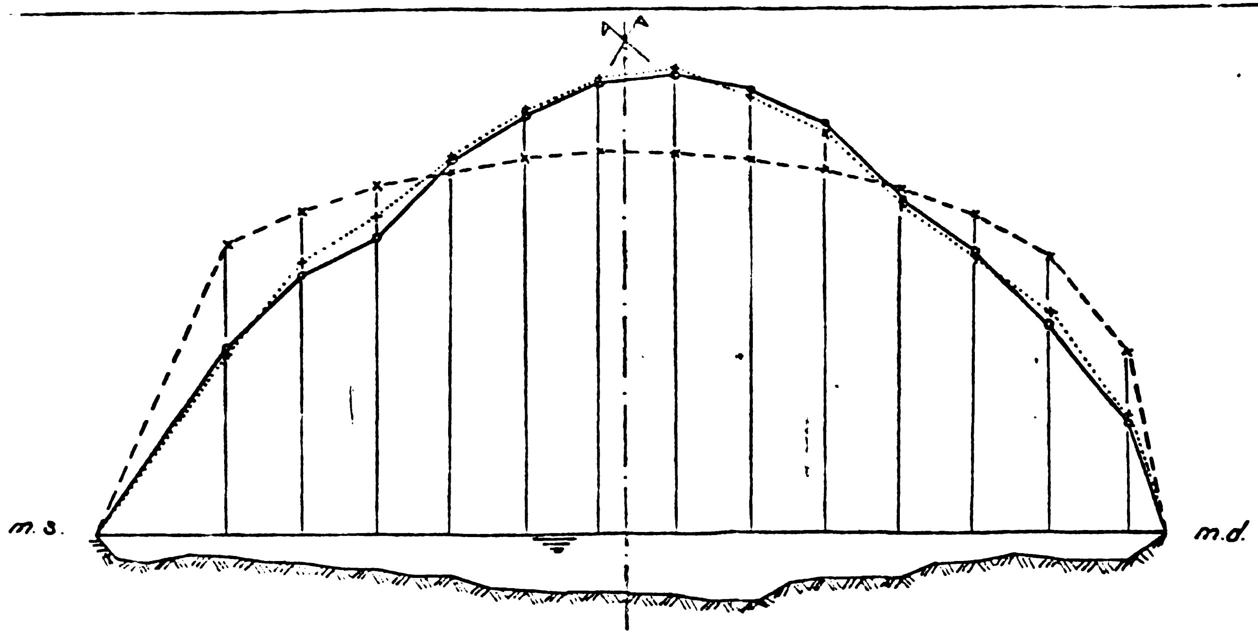
Scara pentru reprezentarea vitezelor : 1cm => 0,1 m/s



Adîncimea ‹h› = 1 m	Viteza medie pe verticală ‹v› = 1 m/s: măsurată	calculată cu formula corectată	calculată cu formula necorectată
0,00		0,00	0,00
0,30	0,386	0,389	0,529
0,25			
0,25			
0,30	0,883	0,841	0,866
0,35			
0,38			
0,40	0,982	1,015	0,974
0,45			
0,50			
0,50	1,161	1,188	1,042
0,60			
0,60			
0,55	1,200	1,242	1,079
0,55			
0,50			
0,45	1,208	1,183	1,071
0,40			
0,40			
0,35	0,994	0,996	1,022
0,30			
0,30			
0,25	0,870	0,851	0,943
0,30			
0,30			
0,30	0,565	0,555	0,795
0,30			
0,25			
0,00		0,00	0,00

Distanța ‹y› = 1 m: 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0 1,0

Fig. II 2-10 Reprezentarea comparativă a repartiției vitezelor medii verticale pe lățime la rîul Bega postul hidrometric Balinț (III)
Scara pentru distanțe (y) 1:200
Scara pentru adîncimi (h) 1:50
Scara pentru reprezentarea vitezelor : 1 cm ⇒ 0,2 m/s



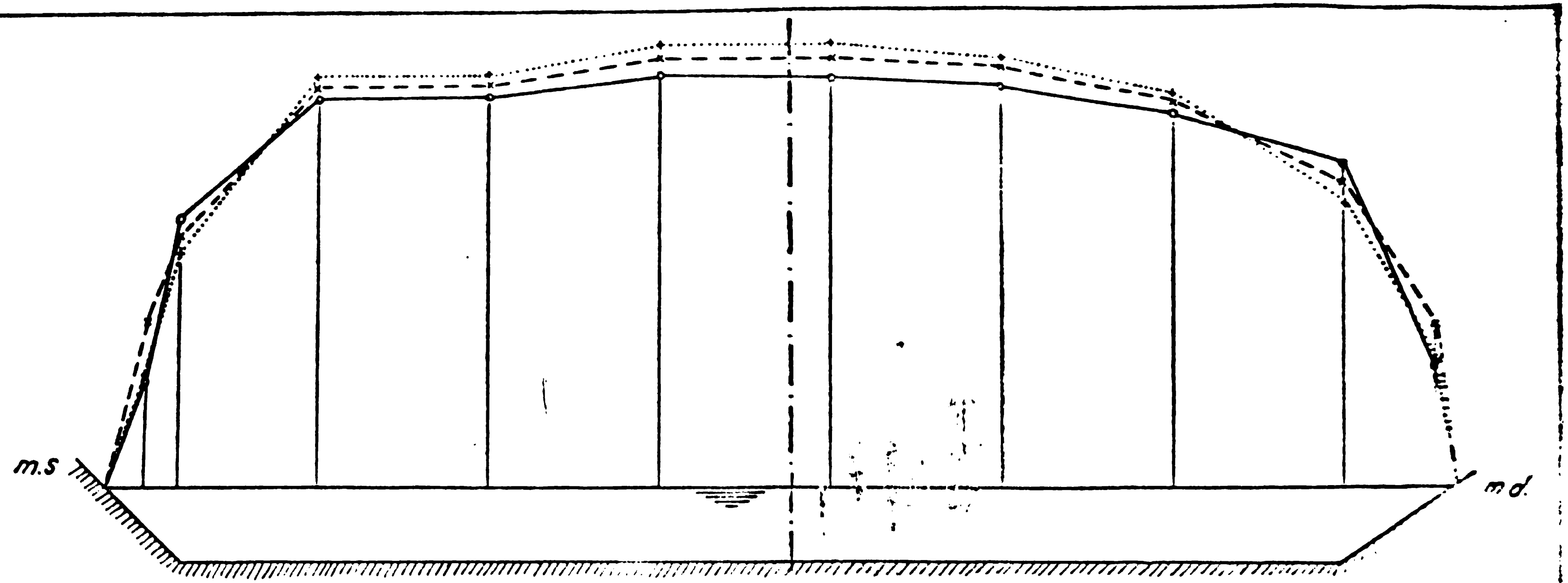
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Adîncimea <h> = 1m		0,00	0,16	0,18	0,13	0,14	0,17	0,19	0,21	0,23	0,26	0,27	0,36	0,36	0,38	0,39	0,40	0,40	0,44	0,43	0,33	0,28	0,28	0,28	0,19	0,18	0,15	0,16	0,16	0,18	0,00
Distanța <y> = 1m			0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Viteza medie pe verticală <v> = 1m/s	măsurată —o—					0,501		0,698		0,794		0,991		1,121		1,210		1,230		1,178		1,068		0,892		0,758		0,583		0,301	
	calculată cu formula corectată ·····+·····	0,00				0,496		0,731		0,858		1,007		1,124		1,212		1,242		1,168		1,068		0,882		0,750		0,591		0,312	
	calculată cu formula necorectată – – ×– – –	0,00				0,778		0,871		0,931		0,974		1,005		1,021		1,018		0,999		0,864		0,917		0,851		0,746		0,489	

Fig. II.2-11 Reprezentarea comparativă a repartiției vitezelor medii verticale pe lățime la rîul Bega postul hidrometric Balinț (IV)

Scara pentru distanțe (y) 1:200

Scara pentru adîncimi (h) 1:50

Scara pentru reprezentarea vitezelor : 1cm → 0,2 m/s.

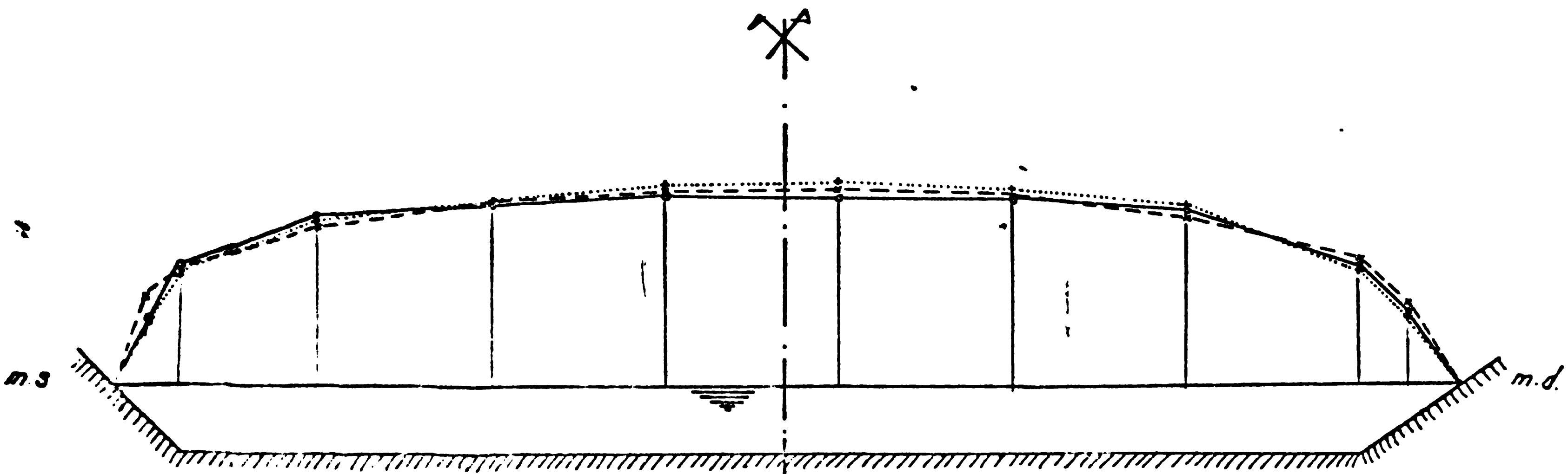


Adîncimea ‹h› = 1m		0,00	0,052	0,111	0,105	0,106	0,104	0,104	0,104	0,104	0,107	0,048
Distanța ‹y› = 1m		0,05	0,05	0,20	0,25	0,25	0,19 / 0,06	0,25	0,25	0,25	0,15	
Viteza medie pe verticală ‹v› = 1m/s	măsurată —o—		0,303	0,790	1,130	1,157	1,200	1,189	1,175	1,098	0,950	0,350
	calculată cu formula corectă ·····+·····	0,00	0,309	0,698	1,197	1,200	1,280	1,295	1,241	1,144	0,830	0,350 / 0,00
	calc. cu form. necorectată – –×– –	0,00	0,420	0,740	1,147	1,172	1,250	1,271	1,218	1,116	0,895	0,490 / 0,00

Fig. II. 2- 12 Reprezentarea comparativă a repartiției vitezei medii verticale pe lațime la modelul sectorului de rîu Argeș secțiunea 0-0

Scara pentru distanțe (y) și pentru adîncimi (h) 1:10

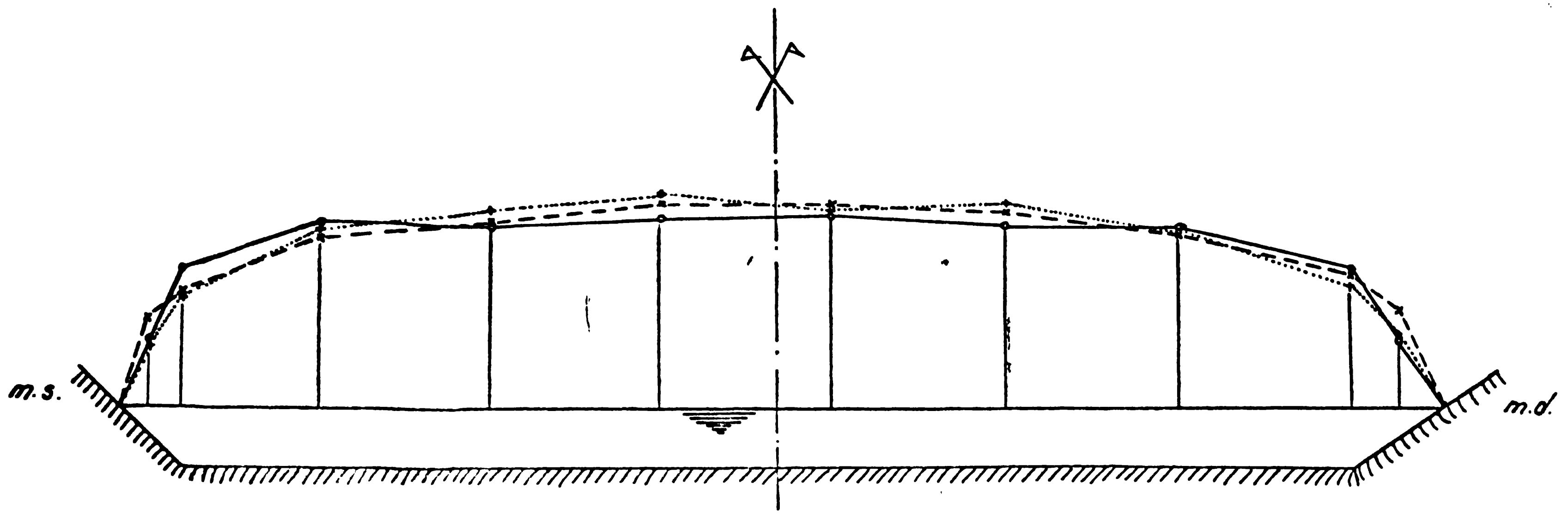
Scara pentru reprezentarea vitezelor: 1cm ⇒ 0,2 m/s.



Adâncimea <h> = 1m	0,000	0,048	0,101	0,093	0,086	0,089	0,101	0,098	0,086	0,088	0,048	0,000
Viteza medie pe verticală — măsurată	0,000	0,484	0,838	1,192	1,290	1,358	1,340	1,340	1,230	0,886	0,511	0,000
Viteza medie pe verticală — calculată cu formula corectată	0,000	0,460	0,779	1,188	1,336	1,452	1,462	1,392	1,238	0,850	0,487	0,000
Viteza medie pe verticală — calculată cu formula necorectată	0,000	0,625	0,827	1,153	1,310	1,394	1,412	1,350	1,220	0,928	0,696	0,000

Distanța <y> = 1m	0,05	0,05	0,20	0,25	0,25	0,17	0,08	0,25	0,25	0,25	0,07	0,14

Fig II.2-13 Reprezentarea comparativă a repartiției vitezei medii verticale pe lățime la modelul sectorului de rîu Argeș secțiunea P.1
Scara pentru distanțe (y) și pentru adîncimi (h) 1:10
Scara pentru reprezentarea vitezelor : 1cm ⟹ 0,5 m/s.



Adîncimea <h> = 1m	0,000	0,045	0,096	0,093	0,089	0,088	0,096	0,090	0,091	0,087	0,041	0,000
Distanța <y> = 1m	0,05	0,05	0,20	0,25	0,25	0,17	0,08	0,25	0,25	0,25	0,07	0,14
Viteza medie pe verticală <v> = 1 m/s — măsurată —o—	0,000	0,471	1,012	1,340	1,330	1,350	1,399	1,320	1,307	1,008	0,470	0,000
Calculată cu formula corect. ·····+·····	0,000	0,430	0,801	1,267	1,414	1,330	1,418	1,468	1,305	0,885	0,501	0,000
Calculată cu formula necor. ---x---	0,000	0,582	0,846	1,272	1,390	1,488	1,390	1,432	1,292	0,966	0,711	0,000

Fig. II. 2-14 Reprezentarea comparativă a repartiției vitezei medii verticale pe lățime la modelul sectorului de rîu Argeș secțiunea P. 2
Scara pentru distanțe (y) și pentru adîncimi (h) 1:10
Scara pentru reprezentarea vitezelor : 1 cm => 0,5 m/s

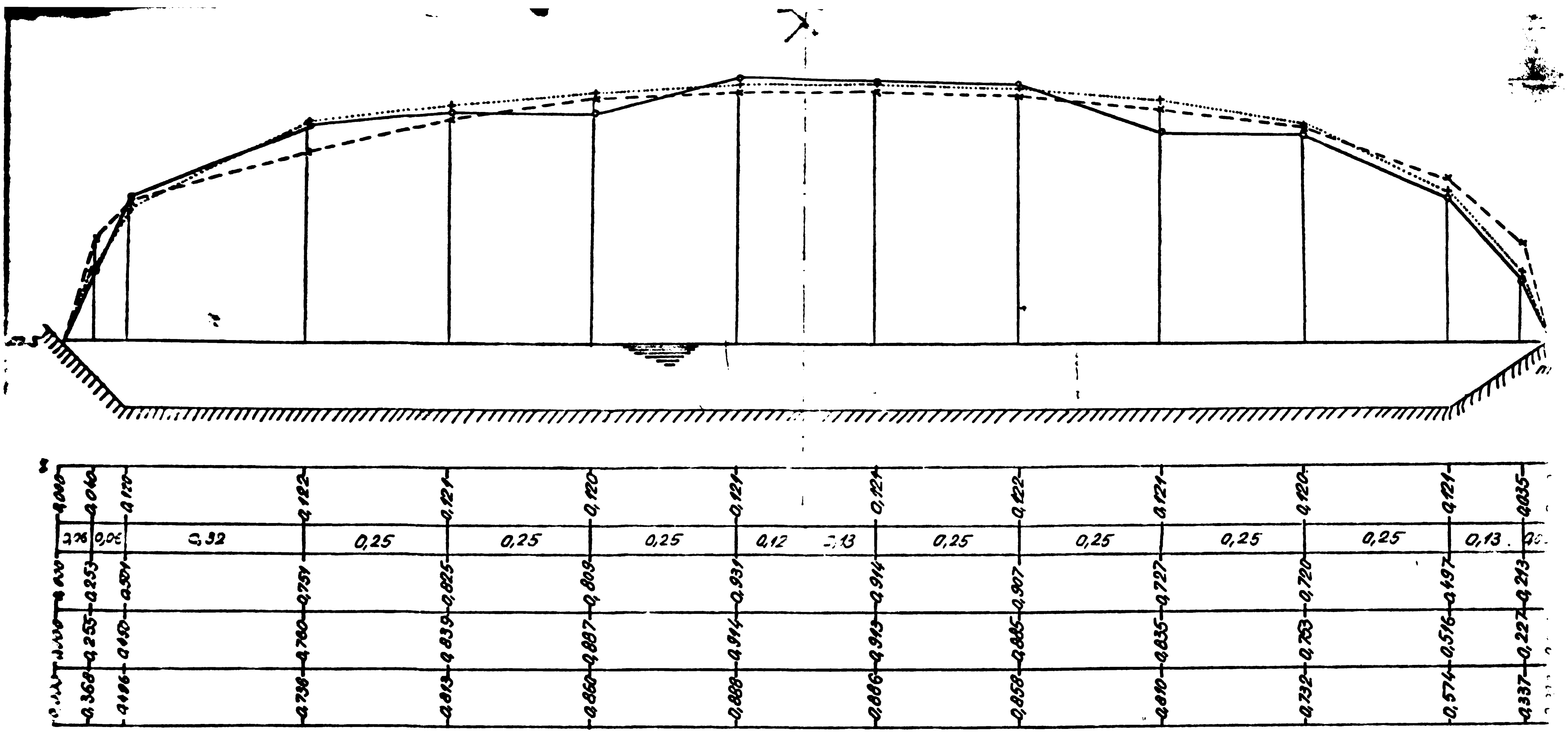
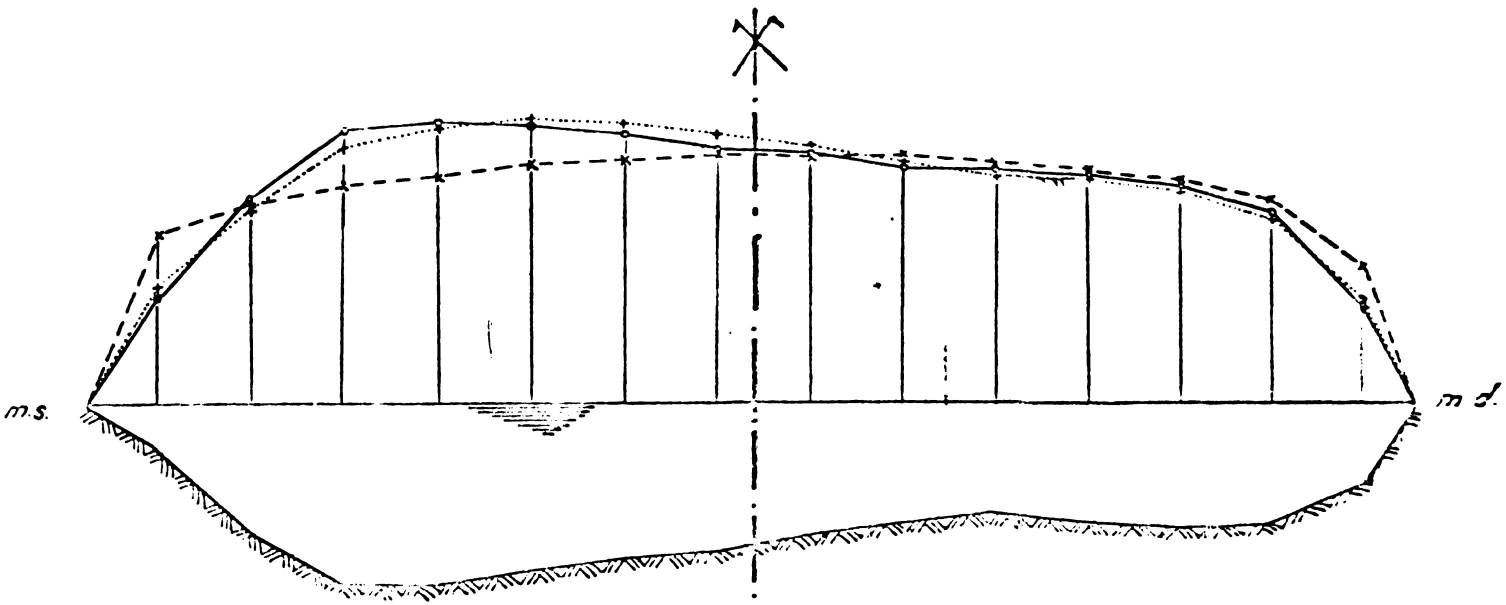


Fig. II.2-15. Reprezentarea comparativă a repar:; ei vitezei medii verticale pe lățime la modelul sectorului de rîu Argeș secțiunea P. 108.

Scara pentru distanțe (y) și pentr. adîncimi (h) 1:10 ;

Scara pentru reprezentarea vitezei : 1cm ⇒ 0,2 m/s ;

** Capul de profil transversal este ca la Fig II.2-4.*



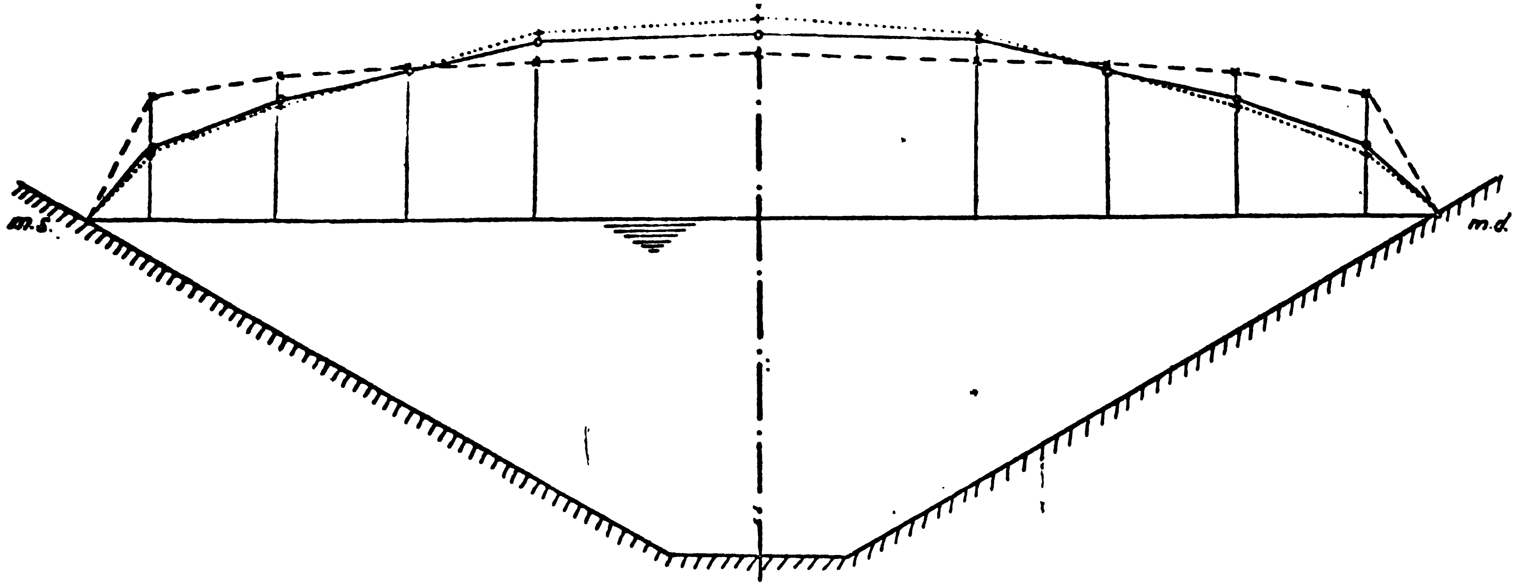
Adîncimea	<h> = 1m	0,000	0,60	1,70	2,40	2,40	2,25	2,05	1,95	1,70	1,56	1,42	1,53	1,61	1,56	1,05	0,000
Distanța	<y> = 1m.	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	2,0 / 3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	3,0	
Viteza medie pe verticală <v> = 1m/s	măsurată —o—	0,000	0,291	0,554	0,737	0,750	0,751	0,731	0,680	0,668	0,634	0,627	0,611	0,581	0,616	0,275	0,000
	Calculată cu formula corectată ·····+·····	0,000	0,314	0,537	0,685	0,749	0,754	0,748	0,724	0,690	0,643	0,616	0,599	0,578	0,496	0,276	0,000
	Calculată cu formula necorectată ---x---	0,000	0,456	0,545	0,591	0,622	0,645	0,659	0,670	0,667	0,656	0,641	0,617	0,585	0,531	0,377	0,000

Fig. II. 2-16 Reprezentarea comparativă a repartiției vitezei medii verticale pe lățime la un rîu din U.R.S.S. [B. 4]

Scara pentru distanțe (y) 1:400.

Scara pentru adîncimi (h) 1:100

Scara pentru reprezentarea vitezelor 1 cm ⟹ 0,2 m/s.



Adîncimea <h> =1cm		0,0		1,1		3,1		5,1		7,1		9,1		7,1		5,1		3,1		1,1		0,0
Distanța <x> = 1cm.			1,9		3,5		3,5		3,5		5,9		5,9		3,5		3,5		3,5		1,9	
Viteza medie pe verticală <V> = 1 m/s	măsurată ——o——	0,0		9,6		16,2		20,0		24,2		25,0		24,2		19,8		16,0		9,6		0,0
	Calculată cu formula corectată ······+······	0,0		8,7		15,1		20,6		25,2		27,1		25,2		20,6		15,1		8,7		0,0
	Calculată cu formula necorectată ———x———	0,0		16,8		19,6		20,8		21,6		22,2		21,6		20,8		19,6		16,8		0,0

Fig. II 2-17 Reprezentarea comparativă a repartiției vitezei medii verticale pe lățime într-un canal experimental de secțiune trapezoidală după [P-5]

Scara pentru distanțe (y) 1:2

Scara pentru adîncimi (h) 1:2

Scara pentru reprezentarea vitezelor 1cm => 10 cm/s

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTIȚIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LĂȚIME ÎNTR-UN CANAL DREPTUNGHIULAR (măsurători după Gonciarov p.156)

Tabela II-2-1

$\frac{2\lvert y\rvert}{B}$	$\eta = 1-\frac{2\lvert y\rvert}{B}$	$f(\eta)$	$2-f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}\left[2+f(\eta)\right]$	$\frac{\overline{v}_T}{\overline{v}}=1+\frac{\sqrt{g}}{C}\left[2-f(\eta)\right]$	$\frac{\overline{v}}{\overline{v}}$ experimental	$\Delta\frac{\overline{v}}{\overline{v}}$	$\frac{\Delta\frac{\overline{v}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{v}}{\overline{v}}}100$	$\left(\frac{\Delta\frac{\overline{v}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{v}}{\overline{v}}}100\right)^2$
stînga									
0,00	1,00	0,000	2,000	+0,157	1,15	1,14	+0,01	+0,87	0,76
0,45	0,55	0,984	1,016	0,080	1,08	[illegible]	+0,03	+2,86	8,18
0,90	0,10	4,993	-2,993	-0,234	0,77	0,81	-0,04	-4,94	24,40
1,00	0,00				0,00	[illegible]	0,000	0,00	0,00
dreapta									
0,45	0,55	1,418	+0,582	+0,046	1,05	1,05	0,00	0,00	0,00
0,90	0,10	4,993	-2,993	-0,234	0,77	0,81	-0,04	-4,94	24,40
1,00	0,00						0,00	0,00	0,00
							$\sum$	-6,15	57,74

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\overline{v}_T-\overline{v}}{\overline{v}}\right) = -0{,}88\ \%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\overline{v}_T-\overline{v}}{\overline{v}}\right) = 3{,}10\ \%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTIȚIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LAȚIME LA RÂUL

Timiș portul hidrometric Sadova - Veche (I)

$\langle y \rangle = \langle h \rangle = 1$ m ; B = 21,5 m ; C = 30,4 $m^{1/2}/s$, h_e = 0,42 m ; v = 0,666 m/s

Tabela II-2-2

y	$2\|y\|$	$\frac{2\|y\|}{B}$	$\eta=1-\frac{2\|y\|}{B}$	$f(\eta)$	$2-f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	$1+\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	h_i	h_{im}	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{v_r}{\bar{v}}$	$\frac{v}{\bar{v}}$ măsurat	$\Delta\frac{v}{\bar{v}}$	$\frac{\Delta\frac{v}{\bar{v}}}{\frac{v}{\bar{v}}}100$	$\left(\frac{\Delta\frac{v}{\bar{v}}}{\frac{v}{\bar{v}}}100\right)^2$
stînga															
0,75	1,50	0,070	0,930	0,054	+1,946	+0,201	1,201	0,46	0,45	1,035	1,247	1,218	+0,029	+2,39	5,68
2,75	5,50	0,256	0,744	0,390	+1,610	+0,166	1,166	0,50	0,53	1,123	1,310	1,324	-0,014	-1,06	1,12
4,75	9,50	0,442	0,558	0,954	+1,046	+0,108	1,108	0,62	0,59	1,183	1,312	1,305	+0,007	+0,53	0,29
6,75	13,5	0,627	0,373	1,841	+0,159	+0,016	1,016	0,64	0,57	1,164	1,182	1,161	+0,021	+1,81	3,27
8,75	17,5	0,814	0,186	3,479	-1,479	-0,152	0,848	0,46	0,37	0,938	0,796	0,805	-1,009	-1,11	1,25
10,75	21,5	1,000	0,000	16,41	-14,416	-1,485	-0,485	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0
dreapta															
1,25	2,50	0,116	0,884	0,115	+1,885	+0,194	1,194	0,38	0,41	0,987	1,180	1,200	-0,020	-1,67	2,78
3,25	6,50	0,302	0,698	0,506	+1,494	+0,154	1,154	0,40	0,37	0,938	1,082	1,112	-0,030	-2,80	7,28
5,25	10,5	0,488	0,512	1,136	+0,864	+0,089	1,089	0,34	0,33	0,886	0,956	1,023	-0,057	-5,56	31,00
7,25	14,5	0,675	0,325	2,158	-0,158	-0,016	0,984	0,26	0,31	0,858	0,845	0,847	-0,002	-0,24	0,06
9,25	18,5	0,860	0,140	4,170	-2,170	-0,224	0,776	0,32	0,19	0,673	0,522	0,576	-0,054	-9,40	88,20
10,75	21,5	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,485	-0,485	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0	0	0
													Σ	-17,11	140,93

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{v_r - \bar{v}}{\bar{v}}\right) = -1,43\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{v_r - \bar{v}}{\bar{v}}\right) = 3,58\%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTIŢIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LĂŢIME LA RÎUL

Timiş postul hidrometric Sadova - Veche (II)

$<y> = <h> = 1$ m ; $B = 21{,}0$ m ; $C = 30{,}4$ $m^{1/2}/s$; $h_e = 0{,}30$ m ; $v = 0{,}625$ m/s

Tabela II-2-3

y	$2\|y\|$	$\frac{2\|y\|}{B}$	$\eta = 1-\frac{2\|y\|}{B}$	$f(\eta)$	$2-f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	$1+\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	h_i	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{\overline{v}_r}{\overline{v}}$	$\left(\frac{\overline{v}}{\overline{v}}\right)_{măsurat}$	$\Delta\frac{\overline{v}}{\overline{v}}$	$\frac{\Delta\frac{\overline{v}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{v}}{\overline{v}}}100$	$\left(\frac{\Delta\frac{\overline{v}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{v}}{\overline{v}}}100\right)^2$	h_{im}
stînga															
0,5	1,0	0,048	0,952	0,030	1,970	0,203	1,203	0,26	0,982	1,182	1,381	-0,199	-14,41	207,65	0,29
2,5	5,0	0,238	0,762	0,347	1,653	0,170	1,170	0,38	1,152	1,348	+1,235	+0,113	+9,15	83,72	0,40
4,5	9,0	0,429	0,571	0,905	1,095	0,113	1,113	0,56	1,238	1,380	1,230	+0,150	+12,20	148,84	0,46
6,5	13,0	0,619	0,381	1,793	0,207	0,021	1,021	0,44	1,210	1,235	1,052	+0,183	+17,38	302,05	0,44
8,5	17,0	0,809	0,191	3,418	-1,418	-0,146	0,854	0,32	0,913	0,781	0,832	-0,051	-6,14	37,70	0,25
10,5	21,0	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,489	-0,489	0,00	0,000	0,000	0,000	0	0	0	0,00
dreapta															
1,5	3,0	0,143	0,857	0,158	1,842	0,190	1,190	0,24	0,913	1,087	1,208	-0,121	-10,01	100,20	0,25
3,5	7,0	0,333	0,667	0,592	1,408	0,145	1,145	0,25	0,930	1,065	0,948	+0,117	+12,34	152,28	0,26
5,5	11,0	0,524	0,476	1,291	0,709	0,073	1,073	0,28	0,875	0,940	0,887	+0,053	+5,97	35,64	0,23
7,5	15,0	0,714	0,286	2,456	-0,456	0,047	1,047	0,16	0,785	0,824	0,895	-0,071	-7,93	62,88	0,20
9,5	19,0	0,905	0,095	5,124	-3,124	-0,322	0,678	0,16	0,606	0,411	0,459	-0,048	-10,46	109,41	0,11
10,5	21,0	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,489	-0,489	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
												$\sum$	+8,09	1240,38	

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\overline{v}_r-\overline{v}}{\overline{v}}\right) = +0{,}67\,\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\overline{v}_r-\overline{v}}{\overline{v}}\right) = 10{,}62\,\%$

BUPT

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTIȚIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LAȚIME LA RÂUL

Timiș - postul hidrometric Sadova - Veche (III)

$\langle y \rangle = \langle h \rangle \doteq 1$ m ; B = 27,50 m ; C = 30,4 $m^{1/2}/s$; h_e = 1,02 m ; $\bar{v}$ = 1,52 m/s

Tabela II-2-4

y	$2\lvert y\rvert$	$\frac{2\lvert y\rvert}{B}$	$\eta=1-\frac{2\lvert y\rvert}{B}$	$f(\eta)$	$2-f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	$1+\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	h_i	h_{im}	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{v_r}{\bar{v}}$	$\frac{v}{\bar{v}}$ măsurat	$\Delta\frac{v}{\bar{v}}$	$\frac{\Delta\frac{v}{\bar{v}}}{\frac{v}{\bar{v}}}100$	$\left(\frac{\Delta\frac{v}{\bar{v}}}{\frac{v}{\bar{v}}}100\right)^2$
stînga															
1,25	2,50	0,091	0,909	0,080	1,920	0,198	1,198	1,30	1,33	1,146	1,374	1,365	+0,009	+0,66	0,43
3,25	6,50	0,236	0,764	0,342	1,658	0,171	1,171	1,30	1,27	1,070	1,252	1,152	+0,100	+8,68	75,20
5,25	10,50	0,382	0,618	0,743	1,257	0,129	1,128	1,20	1,17	1,072	1,210	1,221	-0,011	-0,90	10,01
7,25	14,50	0,527	0,473	1,303	0,697	0,072	1,072	1,00	0,95	0,965	1,034	0,993	+0,041	+4,13	17,10
9,25	18,50	0,672	0,328	2,138	-0,138	-0,014	0,986	0,64	0,69	0,822	0,810	0,805	+0,005	+0,62	0,38
11,25	22,50	0,818	0,182	3,527	-1,527	-0,157	0,843	0,42	0,35	0,587	0,495	0,500	-0,005	-1,00	1,00
13,75	27,50	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,485	-0,485	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
dreapta															
0,75	1,50	0,054	0,946	0,036	1,964	0,201	1,201	1,40	1,37	1,160	1,394	1,437	-0,043	-2,99	8,96
2,75	5,50	0,200	0,800	0,265	1,735	0,179	1,179	1,40	1,38	1,168	1,378	1,441	-0,063	-4,37	19,10
4,75	9,50	0,346	0,654	0,631	1,369	0,141	1,141	1,35	1,35	1,150	1,315	1,548	-0,033	-2,45	6,00
8,75	17,50	0,636	0,364	1,897	0,103	0,011	1,011	1,30	1,32	1,138	1,151	1,153	-0,002	-0,17	0,03
10,75	21,50	0,782	0,218	3,101	-1,101	-0,113	0,887	1,30	0,87	0,926	0,812	0,777	+0,035	+4,51	20,30
13,75	27,50	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,485	-0,485	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
													Σ	+6,72	149,31

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{v_r-\bar{v}}{\bar{v}}\right) = +0,52\,\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{v_r-\bar{v}}{\bar{v}}\right) = 3,53\,\%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTITIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LATIME LA RIUL

Timiş postul hidrometric Sadova - Veche (IV)

$\langle y \rangle = \langle h \rangle = 1$ m ; B = 25,50 m ; C = 30,4 $m^{1/2}/s$; h_e = 0,83 m ; v = 1,36 m/s

Tabela II-2-5

y	$2\|y\|$	$\frac{2\|y\|}{B}$	$\eta = 1-\frac{2\|y\|}{B}$	$f(\eta)$	$2-f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	$1+\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	h_i	h_{i_m}	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{\overline{v_T}}{v}$	$\left(\frac{\overline{v}}{v}\right)_{măsurat}$	$\Delta \frac{\overline{v}}{v}$	$\frac{\Delta \frac{\overline{v}}{v}}{\frac{\overline{v}}{v}} 100$	$\left(\frac{\Delta \frac{\overline{v}}{v}}{\frac{\overline{v}}{v}} 100\right)^2$
stînga															
0,25	0,50	0,019	0,981	0,008	1,992	0,205	1,205	1,15	1,11	1,158	1,397	1,370	+0,027	+1,92	3,88
2,25	4,50	0,176	0,824	0,217	1,783	0,184	1,184	1,10	1,10	1,150	1,363	1,325	+0,038	+2,86	8,22
4,25	8,50	0,333	0,667	0,593	1,407	0,145	1,145	1,05	1,03	1,112	1,275	1,250	+0,025	+2,00	4,00
6,25	12,50	0,490	0,510	1,145	0,855	0,088	1,088	0,95	0,90	1,041	1,132	1,148	-0,016	-1,53	1194
8,25	16,50	0,648	0,352	1,974	0,026	0,003	1,003	0,70	0,67	0,899	0,902	0,900	+0,002	+0,22	0,04
10,25	20,5	0,805	0,195	3,369	-1,369	-0,141	0,859	0,35	0,35	0,650	0,558	0,623	-0,065	-10,40	108,5
12,75	25,5	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,485	-0,485	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0	0	0
dreapta															
1,75	3,50	0,137	0,863	0,147	1,853	0,191	1,191	1,08	1,11	1,158	1,380	1,353	+0,027	+1,99	3,98
3,75	7,50	0,294	0,706	0,485	1,515	0,156	1,156	1,10	1,06	1,129	1,303	1,215	+0,088	+7,24	52,50
5,75	11,50	0,451	0,549	0,988	1,012	0,104	1,104	1,00	1,05	1,123	1,240	1,200	+0,040	+3,33	11,10
7,75	15,50	0,608	0,392	1,728	0,272	0,028	1,028	1,05	1,06	1,130	1,161	1,148	+0,013	+1,13	1,28
9,75	1[illegible],50	0,765	0,235	2,922	-0,922	-0,095	0,905	1,12	0,72	0,931	0,843	0,905	-0,062	-6,85	47,00
12,75	25,5	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,435	-0,485	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0	0	0
													Σ	+1,91	242,4

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\overline{v_T} - \overline{v}}{v}\right) = +0,15\ \%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\overline{v_T} - \overline{v}}{v}\right) = 4.49\ \%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTITIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LATIME LA RIUL

Bega - postul hidrometric Balinţ (I)

$\langle y \rangle = \langle h \rangle = 1$ m ; $B = 27{,}5$ m ; $C = 40$ $m^{1/2}/s$; $h_e = 0{,}21$ m ; $v = 0{,}544$ m/s

Tabela II-2-6

y	$2\lvert y\rvert$	$\frac{2\lvert y\rvert}{B}$	$\eta = 1 - \frac{2\lvert y\rvert}{B}$	$f(\eta)$	$2 - f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2 - f(\eta)]$	$1 + \frac{\sqrt{g}}{C}[2 - f(\eta)]$	h_i	h_{im}	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{v_r}{v}$	$\frac{v}{v}$ măsurat	$\Delta \frac{v}{v}$	$\left(\frac{\Delta \frac{v}{v}}{\frac{v}{v}} 100\right)$	$\left(\frac{\Delta \frac{v}{v}}{\frac{v}{v}} 100\right)^2$
stînga															
0,5	1,0	0,036	0,964	0,020	1,980	0,155	1,155	0,28	0,30	1,195	1,379	1,386	-0,007	-0,51	0,26
2,50	5,0	0,181	0,819	0,227	1,773	0,139	1,139	0,35	0,32	1,230	1,400	1,372	+0,028	+2,04	4,16
4,50	9,0	0,326	0,674	0,572	1,428	0,112	1,112	0,34	0,34	1,271	1,413	1,372	+0,041	+2,98	8,92
6,50	13,0	0,471	0,529	1,068	0,932	0,073	1,073	0,32	0,32	1,230	1,318	1,259	+0,059	+4,68	22,00
8,50	17,0	0,616	0,384	1,775	0,225	0,018	1,018	0,31	0,28	1,151	1,171	1,148	+0,023	+2,00	4,02
10,5	21,0	0,761	0,239	2,880	-0,880	-0,069	0,931	0,20	0,22	1,025	0,955	0,970	-0,015	-1,55	2,39
11,5	23,0	0,833	0,167	3,744	-1,744	-0,137	0,863	0,16	0,12	0,756	0,653	0,661	-0,008	-1,21	1,46
13,8	27,6	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,130	-0,130	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
dreapta															
1,50	3,0	0,109	0,891	0,105	1,895	0,148	1,148	0,27	0,26	1,113	1,275	1,274	+0,001	+0,08	0,01
3,50	7,0	0,254	0,746	0,385	1,615	0,126	1,126	0,23	0,22	1,025	1,153	1,158	-0,005	+0,43	0,19
5,50	11,0	0,399	0,601	0,800	1,200	0,094	1,094	0,17	0,19	0,950	1,040	1,030	+0,010	+0,97	0,94
6,50	13,0	0,471	0,529	1,068	0,932	0,073	1,873	0,16	0,11	0,725	0,779	0,789	-0,010	-1,27	1,61
13,8	27,6	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,130	-0,130	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
													Σ	-3,68	45,96

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{v_r - \bar{v}}{\bar{v}}\right) = -0{,}67\,\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{v_r - \bar{v}}{\bar{v}}\right) = 1{,}95\,\%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTIȚIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LĂȚIME LA RÎUL

Bega - postul hidrometric Balinț (II)

$\langle y \rangle = \langle h \rangle = 1$ m ; $B = 18,60$ m ; $C = 30,4$ $m^{1/2}/s$; $h_e = 0,19$ m ; $v = 0,429$ m/s   Tabela II-2-7

y	$2\lvert y\rvert$	$\frac{2\lvert y\rvert}{B}$	$\eta=1-\frac{2\lvert y\rvert}{B}$	$f(\eta)$	$2-f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	$1+\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	h_i	h_{im}	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{\overline{v}_T}{v}$	$\frac{\overline{v}}{v}$ măsurat	$\Delta\frac{\overline{v}}{v}$	$\frac{\Delta\frac{\overline{v}}{v}}{\frac{\overline{v}}{v}}100$	$\left(\frac{\Delta\frac{\overline{v}}{v}}{\frac{\overline{v}}{v}}100\right)^2$
stînga															
0,70	1,40	0,054	0,946	0,036	1,964	0,202	1,202	0,22	0,22	1,076	1,295	1,320	-0,025	-1,89	3,58
1,70	3,40	0,183	0,817	0,231	1,769	0,182	1,182	0,22	0,21	1,051	1,242	1,370	-0,128	-9,34	87,20
2,70	5,40	0,290	0,710	0,474	1,526	0,157	1,157	0,20	0,21	1,051	1,213	1,209	+0,004	+0,33	0,11
3,70	7,40	0,398	0,602	0,797	1,203	0,124	1,124	0,20	0,19	1,000	1,124	1,075	+0,049	+4,55	20,80
4,70	9,40	0,506	0,494	1,214	0,786	0,031	1,081	0,18	0,13	0,826	0,894	0,915	-0,021	-2,29	5,28
9,30	18,60	1,000	0,000	16,416	-14,416	-	-	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
dreapta															
0,30	0,60	0,032	0,968	0,017	1,983	0,204	1,204	0,21	0,17	0,946	1,139	1,193	-0,054	-4,74	22,60
1,30	2,60	0,140	0,860	0,152	1,842	0,190	1,190	0,180	0,19	1,000	1,190	1,150	+0,040	+3,47	12,10
2,30	4,60	0,247	0,763	0,368	1,632	0,168	1,168	0,17	0,12	0,794	0,926	1,000	-0,074	-7,40	54,90
9,30	18,60	1,000	0,000	16,416	-14,416	-	-	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
													$\sum$	-17,31	206,57

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\overline{v}_T - \overline{v}}{\overline{v}}\right) = -1,73\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\overline{v}_T - \overline{v}}{\overline{v}}\right) = 4,79\%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTIȚIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LAȚIME LA RÎUL

Bega - postul hidrometric Balinț (III)

$\langle y \rangle = \langle h \rangle = 1$ m ; $B = 28,00$ m ; $C = 30,4$ $m^{1/2}/s$; $h_e = 0,37$ m ; $v = 0,90$ m/s

Tabela II-2-8

y	$2\|y\|$	$\frac{2\|y\|}{B}$	$\eta = 1-\frac{2\|y\|}{B}$	$f(\eta)$	$2-f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	$1+\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	h_i	h_{im}	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{\bar{v}_r}{v}$	$\frac{\bar{v}}{v}$ măsurat	$\Delta\frac{\bar{v}}{v}$	$\frac{\Delta\frac{\bar{v}}{v}}{\frac{\bar{v}}{v}}$	$\left(\frac{\Delta\frac{\bar{v}}{v}}{\frac{\bar{v}}{v}}100\right)^2$
stînga															
1,0	2,0	0,071	0,929	0,055	1,945	0,200	1,200	0,55	0,50	1,161	1,382	1,333	+0,049	+3,67	13,70
4,0	8,0	0,286	0,714	0,464	1,536	0,158	1,158	0,50	0,48	1,140	1,320	1,280	+0,040	+3,13	9,79
7,0	14,0	0,500	0,500	1,188	0,812	0,084	1,084	0,40	0,40	1,040	1,129	1,093	+0,036	+3,29	10,81
10,0	20,0	0,714	0,286	2,456	-0,456	-0,047	0,953	0,30	0,33	0,945	0,901	0,915	-0,014	-1,53	2,34
13,0	26,0	0,928	0,072	6,005	-4,005	-0,412	0,588	0,30	0,20	0,736	0,432	0,441	-0,009	-2,04	4,16
14,0	28,0	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,485	-0,485	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
dreapta															
2,0	4,0	0,143	0,857	0,157	1,843	0,190	1,190	0,45	0,45	1,105	1,316	1,340	-0,024	-1,79	3,21
5,0	10,0	0,357	0,643	0,664	1,336	1,137	1,137	0,35	0,35	0,970	1,105	1,102	+0,003	+0,27	0,07
8,0	16,0	0,571	0,429	1,525	0,475	0,049	1,049	0,25	0,30	0,901	0,946	0,967	-0,021	-2,17	4,73
11,0	22,0	0,785	0,215	3,134	-1,134	-0,117	0,883	0,30	0,18	0,698	0,617	0,628	-0,011	-1,75	3,07
14,0	28,0	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,435	-0,485	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
													$\sum$	+1,08	51,88

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\bar{v}_r - \bar{v}}{v}\right) = +0,10\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\bar{v}_r - \bar{v}}{v}\right) = 2,28\%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTITIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LATIMEA LA RIUL

Bega - postul hidrometric Balinț (IV)

$\langle y \rangle = \langle h \rangle = 1$ m ; B = 28,50 m ; C = 30,4 $m^{1/2}/s$; h_e = 0,27 m ; v = 0,850 m/s Tabela II-2-9

y	$2\|y\|$	$\frac{2\|y\|}{B}$	$\eta = 1-\frac{2\|y\|}{B}$	$f(\eta)$	$2-f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	$1+\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	h_i	h_{im}	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{v_r}{v}$	$\frac{\bar{v}}{v}$ măsurat	$\Delta \frac{\bar{v}}{v}$	$\frac{\Delta \frac{\bar{v}}{v}}{\frac{\bar{v}}{v}}100$	$\left(\frac{\Delta \frac{\bar{v}}{v}}{\frac{\bar{v}}{v}}10\right)^2$
stînga															
0,75	1,50	0,053	0,947	0,035	1,965	0,202	1,202	0,39	0,38	1,187	1,425	1,421	+0,004	+0,28	0,08
2,75	5,50	0,193	0,807	0,250	1,750	0,181	1,181	0,36	0,34	1,122	1,324	1,320	+0,004	+0,30	0,0[illegible]
4,75	9,50	0,333	0,667	0,592	1,408	0,145	1,145	0,27	0,29	1,035	1,183	1,168	+0,015	+1,28	1,6[illegible]
6,75	13,50	0,474	0,526	1,079	0,921	0,095	1,095	0,23	0,23	0,923	1,010	1,052	-0,042	-3,98	15,9
8,75	17,50	0,613	0,387	1,757	0,243	0,024	1,024	0,19	0,19	0,840	0,861	0,823	+0,038	+4,62	21,3[illegible]
10,75	21,5	0,755	0,245	2,823	-0,823	-0,085	0,915	0,14	0,11	0,638	0,584	0,591	-0,007	-1,18	1,4[illegible]
14,25	28,5	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,485	-0,485	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,0[illegible]
dreapta															
1,25	2,50	0,088	0,912	0,076	1,924	0,198	1,198	0,40	0,41	1,221	1,462	1,448	+0,014	+0,97	0,9[illegible]
3,25	6,50	0,228	0,772	0,324	1,676	0,173	1,173	0,43	0,37	1,170	1,372	1,385	-0,013	-0,94	0,8[illegible]
5,25	10,50	0,369	0,631	0,702	1,298	0,134	1,134	0,28	0,33	1,107	1,256	1,280	-0,024	-1,87	3,5[illegible]
7,25	14,50	0,509	0,491	1,228	0,772	0,079	1,079	0,28	0,25	0,962	1,038	1,050	-0,012	-1,14	1,3[illegible]
9,25	18,50	0,649	0,351	1,980	0,020	0,002	1,002	0,18	0,21	0,881	0,883	0,892	-0,009	-1,01	1,0[illegible]
11,25	22,5	0,790	0,210	3,190	-1,190	-0,123	0,877	0,16	0,17	0,794	0,695	0,685	+0,010	+1,46	2,1[illegible]
13,25	26,5	0,930	0,070	6,122	-4,122	-0,425	0,575	0,18	0,11	0,638	0,367	0,354	+0,013	+3,67	13,50
14,25	28,5	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,485	-0,485	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,0[illegible]
													$\sum$	+2,46	63,72

Valoare medie a erorii relative $M\left(\frac{v_r - \bar{v}}{v}\right) = +0,16\,\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{v_r - \bar{v}}{v}\right) = 4,55\,\%$

BUPT

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTIȚIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LĂȚIME LA MODELUL SECTORULUI DE RÎU ARGEȘ - Secțiunea 0-0

$<y> = <h> = 1$ m ; $B = 1{,}98$ m ; $C = 30{,}6\ m^{1/2}/s$; $h_e = 0{,}10$ m ; $v' = 1{,}06$ m/s

Tabela II-2-10

y	$2\|y\|$	$\frac{2\|y\|}{B}$	$\eta = 1 - \frac{2\|y\|}{B}$	$f(\eta)$	$2 - f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2 - f(\eta)]$	$1 + \frac{\sqrt{g}}{C}[2 - f(\eta)]$	h_i	h_{im}	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{\bar{v}_T}{\bar{v}}$	$\frac{\bar{v}}{\bar{v}}$ măsurat	$\Delta \frac{\bar{v}}{\bar{v}}$	$\frac{\Delta \frac{\bar{v}}{\bar{v}}}{\frac{\bar{v}}{\bar{v}}} 100$	$\left(\frac{\Delta \frac{\bar{v}}{\bar{v}}}{\frac{\bar{v}}{\bar{v}}} 100\right)^2$
stînga															
0,19	0,38	0,192	0,808	0,248	+1,752	+0,179	+1,179	0,104	0,105	1,026	1,209	1,130	+0,079	+7,00	49,00
0,44	0,88	0,444	0,556	0,961	+1,039	0,106	1,106	0,106	0,105	1,026	1,132	1,090	+0,042	+3,85	14,82
0,69	1,38	0,504	0,496	1,206	+0,794	0,081	1,081	0,105	0,107	1,033	1,129	1,065	+0,064	+6,01	36,12
0,89	1,78	0,898	0,102	4,946	-2,946	-0,302	0,698	0,111	0,089	0,943	0,658	0,745	-0,087	-11,67	136,2[illegible]
0,96	1,92	0,969	0,031	7,899	-5,899	-0,604	0,395	0,052	0,054	0,736	0,292	0,236	+0,006	+2,10	4,40
0,99	1,98	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,478	-0,478	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
dreapta															
0,06	0,12	0,061	0,939	0,041	+1,959	0,200	1,200	0,104	0,104	1,020	1,222	1,120	+0,102	+9,11	82,99
0,31	0,62	0,313	0,687	0,537	+1,463	0,150	1,150	0,104	0,104	1,020	1,172	1,100	+0,062	+5,58	31,14
0,56	1,12	0,566	0,434	1,499	+0,501	0,051	1,051	0,104	0,105	1,026	1,078	1,030	+0,048	+4,66	21,70
0,81	1,62	0,818	0,182	3,527	-1,527	-0,156	0,844	0,107	0,086	0,927	0,782	0,895	-0,113	-12,62	159,2[illegible]
0,95	1,90	0,960	0,040	7,259	-5,259	-0,538	0,462	0,048	0,052	0,721	0,332	0,330	+0,002	+0,61	0,37
0,99	1,98	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,478	-0,478	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
													Σ	+14,63	535,0[illegible]

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\bar{v}_T - \bar{v}}{\bar{v}}\right) = +1{,}22\ \%$.

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\bar{v}_T - \bar{v}}{\bar{v}}\right) = 6{,}98\ \%$.

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTIŢIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LATIME LA MODELUL SECTORULUI

de rîu Argeş , secţiunea P.1.

$<y> = <h> = 1$ m ; $B = 1,94$ m ; $C = 30,6$ $m^{1/2}/s$; $h_e = 0,0918$ m ; $v = 1,18$ m/s

Tabela II-2-11

y	$2\|y\|$	$\frac{2\|y\|}{B}$	$\eta = 1-\frac{2\|y\|}{B}$	$f(\eta)$	$2-f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	$1+\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	h_i	h_{im}	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{\bar{v}_r}{v}$	$\left(\frac{\bar{v}}{v}\right)_{măsurat}$	$\Delta \frac{\bar{v}}{v}$	$\frac{\Delta \frac{\bar{v}}{v}}{\frac{\bar{v}}{v}} 100$	$\left(\frac{\Delta \frac{\bar{v}}{v}}{\frac{\bar{v}}{v}} 100\right)^2$
stînga															
0,17	0,34	0,175	0,825	0,220	1,780	0,182	1,182	0,099	0,099	1,038	1,230	1,150	+0,080	+6,87	47,20
0,42	0,84	0,433	0,567	0,920	1,080	0,110	1,110	0,096	0,096	1,022	1,132	1,092	+0,040	+3,66	13,40
0,67	1,34	0,691	0,309	2,216	-0,216	-0,022	0,978	0,093	0,097	1,028	1,005	1,010	-0,005	-0,49	0,25
0,87	1,74	0,897	0,103	4,922	-2,922	-0,299	0,701	0,101	0,081	0,940	0,660	0,710	-0,050	-7,04	49,56
0,92	1,84	0,948	0,052	6,613	-4,613	-0,471	0,529	0,048	0,050	0,738	0,390	0,410	-0,020	-4,88	23,81
0,97	1,94	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,478	-0,478	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
dreapta															
0,08	0,16	0,082	0,918	0,068	1,932	0,198	1,198	0,101	0,099	1,038	1,240	1,134	+0,106	+9,35	87,42
0,33	0,66	0,341	0,659	0,616	1,384	0,142	1,142	0,098	0,098	1,033	1,180	1,134	+0,046	+4,06	16,48
0,58	1,16	0,598	0,402	1,671	0,329	0,034	1,034	0,096	0,094	1,013	1,048	1,041	+0,007	+0,67	0,49
0,83	1,66	0,855	0,145	4,086	-2,086	-0,214	0,786	0,088	0,077	0,915	0,720	0,750	-0,040	-5,33	28,41
0,90	1,80	0,927	0,073	6,006	-4,006	-0,410	0,590	0,048	0,045	0,700	0,413	0,433	-0,020	-4,62	21,34
0,97	1,94	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,478	0,478	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000
													Σ	+2,25	288,36

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\bar{v}_r - \bar{v}}{v}\right) = +0,19\ \%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\bar{v}_r - \bar{v}}{\bar{v}}\right) = 5,12\ \%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTIȚIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LAȚIME LA MODELUL SECTORULUI DE RÎU ARGEȘ , secțiunea P.2

$\langle y \rangle = \langle h \rangle = 1$ m ; $B = 1,92$ m ; $C = 30,6$ $m^{1/2}/s$; $h_e = 0,087$ m ; $v = 1,255$ m/s

Tabela II-2-12

y	$2\lvert y\rvert$	$\frac{2\lvert y\rvert}{B}$	$\eta=1-\frac{2\lvert y\rvert}{B}$	$f(\eta)$	$2-f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	$1+\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	h_i	h_{im}	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{v_T}{\bar{v}}$	$\frac{v}{\bar{v}}$ măsurat	$\Delta\frac{v}{\bar{v}}$	$\frac{\Delta\frac{v}{\bar{v}}}{\frac{v}{\bar{v}}}100$	$\left(\frac{\Delta\frac{v}{\bar{v}}}{\frac{v}{\bar{v}}}100\right)^2$
stînga															
0,17	0,34	0,177	0,823	0,199	1,801	0,185	1,185	0,088	0,091	1,020	1,210	1,075	+0,135	+12,55	157,50
0,42	0,84	0,437	0,563	0,935	1,065	0,109	1,109	0,089	0,090	1,018	1,128	1,060	+0,068	+6,41	49,20
0,67	1,34	0,698	0,302	2,319	-0,319	-0,033	0,967	0,093	0,093	1,034	1,002	1,068	-0,066	-6,12	38,20
0,87	1,74	0,907	0,093	5,186	-3,186	-0,326	0,674	0,096	0,078	0,945	0,637	0,806	-0,169	-20,95	738,00
0,92	1,84	0,953	0,042	7,248	-5,248	-0,536	0,464	0,045	0,047	0,736	0,342	0,375	-0,033	-8,80	77,40
0,96	1,92	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,478	-0,478	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
dreapta															
0,08	0,16	0,083	0,917	0,069	1,931	0,197	1,107	0,096	0,091	1,020	1,130	1,114	+0,016	+1,43	2,06
0,33	0,66	0,344	0,656	0,625	1,375	0,141	1,141	0,090	0,092	1,028	1,170	1,051	+0,119	+11,31	128,00
0,58	1,16	0,604	0,396	1,705	0,295	0,030	1,030	0,091	0,089	1,010	1,040	1,041	-0,001	-0,96	0,92
0,83	1,66	0,865	0,135	4,260	-2,260	-0,231	0,769	0,037	0,073	0,915	0,704	0,802	-0,098	-12,22	149,33
0,90	1,80	0,938	0,062	6,227	-4,224	-0,434	0,566	0,041	0,043	0,704	0,399	0,373	+0,025	+6,69	44,80
0,96	1,92	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,478	-0,478	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
													Σ	-10,67	1077,41

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\bar{v}_T-\bar{v}}{\bar{v}}\right) = -0.89\%$

Abaterea medie pătratică $\delta\left(\frac{\bar{v}_T-\bar{v}}{\bar{v}}\right) = 9,90\%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTITIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LATIME LA MODELUL SECTORULUI DE RIU ARGES , sectiunea 108

$<y> = <h> = 1$ m ; $B = 2{,}62$ m ; $C = 30{,}6$ $m^{1/2}/s$; $h_e = 0{,}114$ m ; $v = 0{,}742$ m/s

Tabela II-2-13

y	$2\|y\|$	$\frac{2\|y\|}{B}$	$\eta = 1-\frac{2\|y\|}{B}$	$f(\eta)$	$2-f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	$1+\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	h_i	h_{im}	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{v_r}{v}$	$\frac{v}{v_{măsurat}}$	$\Delta \frac{v}{v}$	$\frac{\Delta \frac{v}{v}}{\frac{v}{v}}100$	$\left(\frac{\Delta \frac{v}{v}}{\frac{v}{v}}100\right)^2$
stînga															
0,12	0,24	0,092	0,908	0,081	1,919	0,196	1,196	0,123	0,121	1,031	1,232	1,256	-0,024	-1,91	3,66
0,37	0,74	0,282	0,718	0,453	1,547	0,158	1,158	0,120	0,121	1,031	1,194	1,090	+0,104	+9,55	91,00
0,62	1,24	0,473	0,527	1,074	0,926	0,095	1,095	0,121	0,121	1,031	1,130	1,112	+0,018	+1,62	2,63
0,87	1,74	0,654	0,336	2,083	-0,083	-0,008	0,992	0,122	0,121	1,031	1,024	1,012	+0,012	+1,18	1,41
1,19	2,38	0,908	0,092	5,203	-3,203	-0,331	0,669	0,120	0,094	0,907	0,606	0,675	-0,069	-10,21	104,50
1,25	2,50	0,954	0,046	5,926	-4,926	-0,504	0,496	0,040	0,053	0,682	0,338	0,341	-0,003	-0,88	0,78
1,31	2,62	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,478	-0,478	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
dreapta															
0,13	0,26	0,099	0,901	0,091	1,909	0,195	1,195	0,121	0,122	1,034	1,231	1,232	-0,001	-0,08	0,01
0,38	0,76	0,290	0,710	0,474	1,526	0,156	1,156	0,122	1,121	1,031	1,191	1,222	-0,031	-2,53	6,42
0,63	1,26	0,481	0,519	1,107	0,893	0,091	1,091	0,121	0,121	1,031	1,126	0,981	+0,145	+14,70	218,00
0,88	1,76	0,672	0,328	2,137	-0,137	-0,014	0,986	0,120	0,121	1,031	1,016	0,970	+0,046	+4,74	22,40
1,13	2,26	0,862	0,138	4,206	-2,206	-0,226	0,774	0,121	0,092	0,897	0,695	0,670	+0,025	+3,73	13,90
1,26	2,52	0,961	0,039	7,330	-5,330	-0,546	0,454	0,035	0,052	0,675	0,306	0,287	-0,019	-6,62	43,80
1,31	2,62	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,478	-0,478	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
													$\sum$	+13,37	503,51

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\bar{v}_r - \bar{v}}{\bar{v}}\right) = +0{,}95\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\bar{v} - }{}\right) =$

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTIȚIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LAȚIME LA UN RÎU

DIN U.R.S.S. /B-4/

$\langle y \rangle = \langle h \rangle =$ 1m; B = 72,00 m ; C = 40 $m^{1/2}/s$; h_e = 1,62 m ; v = 0,58 m/s

Tabela II-2-14

y	$2\|y\|$	$\frac{2\|y\|}{B}$	$\eta=1-\frac{2\|y\|}{B}$	$f(\eta)$	$2-f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	$1+\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	h_i	h_{im}	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{\overline{v_r}}{v}$	$\frac{\overline{v}}{v}$ măsurat	$\Delta\frac{\overline{v}}{v}$	$\frac{\Delta\frac{\overline{v}}{v}}{\frac{\overline{v}}{v}}100$	$\left(\frac{\Delta\frac{\overline{v}}{v}}{\frac{\overline{v}}{v}}100\right)^2$
stînga															
2,0	4,0	0,056	0,944	0,038	1,962	0,154	1,154	1,95	1,90	1,082	1,250	1,171	+0,079	+6,74	45,40
7,0	14,0	0,195	0,805	0,254	1,746	0,137	1,137	2,05	2,08	1,133	1,290	1,260	+0,030	+2,42	5,84
12,0	24,0	0,333	0,667	0,590	1,410	0,111	1,111	2,25	2,23	1,170	1,300	1,293	+0,007	+0,54	0,29
17,0	34,0	0,472	0,528	1,070	0,930	0,073	1,073	2,40	2,35	1,202	1,291	1,293	-0,002	-0,15	0,02
22,0	44,0	0,610	0,390	1,740	0,260	0,020	1,020	2,40	2,17	1,160	1,181	1,271	-0,090	-7,07	50,00
27,0	54,0	0,750	0,250	2,774	-0,774	-0,061	0,939	1,70	1,57	0,985	0,925	0,955	-0,030	-3,14	9,85
32,0	64,0	0,889	0,111	4,736	-2,736	-0,214	0,786	0,60	0,77	0,690	0,541	0,501	+0,040	+7,99	63,80
36,0	72,0	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,130	-0,130	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
dreapta															
3,0	6,0	0,083	0,917	0,069	1,931	0,151	1,151	1,70	1,73	1,032	1,190	1,152	+0,038	+3,30	10,85
8,0	16,0	0,222	0,778	0,311	1,689	0,132	1,132	1,55	1,56	0,980	1,110	1,093	+0,017	+1,55	2,42
13,0	26,0	0,361	0,639	0,676	1,324	0,104	1,104	1,42	1,50	0,961	1,062	1,081	-0,019	-1,75	3,08
18,0	36,0	0,500	0,500	1,188	0,812	0,064	1,064	1,53	1,52	0,970	1,032	1,052	-0,020	-1,90	3,61
23,0	46,0	0,639	0,361	1,916	0,084	0,007	1,007	1,61	1,57	0,985	0,994	1,001	-0,007	-0,70	0,49
28,0	56,0	0,778	0,222	3,077	-1,077	-0,084	0,916	1,56	1,41	0,934	0,855	0,889	-0,034	-3,82	14,59
33,0	66,0	0,917	0,083	5,455	-4,455	-0,350	0,650	1,05	0,87	0,731	0,475	0,474	+0,001	+0,21	0,04
36,0	72,0	1,000	0,000	16,416	-14,416	-1,130	-0,130	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
													Σ	+4,23	210,28

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\overline{v_r}-\overline{v}}{v}\right) = +0,26\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\overline{v_r}-\overline{v}}{v}\right) = 3,74\%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND REPARTITIA VITEZELOR MEDII VERTICALE PE LATIME DUPA /P-5/

$\langle y \rangle = \langle h \rangle = 1$ cm ; B = 36,6 cm ; C = 56 cm$^{1/2}$/s ; h_e = 5,2 cm

Tabela II-2-15

y	$2\|y\|$	$\frac{2\|y\|}{B}$	$\eta = 1-\frac{2\|y\|}{B}$	$f(\eta)$	$2-f(\eta)$	$\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	$1+\frac{\sqrt{g}}{C}[2-f(\eta)]$	h_i	h_{im}	$\sqrt{\frac{h_{im}}{h_e}}$	$\frac{v_T}{v}$	$\frac{v}{v}$ măsurat	$\Delta\frac{v}{v}$	$\frac{\Delta \frac{v}{v}}{\frac{v}{v}}100$	$\left(\frac{\Delta \frac{v}{v}}{\frac{v}{v}}100\right)^2$
stînga															
0,00	0,00	0,000	1,000	0,000	2,000	0,112	1,112	9,1	7,77	1,22	1,355	1,250	+0,105	+8,40	70,56
5,90	11,80	0,323	0,677	0,564	1,434	0,080	1,080	7,1	7,10	1,17	1,762	1,212	+0,052	+4,30	20,49
9,40	18,80	0,514	0,486	1,250	0,750	0,042	1,042	5,1	5,10	0,99	1,031	1,000	+0,031	+3,10	9,61
12,9	25,80	0,706	0,294	2,392	-0,392	-0,022	0,978	3,1	3,10	0,77	0,753	0,810	-0,057	-7,04	49,56
16,4	32,80	0,896	0,104	4,899	-2,899	-0,162	0,838	1,1	1,40	0,52	0,436	0,450	-0,044	-9,17	84,09
18,3	36,60	1,000	0,000	16,416	-14,416	-0,808	0,192	0,0	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
dreapta															
5,90	11,80	0,323	0,677	0,564	1,436	0,080	1,080	7,1	7,10	1,17	1,262	1,200	+0,062	+5,17	26,27
9,40	18,80	0,514	0,486	1,250	0,750	0,042	1,042	5,1	5,10	0,99	1,031	0,990	+0,041	+4,14	17,14
12,9	25,80	0,706	0,294	2,392	-0,392	-0,022	0,978	3,1	3,10	0,77	0,753	0,800	-0,047	-5,87	34,46
16,4	32,80	0,896	0,104	4,899	-2,899	-0,162	0,838	1,1	1,40	0,52	0,436	0,480	-0,044	-9,17	84,09
18,3	36,60	1,000	0,000	16,416	-14,416	-0,808	0,192	0,0	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
													Σ	-6,14	396,73

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\overline{v_T} - \overline{v}}{\overline{v}}\right) = -0,56\ \%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\overline{v_T} - \overline{v}}{\overline{v}}\right) = 6,30\ \%$

Capitolul III

CONTRIBUTII LA CINEMATICA CURGERII PE SECTOARELE IN CURBA

§ 1.- Denivelarea longitudinală a suprafeţei libere a apei pe sectoarele în curbă

Denivelarea suprafeţei libere a apei pe sectoarele în curbă ale canalelor şi albiilor se produce atît în direcţie longitudinală cît şi în direcţie transversală (radială). In esenţă această denivelare se datoreşte acţiunii forţei centrifuge care însoţeşte în general mişcarea unui mobil (respectiv a curentului de apă) pe o traiectorie curbă.

In direcţie longitudinală linia energetică şi linia piezometrică (identică cu curba suprafeţei libere) într-un canal cu curbură uniformă (arc de cerc) sînt indicate după Müller /M-12/ în figura III.1-1

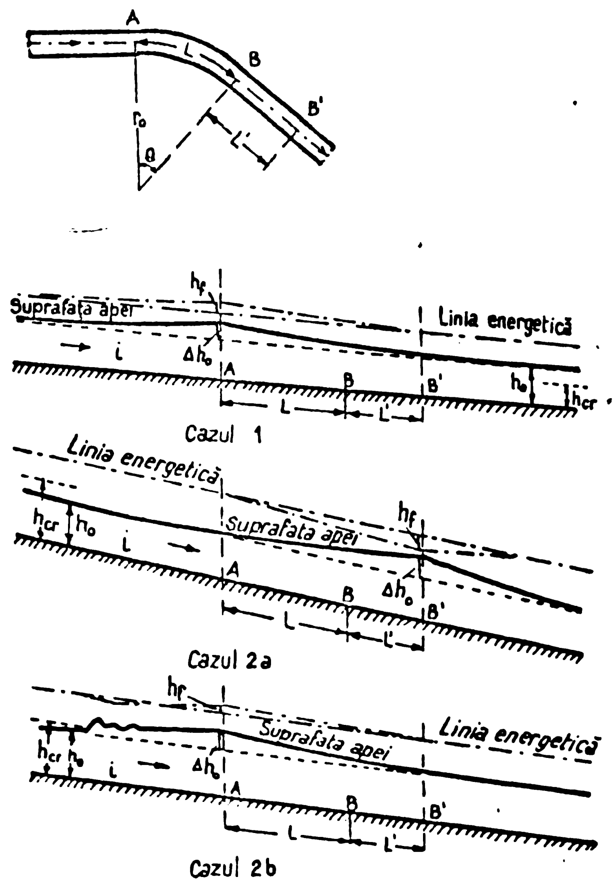


Fig.III.1-1. Linia energetică şi suprafaţa liberă a apei în curbe. Schematizare după Müller.

--------- Linia adîncimii critice.

———— Linia suprafeţei apei.

– – – – Linia adîncimii normale.

Cazul 1 corespunde regimului lent de curgere (subcritic). În absența curbei, curgerea s-ar produce cu adîncimea normală h_0, corespunzătoare regimului uniform. Prin introducerea curbei, linia energetică este ridicată în secțiunea de început a curbei cu o cantitate suplimentară h_f, datorită diminuării pierderilor energetice în zona amonte, diminuare la rîndul ei datorită unui efect de remuu al curbei. Datorită acestui remuu, adîncimea apei crește treptat în zona din amonte de curbă, ceea ce face ca viteza medie a curentului să scadă treptat și în consecință pierderile de energie (proporționale cu pătratul vitezei medii) scad în această zonă din amonte. Cea mai mare parte a acestei energii suplimentare este disipată pe lungimea curbei, iar restul este disipată pe o zonă aval de curbă a cărei lungime a fost notată cu L'. La capătul acestei zone aval se regăsește pentru curent energia specifică caracteristică regimului uniform. Rezultă, ca o consecință, că în zona amonte de curbă panta liniei energetice este mai mică decît cea corespunzătoare regimului uniform, în vreme ce, pe lungimea curbei (în special) și în zona aval de curbă panta liniei energetice este mai mare decît cea corespunzătoare regimului uniform.

Această evoluție a liniei energetice în direcție longitudinală este în conexiune cu evoluția liniei piezometrice (curba suprafeței libere). Existența energiei suplimentare h_f în secțiunea de început a curbei va fi însoțită de creșterea Δh_0 a adîncimii apei, creștere care trebuie să depășească valoarea energiei specifice suplimentare h_f.

Avînd în vedere expresia energiei specifice a secțiunii în regim uniform :

$$E_{A0} = h_0 + \frac{v_0^2}{2g} = h_0 + \frac{Q^2}{2g}\frac{1}{S_0^2} \qquad \text{(III-1-1)}$$

se poate stabili următoarea relație între energia suplimentară h_f și creșterea nivelului apei Δh_0 în secțiunea de început a curbei :

$$\text{(A)} \qquad \Delta E_{A0} = h_f = \Delta h_0 + \Delta\left(\frac{v_0^2}{2g}\right) = \Delta h_0 - \frac{Q^2}{2g}\frac{B_0}{S_0^3} > 0 \qquad \text{(III-1-2)}$$

Această supraînălțare a nivelului apei arată că prezența unei curbe într-un canal, în cazul regimului lent, conduce la un efect de remuu, în zona amonte cu efect maxim la începutul curbei (punctul A), efect similar cu acela al unui prag sau baraj. Calculul curbei de remuu în zona amonte se face dinspre aval spre amonte, începînd din punctul A, unde adîncimea curentului este $h_0+\Delta h_0$ și tinde asimptotic spre amonte la adîncimea normală ho caracteristică regimului uniform de curgere.

Cazul al doilea din figura III.1-1 corespunde unui regim de curgere rapidă în canal. In acest caz linia energetică şi suprafaţa apei rămîn cele corespunzătoare regimului uniform de curgere pînă la începutul curbei (punctul A). Pe sectorul în curbă pierderea de energie este superioară celei care se produce în sectorul rectiliniu de aceea la sfîrşitul curbei (punctul B) şi chiar într-o zonă vecină aval (de lungime L') linia energetică coboară sub cea corespunzătoare regimului uniform cu o cantitate h_f. Din acest punct pierderile de energie trebuie să devină mai mici decît în regim uniform, astfel ca linia energetică să tindă asimptotic spre amonte la cea corespunzătoare regimului uniform. Această diminuare a pierderilor energetice nu este posibilă decît printr-o diminuare a vitezei medii la curentului, respectiv o ridicare a nivelului apei începînd din punctul A şi o creştere a adîncimii apei pînă la valoarea maximă Δh_0 în punctul B' :

$$\text{(B)} \qquad \Delta E_{s0} = h_f = \Delta h_0 - \frac{Q^2}{2g}\frac{B_0}{S_0^3} < 0 \qquad \text{(III.1-3)}$$

Sînt posibile în acest caz două situaţii distincte :

a.- dacă $h_0 + \Delta h_0 < h_{cr}$, deci adîncimea apei rămîne mai mică decît adîncimea critică, creşterea se va face lent printr-o curbă de remuu ;

b.- dacă $h_0 < h_{cr}$, dar $h_0 + \Delta h_0 > h_{cr}$ atunci creşterea se va produce printr-un salt hidraulic ondulat, care face ca energia suplimentară h_f şi supraînălţarea maximă să se producă în secţiunea A de la începutul curbei.

Ambele situaţii sînt ilustrate în figura III.1-1. Avînd în vedere că în teză se studiază albiile largi, cazul fundamental îl constituie cazul 1, corespunzător regimului lent de mişcare, dar se pot întîlni şi cazurile 2a şi 2b.

Evoluţia adîncimii apei în sectoarele curbe ale canalelor şi albiilor prezentată este confirmată şi de studiile experimentale ale altor cercetători : Altunin S.T., Shuckry A., Rozowski I.L., Muramoto I.A., Gonciarov V.N., Poletaev I.B., etc., ale căror lucrări sînt citate în cadrul bibliografiei. Se reproduce în teză un exemplu caracteristic de evoluţie a nivelurilor în curbă, ales dintre rezultatele experimentale ale lui Rozowski I.L. în figura III.1-2.

In ceea ce priveşte denivelarea Δh_0 din sectoarele curbe se vor expune sumar două dintre cele mai utilizate relaţii folosite pentru aprecierea ei :

a.- relaţia lui Boussinesq, prelucrată de Altunin S.T.;

b.- relaţia lui Müller, prelucrată de prof.dr.ing. Radu A. Pop.

a.- Relaţia lui Boussinesq pentru calculul adîncimii medii în curbă h_o/P-6,p.145/ îşi are originea în cercetările experimentale efectuate de către Du Buat în 1779. Considerînd mişcarea lichidului în curbă ca o reflectare succesivă a curentului de peretele albiei, el a obţinut formula pierderii de sarcină în curbă sub următoarea formă :

$$h = 0{,}0123\, v^2 \sum (\sin^2 \varphi) \qquad \text{(III.1-4)}$$

în care :

v este viteza medie a curentului ;

φ - unghiul de incidenţă şi reflecţie.

Pe baza aceloraşi experienţe ale lui Du Buat, Navier a dedus o formulă pentru pierderea de sarcină care nu mai conţine $\sum(\sin^2\varphi)$, introducînd în schimb lungimea arcului de curbă L:

$$h = (0{,}0039 + 0{,}00186\, r)\frac{L}{r^2}\,\frac{v^2}{2g} \qquad \text{(III.1-5)}$$

In continuare Saint-Venant a pus formula sub o formă specifică pentru calculul conductelor :

$$h = 0{,}096\frac{L}{r}\sqrt{\frac{d}{r}}\,\frac{v^2}{2g} \qquad \text{(III.1-6)}$$

unde d este diametrul conductei, iar r raza de curbură a axei.

Cercetări experimentale referitoare la pierderea de sarcină în curbe a efectuat şi Weisbach. Pentru coturile de secţiune dreptunghiulară, care întorc curentul la unghi drept, formula dată de el este :

$$h = \left[0.124 + 3{,}104\left(\frac{B}{2r}\right)^{3,5}\right]\frac{v^2}{2g} \qquad \text{(III.1-7)}$$

In formulele citate pînă aici s-a ţinut cont doar de lăţimea curentului sau de diametrul conductei, fără a se considera forma secţiunii transversale a albiei sau a curentului de lichid. Un şir de alţi cercetători, între care Hagen, Dupuit, Darcy şi alţii s-au îndoit de valorile mari ale rezistenţelor, obţinute cu aceste formule. Chiar Weisbach a remarcat o scădere a pierderii de sarcină la conductele de diametru mare.

Atenţia cercetătorilor a fost concentrată şi spre studiul cauzelor rezistenţei la schimbarea direcţiei de mişcare a curenţilor. Boussinesq consideră că rezistenţa la schimbarea de direcţie se datoreşte loviturii de berbec care se produce ca urmare a impactului curentului de peretele exterior şi provoacă astfel contractarea secţiunii transversale. Asemănător lui Du Buat, însumînd rezistenţa pe lungimea tuturor arcelor curbei, Boussinesq a obţinut următoarea formulă :

$$h = \left(\frac{1}{m} - 1\right)\frac{v^2}{2g} \qquad \text{(III.1-8)}$$

în care m este coeficientul de contracţie al secţiunii transversale. Ulterior această formulă a fost îmbunătățită de Boussinesq înlocuind /D-1,p.73/ formula Saint-Venant cu aproximațiile $L/r = L/h_c$ și D/r cu B/r unde h_c este adîncimea medie în curbă.

Ca urmare pierderea de sarcină suplimentară, datorită curburii, pe unitatea de lungime, este :

$$I_1 = \frac{0{,}096}{2 g h_c} \sqrt{\frac{B}{r}}\, v^2 \qquad \text{(III.1-9)}$$

In același timp, panta hidraulică pentru un sector rectiliniu de aceeași secțiune este (după Chezy) :

$$I_e = \frac{v^2}{C^2 h_c} \qquad \text{(III.1-10)}$$

Rezultă că panta hidraulică totală I_c, într-o albie curbă este :

$$I_c = I_1 + I_e = \frac{v^2}{h_c}\left(\frac{1}{C^2} + \frac{0{,}096}{2g}\sqrt{\frac{B}{r}}\right) \qquad \text{(III.1-11)}$$

S-a constatat că la ape mari în cazul rîurilor sau în canale cu pat rigid studiate în laborator, panta hidraulică în curbă (I_c) și în aliniament (I) sînt aproape egale. Cum aceasta este situația care interesează cel mai mult în practică, se poate scrie :

$$\frac{v^2}{C^2 h} = \frac{v^2}{C^2 h_c}\left(1 + 0{,}048\frac{C^2}{g}\sqrt{\frac{B}{r}}\right) \qquad \text{(III.1-12)}$$

După simplificări evidente se obține relația :

$$h_c = h\left(1 + \sigma\sqrt{\frac{B}{r}}\right) \quad \text{unde} \quad \sigma = 0{,}048\frac{C^2}{g} \qquad \text{(III.1-13)}$$

Se menționează că pentru niveluri de ape mari și valori ale coeficientului de rugozitate n bine alese, formula poate da rezultate bune. Pe baza unor observații și măsurători din natură au fost precizate valorile coeficientului σ de către Altunin S.T./A-7/ și sînt date în tabela Nr. III.1-1.

Tabela Nr. III.1-1

r/B	6	5	4	3	2	1,5
σ	0,60	0,60	0,65	0,75	0,85	2,0

Experiențele de laborator efectuate pe modele de canale trapezoidale cu unghiuri de întoarcere ale curentului de 20°, 45°, 70° și 90° și cu înclinări ale taluzelor de 1:0 ; 1:1 ; 1:2 și 1:3 au confirmat valorile coeficienților din tabela Nr. III.1-1.

b.- Relația lui Müller /M-12/ prelucrată de Radu ... op /P-7/ dă denivelarea suplimentară între capetele curbei, rezultînd din sporul de pantă necesar, față de panta în aliniament, pentru transportarea aceluiași debit (cu păstrarea neschimbată a celorlalte caracteristici ale albiei) :

$$\Delta Z_c = \frac{\alpha(1-\cos\theta_{max})v^2}{2g} = 0{,}051\alpha(1-\cos\theta_{max})v^2 \qquad \text{(III.1-14)}$$

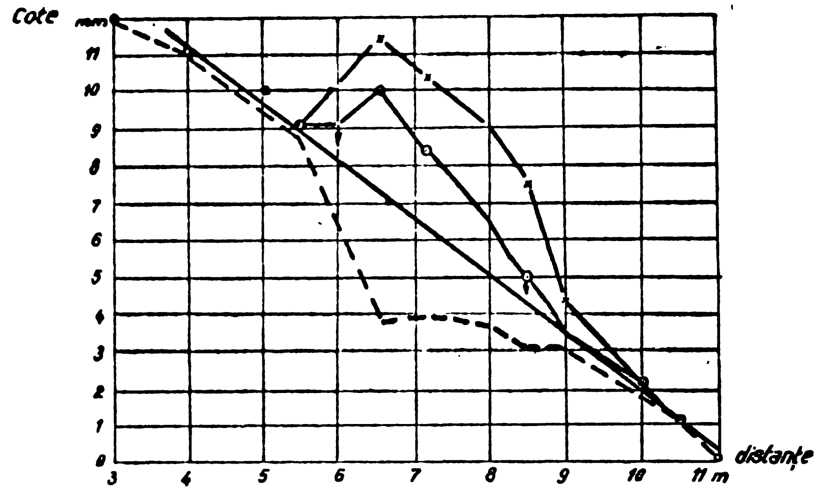


Fig. III.1-2. Evoluția nivelurilor apei în sectorul curb al unui canal dreptunghiular după Rozowski.

în care :

α este coeficient care se determină pe cale experimentală ; în lipsa unor determinări se adoptă valoarea $\alpha = 1$;

θ_{max} – unghiul de întoarcere al curentului ;

v – viteza medie a curentului pe sectorul rectiliniu al albiei.

Notînd cu L_c lungimea curbei și exprimînd pe θ_{max} în grade sexagesimale :

$$L_c = 2\pi \frac{\theta_{max}}{360^\circ} r_o = 0{,}0175\,\theta_{max}\, r_o \qquad \text{(III.1-15)}$$

în care r_o este raza de curbură a axului curbei.

Se poate scrie expresia pantei pe sectorul în curbă :

$$I_c = I + \frac{\Delta Z_c}{L_c} = I + \frac{0{,}051\alpha(1-\cos\theta_{max})v^2}{0{,}0175\,\theta_{max}\, r_o} = \left[1 + \frac{2{,}91\alpha(1-\cos\theta_{max})\, k^2\, h^{4/3}}{\theta_{max}\, r_o}\right] I \qquad \text{(III.1-16)}$$

Se introduce factorul de curbă ϕ prin următoarea notație de definiție :

$$\phi = 1 + \frac{2{,}91\alpha(1-\cos\theta_{max})k^2\, h^{4/3}}{\theta_{max}\, r_o} \qquad \text{(III.1-17)}$$

în care k este coeficientul de viteză, egal cu inversul coeficientului de rugozitate n . In domeniul regularizărilor de rîuri recurgîndu-se de preferință la relația de viteză Manning în care se înlocuiește raza hidraulică cu înălțimea medie h (în cazul albiilor largi),pornind de la relaţia Chézy se poate deduce cu uşurinţă următoarea expresie,frecvent utilizată,a vitezei medii :

$$v = C\sqrt{RI} = \frac{1}{n} h^{2/3} I^{1/2} = k' h^{2/3} I^{1/2} \qquad \text{(III.1-18)}$$

Relaţia de mai sus justifică definiţia adoptată pentru factorul de curbă.

Se mai menţionează relaţia lui A.Strickler pentru definirea coeficientului de viteză k direct în funcţie de aluviunile constituente ale patului :

$$k = \frac{21}{d_r^{1/6}} \qquad \text{(III.1-19)}$$

în care d_r este diametrul de aluviuni reprezentative pentru rugozitatea albiei.Notînd cu d_{50} şi d_{90} diametrul ochiului sitelor prin care trec 50 %,respectiv 90 % din aluviunile fundului albiei,diametrul reprezentativ satisface inegalităţile :

$$d_{50} < d_r < d_{90} \qquad \text{(III.1-20)}$$

şi în lipsa altor indicaţii se poate lua aproximativ :

$$d_r \cong 0,75\, d_{90} \qquad \text{(III.1-21)}$$

La aluviunile practic omogene ale fundului sau la albii pavate,d_r se poate echivala cu diametrul d_m al aluviunilor fundului,respectiv al aluviunilor din stratul pavant.Existenţa radicalului de ordinul şase în relaţia (III.1-19) face ca rezultatele să fie corespunzătoare chiar în cazul unei aprecieri mai puţin exactă a diametrului reprezentativ d_r.

Se mai face observaţia că dacă în relaţia de definiţie a factorului de curbă se ia $\theta_{max} = 0$ se obţine o nedeterminare de tip zero pe zero.Nedeterminarea se poate ridica prin aplicarea teoremei lui L'Hôpital,obţinîndu-se valoarea corectă

$$\lim_{\theta_{max} \to 0} \phi = 1 \qquad \text{(III.1-22)}$$

In urma unor prelucrări a relaţiilor de mai sus /P-7/se ajunge la concluzia că în cazul cînd în curbă se modifică cîte un singur element caracteristic al albiei,această modificare respectă una dintre relaţiile :

$$\begin{aligned} I_c &= \phi\, I \\ B_c &= \phi^{1/2} B \\ h_c &= \phi^{3/10} h \\ k_c &= \phi^{1/2} k \end{aligned} \qquad \text{(III.1-23)}$$

In ipoteza modificării concomitente a mai multor elemente caracteristice ale albiei relaţia generală exprimînd egalitatea capacităţii de debit pe sectorul în curbă şi în aliniament este :

$$k_c B_c h_c^{5/3} I^{1/2} = \phi^{1/2} k B h^{5/3} I^{1/2} \qquad \text{(III.1-24)}$$

In această relație simplificîndu-se elementele constante se obține relația căutată între elementele care s-au modificat. In cadrul tezei, în această capitol s-au considerat curbe la care $I_e = I$, $B_e = B$ şi $k_o = k$ de unde :

$$h_c^{5/3} = \phi^{1/2} h^{5/3} \Longrightarrow h_c = \phi^{3/10} h \qquad \text{(III.1-23')}$$

ceea ce corespunde cu relația respectivă din (III.1-23).

Pentru rezolvarea problemei distribuției vitezelor în curbe, din cele prezentate în cadrul prezentului paragraf, s-a extras şi adoptat (în conformitate cu rezultatele experimentale) următoarea variație schematizată a adîncimilor apei în axul geometric al curbei, valabilă pentru cazul curenților în regim lent :

- creşterea adîncimii începe într-o secțiune transversală din aliniament, situată la distanța B/2 amonte de începutul curbei ;

- adîncimea medie în curbă h_c s-a calculat cu formula Boussinesq - Altunin şi Müller, adaptată de R.Pop ; s-a considerat că ea este atinsă în secțiunea radială $\theta_1 = \frac{\theta_{lim}}{k}$ aval de începutul curbei. In ceea ce priveşte valoarea lui k s-a adoptat k = 4 ;

- în secțiunea de început a curbei, adîncimea apei este semi-suma adîncimilor din aliniament şi din secțiunea radială θ_1 ;

- în curbă panta longitudinală este aceeaşi cu cea din sectorul amonte. Aceasta se referă la porțiunea de curbă dintre secțiunea θ_1 şi pînă în secțiunea θ_{n-1}, prima secțiune amonte de sfîrşitul curbei :

$$\theta_1 = \theta_{max} \,; \quad \theta_{n-1} = \theta_{max} - (n-1)\frac{\theta_{lim}}{k} \qquad \text{(III.1-25)}$$

- într-o secțiune transversală situată aval de sfîrşitul curbei, la distanța B/2, scăderea adîncimii apei se termină, aici regăsindu-se adîncimea caracteristică sectorului în aliniament ;

- în secțiunea ce reprezintă sfîrşitul curbei, adîncimea apei este semisuma adîncimilor din secțiunea θ_{n-1} şi din aliniament.

Această schematizare este prezentată în figura III.1-3

Datorită existenței unei adîncimi medii în curbă mai mari decît în aliniament rezultă că viteza medie în curbă va fi mai mică decît în aliniament (dacă lățimea secțiunii este neschimbată). Datorită însă pierderilor suplimentare care apar

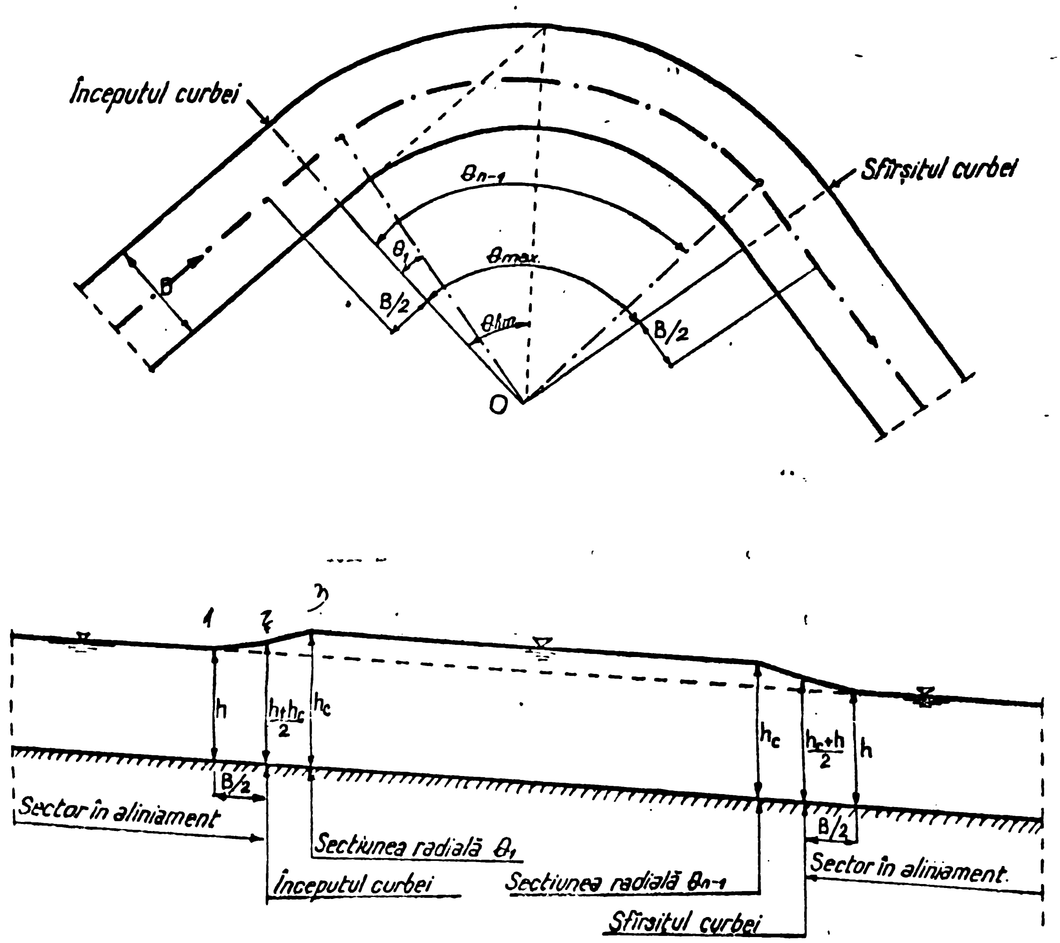


Fig. III.1-3. Schematizarea variației nivelului apei în axul geometric al curbei.

pe sectoarele în curbă comparativ cu sectoarele în aliniament, pierderi datorate curbării firelor de curent și pierderi datorate variației secțiunii vii (în evoluția albiilor $B_0 < B$), într-o primă aproximație se poate considera că suma lor este egală cu pierderea de energie în aliniament. Această ipoteză, adoptată de Boussinesq, justifică din punct de vedere energetic și schematizarea adoptată în teză.

Experiența lui Rozowski, prezentată în figura III-1-2 verifică satisfăcător această ipoteză.

In figura III.1-4 se prezintă variația nivelului apei în axul geometric al modelului sectorului de rîu Argeș, unde se constată de asemenea o verificare satisfăcătoare și o justificare a ipotezei adoptate.

In acest caz, adîncimea apei în aliniament, în ax, a fost de h = 8,4 cm, în vreme ce adîncimea medie în curbă în ax a fost de h_c = 10,3 cm. Aplicînd relația de calcul a lui Boussinesq se obține : $h_c = h\left(1 + 6\sqrt{\frac{B}{r}}\right) = 13{,}1\ cm$

Cu relația lui Müller - R.Pop se obține :

$$h_c = \phi^{3/10}\, h = 9{,}65\ cm$$

In tabela Nr.III.1-2 sînt date abaterile măsurătorilor de la calculul teoretic efectuat cu cele două formule prezentate anterior.

Tabela III.1-2

	Cu relația		Din date experimentale	Diferențe			
	Boussinesq	Müller		Δ_B	%	Δ_M	%
h_0/h	1,56	1,15	1,23	+0,33	+26,8	-0,08	-6,5

Din tabel, ca și din figura III.1-4, se deduce aceeași concluzie a justeței ipotezei adoptate.

Calculul diferențelor între valorile teoretice și măsurate permite să se tragă concluzia că în acest caz relația lui Müller - R.Pop dă rezultate mai bune (-6,5 %) decît relația lui Boussinesq (+26,8 %) ceea ce era de așteptat avînd în vedere precizarea din literatura de specialitate conform căreia această ultimă relație se recomandă la niveluri mari de apă.

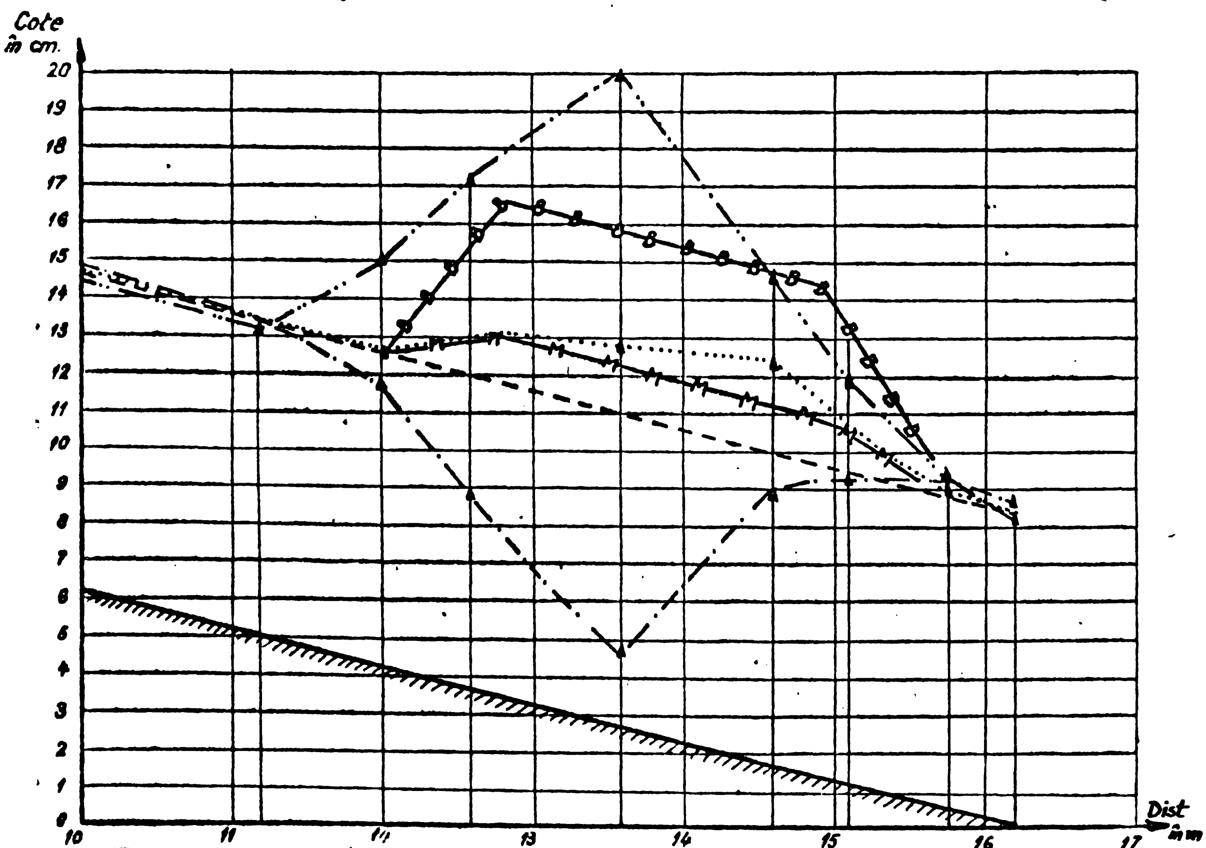


Fig. III.1-4 Evoluția nivelurilor apei în curba P1-P125 de pe modelul sectorului de rîu Argeș
---- regim normal în axul curbei; ....Δ.... niveluri măsurate în axul curbei;
—M—M— niveluri după Müller în axul curbei; ——— niveluri măsurate la mal drept (convex);
—B—B— niveluri după Boussinesq în axul curbei; —..— niveluri măsurate la mal sting (concav);

§ 2.- Denivelarea suprafeţei libere a apei pe sectoarele în curbă după direcţia transversală (radială)

a.- Calculul denivelării transversale

Denivelarea suprafeţei libere în sens transversal are loc pe sectoarele în curbă ale curenţilor cu faţa liberă ca efect al acţiunii forţelor centrifuge care apar totdeauna atunci cînd există un corp în mişcare pe o traiectorie curbă.

Pe lîngă forţa centrifugă care reprezintă cauza denivelării suprafeţei libere în sens transversal,pentru explicarea deplină a acestui fenomen mai trebuie avute în vedere şi proprietăţile fizice ale lichidelor şi în primul rînd proprietatea de fluiditate.La gradienţii de viteză aproape nuli care apar în zona dinspre suprafaţa liberă,atît în mişcarea longitudinală principală cît şi în mişcarea transversală secundară,apa nu poate prelua tensiuni tangenţiale de frecare vîscoasă semnificative şi în consecinţă comportarea suprafeţei libere este analoagă celei a unui lichid ideal.In consecinţă,conform ecuaţiilor fundamentale Euler,gradientul presiunii nu va avea direcţie verticală,iar suprafeţele izobare nu vor fi plane orizontale,ci gradientul presiunii într-un punct va avea direcţia rezultantei forţei gravitaţionale şi a forţei centrifuge care acţionează asupra particulei de lichid (care la limită se identifică cu punctul).

Suprafeţele izobare vor fi perpendiculare pe acest gradient al presiunii şi deoarece suprafaţa liberă este o suprafaţă izobară rezultă că ea se va denivela astfel încît în fiecare punct al ei să fie respectată condiţia de perpendicularitate enunţată.Deoarece forţele centrifuge depind de pătratul vitezelor şi invers proporţional de raza de curbură,iar vitezele şi razele în secţiunea transversală sînt variabile,rezultă că direcţia gradientului presiunii va fi variabilă.Consecinţa este că suprafeţele izobare nu mai sînt plane ci sînt suprafeţe curbe.

In majoritatea lucrărilor se reprezintă aproximativ suprafaţa liberă în curbă sub forma unui plan înclinat.Figura III.2-1 cuprinde o reprezentare schematizată adaptată după /L-3,p.114/.

Forţa centrifugă dirijată orizontal spre malul concav care acţionează asupra unei particule de masă dm aflată la suprafaţa liberă a apei,avînd viteza de curent $\overline{u}_s$, este dată de relaţia :

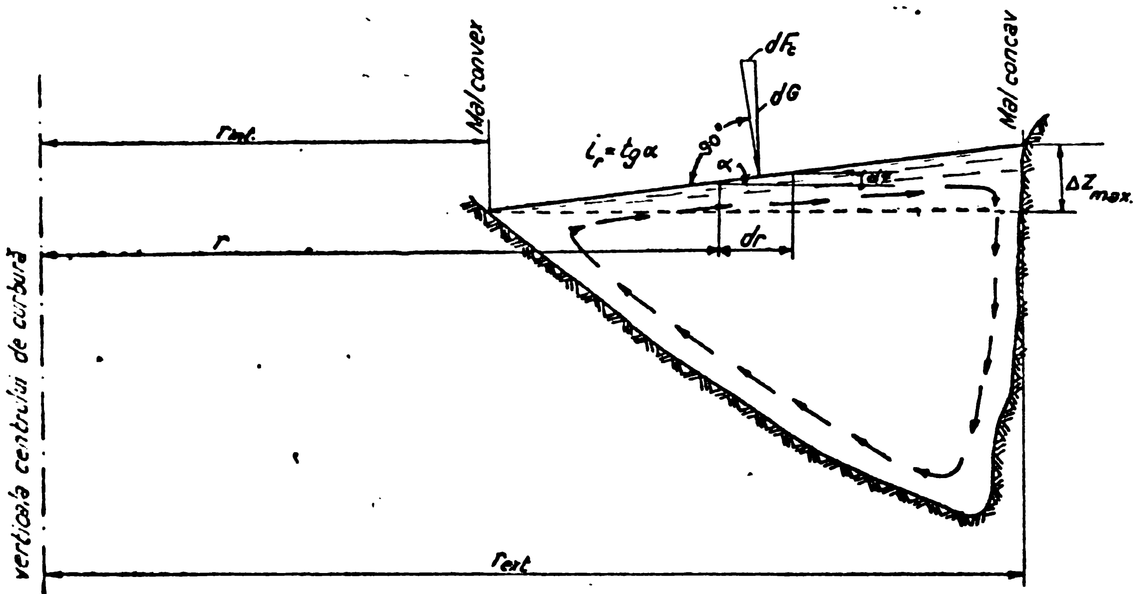


Fig. III. 2-1 Reprezentarea schematizată a denivelării suprafeței libere a apei în sectoarele curbe după [L-3]

$$dF_c = \frac{\overline{U}_s^2}{r}\,dm \qquad \text{(III.2-1)}$$

în vreme ce greutatea aceleiaşi particule se exprimă prin :

$$dG = g\,dm$$

Panta locală a suprafeţei libere a apei,se acceptă ca fiind dată de :

$$tg\alpha = \frac{dz}{dr} = \frac{\overline{U}_s^2}{gr} \qquad \text{(III.2-2)}$$

Pentru determinarea profilului suprafeţei libere sub formă finită este necesară integrarea ecuaţiei diferenţiale de mai sus.Această integrală nu se poate însă efectua deoarece nu se cunoaşte repartiţia vitezei de suprafaţă $\overline{u}_s$ în direcţia radială r .

In general pentru a se putea elucida această dificultate se face o aproximare,înlocuindu-se viteza punctuală $\overline{u}_s$ printr-o viteză medie de suprafaţă v_s . In acest caz,prin integrarea ecuaţiei diferenţiale şi utilizarea condiţiilor la limită se obţine ecuaţia suprafeţei libere :

$$z = \frac{v_s^2}{g}\ln\frac{r}{r_{int}} \qquad \text{(III.2-3)}$$

Denivelarea totală Δz_{max} se calculează prin înlocuirea lui r cu r_{ext} în relaţia de mai sus,obţinîndu-se aşa numita ecuaţie a lui Grashof care a fost satisfăcător verificată prin nivelment pe Rin :

$$\Delta Z_{max} = \frac{v_s^2}{g}\ln\frac{r_{ext}}{r_{int}} = 2{,}3\,\frac{v_s^2}{g}\lg\frac{r_{ext}}{r_{int}} \qquad \text{(III.2-4)}$$

Dacă ecuaţia lui Grashof,care dă denivelarea totală mai poate fi acceptată,deoarece exprimă o mărime globală ce nu este prea mult afectată de procesul de mediere autoarea consideră că în ceea ce privește variația locală a suprafeței libere, ecuația logaritmică de tipul (III.2-3) poate conduce la erori grosolane,la reprezentări greșite ale fenomenului,inacceptabile chiar pentru acest domeniu al tehnicii.

Intr-adevăr,pe de o parte cercetările experimentale indică în unanimitate că variația vitezelor se schimbă continuu în lungul curbei : în principiu după intrarea în curbă vitezele maxime se apropie de malul convex,pentru ca apoi să se apropie de malul concav.Se redă spre exemplificare,după Shuokry A. figura III.2-2,obținută ca urmare a unor cercetări experimentale minuțioase efectuate într-un canal dreptunghiular de lățime 30 cm.

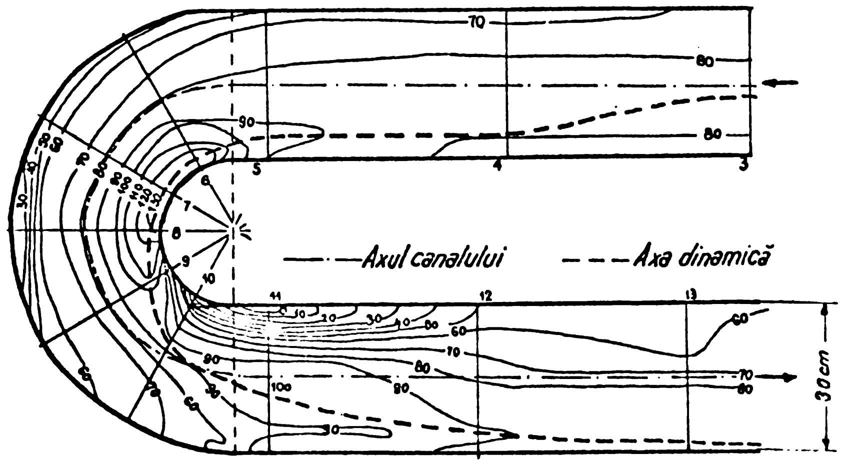
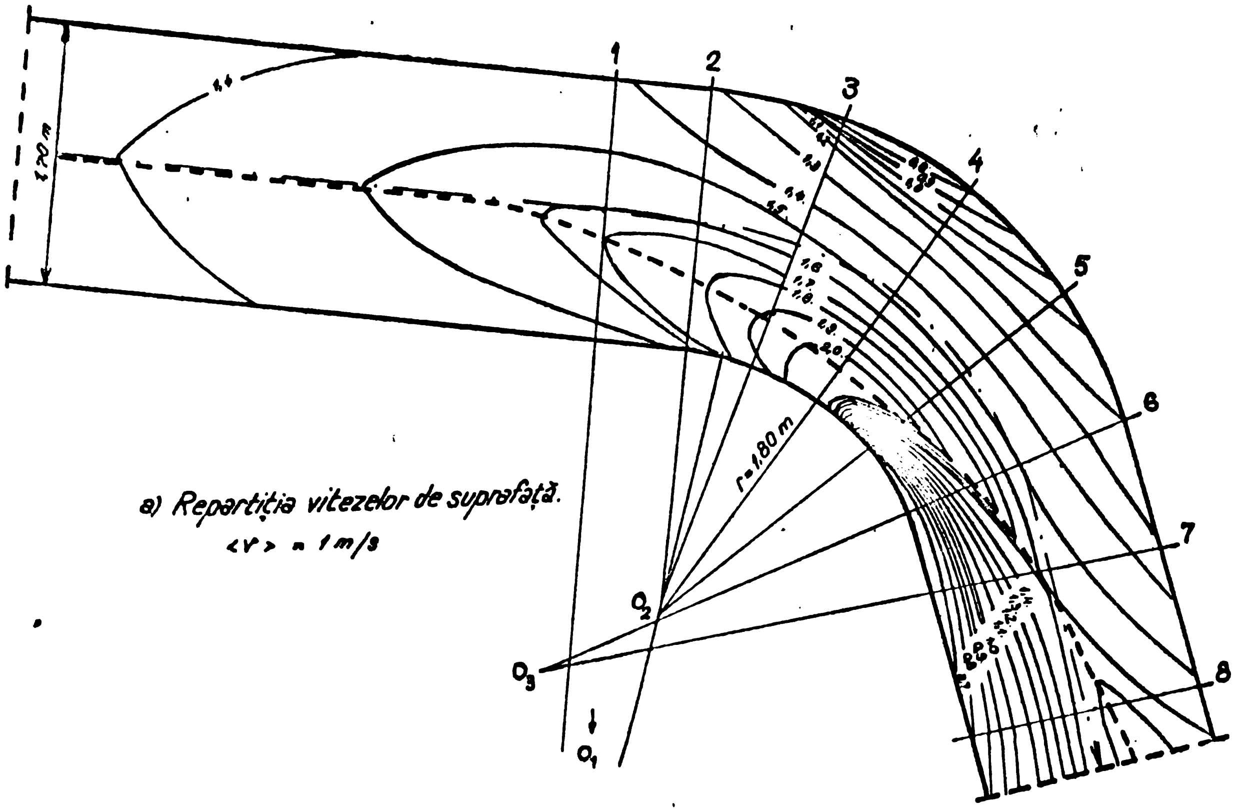


Fig. III.2-2 Repartiția vitezelor într-un canal dreptunghiular după Shukry.

Toți ceilalți cercetători care au fost studiați (Rozowski,Zambahidze,Goncearov,Poletaev etc.) indică în principiu aceeași evoluție a vitezelor maxime,atît pentru maximele medii ale unei verticale cît și pentru vitezele de suprafață corespunzătoare.

In cadrul cercetărilor efectuate pe modelul unui sector al rîului Argeș,model realizat pe platforma Catedrei C.I.F. a Institutului politehnic Timișoara,s-a constatat că și la albiile rîurilor vitezele maxime de suprafață respectă regulile enunțate pentru canale dreptunghiulare.Reprezentarea cîmpului de viteze pe modelul sectorului de rîu Argeș este dată în figura III.2-3,din care rezultă clar că există diferențe mari între vitezele reale de suprafață și o medie a lor.



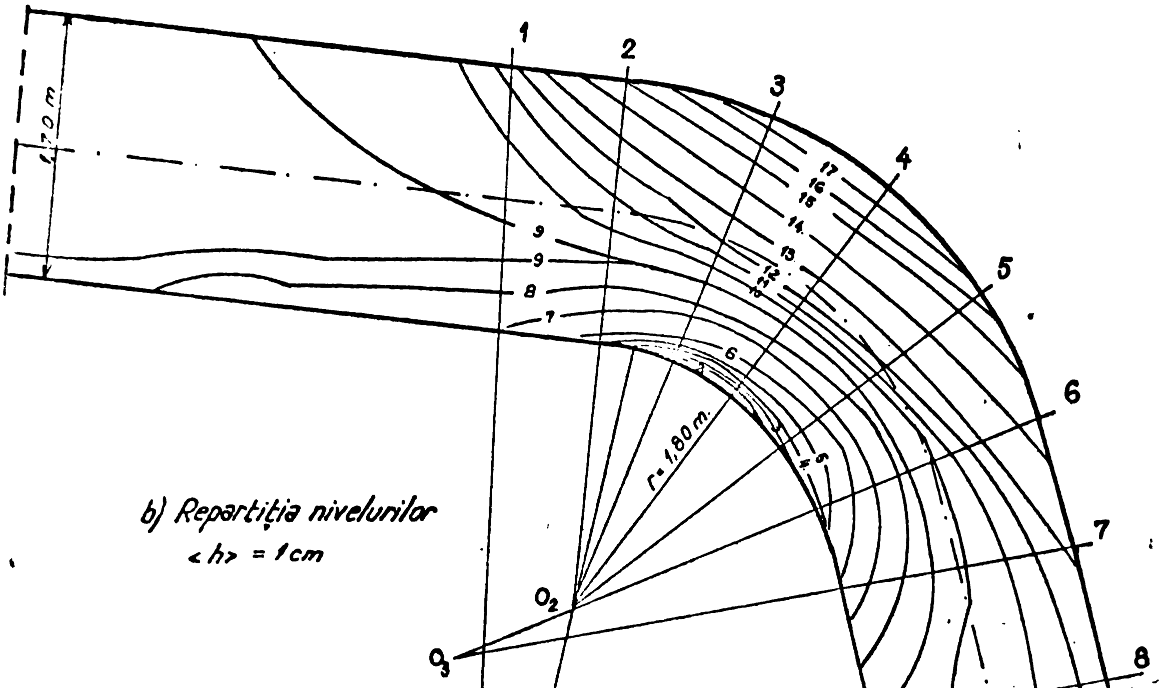


Fig. III. 2-3. Repartiția vitezelor și a nivelurilor în curba P1 - P125 de pe modelul sectorului de râu Argeș.

Pe de altă parte, se poate arăta şi teoretic că eroarea făcută prin folosirea ecuaţiei (III.2-3) este inacceptabilă. Astfel, derivînd de două ori ecuaţia suprafeţei libere se obţin relaţiile :

$$\frac{dz}{dr} = \frac{v_s^2}{gr}; \quad \frac{d^2z}{dr^2} = -\frac{v_s^2}{gr^2} \qquad \text{(III.2-5)}$$

Relaţiile corecte, respective, obţinute prin derivarea relaţiei (III.2-2) sînt :

$$\frac{dz}{dr} = \frac{\overline{U}_s^2}{gr}; \quad \frac{d^2z}{dr^2} = \frac{2\,\overline{U}_s \frac{d\overline{U}_s}{dr} r - \overline{U}_s^2}{gr^2} \qquad \text{(III.2-6)}$$

După cum se observă, în vreme ce relaţia aproximativă dă pentru suprafaţa liberă o curbă convexă (figura III.2-4 a), relaţia corectă dă curburi variabile, funcţie de raportul mărimilor care intervin. Aceasta justifică, după părerea autoarei de ce, de exemplu, în cursul /D-1, pg.81/ deşi se adoptă aproximaţia menţionată, suprafaţa liberă a apei este reprezentată ca în figura III.2-4 b).

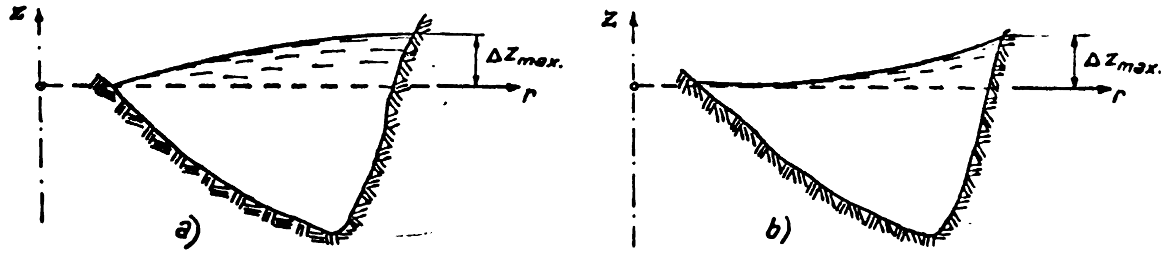


Fig.III.2-4 Reprezentarea suprafeţei libere a apei în curbe:
a) folosind relaţia aproximativă de calcul;
b) folosind relaţia exactă de calcul.

Avînd în vedere cele de mai sus, în teză nu se acceptă înlocuirea vitezei de suprafaţă punctuale ($\overline{U}_s$) printr-o viteză de suprafaţă medie şi se lucrează doar cu relaţia corectă transcrisă, pentru a permite compararea cu rezultatele experimentale într-o ecuaţie cu diferenţe finite :

$$\Delta z = \frac{\overline{U}_s^2}{gr} \Delta r \qquad \text{(III.2-7)}$$

Măsurătorile de viteze se fac la distanţe de centrul de curbură notate cu r_i, indicele „i" crescînd odată cu depărtarea de centrul de curbură :

$$\Delta z_{i,i+1} = z_{i+1} - z_i = \frac{\overline{U}_{s,i+1}^2 + \overline{U}_{s,i}^2}{g(r_{i+1} + r_i)}(r_{i+1} - r_i) \qquad \text{(III.2-8)}$$

b.- <u>Verificarea relaţiei propuse prin date experimentale</u>

Pentru verificarea relaţiei III.2-8 s-au utilizat următoarele materiale cuprinzînd rezultate experimentale :

- măsurători de viteze şi niveluri efectuate îngrijit, de Zambahidze, într-un canal de secţiune dreptunghiulară cu lăţimea de 56 cm, înălţimea medie a curentului 12,8 cm şi curbă de 180° ; datele publicate în /Z-1/, după decesul autorului sînt prezentate în lucrarea respectivă însoţite numai de interpretări calitative ;

- rezultate experimentale proprii efectuate pe modelul sectorului de rîu Argeş model realizat în cadrul catedrei de construcţii hidrotehnice şi îmbunătăţiri funciare a Institutului politehnic Timişoara, model care s-a remarcat prin variaţia razelor de curbură şi a lăţimilor albiei în cot.

In tabela III.2-1 sînt calculate denivelările transversale înregistrate în canalul experimental de secţiune dreptunghiulară după măsurătorile prezentate în /Z-1, pg.145/. Măsurătorile de viteze şi niveluri au fost efectuate în cinci verticale situate la 14 cm şi 24 cm de ax, precum şi în ax. In cadrul prelucrărilor secţiunea 4 de la intrarea în curbă a fost eliminată datorită abaterilor mari pe care le prezintă datele experimentale faţă de cele rezultate din calcul. Aceste abateri mari sînt datorate nivelurilor din verticalele II şi III care sînt egale şi căderii mari măsurate între verticala III şi IV. In celelalte secţiuni au rezultat indicatorii statistici calculaţi în tabela III.2-1 care variază între limitele :

- valoarea medie a erorii relative :

$$M\left(\frac{\Delta Z_{ir}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = +2{,}90\% \div -0{,}75\%$$

- abaterea medie pătratică :

$$\sigma\left(\frac{\Delta Z_{ir}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 11{,}46\% \div 2{,}67\%$$

Media generală a indicatorilor statistici din secţiunile transversale este pentru :

- valoarea medie a erorii relative :

$$M\left(\frac{\Delta Z_{ir}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = +0{,}91\%$$

- abaterea medie pătratică :

$$\sigma\left(\frac{\Delta Z_{ir}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 5{,}64\%$$

După cum se observă valoarea medie aritmetică a erorii relative este foarte mică ceea ce se explică şi în acest caz prin compensarea abaterilor pozitive şi negative. Precizia formulei fiind dată de al doilea indicator, poate fi considerată bună.

In figura III.2-5 este prezentat standul experimental al canalului în care s-au făcut măsurătorile de niveluri şi viteze /Z-1/.

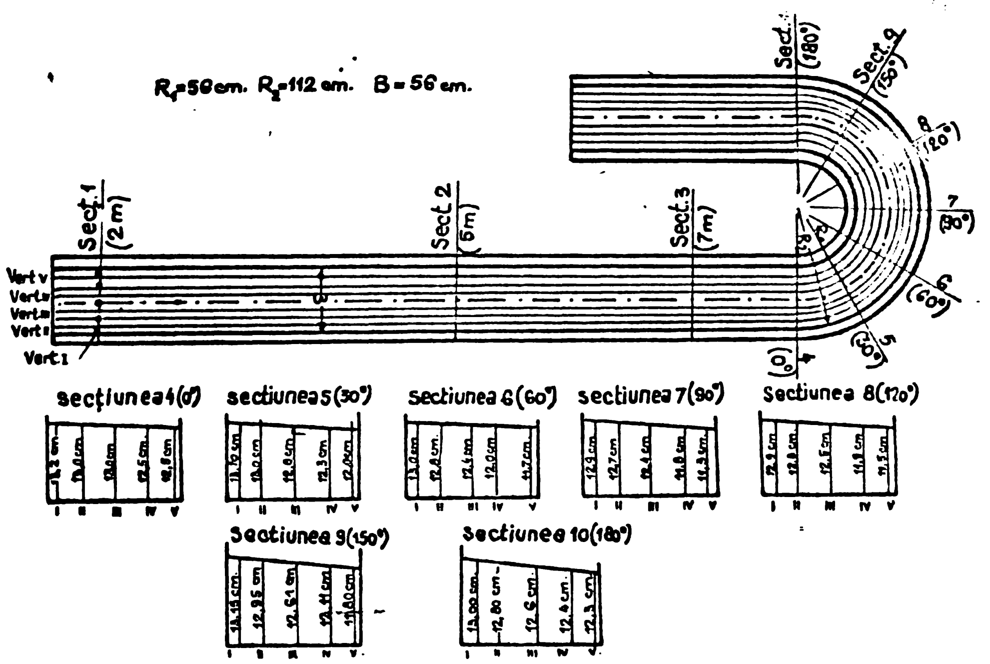


Fig. III.2-5 Situaţia în plan şi secţiunile transversale din curbă cu masurătorile de niveluri după [Z-1]

In tabela III.2-2 sînt calculate denivelările transversale înregistrate pe modelul sectorului de rîu Argeş. Măsurătorile de viteze şi niveluri au fost efectuate pe verticale situate la 25 cm depărtare una de alta.

Repartiţia vitezelor de suprafaţă şi a nivelurilor respective este dată în figura III.2-3 a şi b.

In cadrul prelucrărilor secţiunea 7(P 126) a fost eliminată deoarece prezintă abateri mari ale elementelor calculate faţă de cele măsurate, abateri explicabile prin influenţa contracurbei din aval (care în calcul nu este prinsă. In celelalte secţiuni au rezultat indicatorii statistici prezentaţi în tabela III.2-2, care variază între limitele :

- valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta Z_{ir}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = +4,35\% \div -1,45\%$
- abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta Z_{ir}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 12,26\% \div 2.93\%$

Media indicatorilor statistici din secţiunile transversale luate în considerare este pentru :

- valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta Z_{ir}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = +0,61\%$
- abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta Z_{ir}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 6,28\%$

Si în acest caz se observă că valoarea medie aritmetică a erorii relative este mică datorită compensării abaterilor pozitive şi negative. Precizia formulei fiind dată de al doilea indicator poate fi considerată bună pentru acest domeniu al tehnicii.

In figura III.2-6 sînt prezentate distribuţiile vitezei pe verticală în trei secţiuni caracteristice corespunzătoare situaţiei din planul prezentat în figura III.2-3 a şi b.

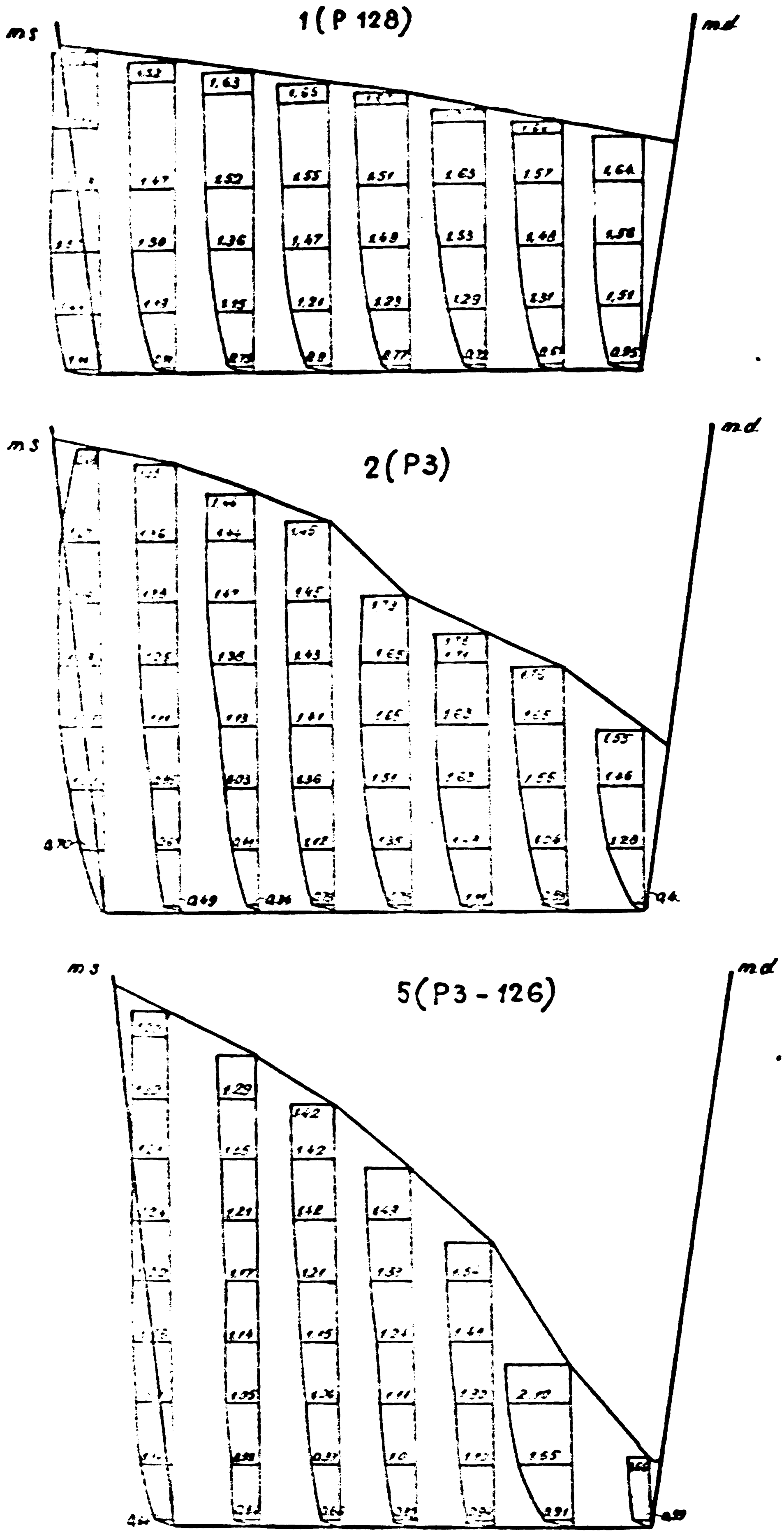


Fig. III 2-6. Denivelarea suprafeței libere a apei în curba P1-125. a modelului sectorului de rîu Argeș: variația nivelurilor în secțiuni caracteristice și distribuția vitezei pe verticală.

TABEL COMPARATIV PRIVIND DENIVELARILE TRANSVERSALE INTR-UN CANAL DE SECTIUNE DREPTUNGHIULARA (măsurători după Zambahidze)

$<r_i> = <h_i> = <\Delta z_i> = 1$ cm ; $<\overline{u}_s> = 1$ cm/s

Tabela III.2-1

Sect.	Verticala	r_i	Date experimentale				Date calculate				$\Delta = \Delta z_{i_T} - \Delta z_i$	$\frac{\Delta}{\Delta z_i} 100$	$\left(\frac{\Delta}{\Delta z_i} 100\right)^2$
			h_i	$\overline{u}_s$	$\overline{u}_s^2$	Δz_i	$r_{i+1}+r_i$	$r_{i+1}-r_i$	$\overline{u}_{s,i+1}^2+\overline{u}_{s,i}^2$	Δz_{i_T}			
4*	I	108	13,20	38	1444	0,20	206	10	3748	0,185	-0,015	-7,50	56,25
	II	98	13,00	48	2304	0,00	182	14	4608	0,361	+0,361	∞	-
	III	84	13,00	48	2304	0,40	154	14	5008	0,463	+0,063	+15,75	248,06
	IV	70	12,60	52	2704	0,10	130	10	5620	0,440	+0,340	+340,0	115600
	V	60	12,50	54	2916								

* Rezultatele din secţiunea 4 nu au fost luate în considerare datorită abaterilor mari înregistrate în secţiunea de început a curbei

Sect.	Verticala	r_i	h_i	$\overline{u}_s$	$\overline{u}_s^2$	Δz_i	$r_{i+1}+r_i$	$r_{i+1}-r_i$	$\overline{u}_{s,i+1}^2+\overline{u}_{s,i}^2$	Δz_{i_T}	Δ	$\frac{\Delta}{\Delta z_i} 100$	$\left(\frac{\Delta}{\Delta z_i} 100\right)^2$
5	I	108	13,10	32	1024	0,10	206	10	2048	0,101	+0,001	+1,00	1,00
	II	98	13,00	32	1024	0,20	182	14	2873	0,225	+0,025	+12,50	156,25
	III	84	12,80	43	1849	0,50	154	14	4765	0,441	-0,059	-11,80	139,24
	IV	70	12,30	54	2916	0,30	130	10	4212	0,329	+0,029	+9,90	98,01
	V	60	12,00	36	1296								
											Σ	+11,60	394,50

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta z_{i_T} - \Delta z_i}{\Delta z_i}\right) = +2,90\ \%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta z_{i_T} - \Delta z_i}{\Delta z_i}\right) = 11,46\ \%$

continuare Tabela III.2.1

Sect.	Verticala	r_i	Date experimentale: h_i	$\overline{U_s}$	$\overline{U_s}^2$	ΔZ_i	Date calculate: $r_{i+1}+r_i$	$r_{i+1}-r_i$	$\overline{U}^2_{s,i+1}+\overline{U}^2_{s,i}$	ΔZ_{iT}	$\Delta = \Delta Z_{iT}-\Delta Z_i$	$\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100$	$\left(\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100\right)^2$
6	I	108	13,00	39	1521	0,20	206	10	3922	0,194	-0,006	-3,00	9,00
	II	98	12,80	49	2401	0,40	182	14	4705	0,370	-0,030	-7,50	56,25
	III	84	12,40	48	2304	0,40	154	14	4608	0,426	+0,026	+6,50	42,25
	IV	70	12,00	48	2304	0,30	130	10	3985	0,312	+0,012	+4,00	16,00
	V	60	11,70	41	1681								
											Σ	0,00	123,50

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta Z_{iT}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 0.00\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta Z_{iT}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 6,40\%$

7	I	108	12,90	42	1764	0,20	206	10	3789	0,188	-0,012	-6,00	36,00
	II	98	12,70	45	2025	0,30	182	14	4141	0,324	+0,024	+8,00	64,00
	III	84	12,40	46	2116	0,60	154	14	6341	0,590	-0,010	-1,66	2,78
	IV	70	11,80	65	4225	0,50	130	10	6626	0,519	+0,019	+3,80	14,44
	V	60	11,30	49	2401								
											Σ	+4,14	117,22

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta Z_{iT}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = +1,03\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta Z_{iT}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 6.25\%$

Secț.	Verticala	r_i	Date experimentale h_i	$\overline{U}_i$	$\overline{U}_i^2$	Date calculate ΔZ_i	$r_{i+1}+r_i$	$r_{i+1}-r_i$	$\overline{U}_{i+1}^2+\overline{U}_i^2$	ΔZ_{i_T}	$\Delta = \Delta Z_{i_T}-\Delta Z_i$	$\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100$	$\left(\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100\right)^2$
8	I	108	12,90	30	900	0,10	206	10	2056	0,102	+0,002	+2,00	4,00
	II	98	12,80	34	1156	0,30	182	14	3965	0,310	+0,010	+3,33	11,10
	III	84	12,50	53	2809	0,60	154	14	6290	0,585	-0,015	-2,50	6,25
	IV	70	11,90	59	3481	0,40	130	10	5081	0,329	-0,001	-0,25	0,06
	V	60	11,50	40	1600								
											Σ	+2,58	21,41

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta Z_{i_T}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = +0,65\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta Z_{i_T}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 2,67\%$

Secț.	Verticala	r_i	h_i	$\overline{U}_i$	$\overline{U}_i^2$	ΔZ_i	$r_{i+1}+r_i$	$r_{i+1}-r_i$	$\overline{U}_{i+1}^2+\overline{U}_i^2$	ΔZ_{i_T}	Δ	$\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100$	$\left(\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100\right)^2$
9	I	108	13,15	42	1764	0,20	206	10	3880	0,192	-0,008	-4,00	16,00
	II	98	12,95	46	2116	0,34	182	14	4420	0,346	+0,006	+1,76	3,12
	III	84	12,61	48	2304	0,50	154	14	5329	0,493	-0,007	-1,40	1,96
	IV	70	12,11	55	3025	0,31	130	10	3986	0,312	+0,002	+0,65	0,42
	V	60	11,80	31	961								
											Σ	-2,99	21,50

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta Z_{i_T}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = -0,75\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta Z_{i_T}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 2,68\%$

continuare Tabela III.2-1.

Secţ.	Verticala	r_i	Date experimentale h_i	$\overline{U}_i$	$\overline{U}_i^2$	Date calculate Δz_i	$r_{i+1}+r_i$	$r_{i+1}-r_i$	$\overline{U}^2_{A,i+1}+\overline{U}^2_{A,i}$	Δz_{iT}	$\Delta = \Delta z_{iT}-\Delta z_i$	$\frac{\Delta}{\Delta z_i}100$	$\left(\frac{\Delta}{\Delta z_i}100\right)^2$
10	I	108	13,00	50	2500	0,20	206	10	4021	0,199	-0,001	-0,50	0,25
	II	98	12,80	39	1521	0,20	182	14	2610	0,204	+0,004	+2,00	4,00
	III	84	12,60	33	1089	0,20	154	14	2113	0,196	-0,004	-2,00	4,00
	IV	70	12,40	32	1024	0,10	130	10	1385	0,107	+0,007	+7,00	49,00
	V	60	12,30	19	361								
											Σ	+6,50	57,25

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta z_{iT}-\Delta z_i}{\Delta z_i}\right) = +1,62\%$.

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta z_{iT}-\Delta z_i}{\Delta z_i}\right) = 4,36\%$

<u>media generală a indicatorilor statistici</u> (din secţiunile transversale) :

- Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta z_{iT}-\Delta z_i}{\Delta z_i}\right) = +0,91\%$
- Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta z_{iT}-\Delta z_i}{\Delta z_i}\right) = 5,64\%$.

TABEL COMPARATIV PRIVIND DENIVELĂRILE TRANSVERSALE PE MODELUL SECTORULUI DE RÎU ARGEȘ

$<r_1> = <h_1> = <\Delta z_1> = 1$ m ; $<\bar{u}_s> = 1$ m/s

Tabela III.2-2

Sect.	Verticala	r_i	Date experimentale h_i	$\bar{U}_s$	$\bar{U}_s^2$	ΔZ_i	Date calculate $r_{i+1}+r_i$	$r_{i+1}-r_i$	$\bar{U}^2_{s,i+1}+\bar{U}^2_{s,i}$	ΔZ_{iT}	$\Delta = \Delta Z_{iT} - \Delta Z_i$	$\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100$	$\left(\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100\right)^2$
2	1	3,80	0,058	1,55	2,40	0,018	7,85	0,25	5,49	0,018	0,000	0,00	0,00
	2	4,05	0,076	1,75	3,09	0,018	8,35	0,25	6,25	0,019	+0,001	+5,55	30,86
	3	4,30	0,094	1,78	3,16	0,018	8,85	0,25	6,36	0,018	0,000	0,00	0,00
	4	4,55	0,112	1,79	3,20	0,014	9,35	0,25	5,30	0,014	0,000	0,00	0,00
	5	4,80	0,125	1,45	2,10	0,011	9,85	0,25	4,17	0,011	0,000	0,000	0,00
	6	5,05	0,137	1,44	2,07	0,010	10,35	0,25	3,89	0,010	0,000	0,00	0,00
	7	5,30	0,147	1,35	1,82	0,004	10,85	0,25	2,25	0,005	+0,001	+25,00	625,00
	8	5,55	0,151	0,65	0,43						Σ	+30,55	655,86

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta Z_{iT} - \Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = +4,35\,\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta Z_{iT} - \Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 10,42\,\%$

Sect.	Verticala	r_i	h_i	$\bar{U}_s$	$\bar{U}_s^2$	ΔZ_i	$r_{i+1}+r_i$	$r_{i+1}-r_i$	$\bar{U}^2_{s,i+1}+\bar{U}^2_{s,i}$	ΔZ_{iT}	Δ	$\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100$	$\left(\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100\right)^2$
3	1	1,80	0,018	1,86	3,46	0,047	3,85	0,25	7,14	0,047	0,000	0,00	0,00
	2	2,05	0,055	1,92	3,68	0,038	4,35	0,25	6,71	0,039	+0,001	+2,63	6,92
	3	2,30	0,103	1,74	3,03	0,028	4,85	0,25	5,34	0,028	0,000	0,00	0,00
	4	2,55	0,131	1,52	2,31	0,020	5,35	0,25	4,27	0,020	0,000	0,00	0,00
	5	2,80	0,151	1,40	1,96	0,015	5,85	0,25	3,21	0,014	−0,001	−6,66	44,40
	6	3,05	0,166	1,12	1,25	0,007	6,35	0,25	1,84	0,007	0,000	0,00	0,00
	7	3,30	0,173	0,77	0,59	0,004	6,85	0,25	0,86	0,004	0,000	0,00	0,00
	8	3,55	0,177	0,52	0,27						Σ	−4,03	51,32

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta Z_{iT} - \Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = -0,58\,\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta Z_{iT} - \Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 2,93\,\%$

continuare III-2-2

Sect.	Verticala	r_i	Date experimentale h_i	$\overline{U}_A$	$\overline{U}_A^2$	ΔZ_i	Date calculate $r_{i+1}+r_i$	$r_{i+1}-r_i$	$\overline{U}^2_{A,i+1}+\overline{U}^2_{A,i}$	ΔZ_{i_T}	$\Delta = \Delta Z_{i_T}-\Delta Z_i$	$\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100$	$\left(\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100\right)^2$
4	1	1,80	0,020	2,01	4,03	0,053	3,85	0,25	8,36	0,053	0,000	0,00	0,00
	2	2,05	0,073	2,08	4,33	0,039	4,35	0,25	6,99	0,039	0,000	0,000	0,00
	3	2,30	0,112	1,63	2,66	0,025	4,85	0,25	4,97	0,025	0,000	0,00	0,00
	4	2,55	0,137	1,52	2,31	0,018	5,35	0,25	4,21	0,019	+0,001	+5,55	30,86
	5	2,80	0,155	1,38	1,90	0,014	5,85	0,25	3,36	0,014	0,000	0,000	0,00
	6	3,05	0,169	1,21	1,46	0,010	6,35	0,25	2,48	0,009	-0,001	-10,00	100,00
	7	3,30	0,179	1,01	1,02	0,003	6,85	0,25	1,74	0,006	0,000	0,00	0,00
	8	3,55	0,185	0,85	0,72						Σ	-4,45	130,86

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta Z_{i_T}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = -0,63\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta Z_{i_T}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 4,67\%$

Sect.	Verticala	r_i	h_i	$\overline{U}_A$	$\overline{U}_A^2$	ΔZ_i	$r_{i+1}+r_i$	$r_{i+1}-r_i$	$\overline{U}^2_{A,i+1}+\overline{U}^2_{A,i}$	ΔZ_{i_T}	Δ	$\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100$	$\left(\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100\right)^2$
5	1	1,80	0,022	0,66	0,43	0,031	3,85	0,25	4,84	0,032	+0,001	+3,22	10,36
	2	2,05	0,053	2,10	4,41	0,040	4,35	0,25	6,78	0,040	0,000	0,00	0,00
	3	2,30	0,093	1,54	2,37	0,024	4,85	0,25	4,59	0,024	0,000	0,00	0,00
	4	2,55	0,117	1,49	2,22	0,021	5,35	0,25	4,23	0,020	-0,001	-4,76	22,67
	5	2,80	0,138	1,42	2,01	0,016	5,85	0,29	3,57	0,016	0,000	0,00	0,00
	6	3,05	0,154	1,29	1,66	0,014	6,35	0,29	3,10	0,013	-0,001	-7,15	51,10
	7	3,34	0,168	1,20	1,44						Σ	-8,69	84,13

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta Z_{i_T}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = -1,45\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta Z_{i_T}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 4,10\%$

continuare III – 2-2

Sect.	Verticala	r_i	h_i	$\overline{U_A}$	$\overline{U_A^2}$	ΔZ_i	$r_{i+1}+r_i$	$r_{i+1}-r_i$	$\overline{U^2_{A\,i+1}}+\overline{U^2_{A\,i}}$	ΔZ_{iT}	$\Delta = \Delta Z_{iT}-\Delta Z_i$	$\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100$	$\left(\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100\right)^2$
			Date experimentate				Date calculate						
6	1	1,80	0,045	0,50	0,25	0,009	3,35	0,25	1,45	0,009	0,000	0,00	0,00
	2	2,05	0,054	1,10	1,21	0,022	4,35	0,25	3,86	0,023	+0,001	+4,55	20,65
	3	2,30	0,076	1,63	2,65	0,026	4,85	0,25	4,90	0,026	0,000	0,00	0,00
	4	2,55	0,102	1,50	2,25	0,021	5,35	0,25	4,30	0,021	0,000	0,00	0,00
	5	2,80	0,125	1,43	2,[illegible]	0,017	5,85	0,25	3,67	0,016	-0,001	-5,88	34,55
	6	3,05	0,140	1,27	1,6[illegible]	0,012	6,34	0,25	3,08	0,012	0,000	0,00	0,00
	7	3,29	0,152	1,21	1,[illegible]								
											Σ	-1,23	55,20

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta Z_{iT}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = -0{,}21\,\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta Z_{iT}-\Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 3{,}32\,\%$

Sect.	Verticala	r_i	h_i	$\overline{U_A}$	$\overline{U_A^2}$	ΔZ_i	$r_{i+1}+r_i$	$r_{i+1}-r_i$	$\overline{U^2_{A\,i+1}}+\overline{U^2_{A\,i}}$	ΔZ_{iT}	Δ	$\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100$	$\left(\frac{\Delta}{\Delta Z_i}100\right)^2$
7	1	2,60	0,073	0,71	0,50	-0,012	5,45	0,25	3,28	0,015	+0,027	+224,5	50,70
	2	2,85	0,061	1,67	2,78	0,047	5,95	0,25	5,00	0,021	-0,026	-55,4	3060
	3	3,10	0,108	1,49	2,22	0,008	6,45	0,25	3,40	0,013	+0,005	+62,5	3901
	4	3,35	0,116	1,09	1,18	0,024	6,95	0,25	3,46	0,013	-0,011	-45,8	2100
	5	3,60	0,140	1,51	2,28	-0,010	7,53	0,33	4,15	0,014	+0,024	+240,0	57600
	6	3,93	0,130	1,37	1,87								
											Σ	+425,8	117361

Secţiunea 7 are curgerea influenţată de curba din aval şi nivelurile nu concordă cu calculele

continuare III-2-2

Sect.	Verticala	r_i	Date experimentale				Date calculate				$\Delta = \Delta Z_{iT} - \Delta Z_i$	$\frac{\Delta}{\Delta Z_i} 100$	$\left(\frac{\Delta}{\Delta Z_i} 100\right)^2$
			h_i	$\overline{U}_s$	$\overline{U}_s^2$	ΔZ_i	$r_{i+1} + r_i$	$r_{i+1} - r_i$	$\overline{U}_{s,i+1}^2 + \overline{U}_{s,i}^2$	ΔZ_{iT}			
1	1	15,00	0,074	1,64	2,69	0,005	30,25	0,25	5,51	0,005	−0,001	−16,67	278,00
	2	15,25	0,080	1,68	2,82	0,004	30,75	0,25	5,71	0,005	+0,001	+25,00	625,00
	3	15,50	0,084	1,70	2,89	0,005	31,25	0,25	5,68	0,005	0,000	0,00	0,00
	4	15,75	0,089	1,67	2,79	0,004	31,75	0,25	5,51	0,004	0,000	0,00	0,00
	5	16,00	0,093	1,65	2,72	0,004	32,25	0,25	5,38	0,004	0,000	0,00	0,00
	6	16,25	0,097	1,63	2,66	0,004	32,75	0,25	4,97	0,004	0,000	0,00	0,00
	7	16,50	0,101	1,52	2,31	0,003	33,25	0,25	4,35	0,003	0,000	0,00	0,00
	8	16,75	0,104	1,43	2,04								
											Σ	+8,33	903,00

Valoarea medie a erorii relative $M\left(\frac{\Delta Z_{iT} - \Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = +\ 1,19\ \%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\Delta Z_{iT} - \Delta Z_i}{\Delta Z_i}\right) = 12,26\ \%$

§ 3.- Circulația transversală în literatura de specialitate

Cinematica curgerii pe sectoarele în curbă ale canalelor și cursurilor naturale a făcut obiectul a numeroase studii. După date destul de complete și nu prea vechi (1973) prezentate în lucrarea /P-2/ s-au publicat pînă în prezent peste 200 studii importante referitoare la această problemă.

Se pare că fenomenul a fost pentru prima dată cercetat în secolul XVIII de către Du Buat, iar primele experiențe au fost făcute de J.Thomson în 1872, care a dat și o explicație fizică a fenomenului. In aceeași perioadă, primele încercări de a fundamenta teoretic fenomenul circulației transversale a lichidului în curbele curenților cu fața liberă le-a efectuat J. Boussinesq.

Dintre cercetătorii mai cunoscuți se citează de asemenea Navier, Saint-Venant și Weisbach care s-au ocupat de curgerea în curbele conductelor.

De asemenea N.E.Jukovschi a studiat fenomenul curgerii apei în curbe.

Concluziile acestor studii sînt calitative și pot fi rezumate la următoarele :

- în sectorul rectiliniu al canalului, datorită frecării lichidului de fund se formează fire de vîrtej cu ax orizontal orientate perpendicular pe direcția de curgere ; în sectoarele curbe, datorită faptului că vitezele longitudinale sînt mai mari pe malul convex decît pe malul concav se produce o înclinare a firelor de vîrtej. Apar, astfel, forțe de inerție verticale care în mod inevitabil produc apariția circulației transversale, circulație care trebuie să se producă în așa fel încît să egaleze aceste forțe verticale ;
- se consideră în plus ipoteza că pentru curgerea pe sectoarele curbe este valabilă legea ariilor a lui Kepler Vr = constant, V fiind viteza medie pe verticală și r raza de curbură a verticalei respective.

Pe de altă parte, dacă apa ar fi un lichid perfect ideal atunci în sectorul curb ar fi valabilă legea de distribuție de la vîrtejul plan cu axa în centrul de curbură ceea ce conduce la aceeași lege a ariilor.

In studiul /M-9/ în care obiectul principal a fost determinarea domeniului de apă moartă în curbele bruște ale canalelor de secțiune dreptunghiulară,s-a ajuns la concluzia că distribuția vitezelor poate fi acceptată după legea ariilor. Dîndu-se o mare importanță creșterii presiunii pe malul concav în fenomenul apariției circulației transversale,nu s-a ținut seama de neuniformitatea distribuției vitezelor pe verticală. Insuficiența esențială a experiențelor lui Milovici a constat în faptul că la valori relativ mari ale raportului B/h_{max} numerele Reynolds au fost mici,iar regimurile erau foarte apropiate de cele laminare.

Un studiu important pentru explicarea corectă a fenomenului circulației transversale este /D-2/ în care s-a ajuns la concluzia că intensitatea circulației transversale se găsește în dependență directă de gradul de neuniformitate al distribuției vitezelor după verticală în secțiunea de intrare în sectorul curb și în dependență directă de raza de curbură. De asemenea Demontier a ajuns la concluzia că pentru mișcarea lichidului în curbe,dependența de tipul legii ariilor nu este universală și este de așteptat că distribuția vitezelor longitudinale să fie alta.

In lucrarea /M-10/,pleeînd de la ecuațiile mișcării turbulente și făcînd ipoteza despre valoarea relativ mică a vitezelor radiale (w_r) și verticale (v_z) în raport cu viteza longitudinală ($\overline{u}$),într-o albie relativ lată ca și ipoteza despre simetria axială a curentului,Macoareev a obținut următoarea ecuație cu derivate parțiale :

$$\frac{\overline{u}^2}{r} = +g\,I_r - \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{A}{\rho}\cdot\frac{\partial w_r}{\partial z}\right) \qquad (III.3\text{-}1)$$

unde :

I_r este panta transversală ;

A - coeficient,avînd dimensiuni de vîscozitate dinamică ;

ρ - densitatea lichidului ;

g - accelerația gravitațională.

Această ecuație permite de a defini componenta radială a vitezei dacă este cunoscută legea de repartiție a vitezei longitudinale după verticală și panta transversală ; afară de aceasta trebuie făcute ipotezele corespunzătoare referitoare la coeficientul vîscozității turbulente A.

Utilizarea circulației transversale,artificial creată, la proiectarea construcțiilor de captare și la corectarea albiei se datorește lui Potapov și elevilor săi /P-3/.

Soluția teoretică a problemei circulației transversale pe sectoarele în curbă a fost dedusă la început fără considerarea forțelor născute pe seama formării pantei transversale. Dependența obținută astfel pentru calculul lui w_r nu este bine verificată de experiențe /D-3/ și după cum a arătat autorul constitue doar o primă aproximație în rezolvarea problemei. Mai tîrziu Potapov a ținut seama de forțele centrifuge și a ajuns la o ecuație de același tip ca și Macoaveev.

Numeroase cercetări experimentale a efectuat M.P. Kojevnikov în canale de secțiune dreptunghiulară (B = 80 cm , h = 2-10 cm și unghiuri de întoarcere a curentului pînă la 180° cu r_0/B = 1-2) și mai puțin în albii de secțiune triunghiulară /K-1/. In aceste experiențe s-au măsurat vitezele longitudinale, forma suprafeței libere, dar nu s-au făcut măsurători de viteze radiale, viteze care au fost studiate doar pe cale teoretică.

Iuşmanov /I-2/ a dat o soluție simplificată considerînd forțele care acționează asupra particulei elementare de lichid în direcția radială de forma :

$$dF_r = \left(\frac{u^2}{r} - \frac{v^2}{r}\right) dm \qquad \text{(III.3-2)}$$

Termenul din paranteză este tocmai accelerația căpătată de particula de lichid în direcție radială, care poate fi exprimată prin intermediul vitezei radiale :

$$a_r = \frac{dw_r}{dt} = \frac{dw_r}{dr}\frac{dr}{dt} = \frac{dw_r}{dr} w_r = \frac{d}{dr}\left(\frac{w_r^2}{2}\right) \qquad \text{(III.3-3)}$$

Din aceste două relații, utilizînd pentru distribuția pe verticală a vitezelor o relație de forma :

$$\overline{u} = \overline{v} f(\varsigma) ; \quad \varsigma = \frac{z}{h} ; \quad z = \text{distanța de la fund} \qquad \text{(III.3-4)}$$

se poate scrie :

$$\frac{d}{dr}\left(\frac{w_r^2}{2}\right) = \lambda' \frac{\overline{v}^2}{r}\left[f(\varsigma) - 1\right] \qquad \text{(III.3-5)}$$

unde λ' este după Kojevnicov un "multiplicator care ține seama de variația grosimii stratului elementar transversal al curentului în lungul lui r". După cum se observă, în studiul inițial metoda lui Kojevnikov pleacă de la o schematizare simplă și intuitivă a fenomenului. Totuși, pînă la obținerea dependențelor finale se mai utilizează :

- o ipoteză relativă la constanta legii de distribuție a vitezei medii verticale pe lățimea curentului, această lege fiind dată sub forma :

$$\overline{v} = \frac{C}{\sqrt{r}} \qquad C = \text{constantă} \qquad \text{(III.3-6)}$$

- o ipoteză referitoare la faptul că toate particulele de apă se mişcă în direcție radială în plane orizontale ;
- unele simplificări forțate ale fenomenului.

In acest fel se obține o expresie pentru determinarea mărimii vitezelor radiale în primă aproximaţie după care se trece pe baza unei noi schematizări a fenomenului şi a unor procedee artificiale la determinarea componentelor verticale ale vitezei v_z şi se construiesc traiectoriile mişcării particulelor de lichid în planul coordonatelor axelor r şi z ,după care se indică modul de a defini viteza radială în a doua aproximaţie.

Se poate aprecia că metoda lui Kojovnicov pentru calculul circulaţiei transversale este greoaie,ipoteza despre caracterul distribuţiei vitezelor longitudinale în raport cu lăţimea cuprinsă în relaţia (III.3-6) nu se verifică în cazul general ceea ce rezultă chiar din experienţele autorului citat ; în fine se folosesc procedee artificiale a căror justeţe nu este verificată experimental.

Experienţe interesante şi de mare fineţe,făcute într-un canal de secţiune dreptunghiulară de $B x h = 30 x 40$ cm,sînt prezentate în lucrarea /S-4/. In cadrul experienţelor s-a studiat influenţa asupra curgerii apei în curbe a următorilor factori :

- numărul Reynolds a variat în limitele $4.10^4 \leq Re \leq 10.10^4$;
- razele relative de curbură în limitele variaţiei $0,5 \leq r_0/B \leq 3,0$;
- lăţimile relative $\beta = B/h$ în limitele variaţiei $0,835 \leq B/h \leq 1,670$;
- unghiurile de întoarcere a curentului în limitele variaţiei $0^o \leq \theta \leq 180^o$.

Cu ajutorul unor sonde Pitot de construcţie specială, sferică,s-au măsurat toate cele 3 componente ale vitezei şi s-a calculat "forţa mişcării elicoidale" definită ca raport între energia cinetică medie a curentului de lichid în planul axelor z şi r şi energia cinetică generală a curentului.

Au rezultat următoarele concluzii :

- cu creşterea valorilor parametrilor Re , $1/\beta$ şi r_0/B, "forţa mişcării elicoidale" scade ; creşterea acestei forţe pe lungimea curbei se produce doar pînă la secţiunea ce face un unghi de întoarcere de 135^o cu direcţia iniţială a curentului ;
- la rapoarte $r_0/B < 2$ se produce desprinderea curentului de peretele convex,punctul de desprindere deplasîndu-se spre aval odată cu creşterea numărului Reynolds ;
- coeficientul pierderii de sarcină calculat doar pentru sectorul în curbă scade împreună cu scăderea "forţei mişcă-

rii elicoidale" ;

- repartiția vitezelor longitudinale pe lățimea canalului în secțiunea înclinării maxime a suprafeței libere se supune legii ariilor ;

- la $r_0/B = 3$ influența curburii devine neglijabil de mică.

Experiențele bine concepute ale lui Shuckry au prezentat însă două lipsuri esențiale care atrag după ele anumite rezerve în ceea ce privește valabilitatea concluziilor formulate și anume :

- lungimea relativ mică a sectorului rectiliniu amonte (la $B/h = 1$, $l_{am}/h = 13$) ;

- existența în sectorul rectiliniu din amonte a unei puternice mișcări elicoidale a curentului datorată condițiilor necorespunzătoare de la intrarea în canal. In unele situații, această circulație inițială de sens opus sensului obișnuit al circulației în curbă a fost atît de puternică încît s-a anihilat doar la sfîrșitul curbei.

Un mare volum de cercetări teoretice și experimentale asupra fenomenului de curgere a lichidului în curbe se datoresc lui Rozovskii /R-3/ și /R-4/. In final el a obținut o dependență destul de simplă pentru calculul vitezei radiale în domeniul central al curentului, în care se poate neglija influența pereților laterali ai canalului :

$$\frac{w_r}{V} = \frac{1}{\varkappa^2}\,\frac{h}{r}\left[F_1(\xi) - \frac{\sqrt{g}}{\varkappa C}F_4(\xi)\right]; \qquad \xi = \frac{z}{h} \qquad (III.3-7)$$

în care F_1 și F_4 sînt funcții date de autor sub formă grafică.

In cadrul cercetărilor experimentale au fost determinate componentele longitudinale și transversale ale vitezei, ultimele prin măsurarea unghiului pe care un fir de mătase (care se orientează după direcția vitezei rezultante) îl face cu direcția tangentei la axa canalului. Cercetările lui Rozowski au urmărit să stabilească și concluzii calitative referitoare la influența asupra circulației transversale a razei de curbură ($B \leq r_0 \leq 2,5\ B$), a lățimii relative a curentului ($5 \leq B/h \leq 25$), a rugozității fundului ($C = 30$ și $C = 60$) și a formei secțiunii transversale. Experiențele au indicat că la creșterea adîncimii pînă la o valoare limită are loc o creștere a circulației transversale, în timp ce o creștere ulterioară a adîncimii conduce la o mică scădere a vitezelor radiale. In ceea ce privește dependența vitezelor radiale de coeficientul de rezistență Chezy ea este neglijabil de mică.

În lucrarea /A-6/ sînt prezentate interesante cercetări teoretice referitoare la circulaţia transversală în curbe atît în cazul conductelor cît şi al curenţilor cu faţa liberă în albii de secţiune dreptunghiulară şi triunghiulară, în cazul considerării unor legi diferite de repartiţie a vitezelor longitudinale după verticală. Relaţiile teoretice sînt însă insuficient verificate experimental.

Un aport la cunoaşterea fenomenului curgerii în curbele l-a adus şi Velicanov /V-1/ care a analizat calitativ circulaţia transversală, a propus o dependenţă proprie pentru calculul componentelor radiale ale vitezelor şi a studiat forma suprafeţei libere a curentului pe sectoarele în curbă.

O relaţie deosebit de simplă pentru distribuţia pe verticală a vitezei radiale a fost dată în lucrarea /G-2, p.149/. Pleeînd de la ipoteza lichidului ideal, a cărui curgere se face cu conservarea energiei şi de la ipoteza că particula lichidă în mişcarea în curbă are vectorul vîrtej $\vec{\omega} \neq 0$, rezultă că ecuaţia de mişcare Gromeko-Lamb este satisfăcută dacă $\vec{\omega} \parallel \vec{v}$. Considerînd că în secţiunea axială componenta verticală a vitezei depinde doar de cota z se obţine următoarea expresie (care poate fi considerată doar ca o primă aproximaţie) :

$$\frac{w_r}{v} = \frac{\alpha h}{r_0}\left(\frac{2z}{h} - 1\right) \qquad (III.3-8)$$

unde :

r_0 este raza de curbură a axei curentului ;

α - constantă care pentru verticala axială ia valori nule la intrarea şi ieşirea în curbă şi atinge valoarea maximă, egală cu 3 pînă la 5, la distanţa unghiulară de început al curbei egală cu $(0,3 - 0,5)\pi$. Constanta α se va schimba şi pe lăţimea albiei, deşi în lucrarea citată nu se dau indicaţii asupra modului concret în care se produce această schimbare. Importantă este concluzia autorului că la o distanţă unghiulară de $(0,7 - 1,0)\pi$ de începutul curbei, vitezele circulaţiei transversale scad pînă la valoarea zero. Din acest motiv, la unghiuri de întoarcere a curentului mai mici de $0,7\pi$ circulaţia dispare chiar de la ieşirea în sectorul rectiliniu.

În lucrarea /P-5/ se propune, pe baza unor verificări experimentale, ca în curbe lungi, pentru două verticale ale aceluiaşi curent, să se folosească relaţia pentru vitezele radiale:

$$\frac{w_{r1}}{w_{r2}} = \sqrt{\frac{r_2}{r_1}} \qquad (III.3-9)$$

Se menţionează că relaţia propusă se referă doar la albii înguste.

Dacă vitezele se referă la doi curenţi de lăţimi diferite atunci relaţia de mai sus devine :

$$\frac{W_{r1}}{W_{r2}} = \sqrt{\frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{B_1}{B_2}} \qquad (III.3-10)$$

Se menţionează de asemenea experienţele lui Prus-Chasinski /P-4/ în care s-a urmărit influenţa puternică pe care o are o circulaţie iniţială în secţiunea de intrare asupra intensităţii circulaţiei în curbe şi dependenţa importantă a direcţiei firelor de curent de la fund de rugozitatea fundului şi de numărul lui Reynolds. Este vorba de faptul că unghiul de înclinare α al firelor de curent de la fund faţă de tangenta la axa canalului creşte cu scăderea numărului Re în canalul neted şi de asemenea creşte cu scăderea coeficientului Chezy în canalul rugos. Se observă că ultimul rezultat nu coincide cu datele lui Rozowski care a obţinut atît la experienţele cu C = 60 cît şi în cele cu C = 30 relaţia unică :

$$tg\,\alpha = (11{,}0 \div 11{,}5)\,\frac{h}{r} \qquad (III.3-11)$$

G.I.Zambahidze /Z-1/, după programul întocmit împreună cu conducătorul său ştiinţific Danelia a studiat în detaliu pe cale experimentală influenţa raportului h/B, a numărului Re şi a rugozităţii albiei asupra direcţiei curenţilor de fund şi de suprafaţă ; de asemenea a studiat mişcarea curenţilor de fund şi de suprafaţă ; de asemenea a studiat mişcarea aluviunilor de fund de diferite dimensiuni şi greutăţi specifice, în curbele canalelor dreptunghiulare la parametrii $r_0/B = 1,5$; $\theta = 180^\circ$; B = 56 cm.

S-a stabilit că traiectoriile curenţilor de fund devin mai curbate la creşterea adîncimilor relative şi a rugozităţii albiei şi la micşorarea vitezei medii a curentului. In ceea ce priveşte curenţii de suprafaţă cu creşterea lui h/B ei se depărtează tot mai mult de malul concav. In ceea ce priveşte rezultatele referitoare la influenţa dimensiunilor şi a greutăţii specifice a aluviunilor (realizate sub formă de bile) s-a stabilit că, cu mărirea diametrului bilelor şi a greutăţii lor specifice traiectoriile lor se îndreaptă, devenind mai puţin sinuoase. O concluzie importantă este cea relativă la creşterea substanţială a vitezei de deplasare a bilelor de diametru mai mic, în curbă în comparaţie cu viteza lor în porţiunile rectilinii ale canalului.

In lucrările /L-1/ şi /L-2/ s-a făcut o analiză a influenţei pe care o are asupra neuniformităţii repartiţiei vitezelor longitudinale pe lăţime parametrul $\lambda B/h$ (λ fiind coeficientul de rezistenţă de tip Darcy al albiei). Utilizînd rezultatele experimentale pe modele cu aer ca şi rezultatele experimentale ale lui Kojevnicov, Shuckry şi Rozovski, cercetătorii au stabilit că cu creşterea parametrului indicat neuniformitatea repartiţiei vitezelor scade la o valoare limită, dependentă de r_0/B după care rămîne constantă. In ceea ce priveşte concluzia cercetătorilor privind faptul că repartiţia vitezelor cu lăţimea poate fi descrisă de o formulă de tipul :

$$v = \frac{C}{r^n} \qquad (III.3-12)$$

în care n este funcţie de parametrul $\lambda B/h$ şi variază între limitele o,5 la 1, această concluzie contravine rezultatelor experimentale ale majorităţii celorlalţi cercetători şi nu poate fi luată în considerare. De exemplu, în conformitate cu rezultatele experimentale prezentate în lucrarea /I-3/ exponentul n din formula de mai sus la curbe strîmte devine negativ. Rezultatul la care au ajuns cei doi cercetători poate fi explicat prin faptul că experienţele s-au făcut doar pentru curbe bruşte, cu rapoarte mici r_0/B. In asemenea curbe neuniformitatea repartiţiei vitezelor pe lăţimea albiei este determinată mai mult de refacerea cîmpului vitezelor la intrarea în curbă şi la ieşirea din ea şi în mai mică măsură de circulaţia transversală din curbă.

Un alt aspect nefavorabil îl constitue faptul că la studiul influenţei curbei, cei doi cercetători utilizează viteze relative de forma $\overline{v}_{curb}/v$ ($\overline{v}_{curb}$ = viteza medie pe verticală în curbă, v = viteza medie pe întreaga secţiune) în timp ce ceilalţi cercetători utilizează viteze relative de forma v_{curb}/v_{alin} (v_{alin} = viteza medie pe verticală în aliniament). Considerarea rapoartelor $\overline{v}_{curb}/v$ nu evidenţează modul specific în care epura vitezelor este deformată în curbă.

O importantă lucrare în cadrul căreia s-au făcut de asemenea experienţe deosebit de îngrijite, utilizîndu-se tuburi Pitot sferice aparţine cercetătorului japonez Y. Muramoto /M-11/. S-au măsurat toate cele trei componente ale vitezei în canalul de secţiune dreptunghiulară (B = 50 cm, h = 5,17 - 5,45 cm) cu curburi r_0/B = 1,5 - 3 , după care s-au calculat cele trei componente ale vîrtejului în coordonate cilindrice :

$$\omega_\theta = \frac{\partial w_r}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial r}$$

$$\omega_r = \frac{1}{r}\frac{\partial v_z}{\partial \theta} - \frac{\partial v_\theta}{\partial z}$$
$$\omega_z = \frac{1}{r}\frac{\partial (r v_\theta)}{\partial r} - \frac{1}{r}\frac{\partial v_r}{\partial \theta} \qquad (III.3-13)$$

Caracterul variației componentelor ω_θ și ω_r în lungul curbei, prezentate în figura (III.3.1) a permis autorului de a împărți întreaga lungime a curbei în sectoare, din care primul (de ex. de

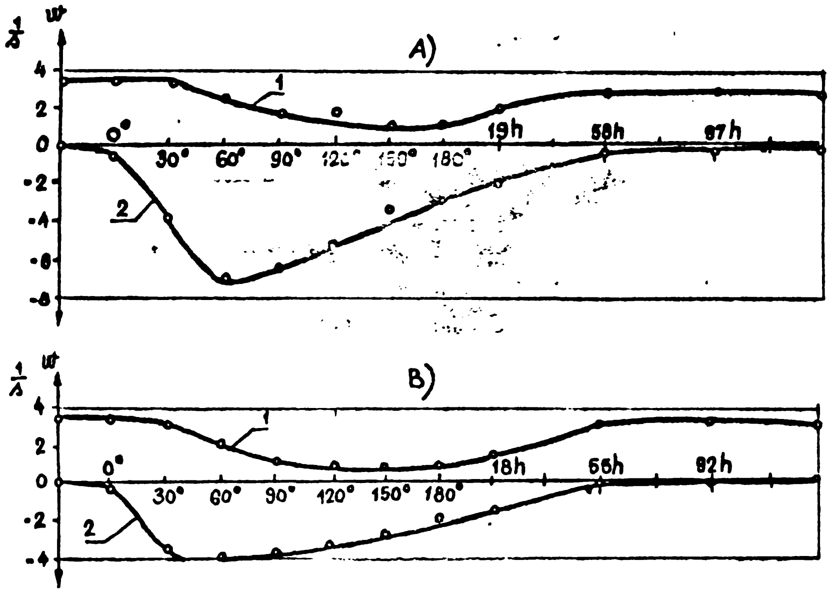


Fig. III.3-1 Variația de-a lungul curbei a componentelor vectorului w

1) $w_r \cong \frac{\partial V_\theta}{\partial z}$; 2) $w_\theta = \frac{\partial w_r}{\partial z}$

A) $r_{01} = 1{,}5B$; B) $r_{02} = 3B$

la 0^0 la 60^0) a fost numit sectorul formării circulației secundare (împărțire de care se ține cont și în teză). Considerînd în acest sector că repartiția vitezei pe lățimea albiei se face după legea ariilor, iar pe verticală după legea logaritmică, utilizînd și ecuația vîrtejurilor a lui Helmholz, se obține ecuația diferențială :

$$\frac{\partial \omega_\theta}{\partial \theta} = -2\,\omega_r \qquad (III.3-14)$$

Neglijînd componenta verticală a vitezei v_z și componenta radială a frecării de fund, efectuînd integrarea după θ și z și punînd condiția unui debit rezultant nul în direcția radială, s-a obținut în final următoarea relație pentru determinarea vitezei radiale :

$$\overline{w_r} = \frac{2 v_*}{\varkappa}\,\theta\,(1 + \ln \varsigma) \qquad (III.3-15)$$

Verificările experimentale au indicat o concordanță bun cu rezultatele teoretice ale lui Y.Muramoto pentru sectorul de început al curbei.

Incercînd să se extragă unele concluzii în ceea ce privește circulația transversală se constată că toate formulele existente în prezent pentru definirea lui w_r, cu excepția acelora propuse de Kojevnicov și de Muramoto, sînt obținute pe baza ecuației diferențiale de tip (III.3-5) de aceea toate au forma:

$$w_r = \bar{v} \frac{h}{r} f(\varepsilon) \qquad (III.3-16)$$

Funcția $f(\varepsilon)$ este complet definită de legea considerată pentru distribuția vitezei $\bar{u}$ după verticală.

Dintre ipotezele simplificatoare utilizate, cele referitoare la :

- tensiunile turbulente în direcție radială ;
- simetria axială a curentului ;
- invariabilitatea epurei de repartiție a vitezelor longitudinale pe verticală în curbe, sînt cele mai discutabile.

După cum au arătat experiențele lui Rozowski, repartiția vitezelor longitudinale după verticală, pe sectoarele în curbă, diferă mult de aceea de pe sectoarele rectilinii : la malul convex, de exemplu, viteza la o oarecare depărtare de fund e mai mare decît viteza de suprafață.

Utilizarea diferitelor legi pentru viteza $\bar{u}$ dă dependențe esențial diferite ale vitezei radiale de coeficientul Chézy, respectiv de rugozitatea patului. Astfel după formula logaritmică a lui Rozowski dependența vitezei radiale de C este mică, după datele experimentale la C = 30 și C = 60 repartițiile vitezei w_r pe verticală sînt aproape identice cu excepția domeniului de fund, unde W_r se micșorează întrucîtva cu creșterea rugozității.

O altă observație de făcut este aceea a lipsei unor recomandări privind limitele de utilizare a expresiilor de tip (III.3-7). Cum au arătat experiențele lui Zambahidze, cu creșterea adîncimii curentului, vitezele radiale cresc într-o măsură importantă doar în straturile de fund ale curentului. La suprafață aceste viteze cresc într-o măsură mai mică și doar pînă la o limită determinată a lui h ($h_{lim} \cong 0,06\ r_o$), după care chiar scad.

Pe de altă parte în experiențele lui Rozowski s-a observat o tendință de scădere atît la suprafață cît și la fund a vitezelor radiale cu creșterea adîncimii peste o adîncime limită ($h_{lim} \cong 0,1\ r_o$). Este interesant de remarcat că atît la unele experiențe cît și la celelalte s-a îndeplinit relația $h_{lim} \cong 0,1$ B.

§ 4.- Relaţie propusă pentru distribuţia vitezei radiale

a.- Deducerea relaţiei

In vederea propunerii unei relaţii pentru distribuţia pe verticală a vitezei radiale care să aibă un suport logic se adoptă în primă fază o schematizare a circulaţiei transversale. Astfel, proiecţia pe un plan normal direcţiei longitudinale de curgere (plan radial) a unui fir lichid în mişcarea reală, elicoidală, va fi reprezentată printr-o curbă închisă reprezentînd axa firului. Avînd în vedere faptul că secţiunea vie este largă (B >> h) rezultă că secţiunea orizontală prin care trece curentul datorită componentei verticale a vitezei în mişcarea circulatorie este mult mai mare decît secţiunea verticală, prin care trece curentul datorită componentei orizontale a vitezei în mişcarea circulatorie. De aici rezultă că viteza medie după verticală (w_z) va fi mult mai mică decît viteza medie după orizontală (w_r). In prezentul paragraf se are în considerare doar vitezele în direcţie orizontală, neglijîndu-se vitezele în direcţie verticală.

După cum este cunoscut, circulaţia transversală se datoreşte în primul rînd faptului că vitezele longitudinale sînt neuniform distribuite după verticală în timp ce presiunea hidrostatică suplimentară datorată denivelării suprafeţei apei are o repartiţie uniformă după verticală. Din această cauză, deşi global, pentru întreaga verticală există un echilibru în direcţia radială, local acest echilibru este alterat, apărînd o forţă rezultantă :

$$|\overrightarrow{dF}| = \frac{dm}{r} \left| \overline{U}_0^2 - \overline{v}_0^2 \right| \qquad \text{(III.4-1)}$$

Sub acţiunea acestei forţe particula lichidă se pune în mişcare. Datorită faptului că regimul de curgere este turbulent, apar tensiuni turbulente, egale ca modul, dar de sens contrar, tensiuni care pot fi calculate cu relaţia Prandtl :

$$|\overrightarrow{dR}| = \tau \, dS = \rho \, \varkappa^2 z^2 \left(\frac{d \overline{w}_{r0}}{dz} \right)^2 dS \qquad \text{(III.4-2)}$$

După egalarea celor două expresii (ceea ce corespunde unei mişcări uniforme a particulelor de lichid) şi extragerea radicalului se obţine :

$$\frac{d \overline{w}_{r0}}{dz} = \frac{\overline{v}_0}{\varkappa z} \sqrt{\frac{dm}{\rho \, r \, dS} \left| \frac{\overline{U}_0^2}{\overline{v}_0^2} - 1 \right|} \qquad \text{(III.4-3)}$$

In această relaţie este necesar, în primul rînd, să se explicitezе dm. Pentru elementul de masă se consideră o expresie de forma :

$$dm = \rho\, d\,vol = K \rho z\, ds \qquad \text{(III.4-4)}$$

Constanta adimensională de proporţionalitate K depinde, după cum indică rezultatele experimentale ale altor cercetători, de unii parametrii caracteristici ca rază de curbură, lăţime, adîncime, rugozitate. In urma unui lung şir de încercări preliminare proprii în cadrul cărora s-au propus diverse expresii pentru constanta K, care au condus la diferite expresii pentru repartiţia vitezei radiale w_r, s-a reţinut următoarea, care conduce la o bună concordanţă cu rezultatele experimentale :

$$K = k\left(\frac{v}{v_*}\right)^2 \frac{B}{h_0}\,\frac{z}{r_0} = k\,\frac{C^2}{g}\,\frac{B}{h_0}\,\frac{z}{r_0} \qquad \text{(III.4-5)}$$

în care :

$\frac{v}{v_*} = \frac{C}{\sqrt{g}}$ exprimă influenţa rugozităţii ;

$\frac{B}{h_0}$ exprimă influenţa formei secţiunii, h_0 fiind înălţimea curentului în axul geometric ;

$\frac{z}{r_0}$ exprimă influenţa curburii, r_0 fiind raza de curbură a axului geometric ;

k constantă numerică adimensională de proporţionalitate.

Folosind ultimele trei relaţii se obţine, prin eliminarea parametrilor dm şi K, repartiţia vitezei radiale sub formă diferenţială :

$$\frac{d\,w_{r0}}{dz} = \frac{v_0}{\varkappa}\,\frac{C}{\sqrt{g}}\sqrt{k}\sqrt{\frac{B}{h_0}}\,\frac{1}{r_0}\sqrt{\left|\frac{u_0^2}{v_0^2}-1\right|} \qquad \text{(III.4-6)}$$

Pentru a obţine o dependenţă cît mai simplă, sub formă finită, dar în acelaşi timp precisă, cea mai convenabilă pare a fi relaţia de tip eliptic a lui Karauşev, după care :

$$\left|\frac{u_0^2}{v_0^2} - 1\right| = 0{,}55\left(1 - \frac{z}{h_0}\right)^2 \qquad \text{(III.4-7)}$$

Folosind relaţia lui Karauşev se obţine ecuaţia diferenţială liniară de ordinul întîi :

$$\frac{d\,w_{r0}}{v} = \frac{\sqrt{0{,}55\,k}}{\varkappa}\,\frac{C}{\sqrt{g}}\sqrt{\frac{B}{h_0}}\,\frac{1}{r_0}\left(1 - \frac{z}{h_0}\right)dz \qquad \text{(III.4-8)}$$

Prin integrare nedefinită, notînd constanta de integrare C_1 :

$$\frac{w_{r0}}{v} = \frac{\sqrt{0{,}55\,k}}{\varkappa}\,\frac{C}{\sqrt{g}}\sqrt{\frac{B}{h_0}}\,\frac{h_0}{r_0}\left(\frac{z}{h_0} - \frac{z^2}{2h_0^2} + C_1\right) \qquad \text{(III.4-9)}$$

Determinarea constantei de integrare se va face utilizînd condiţia de conservare a masei, sub forma ecuaţiei de continuitate, conform căreia debitul în direcţie radială, din zona de fund, orientat spre malul convex, trebuie să fie egal cu debitul în aceeaşi direcţie din zona de la suprafaţă, orientat în sens opus, spre malul concav :

$$\int_0^{h_0}\left(\frac{z}{h_0} - \frac{z^2}{2h_0^2} + C_1\right)dz = 0 \qquad \text{(III.4-10)}$$

Integrarea este imediată, rezultînd valoarea constantei C_1 :

$$\frac{h_0^2}{2h_0} - \frac{h_0^3}{6h_0^2} + C_1 h_0 = 0 \iff C_1 = -\frac{1}{3} \cong -0{,}333 \qquad \text{(III.4-11)}$$

Fiind determinată constanta de integrare, repartiţia vitezei devine :

$$\frac{W_{r0}}{v}=\frac{\sqrt{0{,}55k}}{\varkappa}\frac{C}{\sqrt{g}}\sqrt{\frac{B}{h_0}}\frac{h_0}{r_0}\left(\frac{z}{h_0}-\frac{z^2}{2h_0^2}-\frac{1}{3}\right) \qquad \text{(III.4-12)}$$

In urma comparării rezultatelor date de formula de mai sus cu rezultatele experimentale ale altor cercetători şi proprii, s-a determinat şi valoarea constantei k :

$$k\cong 0{,}0284 \Longleftrightarrow \frac{\sqrt{0{,}55k}}{\varkappa}\frac{C}{\sqrt{g}}\cong\frac{C}{3{,}2\sqrt{g}} \qquad \text{(III.4-13)}$$

Lucrînd cu unităţile de măsură fundamentale uzuale şi pentru exprimarea coeficientului Chezy, anume 1 m pentru lungime şi 1 s pentru timp şi luînd aproximativ $3{,}2\sqrt{g}\approx 10$ repartiţia vitezei se poate scrie astfel :

$$\frac{W_{r0}}{v}=\frac{C}{3{,}2\sqrt{g}}\frac{h_0}{r_0}\sqrt{\frac{B}{h_0}}\left(\frac{z}{h_0}-\frac{z^2}{2h_0^2}-\frac{1}{3}\right)\cong\frac{C}{10}\frac{h_0}{r_0}\sqrt{\frac{B}{h_0}}\left(\frac{z}{h_0}-\frac{z^2}{2h_0^2}-\frac{1}{3}\right) \qquad \text{(III.4-14)}$$

Avînd în vedere legătura care există între coeficientul de rezistenţă de tip Chezy şi coeficientul de rezistenţă de tip Darcy, utilizat mai puţin în cazul curenţilor cu faţa liberă, notat λ :

$$\lambda C^2=8g \Longleftrightarrow C=\sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \qquad \text{(III.4-15)}$$

rezultă că relaţia de distribuţie a vitezei radiale poate fi pusă şi sub forma :

$$\frac{W_{r0}}{v_0}=\frac{\sqrt{8}}{3{,}2\sqrt{\lambda}}\frac{h_0}{r_0}\sqrt{\frac{B}{h_0}}\left(\frac{z}{h_0}-\frac{z^2}{2h_0^2}-\frac{1}{3}\right)\cong\frac{0{,}88}{\sqrt{\lambda}}\frac{h_0}{r_0}\sqrt{\frac{B}{h_0}}\left(\frac{z}{h_0}-\frac{z^2}{2h_0^2}-\frac{1}{3}\right) \qquad \text{(III.4-16)}$$

In ceea ce priveşte poziţia pe verticală a punctului de viteză radială nulă (z_0) ea satisface ecuaţia :

$$\frac{z_0^2}{2h_0^2}-\frac{z_0}{h_0}+\frac{1}{3}=0 \Longrightarrow \frac{z_0}{h_0}=1-\frac{1}{\sqrt{3}}\cong 0{,}42 \qquad \text{(III.4-17)}$$

Prin introducerea variabilei $\varsigma=\frac{z}{h_0}$ şi a funcţiei $f(\varsigma)=\frac{z}{h_0}-\frac{z^2}{2h_0^2}-\frac{1}{3}=\varsigma-\frac{\varsigma^2}{2}-\frac{1}{3}$ repartiţia vitezelor radiale poate fi pusă şi sub forma :

$$\frac{W_{r0}}{v_0}=\frac{C}{10}\frac{h_0}{r_0}\sqrt{\frac{B}{h_0}}\,f_w(\varsigma) \qquad \text{(III.4-18)}$$

In ceea ce priveşte evoluţia acestei circulaţii transversale pe lungimea curbei, se acceptă dependenţa dată de Muramoto, conform căreia în sectorul de început al curbei viteza radială este direct proporţională cu unghiul de întoarcere al curentului θ. Această creştere a circulaţiei transversale se produce pînă la un unghi de întoarcere limită notat θ_{lim}.

După Danelia /D-3/ şi /Z-1,p.170/,/H-1,p.26/, acest unghi depinde de raza de curbură conform formulei :

$$\theta_{lim}=\arccos\frac{r_0-\frac{B}{2}}{r_0+\frac{B}{2}}=\arccos\frac{r_1}{r_2} \qquad \text{(III.4-19)}$$

în timp ce după /G-3,p.159/ se consideră că în medie, se poate lua o valoare aproximativ constantă $\theta_{lim}\cong 0{,}4\pi$.

Se va accepta în cele ce urmează relaţia lui Danelia, menţionîndu-se că în cazul curbelor scurte, care se întîlnesc curent în practică ($\theta_{lim} > \frac{\theta_{max}}{2}$) punctul A_2 se situează în aval de vîrful curbei (la circa 1/3 din lungimea arcului A_1V), fig. III.4.1.

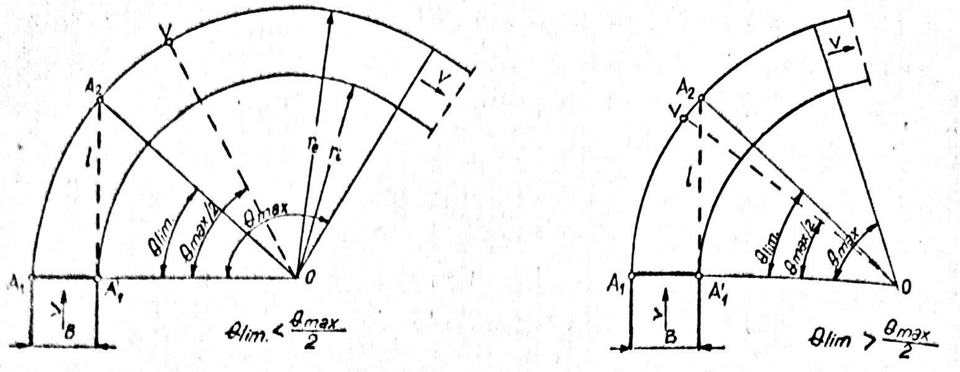


Fig. III. 4-1-1. Poziția secțiunii transversale cu circulația de intensitate maximă (θ lim.) funcție de mărimea curbei dată prin θ max.

Se va considera, apoi, că această circulație transversală descrește liniar pînă la sfîrşitul curbei.

Avînd în vedere considerațiile de mai sus, expresia obținută pentru viteza radială în verticala axială o voi corecta astfel încît să exprime aceste variații în lungul curbei. Notînd θ_{max} unghiul maxim de întoarcere a curentului şi introducînd funcția lui Heaveside, frecvent utilizată în electrotehnică, definită prin :

$$\mathcal{H}(\theta - \theta_{lim}) = \begin{cases} 1, \text{pentru } \theta \geq \theta_{lim} \\ 0, \text{pentru } \theta < \theta_{lim} \end{cases} \qquad \text{(III.4-20)}$$

repartiția vitezei după verticala axială se poate da printr-o exprimare unică :

$$\frac{w_{r0}}{v_0} = \frac{C}{10} \frac{h_0}{r_0} \sqrt{\frac{B}{h_0}} \frac{\theta - \theta_{max}\mathcal{H}(\theta - \theta_{lim})}{\theta_{lim} - \theta_{max}\mathcal{H}(\theta - \theta_{lim})} f_w(\varsigma) \qquad \text{(III.4-21)}$$

In fine, după ce s-a determinat repartiția vitezei, pe verticală, de-a lungul firului de curent axial, este necesar să se dea o variație pe lățimea curentului (în direcție radială). Procedînd analog ca şi în cazul firului axial se ajunge în final la relația analoagă :

$$\frac{w_r}{v} = \frac{C}{10} \frac{h}{r} \sqrt{\frac{B}{h}} \frac{\theta - \theta_{max}\mathcal{H}(\theta - \theta_{lim})}{\theta_{lim} - \theta_{max}\mathcal{H}(\theta - \theta_{lim})} f_w(\varsigma) \qquad \text{(III.4-22)}$$

Pentru uşurarea calculelor în tabela Nr. III.4-1 sînt calculate valorile funcției $f_w(\varsigma) = \frac{z}{h} - \frac{z^2}{2h^2} - \frac{1}{3}$ pentru un număr de 29 valori $\varsigma = \frac{z}{h}$ cuprinse în intervalul /0,1/, iar în figura III.4-2 este trasat graficul acestei funcții.

In tabela Nr. III.4-2 şi Nr. III.4-3 sînt calculate valorile funcției $\frac{w_r}{v} \frac{r}{h}$ pentru $\theta = \theta_{lim}$, C = 40 şi C = 60, respectiv pentru următoarele valori ale raportului B/h de 4; 9; 25; 36; 49; 64; 81 şi 100.

TABEL CUPRINZÎND CALCULUL FUNCŢIEI

$$f_w(\xi) = \xi - \frac{\xi^2}{2} - \frac{1}{3}$$

Tabela Nr. III.4-1

Nr. crt	ξ	ξ^2	$\frac{\xi^2}{2}$	$f_w(\xi)$
1	0,00	0,0000	0,0000	-0,333
2	0,02	0,0004	0,0002	-0,313
3	0,04	0,0016	0,0008	-0,294
4	0,05	0,0025	0,0012	-0,284
5	0,06	0,0036	0,0018	-0,275
6	0,08	0,0064	0,0032	-0,256
7	0,10	0,0100	0,0050	-0,238
8	0,15	0,0225	0,0112	-0,194
9	0,20	0,0400	0,0200	-0,153
10	0,21	0,0440	0,0220	-0,145
11	0,25	0,0625	0,0312	-0,114
12	0,30	0,0900	0,0450	-0,078
13	0,37	0,1368	0,0684	-0,032
14	0,40	0,1600	0,0800	-0,013
15	0,42	0,1765	0,0882	-0,002
16	0,43	0,1850	0,0925	+0,004
17	0,44	0,1936	0,0968	+0,010
18	0,50	0,2500	0,1250	+0,042
19	0,54	0,2920	0,1460	+0,061
20	0,60	0,3600	0,1800	+0,087
21	0,65	0,4230	0,2115	+0,105
22	0,70	0,4900	0,2450	+0,122
23	0,71	0,5040	0,2520	+0,125
24	0,75	0,5610	0,2805	+0,136
25	0,80	0,6400	0,3200	+0,147
26	0,88	0,7740	0,3870	+0,160
27	0,90	0,8100	0,4050	+0,162
28	0,97	0,9402	0,4701	+0,167
29	1,00	1,0000	0,5000	+0,167

TABEL CUPRINZIND CALCULUL EXPRESIEI

$f(\xi)\, f_w(\xi)$

Tabela Nr. III.4-4

ξ ξ_i	ξ Valoare ξ_i	$f(\xi)$	$\frac{\xi^2}{2}$	$f_w(\xi)$	$f(\xi) f_w(\xi)$
ξ_0	0,001	16,4155	0,00000	−0,3323	−5,45497
ξ_1	0,05	6,7034	0,00125	−0,2846	−1,90779
ξ_2	0,10	4,9929	0,00500	−0,2383	−1,18981
ξ_3	0,15	4,0027	0,01125	−0,1945	−0,77853
ξ_4	0,20	3,3071	0,02000	−0,1533	−0,50698
ξ_5	0,25	2,7742	0,03125	−0,1146	−0,31792
ξ_6	0,30	2,3446	0,04500	−0,0783	−0,18358
ξ_7	0,35	1,9869	0,06125	−0,0446	−0,08862
ξ_8	0,40	1,6211	0,08000	−0,0133	−0,02156
ξ_9	0,45	1,3474	0,10125	+0,0154	+0,02075
ξ_{10}	0,50	1,1876	0,12500	+0,0417	+0,04952
ξ_{11}	0,55	0,8839	0,15125	+0,0654	+0,05781
ξ_{12}	0,60	0,8044	0,18000	+0,0867	+0,06974
ξ_{13}	0,65	0,6122	0,21125	+0,1054	+0,06453
ξ_{14}	0,70	0,5004	0,24500	+0,1217	+0,06090
ξ_{15}	0,75	0,3746	0,28125	+0,1354	+0,05072
ξ_{16}	0,80	0,2646	0,32000	+0,1467	+0,03882
ξ_{17}	0,85	0,1700	0,36125	+0,1554	+0,02642
ξ_{18}	0,90	0,0919	0,40500	+0,1617	+0,01486
ξ_{19}	0,95	0,0324	0,45125	+0,1654	+0,00536
ξ_{20}	1,00	0,0000	0,50000	+0,1667	+0,00000

TABEL CUPRINZIND CALCULUL VALORILOR FUNCTIEI

$$\frac{\overline{W_r}}{\overline{v}}\,\frac{r}{h} = 4\sqrt{\frac{B}{h}}\, f_w(\varepsilon) \text{ pentru } \Theta = \Theta_{lim} \quad \text{și } C = 40$$

Tabela Nr. III.4-2

ε \ $\frac{B}{h}$	4	9	16	25	36	49	64	81	100
0,00	-2,66	-4,00	-5,33	-6,66	-8,00	-9,33	-10,66	-12,00	-13,33
0,02	-2,51	-3,76	-5,01	-6,26	-7,51	-8,76	-10,01	-11,26	-12,52
0,04	-2,37	-3,53	-4,71	5,88	-7,05	-8,23	-9,40	-10,59	-11,75
0,05	-2,27	-3,41	-4,54	-5,68	-6,81	-7,94	-9,08	-10,21	-11,33
0,06	-2,20	-3,30	-4,40	-5,50	-6,60	-7,70	-8,80	-9,90	-11,00
0,08	-2,05	-3,07	-4,10	-5,12	-6,14	-7,16	-8,18	-9,20	-10,22
0,10	-1,91	-2,86	-3,81	-4,76	-5,71	-6,66	-7,61	-8,56	-9,51
0,15	-1,55	-2,33	-3,10	-3,88	-4,66	-5,43	-6,20	-6,98	-7,76
0,20	-1,22	-1,83	-2,45	-3,06	-3,67	-4,28	-4,90	-5,51	-6,12
0,21	-1,16	-1,74	-2,32	-2,90	-3,48	-4,06	-4,64	-5,22	-5,80
0,25	-0,91	-1,37	-1,82	-2,28	-2,73	-3,19	-3,65	-4,10	-4,56
0,30	-0,62	-0,94	-1,25	-1,56	-1,87	-2,18	-2,49	-2,81	-3,12
0,37	-0,26	-0,38	-0,51	-0,64	-0,77	-0,90	-1,02	-1,15	-1,28
0,40	-0,10	-0,16	-0,21	-0,26	-0,31	-0,36	-0,42	-0,47	-0,52
0,42	-0,02	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,06	-0,07	-0,08
0,43	+0,03	+0,05	+0,06	+0,08	+0,10	+0,11	+0,13	+0,14	+0,16
0,44	+0,08	+0,12	+0,16	+0,20	+0,24	+0,28	+0,32	+0,36	+0,40
0,50	+0,34	+0,50	+0,67	+0,84	+1,01	+1,17	+1,34	+1,51	+1,68
0,54	+0,49	+0,73	+0,97	+1,22	+1,46	+1,71	+1,95	+2,20	+2,44
0,60	+0,70	+1,04	+1,39	+1,74	+2,09	+2,44	+2,78	+3,13	+3,48
0,65	+0,84	+1,26	+1,68	+2,10	+2,52	+2,94	+3,36	+3,78	+4,20
0,70	+0,98	+1,46	+1,95	+2,44	+2,93	+3,42	+3,90	+4,40	+4,88
0,71	+1,00	+1,50	+2,00	+2,50	+3,00	+3,50	+4,00	+4,50	+5,00
0,75	+1,09	+1,63	+2,18	+2,72	+3,26	+3,81	+4,35	+4,89	+5,44
0,80	+1,18	+1,76	+2,35	+2,94	+3,53	+4,12	+4,71	+5,30	+5,89
0,88	+1,28	+1,92	+2,56	+3,20	+3,84	+4,48	+5,12	+5,76	+6,40
0,90	+1,30	+1,94	+2,59	+3,24	+3,89	+4,54	+5,19	+5,83	+6,48
0,97	+1,33	+2,00	+2,67	+3,34	+4,01	+4,68	+5,34	+6,01	+6,68
1,00	+1,33	+2,00	+2,67	+3,34	+4,01	+4,68	+5,34	+6,01	+6,68

TABEL CUPRINZÎND CALCULUL VALORILOR FUNCTIEI

$$\frac{W_r}{v}\,\frac{r}{h} = 6\sqrt{\frac{B}{h}}\; f_w(\xi) \quad \text{pentru } \theta = \theta_{lim} \text{ şi } C = 60$$

Tabela Nr.III.4-3

ξ \ $\frac{B}{h}$	4	9	16	25	36	49	64	81	100
0,00	-4,00	-6,00	-8,00	-10,00	-12,00	-14,00	-16,00	-18,00	-20,00
0,02	-3,76	-5,65	-7,52	-9,40	-11,30	-13,15	-15,06	-16,90	-18,80
0,04	-3,53	-5,31	-7,09	-8,84	-10,30	-12,30	-14,16	-15,90	-17,60
0,05	-3,41	-5,12	-6,82	-8,52	-10,25	-11,95	-13,66	-15,30	-17,00
0,06	-3,30	-4,96	-6,60	-8,26	-9,81	-11,50	-13,26	-14,80	-16,50
0,08	-3,07	-4,61	-6,15	-7,68	-9,22	-10,70	-12,36	-13,80	-15,30
0,10	-2,86	-4,28	-5,72	-7,14	-8,58	-10,00	-11,46	-12,85	-14,28
0,15	-2,33	-3,50	-4,66	-5,81	-7,00	-8,15	-9,32	-10,50	-11,64
0,20	-1,84	-2,76	-3,67	-4,60	-5,52	-6,42	-7,34	-8,26	-9,20
0,21	-1,74	-2,62	-3,48	-4,36	-5,22	-6,12	-6,98	-7,84	-8,72
0,25	-1,37	-2,05	-2,74	-3,42	-4,12	-4,78	-5,48	-6,16	-6,84
0,30	-0,93	-1,41	-1,87	-2,34	-2,81	-3,28	-3,74	-4,21	-4,68
0,37	-0,38	-0,58	-0,77	-0,96	-1,15	-1,34	-1,53	-1,72	-1,92
0,40	-0,16	-0,23	-0,31	-0,39	-0,47	-0,55	-0,62	-0,70	-0,78
0,42	-0,02	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07	-0,08	-0,10	-0,11	-0,12
0,43	+0,05	+0,07	+0,10	+0,12	+0,14	+0,17	+0,19	+0,22	+0,24
0,44	+0,12	+0,18	+0,24	+0,30	+0,36	0,42	+0,48	+0,54	+0,60
0,50	+0,50	+0,76	+1,01	+1,26	+1,51	+1,76	+2,02	+2,26	+2,52
0,54	+0,73	+1,09	+1,46	+1,83	+2,19	+2,56	+2,92	+3,28	+3,66
0,60	+1,04	+1,56	+2,09	+2,61	+3,13	+3,66	+4,18	+4,70	+5,21
0,65	+1,26	+1,89	+2,52	+3,15	+3,78	+4,41	+5,06	+5,68	+6,30
0,70	+1,46	+2,19	+2,93	+3,66	+4,39	+5,13	+5,86	+6,60	+7,32
0,71	+1,50	+2,25	+3,00	+3,75	+4,51	+5,25	+6,00	+6,75	+7,50
0,75	+1,63	+2,44	+3,26	+4,08	+4,90	+5,72	+6,52	+7,34	+8,16
0,80	+1,76	+2,65	+3,53	+4,41	+5,30	+6,18	+7,07	+7,95	+8,83
0,88	+1,92	+2,88	+3,84	+4,80	+5,76	+6,72	+7,68	+8,65	+9,60
0,90	+1,94	+2,92	+3,89	+4,87	+5,82	+6,81	+7,78	+8,76	+9,74
0,97	+2,01	+3,01	+4,01	+5,01	+6,01	+7,01	+8,02	+9,02	+10,02
1,00	+2,01	+3,01	+4,01	+5,01	+6,01	+7,01	+8,02	+9,02	+10,02

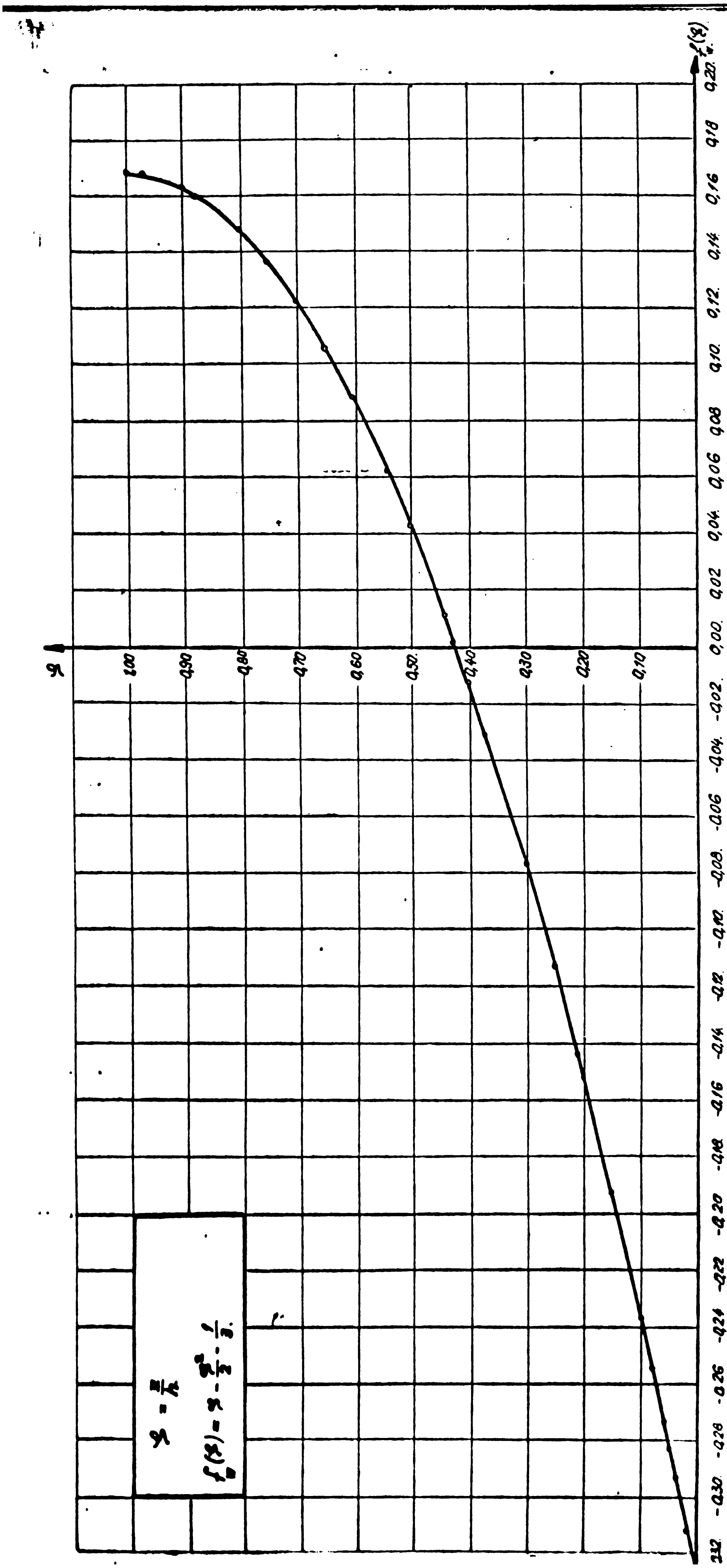


Fig. III. 4,2. Reprezentarea grafică a funcției $f_w(\theta)$.

In figurile III.4-3 şi III.4-4 sînt trasate graficele respective ale celor două familii de curbe :

$$C=40 \Longrightarrow \frac{\overline{w_r}\, r}{\overline{v}\, h} = 4\sqrt{\frac{B}{h}}\, f_w(\varsigma)$$

$$C=60 \Longrightarrow \frac{\overline{w_r}\, r}{\overline{v}\, h} = 6\sqrt{\frac{B}{h}}\, f_w(\varsigma) \qquad (III.4-23)$$

Din relaţiile (III.4-21) şi (III.4-22) se poate exprima viteza radială pe o verticală oarecare notată cu indicele "i" în funcţie de viteza radială de pe verticala axială a aceleiaşi secţiuni, ambele viteze radiale fiind calculate la aceeaşi cotă relativă ς : $\frac{\overline{w_{ro}}}{\overline{v_o}} \cdot \frac{r_o}{h_o}\sqrt{h_o} = \frac{\overline{w_{ri}}}{\overline{v_i}} \cdot \frac{r_i}{h_i}\sqrt{h_i} \Longrightarrow \frac{\overline{w_{ri}}}{\overline{w_{ro}}} = \frac{\overline{v_i}}{\overline{v_o}}\, \frac{r_o}{r_i}\sqrt{\frac{h_i}{h_o}}$ (III.4-24)

Este de menţionat faptul că explicitarea raportului $\overline{v}/\overline{v}_o$ este cunoscută doar în secţiunea iniţială a curbei ($\theta = 0°$) deoarece aici încă mai este valabilă repartiţia din sectorul în aliniament din amonte.

b.- Calculul integralei $\int_0^h \overline{u}\, \overline{w_r}\, dz$

In dezvoltările ulterioare apare necesar calculul integralei $\int_0^h \overline{u}\, \overline{w_r}\, dz$

După cum s-a arătat în paragraful II.2 pentru viteza longitudinală $\overline{u}$ s-a obţinut expresia :

$$\overline{u} = \left[1 + 2\frac{\sqrt{g}}{C} - \frac{\sqrt{g}}{C} f(\varsigma)\right] \overline{v} \qquad (II.2-9)$$

în care pentru $f(\varsigma)$ s-a folosit atît o expresie nesimplificată cît şi una simplificată :

- forma completă :

$$f(\varsigma) = -\frac{1}{\varkappa}\left[\ln \frac{1 - \sqrt{\frac{3(1-\varsigma)}{3-2\varsigma}}}{1 + \sqrt{\frac{3(1-\varsigma)}{3-2\varsigma}}} - \sqrt{\frac{3}{2}}\, \ln \frac{\sqrt{\frac{3}{2}} - \sqrt{\frac{3(1-\varsigma)}{3-2\varsigma}}}{\sqrt{\frac{3}{2}} + \sqrt{\frac{3(1-\varsigma)}{3-2\varsigma}}}\right].$$

- forma simplificată

$$f(\varsigma) = -\frac{1}{\varkappa}\left[\ln\varsigma + 0{,}22 \ln(3-2\varsigma)\right] = \qquad (II.1.3-20)$$
$$= -2{,}5 \ln\varsigma - 0{,}55 \ln(3-2\varsigma)$$

Pentru viteza radială w_r, în acest paragraf s-a obţinut relaţia :

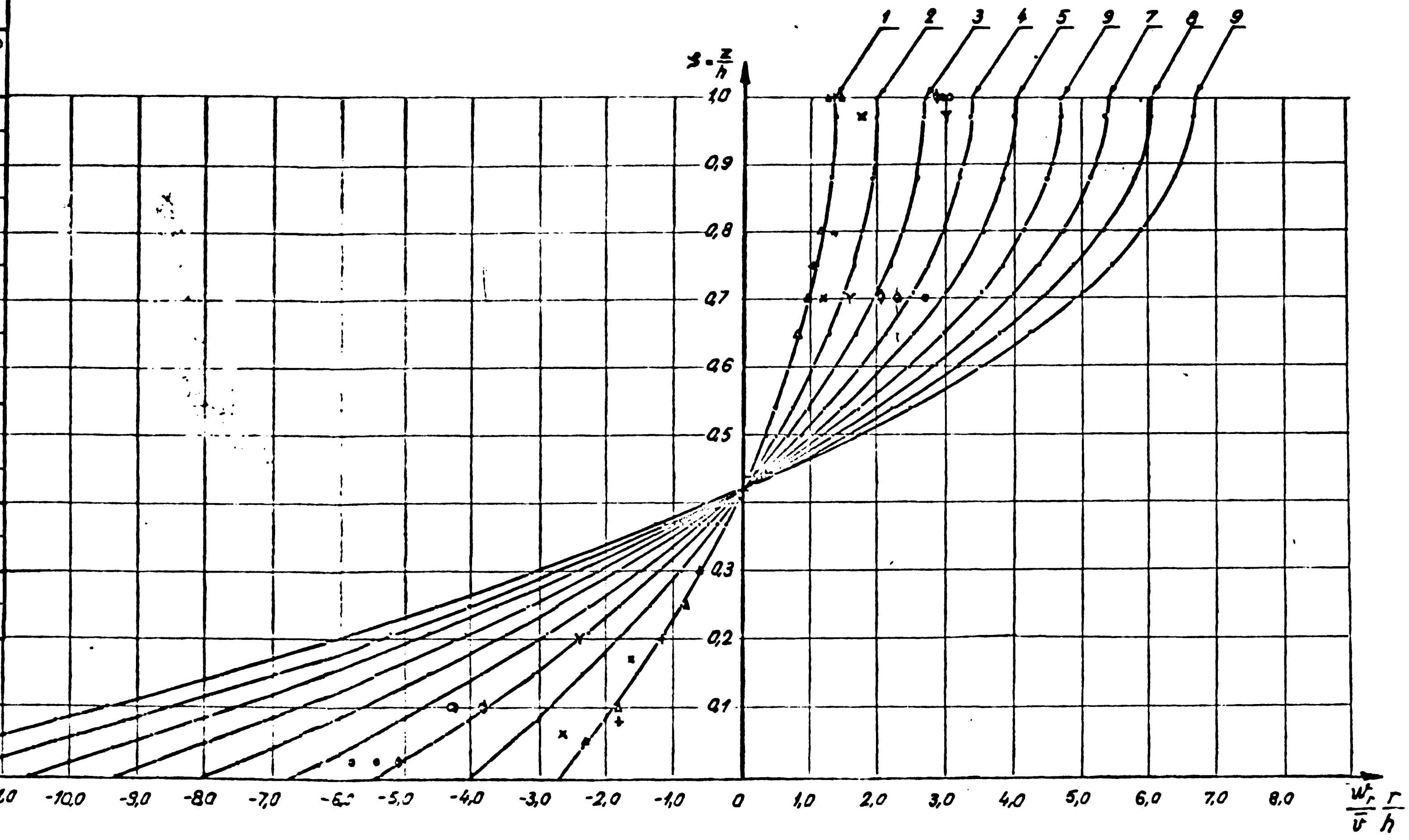
$$\overline{w_r} = \frac{C\,\overline{v}}{10}\, \frac{h}{r}\sqrt{\frac{B}{h}}\, \frac{\theta - \theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim} - \theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})}\, f_w(\varsigma) \qquad (III.4-22')$$

în care : $f_w(\varsigma) = -\left(\frac{\varsigma^2}{2} - \varsigma + \frac{1}{3}\right)$

Calculul integralei $\int_0^h \overline{u}\, \overline{w_r}\, dz$ se va face prin două metode :

- prin integrare exactă folosind formula simplificată;
- prin integrare numerică (Simpson) folosind formula completă.

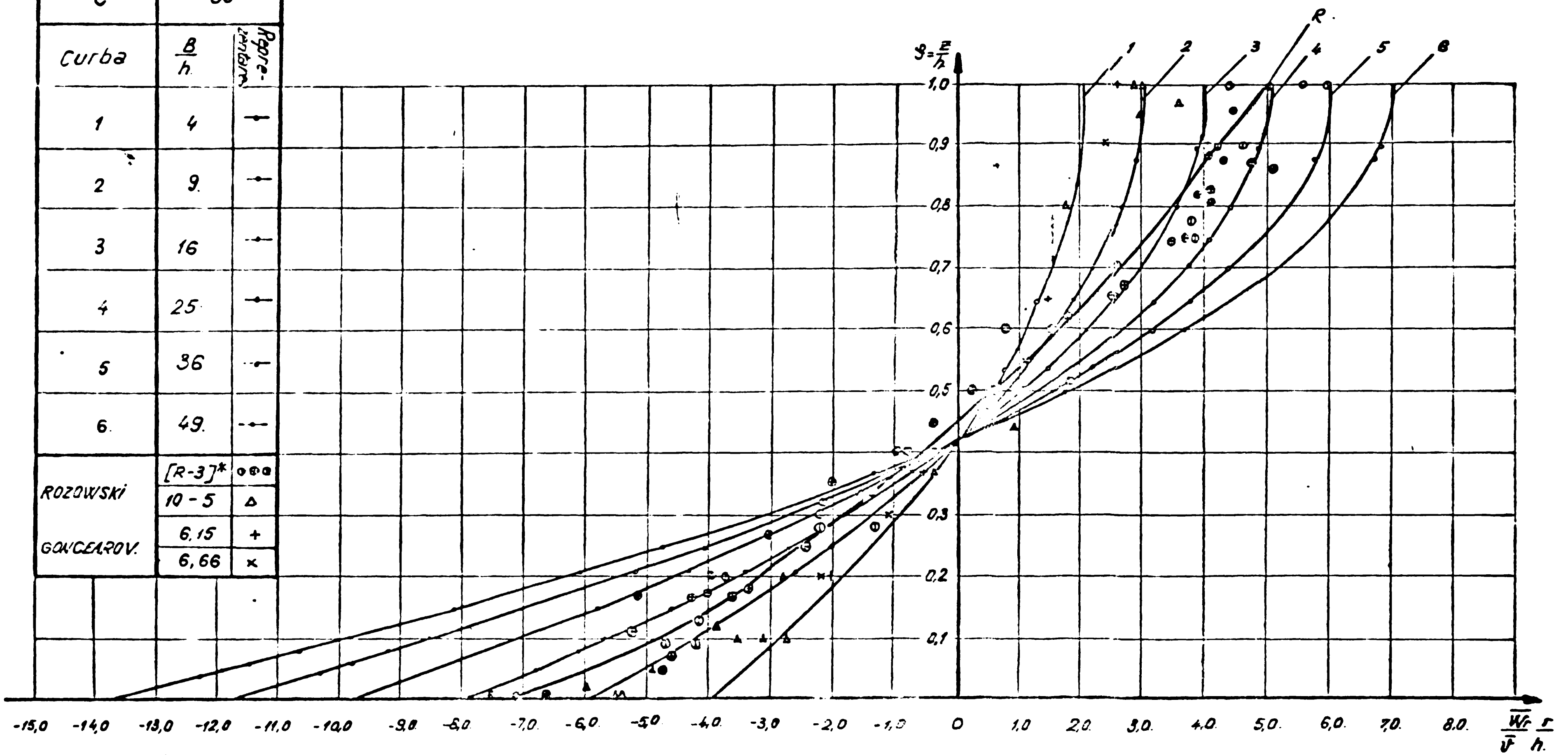
$$\int_0^h \overline{u}\,\overline{w_r}\, dz = h\, \overline{v}^2 \frac{C}{10}\, \frac{h}{r}\sqrt{\frac{B}{h}}\, \frac{\theta - \theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim} - \theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})}\Big[$$
$$\left[\left(1 + 2\frac{\sqrt{g}}{C}\right)\int_0^1 f_w(\varsigma)\, d\varsigma - \frac{\sqrt{g}}{C}\int_0^1 f_w(\varsigma) \cdot f(\varsigma)\, d\varsigma\right] \qquad (III.4-25)$$



C.	40.	
Curba	$\frac{B}{h}$	Reprezentare
1	4	—
2	9	—
3	16	—
4	25	—
5	36	—
6	49	—
7	64	—
8	81	—
9	100	—
SONCEAROV	4	+
	6,15	×
	13,3	Y
POLETAEV*	4,08	▲
	4,08	▲
Rezultate din experiențe proprii	21,75	o
	19,61	●

Fig. III.4-3. Reprezentarea familiei de curbe $\frac{w_r}{v}\frac{r}{h} = 4\sqrt{\frac{B}{h}}\, f_w(\vartheta)$ și rezultate experimentale

* în cadrul experiențelor s-au variat razele de curbură.



C	60	
Curba	$\frac{B}{h}$	Reprezentare
1	4	—•—
2	9	—•—
3	16	—•—
4	25	—•—
5	36	--•—
6	49	--•--
ROZOWSKI	[R-3]*	⊖ ⊕ ⊗
	10 - 5	△
GONCEAROV	6,15	+
	6,66	×

Fig. III. 4-4. Reprezentarea familiei de curbe $\frac{W_f}{\bar{v}} \frac{r}{h} = 6\sqrt{\frac{B}{h}} f_w(\vartheta)$ și rezultate experimentale

x rezultatele experimentale au fost transpuse conform gra... Rozowski.

Se ţine cont în cele ce urmează de faptul că : $\int_0^1 f_w(\varsigma)\,d\varsigma = 0$, rezultînd :

$$\int_0^h \bar{u}\,\overline{w_r}\,dz = -\frac{\bar{v}^2 h^2}{3{,}2\,r}\sqrt{\frac{B}{h}}\;\frac{\theta - \theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim}-\theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})}\left[\int_0^1 f_w(\varsigma).f(\varsigma)\,d\varsigma\right] \quad (III.4-26)$$

Se calculează în continuare integralele de mai sus folosind forma simplificată :

$$\int_0^1 f_w(\varsigma).f(\varsigma)\,d\varsigma = \int_0^1\left(\frac{\varsigma^2}{2}-\varsigma+\frac{1}{3}\right)\left[2{,}5\ln\varsigma + 0{,}55\ln(3-2\varsigma)\right]d\varsigma \quad (III.4-27)$$

$$\int_0^1 f_w(\varsigma).f(\varsigma)\,d\varsigma = 1{,}25\left(-\frac{1}{9}+\frac{1}{2}-\frac{2}{3}\right)+\frac{0{,}55}{2}\frac{0{,}9985}{8}-0{,}55\frac{0{,}9437}{4}+\frac{0{,}55}{3}\frac{1{,}2958}{2} = -0{,}2615 \quad (III.4-27')$$

In cazul utilizării formulei de integrare aproximativă Simpson, valorile numerice, necesare aplicării metodei, sînt centralizate în tabela Nr. III.4-4.

Din tabela Nr. III.4-4 rezultă :

$f(\varsigma_0).f_w(\varsigma_0) = -5{,}4549$;

$f(\varsigma_1).f_w(\varsigma_1) + f(\varsigma_3).f_w(\varsigma_3) + f(\varsigma_5).f_w(\varsigma_5) + \ldots\ldots + f(\varsigma_{19})f_w(\varsigma_{19}) = -2{,}86727$;

$f(\varsigma_2).f_w(\varsigma_2) + f(\varsigma_4).f_w(\varsigma_4) + f(\varsigma_6).f_w(\varsigma_6) + \ldots\ldots + f(\varsigma_{18})f_w(\varsigma_{18}) = -1{,}66309$;

$f(\varsigma_{20})f_w(\varsigma_{20}) = 0{,}0000$.

Aplicînd formula lui Simpson :

$$\int_0^1 f(\varsigma)f_w(\varsigma)\,d\varsigma = \frac{1}{60}\left[-5{,}4549 - 4\times 2{,}86727 - 2\times 1{,}66309\right] = -\frac{20{,}2508}{60} = -0{,}3375$$

Adoptînd în continuare, acoperitor, valoarea obţinută prin această metodă, rezultă în final valoarea integralei căutate :

$$\int_0^h \bar{u}\,\overline{w_r}\,dz = 0{,}1\,\bar{v}^2 h\,\frac{h}{r}\sqrt{\frac{B}{h}}\;\frac{\theta - \theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim}-\theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})} \quad (III.4-28)$$

Rezultatele obţinute urmează să fie folosite direct în paragraful 5 al acestui capitol.

c.- <u>Verificarea relaţiei propusă pentru distribuţia vitezei radiale pe verticală</u>

Relaţia propusă în teză, în cadrul prezentului paragraf, pentru distribuţia vitezei radiale pe verticală (III.4-22) concretizează pentru $\theta = \theta_{lim}$, C=40 şi C=60 în formulele (III.4-23) şi reprezentată în figurile III.4-3 şi III.4-4, a fost verificată prin intermediul unor măsurători publicate în literatura de specialitate şi prin măsurători proprii efectuate pe modelul sectorului rîului Argeş.

In tabela III.4-5 sînt prelucrate datele extrase din lucrarea /G-2, pg.158/. Experienţele prezentate de Goncearov au fost efectuate într-un canal de secţiune dreptunghiulară cu lățimea 40 cm, C = 40 și diferite înălțimi ale curentului de apă. Prelucrarea comparativă a datelor obținute din măsurători și a datelor obținute pe cale teoretică, folosind relația stabilită în teză, a permis calculul indicatorilor statistici :

- valoarea medie a abaterii relative $M\left(\dfrac{\dfrac{\overline{W}_{rT}}{V} - \dfrac{\overline{W}_{r}}{V}}{\dfrac{\overline{W}_{r}}{V}}\right) = +0{,}11\%$
- abaterea medie pătratică $\sigma\left(\dfrac{\dfrac{\overline{W}_{rT}}{V} - \dfrac{\overline{W}_{r}}{V}}{\dfrac{\overline{W}_{r}}{V}}\right) = 7{,}26\%$

In tabela III.4-6 sînt prezentate datele extrase din aceeași lucrare /G-2, pg.158/ pentru valoarea lui G = 60. Indicatorii statistici stabiliți în acest caz sînt de + 2,92 % pentru valoarea medie a abaterii relative și 9,41 % pentru abaterea medie pătratică.

In tabela III.4-7 sînt prelucrate date din măsurătorile efectuate de Kozowski /K-3/ în canale de lățimi diferite și C = 60. Indicatorii statistici realizați sînt de + 0,95 % pentru valoarea medie a abaterii relative și 11,50 % pentru abaterea medie pătratică.

In tabela III.4-8 sînt prezentate date din măsurătorile efectuate de Poletaev /P-5/ într-un canal îngust de secțiune trapezoidală. Indicatorii statistici calculați sînt, pentru valoarea medie a abaterii + 3,02 % și pentru abaterea medie pătratică 6,35 %.

In tabela III.4-9 sînt prezentate date din măsurători proprii efectuate pe modelul sectorului de rîu Argeș din cadrul platformei laboratorului catedrei C.H.I.F.

Indicatorii statistici, în acest caz, sînt + 0,42 % pentru valoarea medie a abaterii și 2,66% pentru abaterea medie pătratică.

Media indicatorilor statistici realizați în cadrul prelucrărilor este :

- pentru valoarea medie a abaterii relative + 1,48 % ;
- pentru abaterea medie pătratică 7,44 %.

Valorile pot fi considerate foarte bune pentru acest domeniu al tehnicii.

Rezultatele experimentale au fost reprezentate în figurile III.4-3 și III.4-4 pe care se observă de asemenea o foarte bună concordanță a formulei propusă în teză cu înregistrările din măsurători.

TABEL COMPARATIV PRIVIND DISTRIBUTIA VITEZEI RADIALE PE VERTICALA (Măsurători după Goncearov C=40)

$\langle h \rangle = \langle r \rangle = \langle B \rangle = 1$ m ; $\langle C \rangle = 1$ m$^{1/2}$/s

Tabela III.4-5

Nr. crt.	Date experimentale ξ	h	r	B	C	$\overline{W_r}/\overline{v}$	$\frac{h}{r}$	$\sqrt{\frac{B}{h}}$	$\frac{C}{40}\frac{h}{r}\sqrt{\frac{B}{h}}$	$f(\xi)$	$\frac{\overline{W_{rT}}}{\overline{v}}$	$\Delta\frac{\overline{W_r}}{\overline{v}}$	$\frac{\Delta\frac{\overline{W_r}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{W_r}}{\overline{v}}}100$	$\left(\frac{\Delta\frac{\overline{W_r}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{W_r}}{\overline{v}}}100\right)^2$
1	0,03	0,100	0,60	0,40	40	-0,32	0,1667	2,00	1,334	-0,256	-0,341	-0,021	+ 6,56	43,10
	0,20					-0,20				-0,153	-0,204	-0,004	+ 2,00	4,00
	0,42					0,00				0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
	0,75					+ 0,17				+0,135	+0,181	+0,011	+ 6,46	41,80
	1,00					+ 0,23				+0,167	+0,223	-0,007	- 3,04	9,25
2	0,05	0,065	0,60	0,40	40	-0,29	0,1083	2,48	1,075	-0,275	-0,296	-0,006	+ 2,07	4,27
	0,17					-0,18				-0,177	-0,191	-0,011	+ 6,11	37,40
	0,45					-0,01				-0,010	-0,010	0,000	0,00	0,00
	0,70					+0,13				+0,122	+0,131	+0,001	+ 0,77	0,59
	0,97					+0,19				+0,167	+0,180	-0,010	- 5,26	27,70
3	0,20	0,030	0,60	0,40	40	-0,12	0,0500	3,65	0,730	-0,153	-0,112	+0,008	- 6,66	44,50
	0,42					0,00				0,000	0,006	0,000	0,00	0,00
	0,70					+0,08				+0,122	+0,089	+0,009	+11,22	125,40
	0,97					+0,15				+0,167	+0,122	-0,028	-18,66	349,00
												Σ	+ 1,57	688,01

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{\frac{\overline{W_{rT}}}{\overline{v}} - \frac{\overline{W_r}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{W_r}}{\overline{v}}}\right) = +0,11\ \%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\frac{\overline{W_{rT}}}{\overline{v}} - \frac{\overline{W_r}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{W_r}}{\overline{v}}}\right) = 7,26\ \%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND DISTRIBUTIA VITEZEI RADIALE PE VERTICALA

(măsurători după Goncearov C = 60)

$\langle h\rangle = \langle r\rangle = \langle B\rangle = 1$ m ; $\langle C\rangle = 1$ $m^{1/2}/s$ Tabela III.4-6.

Nr. crt.	Date experimentale ξ	h	r	B	C	$\overline{w_r}/\overline{v}$	$\frac{h}{r}$	$\sqrt{\frac{B}{h}}$	$\frac{C}{10}\frac{h}{r}\sqrt{\frac{B}{h}}$	$f(\xi)$	$\frac{\overline{w_{rT}}}{\overline{v}}$	$\Delta\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}$	$\frac{\Delta\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}100$	$\left(\frac{\Delta\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}100\right)^2$
1	0,20	0,055	0,60	0,40	60	-0,22	0,1083	2,48	1,615	-0,153	-0,247	-0,027	+12,27	150,3
	0,37					-0,06				-0,032	-0,052	±0,008	±13,31	178,0
	0,47					+0,04				+0,027	+0,044	+0,004	+10,00	100,0
	0,65					+0,15				+0,105	+0,170	+0,010	+ 6,25	39,1
	1,00					+0,28				+0,167	+0,270	-0,010	- 3,57	12,8
2	0,20	0,060	0,60	0,40	60	-0,22	0,100	2,58	1,548	-0,153	-0,237	-0,017	+ 7,73	59,6
	0,30					-0,11				-0,078	-0,121	-0,011	+10,00	100,0
	0,55					+0,11				+0,066	+0,102	-0,008	- 7,27	52,8
	0,90					+0,24				+0,162	+0,250	+0,010	+ 4,17	17,4
												Σ	+26,27	710,0

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{\frac{\overline{w_{rT}}}{\overline{v}} - \frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}\right) = +2,92\ \%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\frac{\overline{w_{rT}}}{\overline{v}} - \frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}\right) = 9,41\ \%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND DISTRIBUŢIA VITEZEI RADIALE PE VERTICALĂ

(măsurători după Rozowski)

$\langle h \rangle = \langle r \rangle = \langle B \rangle = 1$ m ; $\langle C \rangle = 1$ m$^{1/2}$/s

Tabela III.4-7

Nr. crt.	Date experimentale: ζ	h	r	B	C	$\overline{w_r}/\overline{v}$	$\frac{h}{r}$	$\sqrt{\frac{B}{h}}$	$\frac{C}{10}\frac{h}{r}\sqrt{\frac{B}{h}}$	$f(\zeta)$	$\frac{\overline{w_{rr}}}{\overline{v}}$	$\Delta\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}$	$\frac{\Delta\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}100$	$\left(\frac{\Delta\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}100\right)^2$
1	0,05	0,09	0,80	0,80	60	−0,555	0,1125	3,00	2,025	−0,284	−0,575	−0,020	+ 3,64	13,2
	0,20					−0,320				−0,153	−0,310	+0,010	− 3,13	9,8
	0,95					+0,330				+0,165	+0,334	+0,004	+ 1,21	1,5
2	0,02	0,08	0,8	0,80	50	−0,60	0,1000	3,16	1,897	−0,313	−0,595	+0,005	−0,83	0,7
	0,12					−0,39				−0,220	−0,417	−0,027	+6,93	48,1
	0,97					+0,36				+0,167	+0,317	−0,043	−11,92	143,0
3	0,00	0,07	1,5	0,40	50	−0,38	0,070	2,39	1,005	−0,333	−0,335	+0,045	−11,81	140,0
	0,10					−0,25				−0,238	−0,240	+0,010	−4,00	16,0
	1,00					+0,21				+0,167	+0,168	−0,042	−20,00	400,0
4	0,00	0,05	1,0	0,40	50	−0,33	0,050	2,58	0,930	−0,333	−0,310	+0,020	−6,07	36,8
	0,10					−0,19				−0,238	−0,222	−0,032	+16,83	284,0
	1,00					+0,17				+0,167	+0,155	−0,015	−8,82	78,0
5	0,10	0,08	1,0	0,40	60	−0,22	0,080	2,24	1,075	−0,238	−0,255	−0,035	+15,89	253,0
	0,37					−0,03				−0,032	−0,034	−0,004	+13,33	177,0
	0,44					+0,09				+0,100	+0,107	+0,017	+18,89	357,5
	0,80					+0,14				+0,147	+0,147	+0,007	+5,00	25,0
												Σ	+15,14	1983,5

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{\frac{\overline{w_{rr}}}{\overline{v}} - \frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}\right) = +0,95\,\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\frac{\overline{w_{rr}}}{\overline{v}} - \frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}{\frac{\overline{w_r}}{\overline{v}}}\right) = 11,50\,\%$

TABEL COMPARATIV PRIVIND DISTRIBUTIA VITEZEI RADIALE PE VERTICALA

măsurători după Poletaev

$\langle h \rangle = \langle r \rangle = \langle B \rangle = 1$ m ; $\langle C \rangle = 1$ m$^{1/2}$/s

Tabela III.4–8

Nr. crt.	Date experimentale ς	h	r	B	C	$\overline{w_r}/\overline{v}$	$\frac{h}{r}$	$\sqrt{\frac{B}{h}}$	$\frac{C}{10}\frac{h}{r}\sqrt{\frac{B}{h}}$	$f(\varsigma)$	$\frac{\overline{W_{rT}}}{v}$	$\Delta\frac{\overline{W_r}}{v}$	$\frac{\Delta\frac{\overline{W_r}}{v}}{\frac{\overline{W_r}}{v}}100$	$\left(\frac{\Delta\frac{\overline{W_r}}{v}}{\frac{\overline{W_r}}{v}}100\right)^2$
1	0,10	0,093	0,63	0,38	40	−0,27	0,1475	2,02	1,192	−0,238	−0,283	−0,013	+4,82	23,20
	0,25					−0,12				−0,114	−0,136	−0,016	+13,33	177,50
	0,65					+0,12				+0,105	+0,125	+0,005	+4,16	17,30
	0,80					+0,17				+0,147	+0,175	+0,005	+2,94	8,64
	1,00					+0,19				+0,167	+0,199	+0,009	+4,73	22,38
2	0,05	0,093	1,13	0,38	40	−0,19	0,0823	2,02	0,665	−0,283	−0,189	+0,001	−0,50	0,25
	0,30					−0,05				−0,078	−0,052	−0,002	+4,00	16,00
	0,70					+0,08				+0,122	+0,081	+0,001	+1,25	1,56
	1,00					+0,12				+0,167	+0,111	−0,009	−7,50	56,10
												Σ	+27,23	322,93

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{\frac{\overline{W_{rT}}}{v}-\frac{\overline{W_r}}{v}}{\frac{\overline{W_r}}{v}}\right) = +3,02\,\%$

Abaterea medie pătratică

$$\sigma\left(\frac{\frac{\overline{W_{rT}}}{v}-\frac{\overline{W_r}}{v}}{\frac{\overline{W_r}}{v}}\right) = 6,35\,\%$$

BUPT

TABEL COMPARATIV PRIVIND DISTRIBUŢIA VITEZEI RADIALE PE VERTICALĂ

(măsurători pe modelul sectorului de rîu Argeş)

$\langle h \rangle = \langle r \rangle = \langle B \rangle = 1$ m ; $\langle C \rangle = 1$ $m^{1/2}/s$

Tabela III.4-9

Nr. crt.	Date experimentale ξ	h	r	B	C	$\overline{W_r}/\overline{V}$	$\frac{h}{r}$	$\sqrt{\frac{B}{h}}$	$\frac{C}{10}\frac{h}{r}\sqrt{\frac{B}{h}}$	$f(\xi)$	$\frac{\overline{W_{rT}}}{V}$	$\Delta\frac{\overline{W_r}}{V}$	$\frac{\Delta\frac{\overline{W_r}}{V}}{\frac{\overline{W_r}}{V}}100$	$\left(\frac{\Delta\frac{\overline{W_r}}{V}}{\frac{\overline{W_r}}{V}}100\right)^2$
1	0,02	0,08	2,04	1,740	40	-0,23	0,0392	4,66	0,730	-0,313	-0,228	+0,002	- 0,87	0,76
	0,10					-0,17				-0,238	-0,174	-0,004	+ 2,34	5,53
	0,70					+0,09				+0,122	+0,089	-0,001	- 1,11	1,23
	1,00					+0,12				+0,167	+0,122	+0,002	+ 1,57	2,78
2	0,02	0,09	2,04	1,750	40	-0,24	0,0441	4,43	0,782	-0,313	-0,244	-0,004	+ 1,67	2,78
	0,10					-0,19				-0,238	-0,186	+0,004	- 2,11	4,43
	0,70					+0,10				+0,122	+0,095	-0,005	- 5,00	25,00
	1,00					+0,13				+0,167	+0,130	0,000	0,00	0,00
3	0,02	0,10	2,04	1,790	40	-0,25	0,0491	4,23	0,832	-0,313	-0,260	-0,010	+ 4,00	16,00
	0,10					-0,19				-0,238	-0,198	-0,008	+ 4,21	17,70
	0,70					+0,10				+0,122	+0,101	+0,001	+ 1,00	1,00
	1,00					+0,14				+0,167	+0,139	-0,001	- 0,71	0,51
												Σ	+ 5,09	77,72

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{\frac{\overline{W_{rT}}}{V} - \frac{\overline{W_r}}{V}}{\frac{\overline{W_r}}{V}}\right) = +0,42\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{\frac{\overline{W_{rT}}}{V} - \frac{\overline{W_r}}{V}}{\frac{\overline{W_r}}{V}}\right) = 2,66\%$

Media aritmetică a abaterilor relative $+1,48\%$

Media aritmetică a abaterilor pătratice $7,44\%$

§ 5. Distribuţia vitezelor longitudinale pe sectoarele în curbă

In cadrul tezei s-a studiat (în cap.II § 2) distribuţia vitezelor longitudinale pe sectoarele în aliniament. In cap.III § 4 s-a studiat şi a fost propusă o relaţie care permite stabilirea distribuţiei vitezelor radiale pe sectoarele în curbă. Apariţia vitezelor radiale, datorită forţelor centrifuge, conduce la o redistribuire a vitezelor longitudinale pe sectoarele în curbă, problemă care face obiectul prezentului paragraf.

Se consideră un volum elementar de lichid din sectorul în curbă, reprezentat schematizat în figura III.5-1 , în coordonatele cilindrice r, θ şi z .

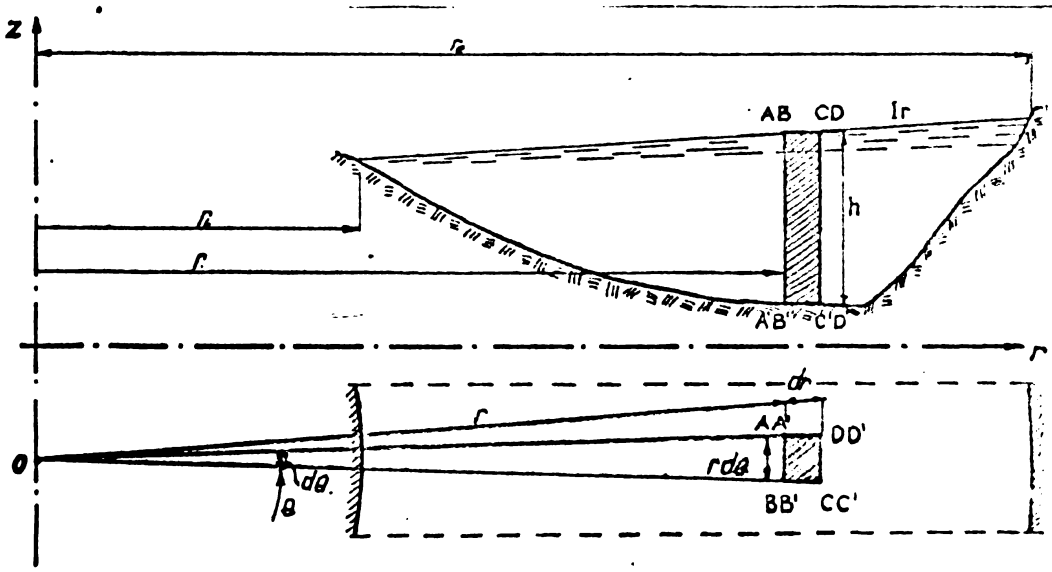


Fig. III.5-1. Schemă de calcul pentru distribuţia vitezelor longitudinale pe sectoarele în curbă

Se aplică teorema impulsului unui volum elementar închis de o suprafaţă invariabilă de control, cu neglijarea forţelor de frecare pe suprafeţele laterale ale acestui volum. După direcţia longitudinală, impulsul fluxului masic prin suprafaţa de control poate fi scris ca următoarea sumă :

$$\oiint_S \rho\, \bar{u}\, dQ = -\iint_{AA'B'B} \rho \bar{u}\, dQ_r + \iint_{BB'C'C} \rho \bar{u}\, dQ_r - \iint_{BB'C'C} \rho \bar{u}\, dQ + \iint_{AA'D'D} \rho \bar{u}\, dQ \qquad (III.5-1)$$

Avînd în vedere dimensiunile infinitezimale ale elementului de volum considerat, pe baza continuităţii lichidului, se poate scrie :

$$\iint_{AA'D'D} \rho \bar{u}\, dQ = \iint_{BB'C'C} \rho \bar{u}\, dQ + \left(\frac{\partial}{r\partial\theta} \iint_{BB'C'C} \rho \bar{u}\, dQ\right) r d\theta \qquad (III.5-2)$$

$$\iint_{DD'C'C} \rho \quad \bar{U}\, dQ_r = \iint_{AA'B'B} \rho \bar{U}\, dQ_r + \left(\frac{\partial}{\partial r} \iint_{AA'B'B} \rho \bar{U}\, dQ_r\right) dr \qquad \text{(III.5-3)}$$

Rezultă că impulsul fluxului masic prin suprafaţa invariabilă de control a volumului elementar este :

$$\iint_S \rho\, \bar{U}\, dQ = \frac{\partial}{r\partial\theta}\left(\rho\, dr \int_0^h \bar{U}^2 dz\right) + \frac{\partial}{\partial r}\left(\rho\, r\, d\theta \int_0^h \bar{U}\, \bar{w}_r\, dz\right) dr \qquad \text{(III.5-4)}$$

Conform primei teoreme a impulsului, impulsul fluxului masic prin suprafaţa invariabilă de control este egal cu suma forţelor exterioare aplicate lichidului închis de această suprafaţă invariabilă de control. Aceste forţe proiectate după direcţia longitudinală a mişcării conduc la :

- o componentă datorată gravitaţiei $g\, i\, r\, h\, d\theta\, dr$;
- o componentă datorată frecării cu peretele solid $\tau\, r\, dr\, d\theta$.

Ecuaţia de echilibru, după direcţia longitudinală, exprimând prima teoremă a impulsului devine :

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(r \int_0^h \bar{w}_r\, \bar{U}\, dz\right) + \frac{\partial}{\partial \theta}\left(\int_0^h \bar{U}^2 dz\right) = g\, i\, r\, h - \frac{r\tau}{\rho} \qquad \text{(III.5-5)}$$

După cum se observă pentru efectuarea integralelor care apar în ecuaţia de mai sus este necesar să se cunoască legea de repartiţie a vitezelor longitudinale şi transversale în secţiunea vie.

În ceea ce priveşte membrul drept se face observaţia că în cazul mişcării uniforme, în sectoarele rectilinii, el se anulează. Se va face ipoteza că şi în cazul curgerii în curbe membrul drept se anulează. Această ipoteză a fost folosită pentru prima dată şi de Rozowski, iar rezultatele obţinute au fost încurajatoare.

În paragraful 4 al acestui capitol s-a calculat integrala $\int_0^h \bar{U}\, \bar{w}_r\, dz$, iar la cap. II paragraful 1-3 s-a calculat integrala $\int \bar{U}^2 dz$, ambele considerate pentru o secţiune din zona de început a curbei (aceasta rezultă din faptul că repartiţia vitezelor longitudinale s-a luat corespunzător sectorului rectiliniu) :

$$\int_0^h \bar{U}\, \bar{w}_r\, dz = 0{,}1\, \bar{v}^2 \frac{h^2}{r} \sqrt{\frac{B}{h}}\; \frac{\theta - \theta_{max}\, \mathcal{H}(\theta - \theta_{lim})}{\theta_{lim} - \theta_{max}\, \mathcal{H}(\theta - \theta_{lim})} \qquad \text{(III.4-28)}$$

$$\int \bar{U}^2 dz = \left(1 + 6\, \frac{g}{C^2}\right) \bar{v}^2 h$$

(II.1-3-42 - II.1.3-54

Rezultă atunci din ecuaţia (III.5-5) :

$$\frac{\partial}{\partial r}\left[0{,}1\, \bar{v}^2 h^2 \sqrt{\frac{B}{h}}\; \frac{\theta - \theta_{max}\, \mathcal{H}(\theta - \theta_{lim})}{\theta_{lim} - \theta_{max}\, \mathcal{H}(\theta - \theta_{lim})}\right] +$$

$$+\frac{\partial}{\partial\theta}\left(1+6\,\frac{g}{C^2}\right)\bar{v}^2 h=0 \qquad \text{(III.5-6)}$$

sau într-o altă formă :

$$\frac{0{,}1\sqrt{B}\,\left[\theta-\theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})\right]}{\left(1+6\,\frac{g}{C^2}\right)\left[\theta_{lim}-\theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})\right]}\frac{\partial}{\partial r}(\bar{v}^2h^{3/2})+\frac{\partial}{\partial\theta}(\bar{v}^2h)=0 \qquad \text{(III.5-6')}$$

Integrînd în diferenţe finite această ecuaţie se obţine :

$$\frac{0{,}1\sqrt{B}}{1+6\frac{g}{C^2}}\int_{\theta}^{\theta+\Delta\theta}\frac{\theta-\theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim}-\theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})}d\theta\int_{r}^{r+\Delta r}\frac{\partial}{\partial r}(\bar{v}^2h^{3/2})dr+ \qquad \text{(III.5-7)}$$

$$+\int_{\theta}^{\theta+\Delta\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}(\bar{v}^2h)d\theta\int_{r}^{r+\Delta r}dr=0$$

Introducînd notaţiile :

$$\bar{v}^2h^{3/2}\Big|_{r}^{r+\Delta r}=\Delta_r(\bar{v}^2h^{3/2})\,; \qquad \bar{v}^2h\Big|_{\theta}^{\theta+\Delta\theta}=\Delta_\theta(\bar{v}^2h) \qquad \text{(III.5-8)}$$

rezultatul ce se obţine în urma efectuării integralelor poate fi pus sub forma :

$$\frac{0{,}1\sqrt{B}}{1+6\frac{g}{C^2}}\,\frac{\theta+\frac{\Delta\theta}{2}-\theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim}-\theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})}\Delta\theta.\Delta_r(\bar{v}^2h^{\frac{3}{2}})+\Delta r.\Delta_\theta(\bar{v}^2h)=0 \qquad \text{(III.5-9)}$$

Există egalităţile succesive evidente :

$$\Delta_\theta(\bar{v}^2h)=\bar{v}^2_{\theta+\Delta\theta}h_{\theta+\Delta\theta}-\bar{v}^2_\theta h_\theta=\bar{v}^2_{\theta+\Delta\theta}h_{\theta+\Delta\theta}-\bar{v}^2_\theta h_{\theta+\Delta\theta}+\bar{v}^2_\theta h_{\theta+\Delta\theta}-\bar{v}^2_\theta h_\theta=$$

$$=h_{\theta+\Delta\theta}\Delta_\theta\bar{v}^2+\bar{v}^2_\theta\,\Delta_\theta h \qquad \text{(III.5-10)}$$

Rezultă următoarea formulă de calcul cu diferenţe finite :

$$\Delta_\theta\bar{v}^2=-\bar{v}^2_\theta\frac{\Delta_\theta h}{h_{\theta+\Delta\theta}}-\frac{0{,}1\sqrt{B}}{\left(1+6\frac{g}{C^2}\right)h_{\theta+\Delta\theta}}\cdot\frac{\theta+\frac{\Delta\theta}{2}-\theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim}-\theta_{max}\mathcal{H}(\theta-\theta_{lim})}\frac{\Delta\theta}{\Delta r}\Delta_r(\bar{v}^2h^{\frac{3}{2}}) \qquad \text{(III.5-11)}$$

In vederea întocmirii unei programe de calcul automat relaţia se va pune sub o altă formă, în care mărimile variabile vor avea doi indici : indicii "K" vor preciza unghiul θ şi prin aceasta poziţia secţiunii transversale, iar indicii "i" vor preciza poziţia verticalei în secţiunea transversală :

$$\bar{v}^2_{K+1,i}-\bar{v}^2_{K,i}=-\bar{v}^2_{K,i}\frac{h_{K+1,i}-h_{K,i}}{h_{K+1,i}}-\frac{0{,}1\sqrt{B}}{1+6\frac{g}{C^2}}\,\frac{\Delta\theta}{\Delta r}\,\frac{K\Delta\theta+\frac{\Delta\theta}{2}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}\cdot$$

$$\cdot\frac{1}{h_{K+1,i}}\,\frac{1}{2}\left[(\bar{v}^2h^{3/2})_{K,i+1}-(\bar{v}^2h^{3/2})_{K,i}+(\bar{v}^2h^{3/2})_{K,i}-(\bar{v}^2h^{3/2})_{K,i-1}\right] \qquad \text{(III.5-12)}$$

$$h_{K+1,i}\,\bar{v}^2_{K+1,i}=\bar{v}^2_{K,i}h_{K,i}-\frac{0{,}1\sqrt{B}}{2\left(1+6\frac{g}{C^2}\right)}\,\frac{\Delta\theta}{\Delta r}\,\frac{K\Delta\theta+\frac{\Delta\theta}{2}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}\Big[$$

$$\left[(\bar{v}^2h^{3/2})_{K,i+1}-(\bar{v}^2h^{3/2})_{K,i-1}\right] \qquad \text{(III.5-13)}$$

In eliminarea dificultății introdusă de prezența în membrul drept a termenului $h_{K+1,i}$ se vor avea în vedere rezultatele experimentale privind relieful suprafeței libere a apei în curbă și concluziile formulate la paragrafele unde s-a studiat denivelarea suprafeței libere a apei pe sectoarele în curbă (III-1 și III-2).

Ecuația finală la care s-a ajuns prin aplicarea teoremei I-a a impulsului conține un număr de două necunoscute, care figurează în membrul stîng al ecuației. Pentru rezolvarea univocă este nevoie de încă o relație. Această relație se poate obține în modul următor :

- la paragraful III-1 privind denivelarea suprafeței libere a apei după direcție longitudinală s-a adoptat o schematizare pentru evoluția nivelurilor în axul geometric al curbei (fig. III-1-3) ;

- scriind ecuația obținută prin teorema impulsului pentru firul lichid din axul geometric al curentului și notînd cu indicii l și $l+1$ cele două verticale care încadrează axa geometrică a curentului, se poate determina viteza în ax în secțiunea de indice K + 1 :

$$\overline{v}^2_{K+1,ax} = \overline{v}^2_{K,ax}\frac{h_{K,ax}}{h_{K+1,ax}} - \frac{0{,}1\sqrt{B}}{2\left(1+6\frac{g}{C^2}\right)}\frac{\Delta\theta}{\Delta r}\,\frac{K\Delta\theta + \frac{\Delta\theta}{2} - \theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim} - \theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}\times$$
$$\times\frac{1}{h_{K+1,ax}}\left[\left(\overline{v}^2 h^{3/2}\right)_{K,l+1} - \left(\overline{v}^2 h^{3/2}\right)_{K,l}\right] \qquad \text{(III.5-14)}$$

- cunoscînd, acum, atît adîncimea cît și viteza medie pe verticală în axul secțiunii K+1, se poate trece la determinarea adîncimii și a vitezei medii în verticala $l+1$, determinînd la început diferența de nivel Δz între cele două verticale (verticala din ax și verticala $l+1$) :

$$\Delta Z_{ax,l+1} = \frac{\overline{U}^2_{s,l+1} + \overline{U}^2_{s,ax}}{g\,(r_{l+1} + r_{ax})}(r_{l+1} - r_{ax}) = \left(1+2\frac{\sqrt{g}}{C}\right)^2\frac{\overline{v}^2_{K+1,l+1} + \overline{v}^2_{K+1,ax}}{g(r_{l+1} - r_{ax})}(r_{l+1} - r_{ax}) \qquad \text{(III-5-15)}$$

- se elimină $\Delta Z_{ax,l+1}$ din relația anterioară scriind, pentru cazul canalelor, cu fund orizontal, în direcție transversală :

$$\Delta Z_{ax,l+1} = h_{K+1,l+1} - h_{K+1,ax} \qquad \text{(III.5-16')}$$

- în cazul albiilor cu fund neregulat, dar de geometrie cunoscută, relația se adaptează corespunzător :

$$\Delta Z_{ax,l+1} = h_{K+1,l+1} - h_{K+1,ax} + (P_{K+1,l+1} - P_{K+1,ax}) \qquad \text{(III.5-16')}$$

în care :

$P_{K+1,l+1}$ este cota patului în secțiunea K+1 corespunzătoare verticalei $l+1$;

$p_{K+1,ax}$ – cota patului în secțiunea K+1, corespunzătoare verticalei axiale.

Din combinarea relațiilor III.5-15 și III.5-16) rezultă cea de a doua relație necesară pentru programare sub forma :

$$\overline{v}^2_{K+1,l+1} = -\overline{v}^2_{K+1,ax} + \frac{g}{\left(1+2\frac{\sqrt{g}}{C}\right)^2}\frac{r_{l+1}+r_{ax}}{r_{l+1}-r_{ax}}\left(h_{K+1,l+1}-h_{K+1,ax}\right) \quad \text{(III.5-17)}$$

In această fază se poate elimina din ecuația impulsului scrisă pentru $h_{K+1,l+1}$ (III.5-13) necunoscuta $\overline{v}^2_{K+1,l+1}$ rezultînd o ecuație de gradul doi în necunoscuta $h_{K+1,l+1}$:

$$h^2_{K+1,l+1} - \left[h_{K+1,ax} + \frac{\left(1+2\frac{\sqrt{g}}{C}\right)^2(r_{l+1}-r_{ax})}{g(r_{l+1}+r_{ax})}\overline{v}^2_{K+1,ax}\right]h_{K+1,l+1} - \frac{\left(1+2\frac{\sqrt{g}}{C}\right)^2(r_{l+1}-r_{ax})}{g(r_{l+1}+r_{ax})}\Big\{ \quad \text{(III.5-18)}$$

$$\Big\{\overline{v}^2_{K,l+1}h_{K,l+1} - \frac{0{,}1\sqrt{B}}{2\left(1+6\frac{g}{C^2}\right)}\frac{\Delta\theta}{\Delta r}\cdot\frac{K\Delta\theta+\frac{\Delta\theta}{2}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}\left[(\overline{v}^2h^{\frac{3}{2}})_{K,l+1}-(\overline{v}^2h^{\frac{3}{2}})_{K,l}\right]\Big\} = 0$$

sau în notație prescurtată :

$$h^2_{K+1,l+1} - A^{ax}_{K+1,l+1}h_{K+1,l+1} - C^{ax}_{K+1,l+1} = 0 \quad \text{(III.5-18')}$$

în care s-au notat pentru simplificarea scrierii :

$$A^{ax}_{K+1,l+1} = h_{K+1,ax} + \frac{(1+2\sqrt{g}/C)^2(r_{l+1}-r_{ax})}{g(r_{l+1}+r_{ax})}\overline{v}^2_{K+1,ax}$$

$$C^{ax}_{K+1,l+1} = \frac{(1+2\sqrt{g}/C)^2(r_{l+1}-r_{ax})}{g(r_{l+1}+r_{ax})}\Big\{\overline{v}^2_{K,l+1}h_{K,l+1} - \frac{0{,}1\sqrt{B}}{2(1+6g/C^2)}\frac{\Delta\theta}{\Delta r}\times \quad \text{(III.5-19)}$$

$$\times\frac{K\Delta\theta+\frac{\Delta\theta}{2}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}\left[(\overline{v}^2h^{3/2})_{K,l+2}-(\overline{v}^2h^{3/2})_{K,l}\right]\Big\}$$

Avînd în vedere faptul că A > 0 , C > 0 rezultă că ecuația de gradul doi are două rădăcini reale și de semne contrare. Evident soluția pozitivă este cea care are semnificație fizică și se va reține în program.

După determinarea adîncimii $h_{K+1,l+1}$ se determină viteza $\overline{v}_{K+1,l+1}$ cu ajutorul relației (III.5-17).

In continuare se trece la determinarea, din aproape în aproape a adîncimilor $h_{K+1,i+1}$ și a vitezelor $\overline{v}_{K+1,i+1}$ pentru $i=l+1$ pînă la ultima verticală $i=n$,cu ajutorul relațiilor anterioare, în care indicele ax se înlocuiește cu indicele i :

$$h^2_{K+1,i+1} - A^{i>l}_{K+1,i+1}h_{K+1,i+1} - C^{i>l}_{K+1,i+1} = 0 \quad \text{(III.5-18")}$$

$$A^{i>l}_{K+1,l+1} = h_{K+1,i} + \frac{(1+2\sqrt{g}/C)^2(r_{i+1}-r_i)}{g(r_{i+1}+r_i)}\overline{v}^2_{K+1,i}$$

$$C^{i>l}_{K+1,i+1} = \frac{(1+2\sqrt{g}/C)^2(r_{i+1}-r_i)}{g(r_{i+1}+r_i)}\Big\{\overline{v}^2_{K,i+1}h_{K,i+1} - \frac{0{,}1\sqrt{B}}{2(1+6g/C^2)}\frac{\Delta\theta}{\Delta r}\times \quad \text{(III.5.19')}$$

$$\times\frac{K\Delta\theta+\frac{\Delta\theta}{2}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}\left[(\overline{v}^2h^{3/2})_{K,i+2}-(\overline{v}^2h^{3/2})_{K,i}\right]\Big\}$$

$$\overline{v}^2_{K+1,i+1} = -\overline{v}^2_{K+1,i} + \frac{g}{\left(1+2\frac{\sqrt{g}}{C}\right)^2}\,\frac{r_{i+1}+r_i}{r_{i+1}-r_i}\left(h_{K+1,i+1}-h_{K+1,i}\right) \qquad \text{(III.5-17')}$$

Analog se procedează şi pentru calculul valorii adîncimii şi vitezei medii în secţiunea K+1 , verticala ℓ ,însă în această zonă se va schimba semnul expresiei Δz :

$$\Delta z_{ax,\ell} = \left(1+2\frac{\sqrt{g}}{C}\right)^2 \frac{\overline{v}^2_{K+1,\ell}+\overline{v}^2_{K+1,ax}}{g(r_\ell + r_{ax})}(r_\ell - r_{ax}) = h_{K+1,\ell} - h_{K+1,ax} < 0 \qquad \text{(III.5-20)}$$

Prin eliminarea lui $\Delta z_{ax,\ell}$ rezultă :

$$\overline{v}^2_{K+1,\ell} = -\overline{v}^2_{K+1,ax} + \frac{g}{\left(1+2\frac{\sqrt{g}}{C}\right)^2}\,\frac{r_\ell + r_{ax}}{r_\ell - r_{ax}}\left(h_{K+1,\ell}-h_{K+1,ax}\right) \qquad \text{(III.5-17")}$$

Inlocuind pe $\overline{v}^2_{K+1,\ell}$ în ecuaţia impulsului se obţine ecuaţia de gradul doi (în notaţii prescurtate) :

$$h^2_{K+1,\ell} - A^{ax}_{K+1,\ell}h_{K+1,\ell} - C^{ax}_{K+1,\ell} = 0 \qquad \text{(III.5-18"')}$$

în care pentru uşurarea scierii,prin analogie cu relaţiile (III.5-19) s-au folosit notaţiile :

$$A^{ax}_{K+1,\ell} = h_{K+1,ax} - \frac{(1+2\sqrt{g}/C)^2(r_{ax}-r_\ell)}{g(r_{ax}-r_\ell)}\,\overline{v}^2_{K+1,ax}$$

$$C^{ax}_{K+1,\ell} = -\frac{(1+2\sqrt{g}/C)^2(r_{ax}-r_\ell)}{g(r_{ax}+r_\ell)}\left\{\overline{v}^2_{K,\ell}h_{K,\ell} - \frac{0{,}1\sqrt{B}}{2(1+6\sqrt{g}/C^2)}\,\frac{\Delta\theta}{\Delta r}\,\times \right. \qquad \text{(III.5-19")}$$

$$\left.\times\frac{K\Delta\theta+\frac{\Delta\theta}{2}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}\left[(\overline{v}^2h)^{\frac{3}{2}}_{K,\ell+1}-(\overline{v}^2h)^{\frac{3}{2}}_{K,\ell-1}\right]\right\}$$

Avînd în vedere că $C < 0$ este posibil să apară rădăcini imaginare.Aceasta corespunde fizic faptului că în acea verticală nu există apă şi în consecinţă se va lua $h_{K+1,\ell} = 0$ respectiv $\overline{v}_{K+1,\ell} = 0$

In continuare,din aproape în aproape se poate trece la determinarea adîncimilor $h_{K+1,i}$ şi vitezelor $\overline{v}_{K+1,i}$ de la $i=\ell-1$ şi pînă la i = 1 , cu ajutorul relaţiilor anterioare adoptate corespunzătoare :

$$h^2_{K+1,i} - A^{i<\ell}_{K+1,i}h_{K+1,i} - C^{i<\ell}_{K+1,i} = 0 \qquad \text{(III.5-18}^{\text{IV}}\text{)}$$

în care :

$$A^{i<\ell}_{K+1,i} = h_{K+1,i+1} - \frac{(1+2\sqrt{g}/C)^2(r_{i+1}-r_i)}{g(r_{i+1}+r_i)}\,\overline{v}^2_{K+1,i+1}$$

$$C^{i<\ell}_{K+1,i} = -\frac{(1+2\sqrt{g}/C)^2(r_{i+1}-r_i)}{g(r_{i+1}+r_i)}\left\{\overline{v}^2_{K,i}h_{K,i} - \frac{0{,}1\sqrt{B}}{2(1+6\,g/C^2)}\right. \qquad \text{(III.5-19"')}$$

$$\left.\frac{\Delta\theta}{\Delta r}\cdot\frac{K\Delta\theta+\frac{\Delta\theta}{2}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}{\theta_{lim}-\theta_{max}\mathcal{H}(K\Delta\theta-\theta_{lim})}\left[(\overline{v}^2h)^{\frac{3}{2}}_{K,i+1}-(\overline{v}^2h)^{\frac{3}{2}}_{K,i-1}\right]\right\}$$

Analog,după determinarea lui $h_{K+1,i}$ se va determina şi viteza $v_{K+1,i}$ cu relaţia de tip (III.5-17).

§ 6.- Program de calcul automat al vitezelor medii verticale şi al adîncimilor apei pe sectoarele în curbă

Întrucît algoritmul prezentat în paragraful anterior necesită un volum relativ mare de calcule s-a întocmit un program de calcul automat.

S-a utilizat limbajul de programare FORTRAN.

Calculul vitezelor şi al denivelărilor se face de la o secţiune radială la alta.

Cu indicele 1 a fost notată secţiunea transversala situată la distanţa B/2 (B fiind lăţimea la oglinda apei în sectorul rectiliniu) amonte de secţiunea de intrare în curbă, de unde s-a considerat că începe influenţa curbei. Cu indicele 2 a fost notată secţiunea de intrare în curbă corespunzătoare unghiului la centru $\theta = 0$. Secţiunea de ieşire din curbă a fost notata cu indicele (M-1) şi corespunde unghiului la centru θ_{max}, iar secţiunea situata aval, pe sectorul rectiliniu la distanţa B/2 a fost notata cu indicele M.

Pasul cu care variază unghiul la centru în trecerea de la o secţiune la alta, considerînd secţiunile echidistante va fi de $\theta_{max}/\overline{M-3}$, în program acest pas fiind notat L.

În fiecare secţiune radiala s-au luat un număr de N verticale de calcul, situate simetric două cîte doua faţă de axul secţiunii.

Programul calculeaza la început viteza medie a curentului în sectorul rectiliniu de acces şi face repartizarea vitezelor medii verticale pentru verticalele de calcul din secţiunea 1 a sectorului rectiliniu de acces.

Se calculează repartiţia adîncimilor apei de-a lungul liniei axiale a curbei, după care se rezolvă ecuaţia de gradul doi din algoritmul prezentat care permite calculul adîncimilor în verticalele secţiunii cu indicele 3. Adîncimile pe verticalele secţiunii 2 se considera a fi medii aritmetice ale adîncimilor pe verticalele omoloage ale secţiunilor 1 şi 3. (fig III.1-3)

Se calculeaza apoi vitezele medii în secţiunea 3 corespunzatoare verticalelor în care s-au calculat adîncimile. Cu ajutorul sumei produselor vh calculate în secţiunile 1 şi 3 se face o compensare a vitezelor obţinute. Vitezele medii pe verticalele secțiunii 2 se determină ca medii aritmetice ale vitezelor pe verticalele omoloage ale secțiunilor 1 și 3 .

Se continuă în mod analog cu secțiunile 4,5 ... M-2 .

In secțiunea M se consideră că s-a restabilit distribuția adîncimilor și vitezelor caracteristice unui sector rectiliniu, iar în secțiunea (M-1) de ieșire din curbă se face o medie aritmetică a valorilor de pe verticalele omoloage din secțiunile (M-2) și M.

Programul a fost testat pentru modelul rîului Argeș, considerîndu-se M = 10 secțiuni de calcul, iar în fiecare secțiune un număr de N = 8 verticale de calcul. Rezultatele obținute au fost încurajatoare, pentru efectuarea calculelor fiind necesar un timp de 4 minute calculator.

In continuare se prezintă schema logică a programului întocmit și o listă a semnificației unor litere care apar în această schemă logică.

Semnificația notațiilor utilizate

RAX = raza de curbură a liniei axiale ;

TETA = unghiul la centru corespunzător unei secțiuni radiale ;

HAX = înălțimea apei corespunzătoare liniei axiale ;

ETA = distanța relativă a verticalei de mal ;

F = funcție auxiliară, intervine în calculul vitezelor la intrarea în curbă ;

V = viteza medie corespunzătoare unei verticale ;

VAX = viteza medie corespunzătoare verticalei axiale ;

H = adîncimea apei pe verticală ;

V2 = viteza medie corespunzătoare unei verticale la pătrat ;

B = funcție auxiliară, intervine în calculul vitezelor și adîncimilor ;

R = raza de curbură ;

VAX 2 = viteza medie pe verticala axială la pătrat ;

N = numărul verticalelor de calcul într-o secțiune axială ;

M = numărul secţiunilor radiale de calcul ;

L = diferenţa unghiurilor la centru a două secţiuni radiale consecutive ;

C = coeficientul lui Chezy ;

B 1 = lăţimea oglinzii apei în sectorul rectiliniu (de acces) ;

HAX 1 = adîncimea apei în axul sectorului rectiliniu (de acces) ;

Q = debitul de calcul ;

S 1 = secţiunea vie corespunzătoare sectorului rectiliniu ;

TETAL = unghiul la centru limită, corespunzător secţiunii cu cea mai intensă circulaţie transversală ;

HAXC = adîncimea apei în curbă, corespunzătoare liniei axiale ;

G = acceleraţia gravitaţională ;

SUMA 1 = funcţie auxiliară, intervine în compensarea erorilor în trecerea de la o secţiune la alta şi reprezintă suma produselor $v_i h_i$ aferente verticalelor transversale pe sectorul rectiliniu ;

V 1 = viteza medie pe sectorul rectiliniu de acces ;

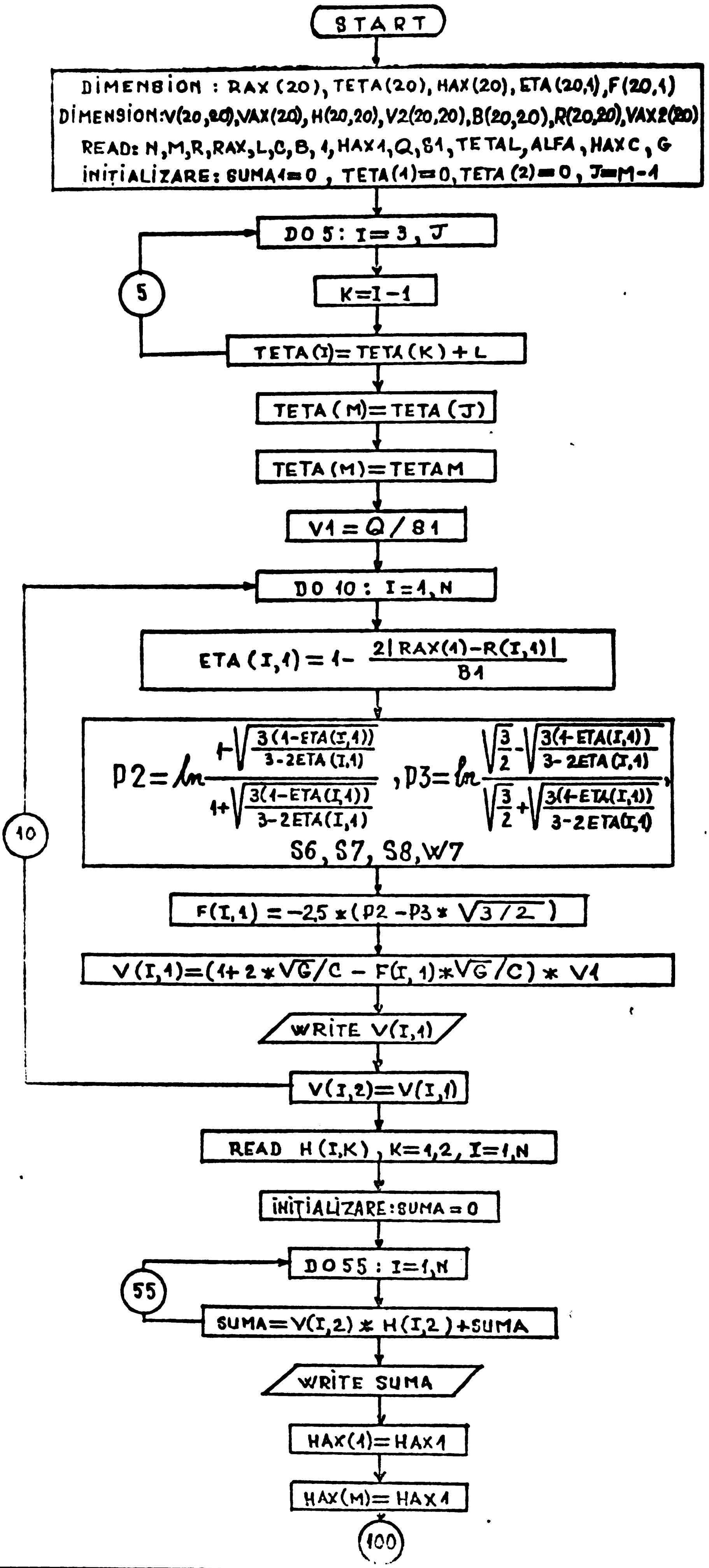
P1, P2, P3, S6, S7 = funcţii parţiale ce intervin în calculul distribuţiei vitezei pe sectorul rectiliniu ;

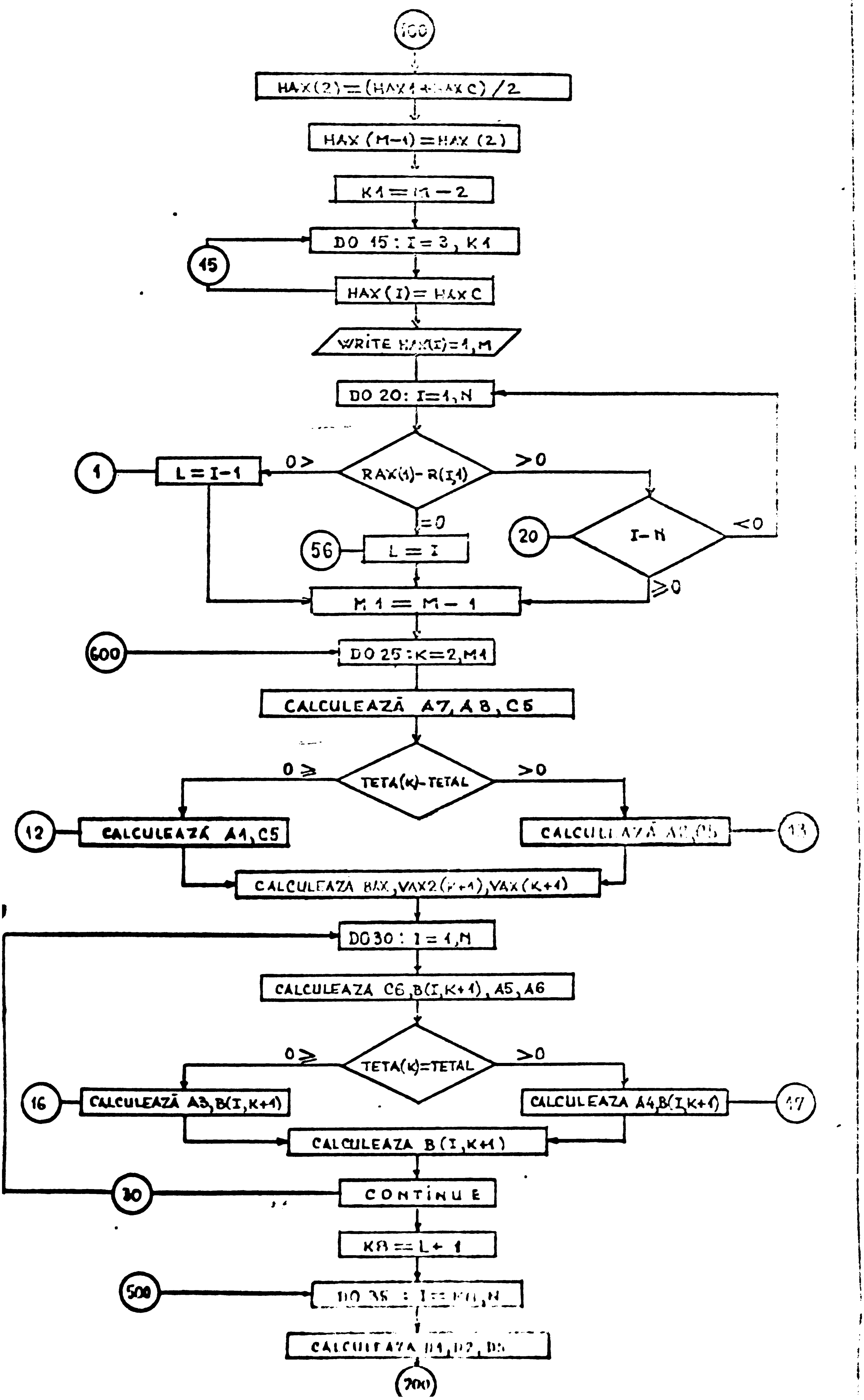
SUMA = funcţie auxiliară, intervine în compensarea erorilor în trecerea de la o secţiune la alta, reprezentînd suma produselor $v_i h_i$ aferente verticalelor unei secţiuni radiale pe sectorul în curbă ;

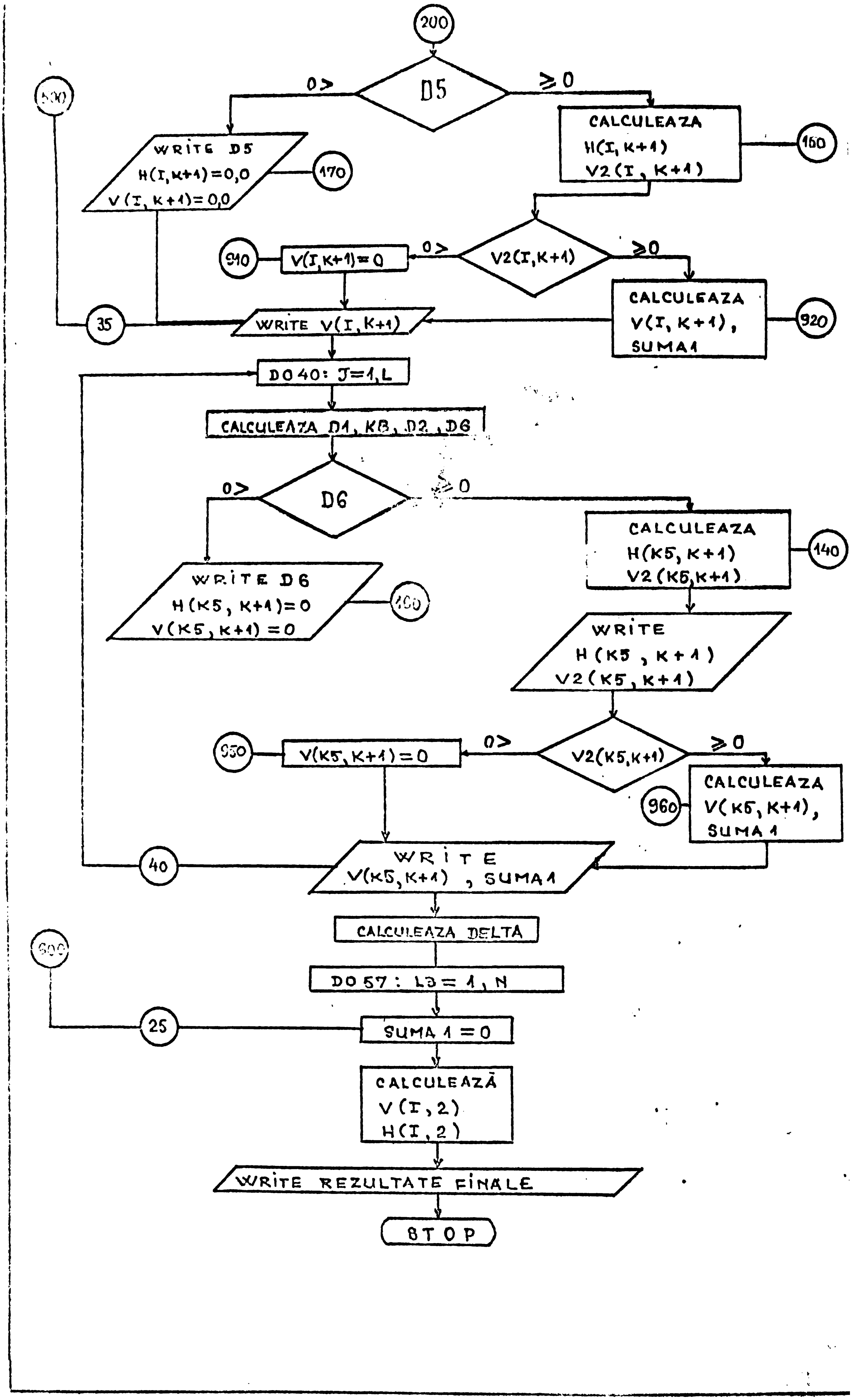
A1, A2, A3, A4, A7, A8, C5, C6, BAX, D1, D2, D5, D6 = funcţii parţiale ce intervin în calculul distribuţiei vitezelor şi adîncimilor pe sectoarele în curbă ;

K5 = indice fix, indicînd o anumită verticală ;

DELTA = funcţie auxiliară ce intervine în calculul erorilor în trecerea de la o secţiune la alta, reprezentînd diferenţa celor două sume anterioare de produse $v_i h_i$.


START
DIMENSION : RAX (20), TETA(20), HAX(20), ETA(20,1), F(20,1)
DIMENSION:V(20,20),VAX(20), H(20,20), V2(20,20), B(20,20), R(20,20), VAX2(20)
READ: N, M, R, RAX, L, C, B, 1, HAX1, Q, S1, TETAL, ALFA, HAXC, G
INITIALIZARE: SUMA1=0 , TETA(1)=0, TETA (2)=0, J=M-1
DO 5: I=3, J
5
K=I-1
TETA(I)= TETA(K)+L
TETA (M)= TETA (J)
TETA (M)=TETAM
V1 = Q / S1
DO 10: I=1, N
10
ETA (I,1) = 1- 2|RAX(1)-R(I,1)| / B1
P2= ln (1+√(3(1-ETA(I,1))/(3-2ETA(I,1)))) / (1+√(3(1-ETA(I,1))/(3-2ETA(I,1)))), P3= ln (√(3/2)-√(3(1-ETA(I,1))/(3-2ETA(I,1)))) / (√(3/2)+√(3(1-ETA(I,1))/(3-2ETA(I,1)))),
S6, S7, S8, W7
F(I,1) =-2,5 *(P2 -P3 * √3/2)
V(I,1)=(1+2*√G/C - F(I,1)*√G/C) * V1
WRITE V(I,1)
V(I,2)=V(I,1)
READ H(I,K), K=1,2, I=1,N
INITIALIZARE:SUMA=0
DO 55: I=1,N
55
SUMA=V(I,2) * H(I,2)+SUMA
WRITE SUMA
HAX(1)=HAX1
HAX(M)= HAX1
100


100
HAX(2)=(HAX1+HAXC)/2
HAX(M-1)=HAX(2)
K1=M-2
DO 15: I=3,K1
15
HAX(I)=HAXC
WRITE HAX(I)=1,M
DO 20: I=1,N
1
L=I-1
0>
RAX(1)-R(I,1)
>0
=0
56
L=I
20
I-N
<0
≥0
M1=M-1
600
DO 25: K=2,M1
CALCULEAZĂ A7,A8,C5
0≥
TETA(K)-TETAL
>0
12
CALCULEAZĂ A1,C5
CALCULEAZĂ A2,C5
13
CALCULEAZA HAX,VAX2(K+1),VAX(K+1)
DO30: I=1,N
CALCULEAZA C6,B(I,K+1),A5,A6
0≥
TETA(K)=TETAL
>0
16
CALCULEAZĂ A3,B(I,K+1)
CALCULEAZA A4,B(I,K+1)
17
CALCULEAZA B(I,K+1)
30
CONTINUE
K8=L+1
500
DO 35: I=K8,N
CALCULEAZA D1,D2,D5
200


200
D5
0>
≥0
WRITE D5
H(I,K+1)=0,0
V(I,K+1)=0,0
170
CALCULEAZA
H(I,K+1)
V2(I,K+1)
160
V2(I,K+1)
0>
≥0
910
V(I,K+1)=0
CALCULEAZA
V(I,K+1),
SUMA1
920
35
WRITE V(I,K+1)
DO 40: J=1,L
CALCULEAZA D1, KB, D2, D6
D6
0>
≥0
CALCULEAZA
H(K5,K+1)
V2(K5,K+1)
140
WRITE D6
H(K5,K+1)=0
V(K5,K+1)=0
WRITE
H(K5,K+1)
V2(K5,K+1)
950
V(K5,K+1)=0
V2(K5,K+1)
CALCULEAZA
V(K5,K+1),
SUMA 1
960
40
WRITE
V(K5,K+1), SUMA1
CALCULEAZA DELTA
DO 57: L3=1,N
25
SUMA 1 = 0
CALCULEAZĂ
V(I,2)
H(I,2)
WRITE REZULTATE FINALE
STOP

Capitolul IV

CONTRIBUTII LA DETERMINAREA INFLUENTEI TRANSPORTULUI DE ALUVIUNI TIRITE ASUPRA STABILITATII ALBIILOR PE SECTOARELE IN ALINIAMENT

§ 1. Fenomenul de transport a aluviunilor tîrîte, teorii și relații analitice

In procesul de formare și evoluție a albiilor aluviunile tîrîte constituie unul din factorii principali. De aceea studiul fenomenului de transport a acestor aluviuni prezintă o importanță deosebită pentru proiectarea corespunzătoare a lucrărilor de regularizare.

Fenomenul de mișcare a aluviunilor apare în literatura de specialitate /M.1-p.736/ sub forma unor observații calitative în jurul anului 1700 (D.Guglielmini), continuate printr-un studiu cu caracter științific datorat lui L.G.du Buat (1816). Datorită complexității deosebite a fenomenului diferitele teorii au evoluat în timp, evoluție continuînd și în prezent.

Complexitatea fenomenului a condus pe diferiții cercetători la propunerea de diferite clasificări pentru transportul de aluviuni. Incercînd o sinteză a acestor clasificări se poate considera că, în general, aluviunile sînt transportate prin plutire, suspensie, săltare și tîrîre.

a.- Prin plutire sînt transportate particulele cele mai fine, orientativ avînd d $<$ 0,05 mm. In /S-6/ aceste aluviuni sînt denumite aluviuni tranzitate, în timp ce în /B.1-p.45/ se utilizează denumirea de aluviuni spălate. Provenind din eroziunea solului în bazinul hidrografic aluviunile spălate se înregistrează abundent în prima parte a sezonului ploios și reprezintă obișnuit cantitatea cea mai mare din totalul aluviunilor transportate de rîu. Datorită faptului că nu vin în contact cu patul solid influența aluviunilor spălate asupra albiei este foarte mică, practic neglijabilă.

b.- Aluviunile transportate în suspensie sînt constituite în cea mai mare parte din granule de nisip fin care plutesc în apă ajutate fiind și de impulsurile succesive pe care le primesc din partea particulelor de apă aflate în curgere turbulentă. Variația intensității impulsurilor turbulente face ca să nu se poată da limite precise pentru această categorie de aluviuni. Datorită caracterului fluctuant, aleator al impulsurilor turbulente este posibil ca unele particule să se depună, iar altele să fie ridicate. Pe un sector de lungime scurtă a rîului se poate considera că debitul aluviunilor în suspensie este constant rezultînd că acest tip de transport nu poate avea o influență asupra stabilității locale a albiei. Pe un sector lung, însă, pot apare modificări semnificative ale caracteristicilor de turbulență a curentului și în consecință apar variații ale debitului aluviunilor în suspensii, variații care influențează stabilitatea generală a albiei. O corelație cu caracter de unicitate între debitul lichid și debitul aluviunilor în suspensie nu a fost încă stabilită.

c.- Aluviunile săltate au în general dimensiuni mari mari decît a celorlalte două tipuri de aluviuni prezentate. Pe lîngă impulsurile pe care le primesc din partea particulelor de apă în curgere turbulentă la desprinderea și plutirea acestor particule contribue și o forță de portanță apărută ca urmare a efectuării unei mișcări de rotație a particulelor aluvionare.

d.- Aluviunile tîrîte sînt aluviunile de dimensiunile cele mai mari pe care le poate transporta cursul de apă și la care greutatea proprie nu poate fi depășită de forța ascensională hidrodinamică. Aceasta face ca în decursul mișcării aluviunile tîrîte să păstreze permanent contactul cu patul solid deplasîndu-se prin alunecare și rostogolire. Este de menționat că, în timp ce aluviunile spălate și în suspensie se mișcă cu aceeași viteză ca apei, aluviunile săltate și în special cele tîrîte se mișcă cu viteză mai mică.

Tot în legătură cu aspectul fizic se atrage atenția asupra modului diferit în care se respectă principiul conservării masei în mișcarea lichidului, aluviunilor spălate și în suspensie pe de o parte și în mișcarea aluviunilor tîrîte pe de altă parte. In timp ce la primele, pe un sector elementar, debitul afluent este egal cu cel defluent, în cazul aluviunilor tîtîte această egalitate nu are întotdeauna loc existînd posibilitatea ca diferența celor două debite să se depună sau să fie erodată din patul aluvionar. In cadrul unor parametri hidraulici precizați situația stabilă a albiei este acea situație unică de egalitate a debitului afluent de aluviuni tîrîte cu debitul defluent. Acest debit care a fost pus în evidență de cercetările experimentale proprii de laborator și care este cinfirmat de existența în natură a unor sectoare de rîu relativ stabile este denumit în continuare capacitate de transport a rîului relativ la aluviunile tîrîte. Din aceste precizări rezultă că pentru aprecierea stabilității locale a albiei este esențial să se determine capacitatea de transport a aluviunilor tîrîte.

Una dintre contribuțiile majore ale tezei se referă tocmai la modul de determinare, pe baze semi-empirice a capacității de transport a unui rîu, însoțită de verificările efectuate în laborator și în natură privind valabilitatea concluziilor formulate precum și de indicarea unei metode clare și simple pentru proiectarea lucrărilor de regularizare.

In continuare se face prezentarea, pe scurt, a principalelor direcții în care s-au dezvoltat teoriile existente referitoare la transportul aluviunilor tîrîte cu scopul de a preciza poziția și avantajele formulei ce se va utiliza în teză.

Unele dintre cele mai noi teorii acordă mai puțină importanță modurilor deosebite de mișcare a aluviunilor și susțin că transportul aluviunilor este un fenomen care trebuie tratat integral, cuprinzînd toate fracțiunile de aluviuni, variind de la cele mai mari pe fundul albiei, pînă la cele mai mici la suprafața apei /E-4/,/E-5/,/L-5/,/L-4/,/S-6/. In paralel cu aceasta își mențin importanța și teoriile care tratează distinct problema doar a aluviunilor tîrîte deoarece concluziile formulate pe baza lor se verifică bine cu observațiile experimentale și din natură /H-1/,/M-1/.

In teză, în continuare, referirile se fac numai la aluviuni tîrîte și stabilitatea locală a albiei.

Intr-un curent de apă uniform, pe un pat mobil, faza de început a transportului aluviunilor tîrîte este caracterizată prin anumite valori ale mărimilor caracteristice ale curentului numite "critice". Astfel de mărimi sînt considerate : efortul tangențial unitar τ_{cr} la nivelul patului albiei și viteza curentului v_{cr} în momentul desprinderii și deplasării particulelor.

In teoriile moderne se preferă caracterizarea curentului, capabil să producă antrenarea unui anumit tip de aluviuni, prin valoarea critică τ_{cr} a efortului de frecare la nivelul patului, numit și efortul tangențial unitar la nivelul patului, deoarece această caracteristică apare și în teoriile moderne ale curgerii turbulente. Abordarea problemei, pe baza unui model fizic pentru interpretarea experiențelor proprii și ale predecesorilor, a fost făcută de Shields în 1936. El a demonstrat că efortul tangențial critic depinde de numărul Re și de diametrul aluviunilor, prelucrînd datele experimentale sub forma :

$$\frac{\tau}{(\gamma_s-\gamma)d}=k \qquad \text{(IV.1-1)}$$

în care :

k este o funcţie de $Re_* = \frac{v_* d}{\nu}$; $v_* = \sqrt{g h i}$

ν - coeficientul de vîscozitate cinematică ;

d - diametrul aluviunilor ;

γ_s şi γ - greutatea specifică a aluviunilor,respectiv a apei ;

h şi i - înălţimea şi respectiv panta suprafeţei libere a apei.

Pentru $Re_* > 500$, după Shields , k = 0,06 /H-1 pg.28/.

După alţi cercetători efortul critic de antrenare,care determină începutul mişcării aluviunilor,se exprimă prin alte relaţii.Puse în acelaşi grafic comparativ (figura IV.1-1) curbele nu se suprapun prezentînd o zonă de împrăştiere care indica influenţa în fenomenul respectiv şi a altor parametri

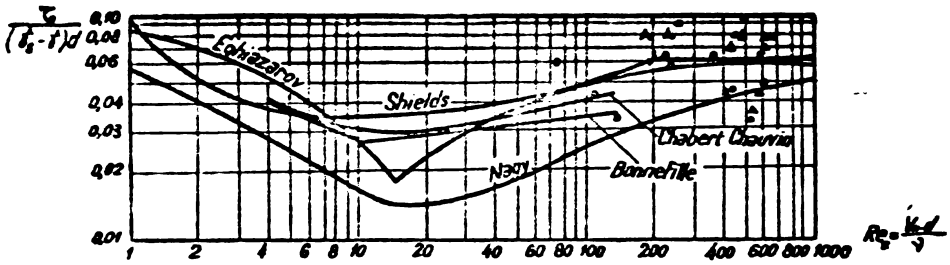


Fig. IV.1-1 Graficul funcţiei $\frac{\tau}{(\gamma_s-\gamma) d} = k(Re_*)$ după diverşi cercetători.
•,▲, date experimentale proprii.

Pe acelaşi grafic sînt trecute puncte exprimînd rezultate experimentale de laborator proprii,care se constată că se încadrează în domeniul cuprins între $Re_* = 52 - 672$ şi $\frac{\tau}{(\gamma_s-\gamma)d} =$ = 0,020 - 0,242 situîndu-se aproximativ în concordanţă cu curbele celorlalţi cercetători.Valorile numerice respective sînt date în tabela IV.1-1.

Formule pentru caracterizarea mişcării aluviunilor tîrîte prin viteza critică de antrenare au fost propuse în special de cercetătorii sovietici : Velikanov M.A. şi Bocikov N.M.(1929 /V-1/,Samov G.I.(1948,1954)/S-6/,Goncearov V.N./G-2/ şi cele mai răspîndite,relaţiile lui Levi-Morozov /L-4/ :

$$v_{cr} = a\sqrt{g\frac{\rho_s - \rho}{\rho} d}\left(\frac{R}{d}\right)^m \qquad (IV.1-2)$$

în care :

m ≅ 1/4 ÷ 1/6 (frecvent m = 1/6) ;

a = 1,3 ÷ 1,4 pentru d = 0,20 - 0,25 mm ;

a = 1,2 pentru 0,25 < d < 0,7 mm ;

a = 1,0 pentru d > 0,7 mm.

Este necesar să se facă precizarea că din punct de vedere al structurii formulele bazate pe efortul unitar critic sînt echivalente cu formulele bazate pe viteza critică de antrenare a aluviunilor. Pentru aceasta se folosește relația dintre viteza medie a curentului și efortul unitar τ și anume :

$$v = \sqrt{\frac{2\tau}{\frac{\gamma}{g}\lambda}} \qquad (IV.1-3)$$

în care :

$\lambda = f_1\left(\frac{h}{d}, Re\right)$ este coeficientul de rezistență.

Ca urmare, ținînd cont de formula (IV.1-1), formula (IV.1-3) devine :

$$v_{cr} = \sqrt{\frac{2k}{f_1}}\sqrt{g\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}d} = F\left(\frac{h}{d}, Re\right)\sqrt{g\frac{\rho_s-\rho}{\rho}d} \qquad (IV.1-4)$$

identică în privința structurii cu formula (IV.1-2).

Formulele pentru τ_{cr} și v_{cr}, în general, sînt valabile în limita condițiilor de laborator în care au fost deduse. La nivelul anului 1973, se apreciază numărul de formule existente la peste 200 /L-5/.

In majoritatea cazurilor experiențele care au stat la baza deducerii formulelor se referă la o suprafață plană a patului aluvionar pe care curge curentul. In cazul patului cu rifluri, dune și antidune, viteza critică și efortul critic de antrenare a aluviunilor diferă față de cele rezultate din calculul cu relațiile stabilite pentru patul plat /L-5/.

Foarte mulți cercetători au căutat să stabilească formule de calcul pentru exprimarea debitului aluviunilor tîrîte, numit și debit solid tîrît. Aceste formule au fost obținute, aproape exclusiv, folosind date experimentale, în condiții de laborator și se bazează pe teoria antrenării aluviunilor de către curent (efort tangențial critic, viteză critică și debit critic) sau, în ultima perioadă, pe teoria statistică a mișcării aluviunilor.

Prima formulă care a permis calculul debitului solid tîrît de un curent rectiliniu uniform a fost cea propusă de Du Boys (1879) :

$$p = \psi \cdot (\tau - \tau_{cr})\tau \qquad (IV.1-5)$$

în care :

p este debitul specific de aluviuni tîrîte (pe unitatea de lățime a albiei) ;

τ - efort unitar de antrenare la nivelul patului ;

τ_{cr} - efort unitar critic de antrenare la nivelul patului

ψ - un coeficient ale cărui valori depind de diametrul aluviunilor.

Ulterior, au stabilit formule de calcul pentru debitul solid tîrît, pe baza efortului unitar critic de antrenare, cercetători cunoscuți ca Chang, Schoklitsch, Straub, Mc.Dougall ş.a.

De o răspîndire foarte largă şi apreciere generală, în special în Europa occidentală, se bucură formula obținută de Meyer-Peter şi Müller. Formula actuală este o formă îmbunătățită a formulei obținută de autori în 1934 şi se bazează pe un volum foarte mare de date experimentale efectuate cu diferite sorturi de material aluvionar, de diametre şi greutăți specifice diverse; experiențele respective au fost efectuate în laboratorul din Zürich /M-14/. Forma îmbunătățită a formulei Meyer Peter - Müller care se utilizează în teză, este :

$$P = 8\, b\, d^{3/2} \sqrt{g\Delta} \left[\frac{\mu h i}{\Delta d} - 0{,}047 \right]^{\frac{3}{2}} \qquad (IV.1\text{-}6)$$

în care :

P reprezintă debitul solid al aluviunilor tîrîte (în m^3/s) ;

b este lățimea albiei (în m) ;

d - diametrul mediu al particulelor exprimat în m ;

g - accelerația gravitațională în m/s^2 ;

$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$, masa specifică relativă a aluviunilor sub apă, pentru aluviuni nisipoase $\Delta = 1{,}65$;

h - adîncimea curentului în m ;

i - panta suprafeței libere a apei ;

μ este aşa numitul "factor de rifluri"; denumirea a fost introdusă inițial de Einstein /E-3/; mai tîrziu uşor modificat ca definiție, factorul μ reprezintă influența formei patului asupra transportului de aluviuni tîrîte şi se calculează cu relația

$$\mu = \left(\frac{C}{C'} \right)^{3/2} \qquad (IV.1\text{-}7)$$

unde :

C este coeficientul lui Chezy prin care se caracterizează rugozitatea patului cu toate obstacolele existente în calea curgerii ; dintre relațiile utilizate pentru calculul lui C s-au reținut formula de tip Nikuradze (IV.1-8) şi de tip Manning (IV.1-8'). Prima formulă a fost adoptată în urma indicațiilor lui H.A. Einstein şi a utilizării ei în cadrul unor cercetări efectuate în laboratorul de la Delft, Olanda /B-1, pg.42/. Formula a fost stabilită de către Nikuradze în anul 1926 pe baza teoriei semi-empirice a turbulenței elaborată de L.Prandtl şi Th.von

Karman, valorile constantelor numerice din formulă fiind determinate pe cale experimentală de către Keulegan.

C' este coeficientul corespunzător patului neted, fără rifluri sau alte obstacole, a cărui rugozitate se poate caracteriza prin diametrul aluviunilor aşezate una lîngă alta (rugozitate tip nisip dintre relaţiile utilizate pentru calculul lui C' s-a reţinut formula de tip Nikuradze (IV.1-9).

$$C = 18 \lg \frac{12h}{k_r} \qquad \text{(IV.1-8)}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \qquad \text{(IV.1-8')}$$

$$C' = 18 \lg \frac{12h}{k_p} \qquad \text{(IV.1-9)}$$

Formula lui Meyer Peter şi Müller se aplică în limite destul de largi indicate astfel în /L-5,pg.96/ :

$i = 0,004 \; ... \; 0,02$

$d = 0,4 \; ... \; 30$ mm

$h = 0,01 \; ... \; 1,2$ m

$q = 0,002 \; ... \; 2,0 \; m^3/s$.

Conform indicaţiilor din /B-1,pg.63/ formula este aplicabilă în limite mult mai largi referitoare la h şi Q .

In ultima perioadă s-au aplicat mult teoriile statisticii matematice la calculul debitului solid tîrît. Primul care a introdus această nouă concepţie, interpretînd statistic fenomenul de antrenare a aluviunilor, a fost H.A.Einstein. Relaţia obţinută iniţial de Einstein (1937) a fost îmbunătăţită pe parcurs prin schematizarea fenomenului fizic /E-2/,/E-3/, introducerea lungimii de penetrare (noţiune definită de Bagnold prin analogie cu lungimea de amestec) şi, mai tîrziu, prin considerarea transportului total de aluviuni /E-4/,/E-5/ şi separarea rezistenţelor hidraulice ale patului albiei şi ale formaţiunilor de pe el.

Un model stochastic interesant pentru calculul transportului de aluviuni tîrîte a fost conceput de A.A.Kalinske. El a luat în considerare viteza punctuală a fluidului şi efortul de frecare la nivelul patului ca fiind pulsatorii în timp datorită caracterului turbulent al scurgerii lichide /K-2/.

In 1964 A.G.Mercer a propus modelul de pat alcătuit din particule aluvionare încleştate /M-13/ pe care A.S.Paintal a stabilit, în 1969, un model stochastic de calcul al transportului aluvionar /P-8/,/P-9/, mai apropiat de aspectele reale ale fenomenului.

Comparînd cele trei metode statistice,prezentate succint,se constată că,deşi sînt fundamentate pe interpretări stochastice diferite ale fenomenelor aluvionare,rezultatele obţinute nu diferă calitativ esenţial,diferenţele fiind numai cantitative.

In figura IV.1-2 s-au reprezentat curbele obţinute prin metodele statistice într-un sistem unic de coordonate adimensionale pentru a permite compararea lor.

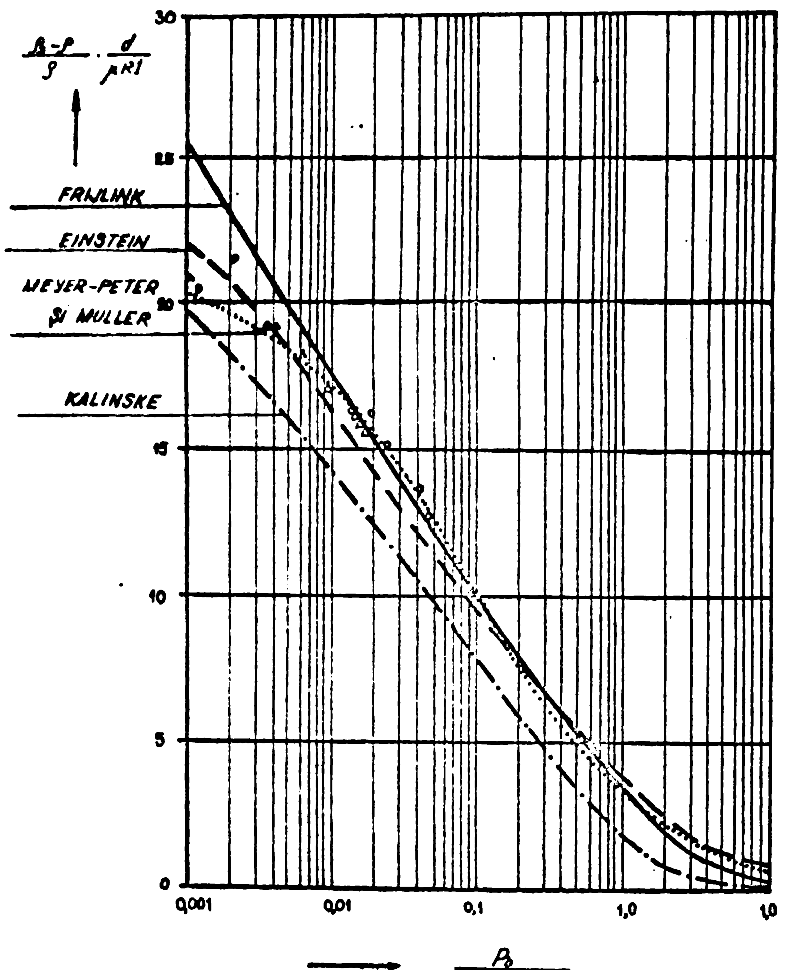


Fig. IV.1-2. Comparaţie între diferite formule de calcul a debitului solid tîrît.
o,▲ date experimentale proprii.

De asemenea este prezentată curba obţinută cu formula Meyer Peter-Müller.Se observă că formula lui Einstein şi Meyer Peter-Muller concordă destul de bine.

Pe lîngă concordanţa bună cu celelalte reprezentări folosirea relaţiei lui Meyer Peter - Muller în cadrul tezei a fost determinată de concordanţa bună cu rezultatele experimentale proprii (indicate în fig.IV.1-2 şi calculate în tabela IV.1-1) ca şi de posibilităţile de interpretare analitică pe care formula le permite.

TABEL CUPRINZIND CALCULUL PARAMETRILOR ADIMENSIONALI CARACTERISTICI TRANSPORTULUI DE ALUVIUNI TIRITE (Re_*, $\frac{\tau}{(\gamma_s-\gamma)d}$, φ și ψ)

$\langle h\rangle = \langle b\rangle = \langle d\rangle = 1$ m ; $\langle v_*\rangle = 1$ m/s ; $\langle\tau\rangle = 1$ N/m^2 (1 kgf/m^2)

Tabela IV.1-1

i	$\frac{h}{b}$	$v_* = \sqrt{ghi}$	$\tau = \gamma hi$	d	$Re_* = \frac{v_* d}{\nu}$	$\frac{\tau}{(\gamma_s-\gamma)d}$	$\varphi = \frac{p_b}{d^{\frac{3}{2}}\sqrt{g\frac{\rho_s-\rho}{\rho}}}$	$\psi = \frac{\rho_s-\rho}{\rho}\cdot\frac{d}{hRi}$
0,010	$\frac{0,10}{1,93}$	0,099	9,81	0,004	330	0,151	0,0955	10,14
			(1,00)	0,006	495	0,101	0,0480	13,65
				0,008	660	0,076	0,0130	16,50
	$\frac{0,08}{2,78}$	0,088	7,85	0,004	295	0,121	0,0450	12,70
			(0,80)	0,006	442	0,081	0,0210	16,70
				0,008	590	0,061	0,0015	20,30
	$\frac{0,06}{4,53}$	0,077	5,89	0,004	255	0,091	0,0132	16,40
			(0,60)	0,006	382	0,061	0,0021	22,00
				0,008	509	0,045	–	27,10
	$\frac{0,04}{8,93}$	0,063	3,92	0,001	52	0,242	0,1355	8,98
			(0,40)	0,002	104	0,121	0,0244	15,00
				0,004	209	0,061	–	24,30
				0,006	313	0,040	–	31,70
				0,008	417	0,030	–	40,20
	$\frac{0,02}{28,3}$	0,044	1,96	0,001	37	0,121	0,0008	17,50
			(0,20)	0,002	74	0,061	–	28,40
				0,003	111	0,040	–	37,50
				0,004	147	0,030	–	45,20
				0,006	221	0,020	–	58,10
0,008	$\frac{0,13}{1,38}$	0,101	10,20	0,008	672	0,079	0,0170	16,05
			(1,04)					
	$\frac{0,11}{1,85}$	0,093	8,63	0,006	464	0,089	0,0190	15,60
			(0,88)	0,008	619	0,067	0,0039	18,73
	$\frac{0,09}{2,58}$	0,084	7,06	0,004	280	0,109	0,0095	14,10
			(0,72)	0,006	420	0,073	0,0046	18,55
				0,008	559	0,055	–	22,60
	$\frac{0,07}{3,33}$	0,074	5,49	0,004	246	0,085	0,0061	17,85
			(0,56)	0,006	369	0,057	–	23,50
				0,008	492	0,042	–	29,00
	$\frac{0,05}{6,90}$	0,063	3,93	0,003	157	0,081	0,0010	21,00
			(0,40)	0,004	209	0,061	–	24,20
				0,006	313	0,040	–	32,60
				0,008	418	0,030	–	39,80

§ 2.- Fundamentarea metodei propuse pentru determinarea stabilității locale

Albiile naturale sînt rezultatul acțiunii desfășurate timp îndelungat de factorii activi-modelatori, generați de regimul hidraulic al rîului și factorii pasivi-rezistenți, dați de structura fizică a patului /D-1 pg.52/.

Intre acești factori determinanți pentru forma și dimensiunile albiei, sînt debitele lichide și debitele de aluviuni tîrîte.

Debitele lichide ale cursurilor naturale de apă sînt, de regulă, variabile în timp succesiunea lor constituind hidrograful debitelor. Diferitele debite ale hidrografului influențează diferit dimensiunile albiei. Metodele de proiectare ale lucrărilor de regularizare, în stadiul actual, folosesc un debit unic de calcul denumit "debit de formare".

Prin debit de formare se înțelege debitul constant care ar avea în timp îndelungat asupra albiei același efect ca și hidrograful debitelor reale. Forma și dimensiunile secțiunii transversale a albiei, corespunzătoare acestui debit de formare, prezintă un caracter stabil în timp, constanta regimului hidraulic implicînd constanta secțiunii transversale. Intrucît hidrograful real al debitelor este variabil în timp se vor produce variații temporale și ale secțiunii transversale. Cumulate, însă, pe o perioadă suficient de lungă în timp aceste variații se compensează reciproc astfel încît efectul rezultant al hidrografului să fie echivalent cu efectul debitului de formare. Este de menționat că debitul de formare nu coincide cu debitul mediu multianual. Conform recomandărilor date de "Bureau of Reclamation" (U.S.A.) și în concordanță cu modul de utilizare a relațiilor morfometrice și a relațiilor din "teoria regimului", drept debit de formare se consideră debitul din perioada cu cea mai intensă mișcare a aluviunilor de fund /M-2, pg.100/. Această definiție este adoptată și în teză fiind folosită în mod efectiv, ca ipoteză de bază, în deducerea unor relații analitice. Pentru calculele preliminare, drept debit de formare se poate lua debitul care umple albia minoră. Pentru calcule mai pretențioase se recomandă ca determinarea debitului de formare să se facă funcție de intensitatea proceselor de albie cu metoda indicată în /D-1, pg. 141/. După determinarea debitului de formare, folosind curba de asigurare a debitelor, se determină şi asigurarea acestui debit. In acest fel proiectantul lucrărilor de regularizare cunoaşte debitul de formare şi asigurarea lui, pentru rîurile pe care există suficiente înregistrări de debite lichide şi solide tîrîte. In cazul cînd nu există suficiente înregistrări de debite solide tîrîte, determinarea debitului de formare este incertă.

Relaţia lui Chezy utilizată pentru calcule hidraulice, în general, poate fi folosită şi în cazul debitului de formare :

$$Q = SC\sqrt{RJ} \qquad \text{(IV.2-1)}$$

unde S este secţiunea transversală stabilă ;

R - raza hidraulică a secţiunii respective ;

J - panta energetică ;

C - coeficientul de rezistenţă al lui Chézy.

In teză această relaţie a fost utilizată concret cu următoarele două precizări :

- secţiunea transversală a albiei a fost schematizată sub formă trapezoidală cu baza mică b, înălţimea h, înclinarea taluzului 1:m şi în consecinţă pentru S şi R s-au folosit relaţiile :

$$\left.\begin{aligned} S &= (b+mh)h \\ R &= \frac{(b+mh)h}{b+2h\sqrt{1+m^2}} = \frac{(b+mh)h}{b+m'h} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(IV.2-2)}$$

- coeficientul de rezistenţă C se adoptă ca şi în paragraful precedent (IV.1-8) şi (IV.1-8').

Ca urmare a precizărilor de mai sus pentru calculul debitului se foloseşte efectiv una din formulele :

$$Q = \frac{(b+mh)^{3/2}h^{3/2}}{(b+m'h)^{1/2}}\, i^{1/2}\, 18 \lg \frac{12h}{k_r} \qquad \text{(IV.2-3)}$$

$$Q = \frac{i^{1/2}}{n}\, \frac{(b+mh)^{5/3}h^{5/3}}{(b+m'h)^{2/3}} \qquad \text{(IV.2-3')}$$

Se face precizarea că, spre deosebire de multe din relaţiile utilizate în regularizările de rîuri care folosesc lăţimea B la oglinda apei drept mărime de bază, în relaţiile (IV.2-3) şi (IV.2-3') s-a folosit lăţimea b la fund drept mărime de bază deoarece mişcarea aluviunilor tîrîte se face pe patul aluvionar şi nu la suprafaţa apei.

Formula debitului reprezintă prima ecuaţie fundamentală a problemei studiate.

A doua ecuaţie fundamentală se referă la debitul de aluviuni tîrîte şi s-a adoptat, pentru considerentele arătate la paragraful 1 al acestui capitol, formula Meyer Peter şi Müller (IV.1-6).

Mărimile care intervin în aceste două ecuaţii fundamentale pot fi împărţite în două categorii.

a.- O primă categorie cuprinde mărimile cunoscute de la început de proiectantul lucrărilor de regularizare ; în această categorie intră :

- m , coeficientul taluzului determinat de natura terenului astfel ca să fie asigurată stabilitatea acestuia ;

- m' , rezultă din valoarea adoptată pentru m ;

- n şi k_r parametri de rugozitate funcţie de natura patului, obstacolelor de pe pat (rifluri, dune etc) şi eventuale consolidări ;

- Q_F debitul de formare determinat conform celor precizate anterior în m^3/s ;

- d , diametrul mediu al aluviunilor tîrîte în m ;

- g , acceleraţia gravitaţională, $g = 9{,}81$ m/s^2 ;

- Δ, masa specifică relativă a aluviunilor sub apă ;

- k_s , parametru de rugozitate absolută, tip nisip, corespunzător patului acoperit cu granule aluvionare de diametru d ; se consideră $k_s = d$.

b.- A doua categorie cuprinde mărimile care în unele probleme pot fi cunoscute de proiectant, dar în alte probleme pot apare ca necunoscute. Din această categorie fac parte :

- P care reprezintă debitul solid de aluviuni tîrîte în m^3/s ;

- b şi h , dimensiunile caracteristice secţiunii trapezoidale ;

- C şi C' coeficienţii de rezistenţă (de tip Chezy), definiţi prin relaţiile (IV.1-8) şi (IV.1-8') ;

- μ , factorul de rifluri, definit prin relaţia (IV.1-7);

- i , panta suprafeţei libere a apei.

In cazul secţiunii trapezoidale stabile corespunzătoare debitului de formare $i \cong J$ şi, se poate considera, egal cu panta fundului.

Mărimile din categoria b) nu sînt toate independente. Ca urmare numărul mărimilor independente este mai mic şi anume sînt patru mărimi independente : P, b, h, i.

Din experienţa dobîndită cu ocazia efectuării cercetărilor pe bază de contract în cadrul catedrei de CHIF, la cererea unor instituţii de proiectare şi altor beneficiari, au rezultat cîteva probleme tipice,care se expun în continuare,unele avînd caracter de probleme de proiectare,altele avînd caracter de probleme de prognoză.

În ceea ce priveşte transportul aluviunilor tîrîte P pot apare două situaţii care conduc la împărţirea problemelor de proiectare în două categorii :

a.- Se proiectează regularizarea unui curs de apă pe care există suficiente măsurători de debite solide tîrîte.În acest caz P trece în categoria mărimilor cunoscute deoarece poate fi determinat ca debit solid tîrît corespunzător debitului de formare.Această problemă în care necunoscutele sînt elementele albiei stabile b, h, i , va fi denumită în continuare prima problemă de proiectare.

b.- Se proiectează regularizarea unui curs de apă pe care nu există măsurători de debite solide tîrîte.În acest caz este necesar să se adopte panta în regim regularizat.Uneori această pantă este impusă,între anumite limite,de configuraţia torentului,mai ales în zonele de munte şi deal.Această problemă în care se consideră necunoscutele b, h, P, va fi denumită,în continuare,a doua problemă de proiectare.

Problemele cu caracter de prognoză,care au fost rezolvate în cadrul tezei sînt,şi ele,în număr de două.

a.- Se cere să se aprecieze dacă un anumit sector de rîu cu i, b, h, date este stabil sau în cazul contrar să se precizeze dacă în evoluţia viitoare procesele de depunere sau cele de eroziune vor fi preponderente.Această problemă va fi, în continuare,denumită,prima problemă de prognoză.

b.- Se cere să se aprecieze dacă particulele de o anumită dimensiune "d" pot constitui diametrul preponderent în cadrul aluviunilor tîrîte de curent.Aceasta va fi denumită a doua problemă de prognoză.

Se observă că în toate aceste probleme cele două ecuaţii fundamentale nu sînt suficiente pentru rezolvare.Din această cauză este necesar a se face cercetări care să fie finalizate sub forma unor metode de proiectare mai ales pentru că,în prezent literatura tehnică de specialitate din ţara noastră tratează restrîns şi disparat problema influenţei aluviunilor tîrîte asupra stabilităţii locale a albiilor /H-1,pg.47/, /S-7,pg.457/ şi /U-1/,/U-2/,/U-3/,/U-4/.

principiu variațional.

Enunțarea principiului disipării minime a energiei curentului în studiul proceselor de albie este atribuită lui A.M. Velikanov /V-1, /.Preluînd ideea lui Velikanov,prof.dr.docent S.Hâncu /H-1,pg.46/ enunță următorul principiu variațional :

"Dacă energia disponibilă a curentului este mai mare decît energia necesară transportării debitului solid tîrît P,venit din amonte,pe sectorul considerat se vor produce eroziuni și prin urmare fundul albiei va coborî. Invers,dacă energia disponibilă a curentului este mai mică decît energia necesară transportării debitului solid P,venit din amonte se vor produce depuneri de aluviuni.

Prin urmare,sectorul considerat se găsește în echilibru dacă debitul solid tîrît P este maxim,la o capacitate de transport dată a curentului".

Concluziile obținute din aplicarea acestui principiu se referă exclusiv la stabilirea unui criteriu de stabilitate locală a albiilor sub forma comparației efortului trangențial de antrenare cu efortul de antrenare critic τ_{cr} :

$\tau \cong 10\tau_{cr}$ albii stabile ; (IV.2-4)

$\tau > 10\tau_{cr}$ este posibilă coborîrea patului albiei

$\tau < 10\tau_{cr}$ este posibilă ridicarea patului albiei

După unele aproximații,criteriul de mai sus a fost pus și sub forma :

$v \cong 2 v_{cr}$ pentru albii stabile ; (IV.2-5)

$v \neq 2 v_{cr}$ pentru albii instabile.

In teză,același principiu variațional este prelucrat într-un mod diferit cu scopul obținerii unei a treia ecuații fundamentale,care să permită rezolvarea completă a problemei și nu numai aprecierea stabilității albiei.

Aplicarea principiului variațional enunțat constă în anularea derivatei $\frac{\partial P}{\partial h} = 0$ .Utilizînd pentru P relația lui Meyer Peter și Müller,după prelucrările respective se obține ecuația:

$$\left(\frac{\mu h i}{\Delta d} - 0{,}047\right)^{1/2}\left[\left(\frac{\mu h i}{\Delta d} - 0{,}047\right)\frac{\partial b}{\partial h} + \frac{3}{2}\,\frac{b i}{\Delta d}\left(\frac{\partial \mu}{\partial h} + \mu\right)\right] = 0 \qquad (IV.2-6)$$

Deoarece formula Meyer Peter-Müller are sens fizic numai pentru $\left(\frac{\mu h i}{\Delta d} - 0{,}047\right) > 0$ rezultă că primul factor al expresiei (IV-2-6) nu se poate anula și în consecință poate fi simplificat.

Derivata $\frac{\partial b}{\partial h}$ se calculează din condiția că debitul lichid Q rămîne constant atunci cînd se schimbă b și h :

$$\frac{\partial b}{\partial h}=-\frac{3b^2+2(3m+m')bh+5mm'h^2+\frac{36}{2,3\,C}(b+mh)(b+m'h)}{(2b+3m'h-mh)h} \qquad (IV.2-7)$$

$$\frac{\partial b}{\partial h}=-\frac{5b^2+(10m+3m')bh+8mm'h^2}{[3b+(5m'-2m)h]h} \qquad (IV.2-7')$$

prima relaţie foloseşte formula Nikuradze, iar a doua formula Manning.

Pentru derivata $\frac{\partial \mu}{\partial h}$ se obţin respectiv expresiile :

$$\frac{\partial \mu}{\partial h}=\frac{27}{2,3}\,\frac{\mu}{h}\,\frac{C'-C}{CC'} \qquad (IV.2-8)$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial h}=\frac{3}{4}\,\frac{\mu}{h}\left\{\frac{b^3+3mb^2h+(2m^2+2mm'-m'^2)bh^2+(2m^2m'-mm'^2)h^3}{(b+mh)(b+m'h)[3b+(5m'-2m)h]}-\frac{36}{2,3\,C'}\right\} \qquad (IV.2-8')$$

Inlocuind derivatele de mai sus în (IV.2-6) se obţin respectiv ecuaţiile :

$$\left(\frac{\mu hi}{\Delta d}-0,047\right)\frac{6mhC+3bC+\frac{36}{2,3}b+\frac{36}{2,3}mh-m'h\,\frac{b+mh}{b+m'h}C}{hC\left(\frac{b+mh}{b+m'h}-3\right)}+ \qquad (IV.2-9)$$

$$+\frac{3}{2}\,\frac{b}{h}\,\frac{\mu hi}{\Delta d}+\frac{81}{4,6}\,\frac{b}{h}\,\frac{\mu hi}{\Delta d}\,\frac{C'-C}{CC'}=0$$

$$\frac{5b^4+(32m'-81m)b^3h+(27m'^2-86m^2-118mm')b^2h^2-(37mm'^2+150m^2m')bh^3-}{8b(b+mh)(b+m'h)[3b+(5m'-2m)h]} \qquad (IV.2-9')$$

$$\frac{-64m^2m'^2h^4}{}-\frac{81}{4,6\,C'}+\frac{0,047}{h}\,\frac{\Delta d}{\mu i}\,\frac{5b^2+(10m+3m')bh+8mm'h^2}{b[3b+(5m'-2m)h]}=0$$

Ecuaţiile (IV.2-9) respectiv (IV.2-9') reprezintă cea de a doua ecuaţie fundamentală căutată. Se constată că structura lor este astfel încît nu permite explicitarea niciuneia din necunoscutele problemei. De aceea rezolvarea sistemului de ecuaţii va trebui făcută folosind încercări, metode grafo-analitice sau calculatorul electronic. Rezolvarea concretă se face în paragrafele care urmează.

§ 3.- Determinarea elementelor albiei stabile b, h şi i (problema I - de proiectare)

Conform prezentării din paragraful IV.2 prima problemă de proiectare se referă la determinarea elementelor albiei stabile b, h şi i atunci cînd sînt cunoscute toate celelalte mărimi.

Metodica de rezolvare a acestei probleme este aplicată, în cadrul tezei,la determinarea elementelor albiei stabile a rîului Jiu în zona Rovinari la posturile hidrometrice 1 şi 6.Datele folosite au fost extrase din articolele /S-7,pg.452-460/, /S-8,pg.8-19/ şi /S-9,pg.337-351/ publicate în revista Hidrotehnica.

Datele cunoscute sînt :

- înclinarea taluzului natural 1:3,rezultă $m = 3$;
- coeficientul $m' = 2\sqrt{1 + m^2} = 6,32$;
- coeficientul de rugozitate $n = 0,025$,iar parametrul global de rugozitate absolută $k_r = 0,093$ m ;
- debitul de formare $Q_F = 250\ m^3/s$;
- diametrul mediu al aluviunilor constituente ale patului a fost $d = 5$ mm la postul hidrometric 1 şi $d = 0,82$ mm la postul hidrometric 6;
- masa specifică relativă a aluviunilor sub apă $\Delta = 1,65$;
- rugozitatea absolută,tip nisip,a patului $k_s = d$;
- debitul solid al aluviunilor tîrîte $P = 18,8 \times 10^{-3}\ m^3/s$. la postul hidrometric 1 şi $P = 8,77 \times 10^{-3}\ m^3/s$ în varianta a) şi $P = 12,7 \times 10^{-3}\ m^3/s$ în varianta b) la postul hidrometric 6 ;

La postul hidrometric 6 au fost considerate două variante de debit solid tîrît pentru a pune în evidenţă efectul pe care variaţia debitului solid tîrît şi panta îl au asupra dimensiunilor albiei stabile.

Debitele de aluviuni tîrîte nefiind date explicit în articolele citate,au fost calculate pe baza punctelor experimentale din diagramele nr.3,5,6a,7a,7b prezentate în lucrarea /S-7/.

Mărimile necunoscute ale problemei sînt b,h şi i pentru sectoarele aferente postului hidrometric 1,şi postului hidrometric 6 în varianta a) şi b).

Limitele între care este de aşteptat să se producă panta stabilă,variază,în funcţie de condiţiile de relief între

5×10^{-4} şi 12×10^{-4} la postul hidrometric 1 şi între 5×10^{-4} şi 10×10^{-4} la postul hidrometric 6.Avînd în vedere aceste limite s-au selecţionat rezultatele numerice pentru cinci pante la postul hidrometric 1 şi pentru trei pante la postul hidrometric 6.La fiecare pantă s-au determinat perechile de valori b şi h care verifică formula debitului lichid.Determinarea acestor perechi de valori s-a făcut cu ajutorul calculatorului electronic în cadrul unui subprogram din programul general de calcul.Perechile de valori obţinute în zona care interesează sînt prezentate în tabela IV.3-1 pentru postul hidrometric 1 şi în tabela IV.3-2 pentru postul hidrometric 6.In aceleaşi tabele sînt prezentate şi mărimile corespunzătoare C, C', μ şi în final debitul de aluviuni tîrîte P.

Pe baza datelor calculate s-au construit graficele din figurile IV.3-1 şi IV.3-2 pentru posturile hidrometrice 1 şi respectiv 6.

In abscisa acestor grafice s-a luat ca parametru variabil adîncimea h,iar pe ordonată s-a reprezentat debitul solid tîrît P calculat cu formula lui Meyer Peter şi Müller.Se intră în fiecare grafic cu valoarea,respectivă,dată a debitului solid tîrît P stabilindu-se curba care admite acest debit solid tîrît drept debit maxim.Abscisa punctului de tangenţă dă adîncimea h a albiei stabile,iar $\bar{i}$ a curbei respective este panta stabilă. Lăţimea b a albiei stabile este cea corespunzătoare adîncimii de echilibru h.Condiţia de tangenţă folosită este corespondenţa grafică a condiţiei de extrem $\partial P/\partial h = 0$,ambele exprimînd principiul variaţional al debitului tîrît maxim la o capacitate de transport dată a curentului.Din acest motiv,abstracţie făcînd de erorile inevitabile unor reprezentări grafice şi de erorile de calcul,valorile obţinute pentru elementele albiei stabile trebuie să verifice cea de-a treia ecuaţie fundamentală (cît şi,evident,primele două ecuaţii fundamentale).

Rezultatele finale sînt prezentate în tabela IV.3-3 comparativ cu rezultatele obţinute în proiectare,cu diferite metode şi comparativ cu rezultatele măsurătorilor ulterioare efectuate în natură.

In figurile IV.3-3 şi IV.3-4 sînt redate profilele transversale ale albiei regularizate proiectate şi executate şi profilele transversale marcînd evoluţia ulterioară a acestor albii.

Din aceste reprezentări rezultă în mod evident că evoluția în timp a albiei s-a produs în sensul apropierii de dimensiunile albiei stabile determinate prin utilizarea metodei propuse în teză. In acelaşi timp se constată că evoluţia în timp a albiei s-a făcut în sensul depărtării de dimensiunile care rezultă pentru albia stabilă prin aplicarea "teoriei regimului" după G.Lacey sau a relaţiilor morfometrico-hidraulice după S. Altunin.

Se confirmă astfel, prin măsurători efectuate în natură, atît rolul major pe care îl au aluviunile tîrîte în formarea albiei stabile, cît şi faptul că metoda propusă în teză reflectă corect acest rol major.

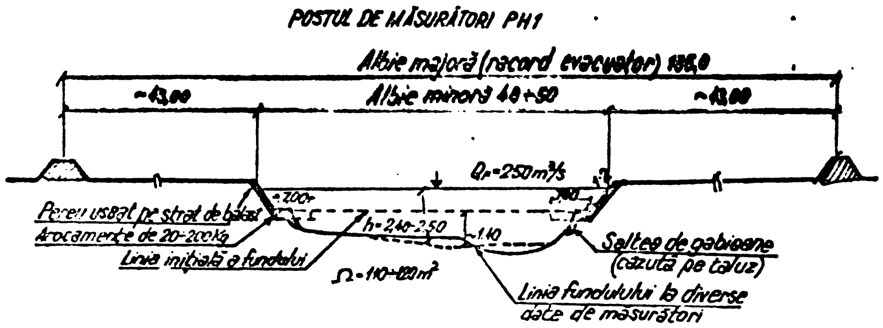


Fig.IV-3-3 Secțiunea transversală a albiei cu pat mobil adoptată pentru devierea Jiului în zona Rovinari și evoluția ei.

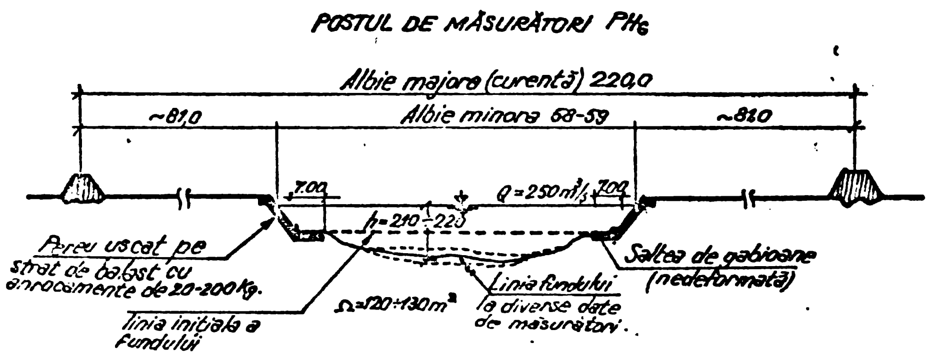


Fig. IV. 3-4. Secțiunea transversală a albiei cu pat mobil realizată pentru devierea Jiului în zona Rovinari PH.6.

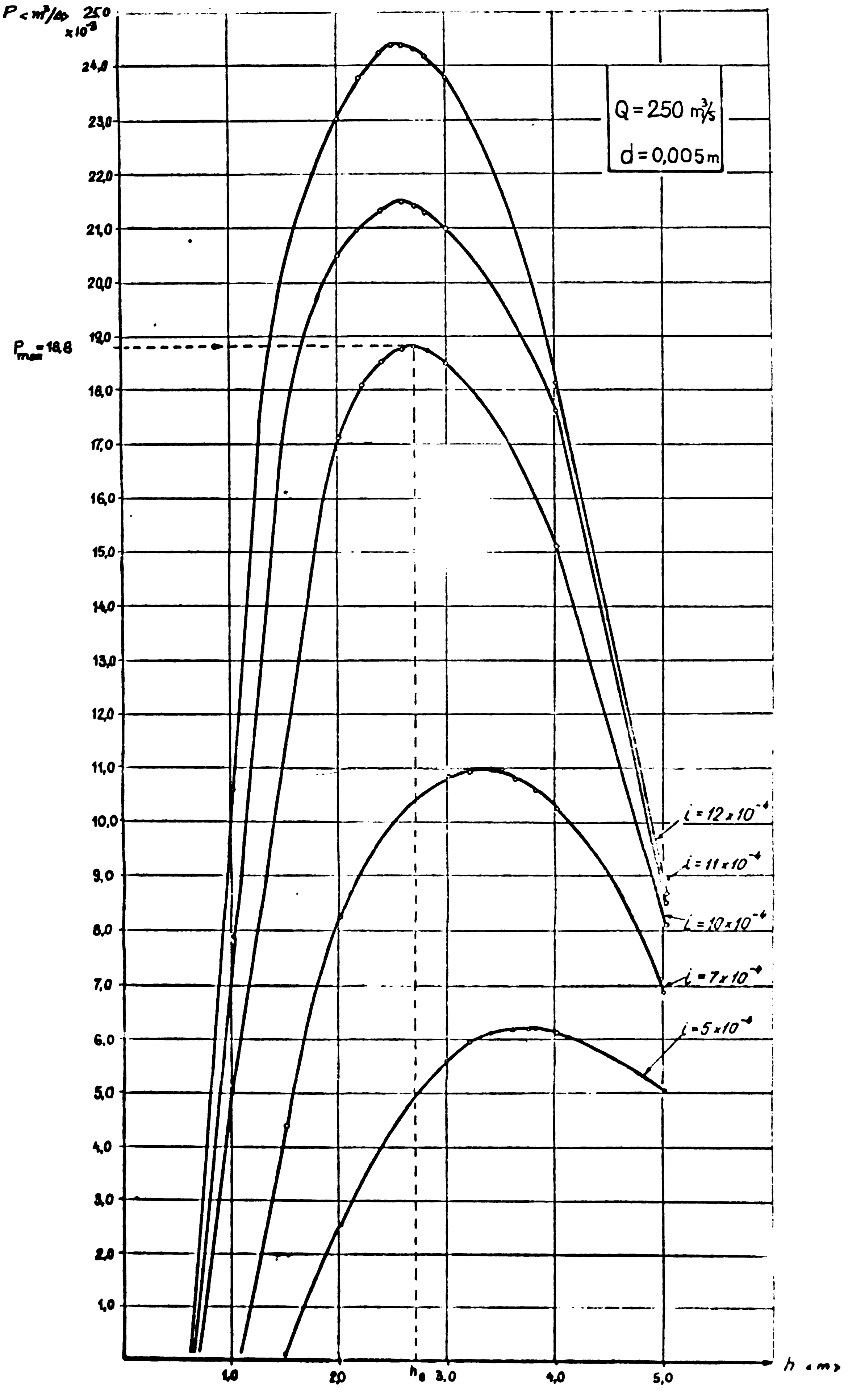


Fig. IV-8-1 Variaţia capacităţii de transport a aluviunilor tirite funcţie de înălţimea curentului de apă şi pantă, pe rîul Jiu în zona Rovinari

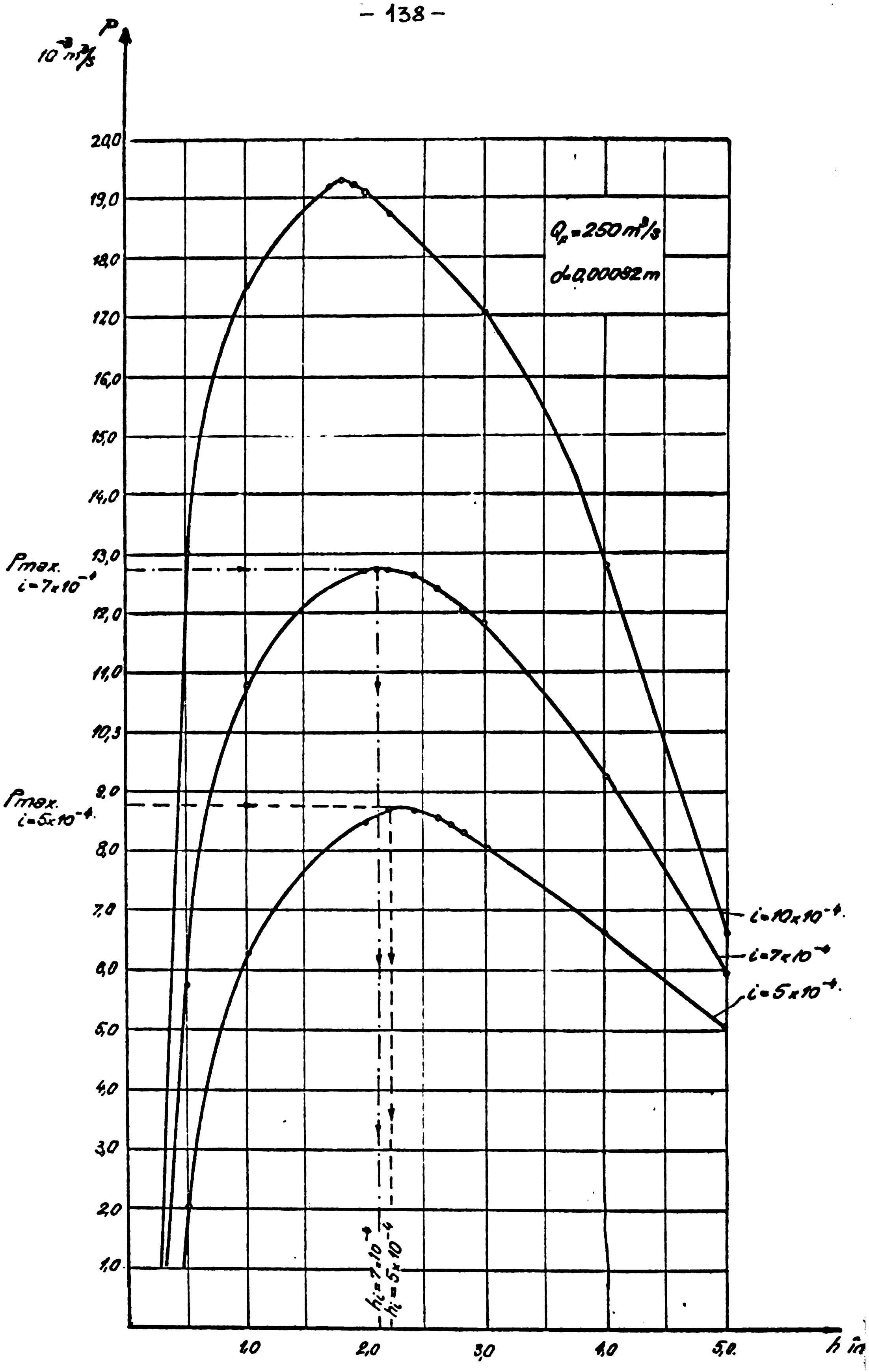


Fig. IV.3-2. Variația capacității de transport a aluviunilor tîrîte funcție de înălțimea curentului de apă și pantă pe rîul Jiu în zona Rovinari la P.H.6

--- Transport maxim de aluviuni tîrîte și adîncimea de echilibru pentru panta de 5×10^{-4}

–·–·– Transport maxim de aluviuni tîrîte și adîncimea de echilibru pentru panta de 7×10^{-4}

TABEL CUPRINZIND CALCULUL DEBITULUI SOLID TIRIT PE RIUL JIU
IN ZONA ROVINARI LA POSTUL HIDROMETRIC 1

$Q_F = 250\,m^3/s$; $S = (b+mh)h$; $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$; $\mu = (C/C')^{3/2}$;

$\Delta = 1{,}65$; $P = b + m'h$; $C' = 18 \lg \frac{12h}{k_s} = 18 \lg 2400h$;

$d = 5mm$; $R = S/P$

$$P = 8bd^{\frac{3}{2}}\sqrt{g\Delta}\left[\frac{\mu h i}{\Delta d} - 0{,}047\right]^{\frac{3}{2}}.$$

$\langle h \rangle = 1$ m ; $\langle b \rangle = 1$ m ; $\langle C \rangle = \langle C' \rangle = 1\ m^{1/2}/s$; $\langle P \rangle = 1\ m^3/s$

Tabela IV.3-1

i	h	b	C	C'	$\frac{C}{C'}$	$\mu=\left(\frac{C}{C'}\right)^{3/2}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}-0{,}047$	P
5×10^{-4}	1,0	276,6	40,0	60,8	0,656	0,531	0,032	–	–
	2,0	86,0	44,4	66,3	0,670	0,547	0,066	0,019	0,00255
	3,0	41,5	46,6	69,4	0,671	0,548	0,099	0,052	0,00559
	3,2	36,6	46,9	69,9	0,670	0,548	0,106	0,059	0,00594
	3,4	32,5	47,1	70,4	0,668	0,547	0,112	0,065	0,00611
	3,6	28,6	47,4	70,8	0,669	0,547	0,119	0,072	0,00627
	3,8	25,3	47,6	71,3	0,667	0,545	0,125	0,078	0,00633
	4,0	22,3	47,8	71,7	0,665	0,544	0,132	0,085	0,00628
	5,0	11,5	48,2	74,5	0,656	0,532	0,161	0,114	0,00505
7×10^{-4}	1,0	236,0	40,0	60,8	0,656	0,531	0,045	–	–
	2,0	74,1	44,4	66,3	0,670	0,547	0,092	0,045	0,00827
	3,0	34,2	46,4	69,4	0,668	0,546	0,138	0,091	0,01086
	3,2	30,3	46,6	69,9	0,666	0,544	0,147	0,100	0,01090
	3,4	26,5	46,9	70,4	0,666	0,544	0,156	0,109	0,01099
	3,6	23,3	47,1	70,8	0,664	0,542	0,165	0,118	0,01075
	3,8	20,5	47,3	71,3	0,663	0,541	0,174	0,127	0,01051
	4,0	18,0	47,5	71,7	0,662	0,539	0,182	0,135	0,01029
	5,0	8,2	47,8	73,5	0,650	0,525	0,222	0,175	0,00683
10×10^{-4}	1,0	196,5	40,0	60,8	0,655	0,531	0,064	0,017	0,00510
	2,0	60,4	44,2	66,3	0,667	0,545	0,132	0,085	0,01712
	2,2	50,9	44,7	67,0	0,658	0,541	0,146	0,099	0,01817
	2,4	43,4	45,2	67,7	0,668	0,547	0,159	0,112	0,01852
	2,6	37,4	45,6	68,3	0,670	0,548	0,172	0,125	0,01871

Continuare Tabela IV.3-1

i	h	b	C	C'	$\frac{C}{C'}$	$\mu=\left(\frac{C}{C'}\right)^{\frac{3}{2}}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}-0{,}047$	P
10×10^{-4}	2,7	34,7	45,7	68,6	0,666	0,544	0,178	0,131	0,01880
	2,8	32,3	45,9	68,9	0,666	0,544	0,185	0,138	0,01872
	3,0	28,1	46,2	69,4	0,666	0,544	0,197	0,150	0,01850
	4,0	13,8	47,0	71,7	0,656	0,531	0,257	0,210	0,01514
	5,0	5,2	47,3	73,5	0,643	0,517	0,313	0,266	0,00811
11×10^{-4}	1,0	187,5	40,0	60,8	0,655	0,531	0,070	0,024	0,00794
	2,0	57,4	44,2	66,3	0,667	0,545	0,145	0,098	0,02052
	2,2	48,4	44,7	67,0	0,668	0,545	0,160	0,113	0,02091
	2,4	41,6	45,1	67,7	0,668	0,545	0,174	0,127	0,02142
	2,6	35,7	45,5	68,3	0,667	0,543	0,188	0,141	0,02151
	2,7	32,9	45,7	68,6	0,667	0,543	0,196	0,149	0,02140
	2,8	30,6	45,8	68,9	0,665	0,543	0,202	0,155	0,02132
	3,0	26,6	46,1	69,4	0,665	0,543	0,217	0,170	0,02100
	4,0	12,8	46,9	71,7	0,654	0,530	0,281	0,234	0,01763
	5,0	4,5	47,2	73,5	0,643	0,516	0,343	0,296	0,00822
12×10^{-4}	1,0	179,6	40,0	60,8	0,655	0,531	0,077	0,030	0,01063
	2,0	54,8	44,1	66,3	0,665	0,543	0,158	0,111	0,02332
	2,2	46,3	44,6	67,0	0,666	0,544	0,174	0,127	0,02381
	2,4	39,4	45,1	67,7	0,666	0,544	0,190	0,143	0,02422
	2,6	33,8	45,5	68,3	0,666	0,544	0,206	0,159	0,02441
	2,7	31,5	45,6	68,6	0,665	0,543	0,213	0,166	0,02432
	2,8	29,2	45,8	68,9	0,665	0,543	0,221	0,174	0,02421
	3,0	25,3	46,1	69,4	0,665	0,543	0,237	0,190	0,02382
	4,0	12,0	46,8	71,7	0,653	0,528	0,307	0,260	0,01810
	5,0	3,9	47,2	73,5	0,643	0,516	0,374	0,327	0,00841

TABEL CUPRINZÎND CALCULUL DEBITULUI SOLID TÎRÎT PE RÎUL JIU
ÎN ZONA ROVINARI LA POSTUL HIDROMETRIC 6

$Q_F = 250\ m^3/s$; $S = (b+mh)h$; $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$; $\mu = (C/C')^{3/2}$

$\Delta = 1{,}65$; $P = b + m'h$; $C' = 18 \lg \frac{12h}{k_s} = 18 \lg 14630h$;

$d = 0{,}82\ mm$; $R = S/P$;

<h>=<b>= 1 m ;<P>= 1 m^3/s

Tabela IV.3-2

i	h	b	C	C'	$\frac{C}{C'}$	$\mu=\left(\frac{C}{C'}\right)^{3/2}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}-0{,}047$	P
5×10^{-4}	0,5	885,5	35,5	69,6	0,510	0,365	0,068	0,021	0,00204
	1,0	276,6	40,0	75,0	0,533	0,390	0,144	0,097	0,00630
	2,0	86,0	44,4	80,7	0,550	0,409	0,302	0,255	0,00845
	2,2	74,8	44,8	81,2	0,552	0,411	0,334	0,287	0,00875
	2,4	63,6	45,3	81,8	0,554	0,412	0,366	0,319	0,00865
	2,6	54,5	45,8	82,5	0,555	0,414	0,396	0,349	0,00855
	2,7	49,9	46,0	82,7	0,556	0,415	0,414	0,367	0,00840
	2,8	46,0	46,2	83,0	0,557	0,416	0,431	0,384	0,00830
	3,0	41,5	46,6	83,6	0,557	0,417	0,460	0,413	0,00802
	4,0	22,3	47,8	86,2	0,555	0,412	0,609	0,562	0,00665
	5,0	11,5	48,2	87,6	0,550	0,409	0,754	0,707	0,00500
7×10^{-4}	0,5	750,0	35,5	69,6	0,510	0,365	0,094	0,047	0,00576
	1,0	236,0	40,0	75,0	0,533	0,390	0,202	0,155	0,01085
	2,0	74,1	44,4	80,7	0,550	0,409	0,423	0,376	0,01270
	2,1	67,0	44,6	80,9	0,551	0,411	0,445	0,398	0,01275
	2,2	62,0	44,8	81,2	0,552	0,411	0,467	0,420	0,01272
	2,4	52,8	45,2	81,8	0,553	0,412	0,511	0,464	0,01260
	2,6	45,5	45,7	82,5	0,554	0,412	0,554	0,507	0,01240
	2,8	39,0	46,1	83,0	0,555	0,413	0,597	0,550	0,01200
	3,0	34,2	46,4	83,6	0,555	0,413	0,642	0,595	0,01180
	4,0	18,0	47,5	86,0	0,540	0,396	0,820	0,773	0,00923
	5,0	8,2	47,8	87,6	0,540	0,396	1,022	0,975	0,00594
10×10^{-4}	0,5	630,0	35,4	69,6	0,510	0,365	0,138	0,091	0,01305
	1,0	195,5	40,0	75,0	0,533	0,390	0,288	0,241	0,01752
	1,7	78,8	43,2	78,0	0,533	0,412	0,517	0,470	0,01920
	1,8	72,6	43,6	78,8	0,553	0,412	0,548	0,501	0,01930
	1,9	65,8	44,2	79,8	0,554	0,412	0,578	0,531	0,01920
	2,0	60,4	44,7	80,7	0,554	0,412	0,608	0,561	0,01910
	2,2	50,9	45,0	81,2	0,555	0,408	0,663	0,616	0,01860
	3,0	28,1	[illegible]	83,6	0,553	0,412	0,914	0,867	0,01712
	4,0	13,8	47,0	86,0	0,547	0,404	1,190	1,143	0,01273
	5,0	5,2	[illegible]	87,6	0,540	[illegible]	[illegible]	1,415	[illegible]

TABEL COMPARATIV CU ELEMENTELE ALBIEI STABILE A RÎULUI JIU ÎN ZONA ROVINARI

a) Compararea pantelor stabilite prin diferite metode

Tabela IV.3-3

Postul \ Panta %	Panta apei după metoda Einstein	Panta apei după măsurători	Panta fundului după măsurători	Panta fundului după teoria regimului	Panta apei egală cu panta fundului din condiţia de transport solid tîrît maxim
Postul hidrometric 1	1,05 - 1,17	0,90 - 1,30	0,91 - 1,20	0,92 - 1,05	1,00 - 1,05
Postul hidrometric 6	0,57 - 0,62	0,40 - 0,70	0,55 - 0,61 val. medie 0,58	0,59	0,5 - 0,70

b) Compararea elementelor geometrice şi vitezelor obţinute prin diferite metode

Postul hidrometric 1 ; d_m = 5 mm şi Postul hidrometric 6 ; d_m = 0,82 mm (0,75 mm)

Elementul albiei stabile \ Metoda	Teoria regimului a lui G.Lacey		Relaţii morfometrico-hidraulice a lui S.Altunin		Secţiunea adoptată în proiectare şi execuţie (med)		Valori rezultate din măsurători		Din condiţia de transport maxim a debitului solid tîrît	
	Post hidrom.		Post hidrom.		Post hidrom.		Post hidrom.		Post hidrom.	
	1	6	1	6	1	6	1	6	1	6
Adîncimea albiei h, în m	2,1	2,8	2,2	3,0	2,0	2,0	2,4-2,5	2,1-2,2	2,7	2,1-2,2
Lăţimea la fund b, în m	56	56	46	63	55	55	34-35	51,7-52	34,7	67-75,4
Lăţ. la oglinda apei B, în m	64	66	55	75	63	63	48-50	58-59	51,3	80-88,4
Suprafaţa udată S, în mp	127	175	110	208	118	118	110-120	120-130	116	153-171
Perimetrul udat P, în m	65	68	56	81	64	64	49-50	58-59	52	81-89
Raza hidraulică R, în m	1,95	2,6	1,97	2,56	2,0	2,0	2,4-2,5	2,1-2,2	2,23	1,92-2
Viteza medie v, în m/s	1,82	1,32	2,09	1,11	1,95	1,95	2,3-2,5	1,9-2,1	2,16	1,64-1,27

§ 4.- Calculul secţiunii transversale stabile (b,h) şi a transportului de aluviuni P_{max} cînd i este dat (problema a doua de proiectare)

Metodica de rezolvare a acestei probleme este aplicată, în cadrul tezei, la determinarea secţiunii transversale stabile a rîului Argeş în zona U.H.E.Gh.Gheorghiu Dej - Argeş. Datele folosite au fost puse la dispoziţia catedrei de construcţii hidrotehnice şi îmbunătăţiri funciare de către proiectantul general I.S.P.H.Bucureşti, în vederea modelării albiei regularizate ce se execută în zonă în urma deformării periculoase a celei existente, la debitul excepţional din 1974. Calculul elementelor albiei stabile nu a fost prevăzut în contract.

Datele cunoscute sînt :

- înclinarea medie a taluzului cu care se amenajează albia $m = 1,25$, rezultînd coeficientul $m' = 2\sqrt{1 + m^2} = 3,2$;
- coeficientul de rugozitate în natură $n_N = 0,034$ şi pe model $n_m = 0,02$, parametrul global de rugozitate absolută $k_{rN} = 0,414$ pe model $k_{rm} = 0,01655$ m ;
- debitul la care s-au făcut cercetările $Q_N = 652$ m^3/s, în natură, iar pe model $Q_m = 0,208$ m^3/s ;
- diametrele medii ale aluviunilor constituente ale patului cercetate au fost în natură $d_N = \begin{cases} 10 \text{ mm} \\ 25 \text{ mm} \end{cases}$ şi pe model $d_m = \begin{cases} 0,4 \text{ mm} \\ 1,0 \text{ mm} \end{cases}$
- masa specifică relativă a aluviunilor sau apă $\Delta \doteq 1,65$;
- rugozitatea absolută tip nisip a patului, $k_s = d$;
- panta pentru care s-au făcut calculele a fost de 0,01 în sectorul din amonte şi 0,008 în sectorul din aval.

Trebue menţionat că debitul de calcul a fost debitul cu asigurarea de 0,1 %, indicat de proiectantul general, întrucît pentru zona respectivă s-a constatat o mişcare intensă a sterilului din amonte la debitele maxime. De asemenea trebue menţionat că diametrele medii luate în considerare (d_N de 10 mm şi 25 mm) corespund albiei în execuţie.

Mărimile necunoscute, în cadrul problemei, au fost elementele secţiunii transversale stabile b şi h precum şi debitul de aluviuni tîrîte maxim la debitul de calcul.

Pentru a avea o imagine de ansamblu a rezolvării problemei, curbele de transport au fost ridicate pentru cele două diametre caracteristice studiate şi pentru mai multe pante :

$i = 10 \times 10^{-3}$ - corespunzătoare sectorului de aliniament din amonte ;

$i = 15 \times 10^{-3}$ şi $i = 20 \times 10^{-3}$ - coresp. sectoarelor intermediare ;

$i = 8 \times 10^{-3}$ corespunzătoare sectorului de aliniament din aval.

Aceste pante existente în condiţiile din natură au fost realizate şi pe model.

La fiecare pantă studiată s-au determinat perechile de valori b şi h care verifică formula debitului lichid şi care pot fi o soluţie a problemei. Determinările s-au făcut cu ajutorul calculatorului electronic, în cadrul unui subprogram din programul general de calcul. Perechile de valori, selecţionate pentru zona care interesează, sînt trecute în tabela IV.4-1 pentru d_m = 0,4 mm şi în tabela IV.4-2 pentru d_m = 1 mm.

Se precizează că tabelele anexate se referă la valorile mărimilor de pe model. Tabelele pentru mărimile corespunzătoare din natură diferă de cele de pe model numai prin coeficienţii de scara. S-au ales pentru prezentarea calculele referitoare la model pentru a compara rezultatele lor cu cele din încercările experimentale.

In baza datelor calculate s-au construit graficele din figurile IV.4-1 şi IV.4-2 în coordonate h,P.

Stiind că panta sectorului în aliniament este în amonte de 0,010 şi aval de 0,008, soluţia problemei trebue căutată pe curbele corespunzătoare acestor pante.

Respectînd principiul variaţional enunţat de stabilitate a albiei la debitul tîrît maxim corespunzător debitului lichid de calcul, rezultă că soluţia unică a problemei se află la maximul curbei P = f(h) corespunzătoare fiecărei pante studiate.

Debitele de aluviuni P_{max} astfel determinate, prin calcul şi prin reprezentare grafică, precum şi perechile de valori h,b respective au fost verificate pe modelul sectorului de rîu Argeş realizat în cadrul platformei laboratorului catedrei CHIF In tabela IV.4-3 sînt înregistrate datele referitoare la aceste experienţe. Lansările de aluviuni sortate s-au făcut în intervale de 10 şi 15 minute. S-a constatat că transportul de aluviuni a corespuns în general debitului tîrît maxim calculat, cînd lansările au fost mai mari s-au înregistrat depuneri. Valoarea medie a abaterii a variat între 1,41 % şi 0,05 %. Abaterea medie pătratică a variat între 1,86 % şi 0,56 %.

Rezultatele finale privind elementele albiei stabile sînt prezentate în tabela IV.4-4. In această tabelă sînt prezentate şi rezultatele obţinute prin folosirea altor metode de proiectare precum şi elementele albiei stabile adoptate în execuţie.

Evoluţia albiei va dovedi valabilitatea teoriilor.

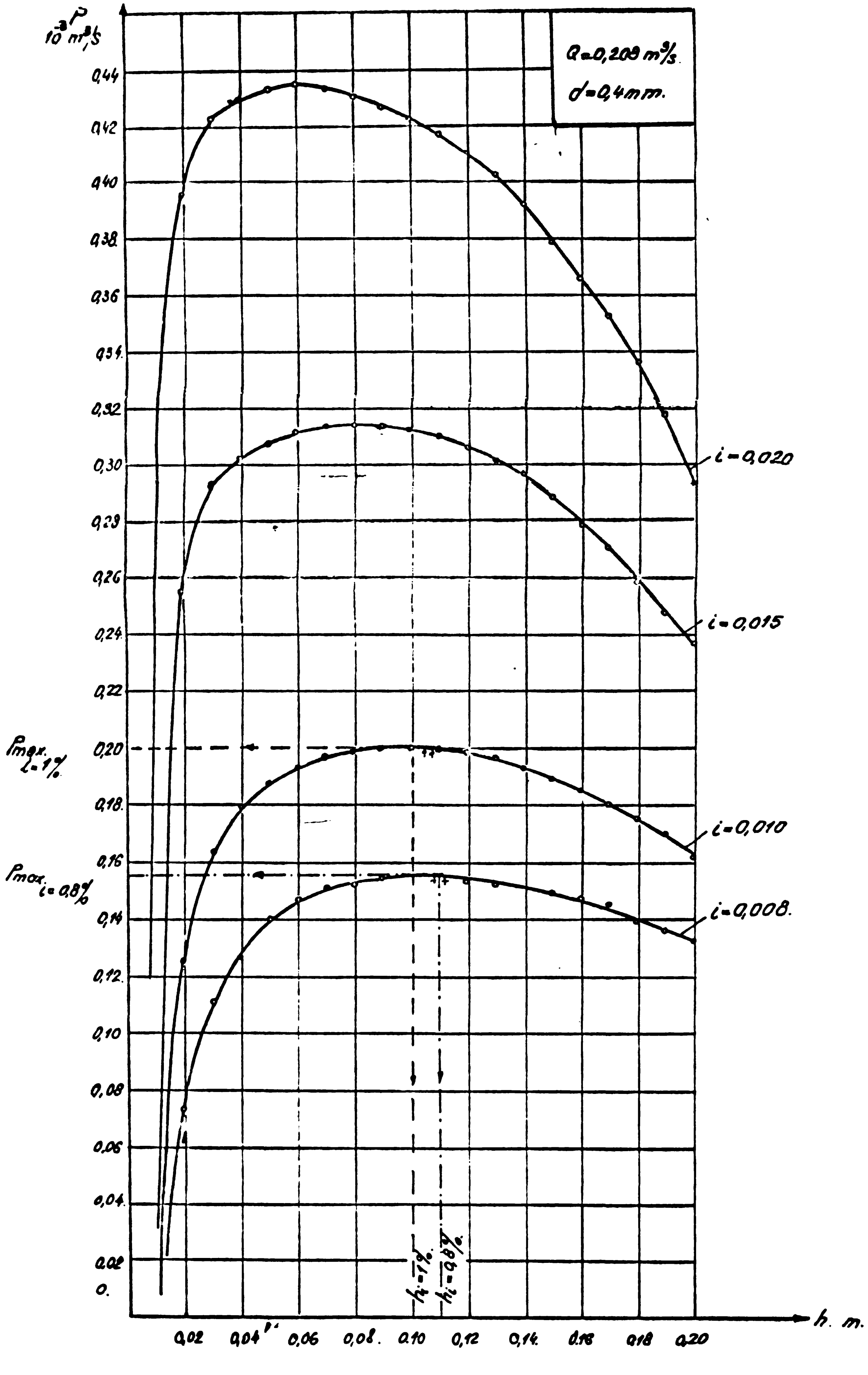


Fig. IV. 4-1. Variaţia transportului de aluviuni tîrîte funcţie de înălţimea curentului de apă şi pantă, pentru modelul rîului Argeş, în zona U.H.E

\+ Înregistrări experimentale.

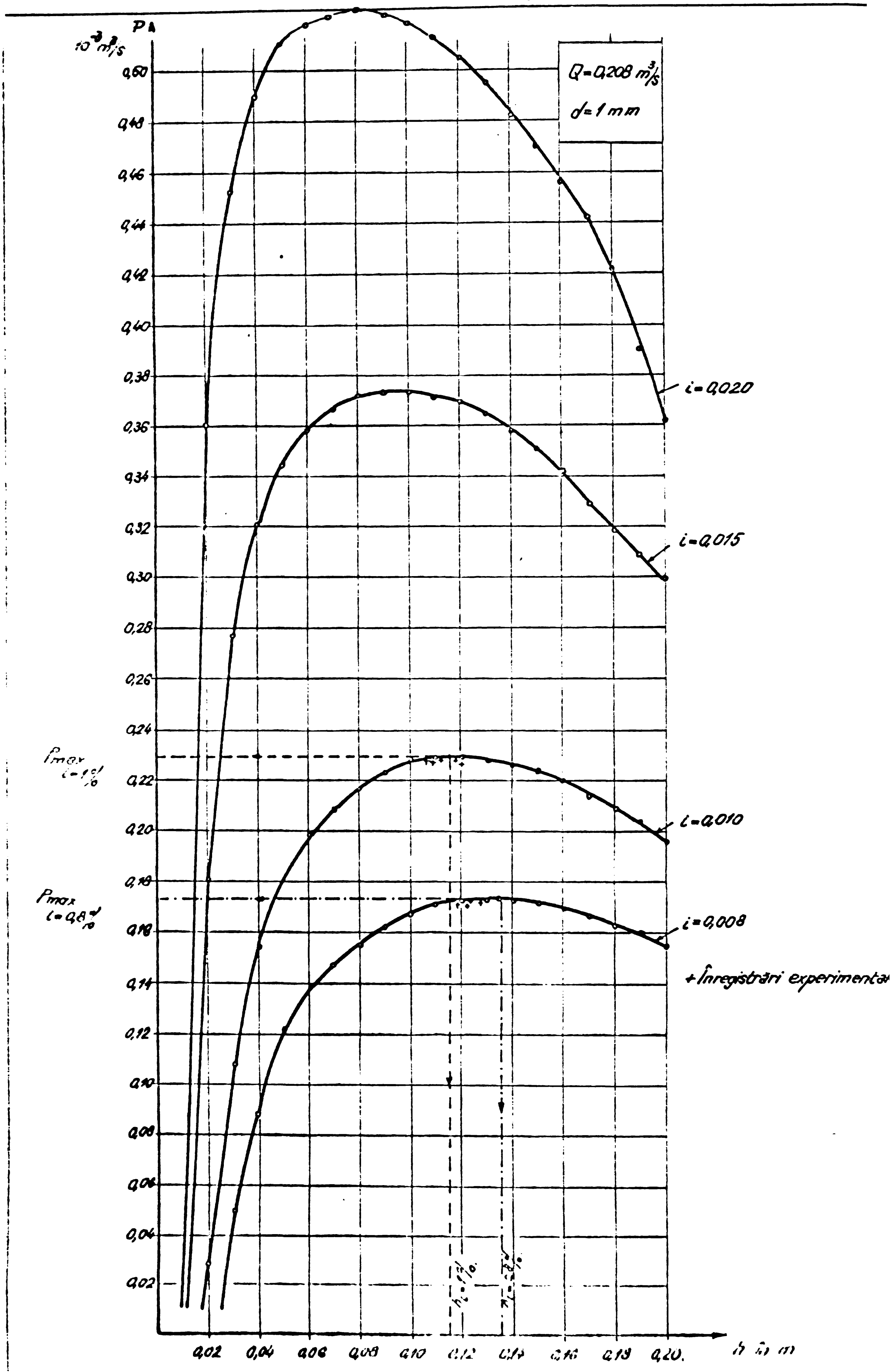


Fig. IV. 4-2 Variația transportului de aluviuni tîrîte funcție de înălțimea curentului de apă și pantă pentru model

TABEL CUPRINZIND CALCULUL DEBITULUI SOLID TIRIT PT RIUL ARGEŞ IN ZONA U.H.E. Gh.Gheorghiu Dej Argeş

(datele din tabel corespund modelului)

$Q_{Fm} = 0{,}208\ m^3/s$; $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$;

$d = 0{,}4\ mm$; $C' = 18 \lg \frac{12h}{k_s} = 18 \lg 30000h$.

<h>=<b>= 1 m ;<C>=<C'> = 1 $m^{1/2}/s$;<P>= 10^{-3} m^3/s Tabela IV.4-1

i	h	b	C	C'	$\frac{C}{C'}$	$\mu=\left(\frac{C}{C'}\right)^{3/2}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}-0{,}047$	P
0,008	0,02	31,60	26,0	50,0	0,520	0,375	0,091	0,044	0,075
	0,03	16,10	27,8	53,2	0,523	0,378	0,137	0,090	0,112
	0,04	9,75	29,1	55,4	0,526	0,380	0,184	0,137	0,127
	0,05	6,90	30,1	57,1	0,527	0,382	0,232	0,185	0,141
	0,06	5,10	31,1	58,6	0,531	0,387	0,281	0,234	0,148
	0,07	3,93	31,8	59,8	0,532	0,388	0,329	0,282	0,151
	0,08	3,12	32,5	60,9	0,534	0,390	0,377	0,330	0,152
	0,09	2,58	33,1	62,0	0,534	0,390	0,426	0,379	0,154
	0,10	2,16	33,5	62,6	0,535	0,392	0,474	0,427	0,155
	0,11	1,85	33,9	63,3	0,536	0,392	0,522	0,475	0,155
	0,12	1,58	34,2	64,0	0,535	0,392	0,568	0,521	0,153
	0,13	1,38	34,6	64,6	0,535	0,392	0,616	0,569	0,151
	0,14	1,22	34,9	65,2	0,535	0,392	0,663	0,616	0,150
	0,15	1,08	35,1	65,7	0,534	0,390	0,710	0,663	0,149
	0,16	0,96	35,3	66,2	0,533	0,389	0,756	0,709	0,147
	0,17	0,86	35,4	66,7	0,532	0,388	0,798	0,751	0,145
	0,18	0,77	35,6	67,2	0,530	0,386	0,843	0,796	0,140
	0,19	0,69	35,7	67,6	0,528	0,384	0,886	0,839	0,136
	0,20	0,62	35,9	68,0	0,528	0,384	0,929	0,887	0,133
0,010	0,02	28,30	26,0	50,0	0,520	0,375	0,114	0,067	0,126
	0,03	14,40	27,8	53,2	0,523	0,378	0,172	0,125	0,163
	0,04	8,93	29,1	55,4	0,526	0,380	0,230	0,183	0,179
	0,05	6,16	30,1	57,1	0,527	0,382	0,289	0,242	0,187
	0,06	4,53	31,1	58,6	0,531	0,387	0,352	0,305	0,193
	0,07	3,49	31,8	59,8	0,532	0,388	0,412	0,365	0,197
	0,08	2,78	32,5	60,9	0,534	0,390	0,472	0,425	0,198
	0,09	2,29	33,1	62,0	0,534	0,390	0,532	0,485	0,199
	0,10	1,93	33,5	62,6	0,535	0,392	0,594	0,547	0,200
	0,11	1,64	33,9	63,3	0,536	0,392	0,654	0,607	0,199
	0,12	1,42	34,2	64,0	0,535	0,392	0,714	0,667	0,198
	0,13	1,24	34,6	64,6	0,535	0,392	0,773	0,726	0,197
	0,14	1,08	34,9	65,2	0,535	0,392	0,833	0,786	0,193

i	h	b	C	C'	$\frac{C}{C'}$	μ	$\frac{\mu hi}{\Delta d}$	$\frac{\mu hi}{\Delta d} - 0{,}047$	p
0,010	0,15	0,96	35,1	65,7	0,534	0,390	0,888	0,841	0,189
	0,16	0,85	35,3	66,2	0,533	0,389	0,943	0,896	0,185
	0,17	0,76	35,4	66,7	0,532	0,388	0,998	0,951	0,180
	0,18	0,68	35,6	67,2	0,530	0,386	1,051	1,004	0,175
	0,19	0,61	35,7	67,6	0,528	0,384	1,104	1,057	0,170
	0,20	0,54	35,9	68,0	0,528	0,384	1,157	1,110	0,162
0,015	0,02	23,10	26,0	50,0	0,520	0,375	0,170	0,123	0,255
	0,03	11,80	27,8	53,2	0,523	0,378	0,258	0,211	0,293
	0,04	7,30	29,1	55,4	0,526	0,380	0,346	0,299	0,302
	0,05	5,00	30,1	57,1	0,527	0,382	0,434	0,387	0,307
	0,06	3,62	31,1	58,6	0,531	0,387	0,528	0,481	0,311
	0,07	2,81	31,8	59,8	0,532	0,388	0,618	0,571	0,313
	0,08	2,30	32,5	60,9	0,534	0,390	0,700	0,653	0,313
	0,09	1,88	33,1	62,0	0,534	0,390	0,789	0,751	0,312
	0,10	1,57	33,5	62,6	0,535	0,392	0,892	0,845	0,311
	0,11	1,33	33,9	63,3	0,536	0,392	0,982	0,935	0,309
	0,12	1,15	34,2	64,0	0,535	0,392	1,070	1,023	0,305
	0,13	1,00	34,6	64,6	0,535	0,392	1,150	1,113	0,301
	0,14	0,86	34,9	65,2	0,535	0,392	1,250	1,203	0,296
	0,15	0,77	35,1	65,7	0,534	0,390	1,330	1,283	0,288
	0,16	0,68	35,3	66,2	0,533	0,389	1,414	1,367	0,279
	0,17	0,60	35,4	66,7	0,532	0,388	1,500	1,453	0,270
	0,18	0,53	35,6	67,2	0,530	0,386	1,580	1,533	0,258
	0,19	0,48	35,7	67,9	0,528	0,384	1,658	1,611	0,252
	0,20	0,44	35,9	68,0	0,528	0,384	1,742	1,695	0,245
0,020	0,02	20,00	26,0	50,0	0,520	0,375	0,228	0,181	0,395
	0,03	10,20	27,8	53,2	0,523	0,378	0,344	0,297	0,424
	0,04	6,30	29,1	55,4	0,526	0,380	0,460	0,413	0,429
	0,05	4,36	30,1	57,1	0,527	0,382	0,578	0,531	0,433
	0,06	3,20	31,1	58,6	0,531	0,387	0,704	0,657	0,435
	0,07	2,44	31,8	59,8	0,532	0,388	0,824	0,777	0,430
	0,08	1,97	32,5	60,9	0,534	0,390	0,944	0,897	0,429
	0,09	1,61	33,1	62,0	0,534	0,390	1,052	1,015	0,426
	0,10	1,35	33,5	62,6	0,535	0,392	1,188	1,141	0,422
	0,11	1,16	33,9	63,3	0,536	0,392	1,308	1,261	0,417
	0,12	0,98	34,2	64,0	0,535	0,392	1,428	1,381	0,410
	0,13	0,84	34,6	64,6	0,535	0,392	1,546	1,499	0,402
	0,14	0,74	34,9	65,2	0,535	0,392	1,666	1,619	0,391
	0,15	0,65	35,1	65,7	0,534	0,390	1,776	1,729	0,378
	0,16	0,57	35,3	66,2	0,533	0,389	1,886	1,839	0,365
	0,17	0,51	35,4	66,7	0,532	0,388	2,000	1,953	0,352
	0,18	0,45	35,6	67,2	0,530	0,382	2,102	2,055	0,340
	0,19	0,38	35,7	67,9	0,523	0,384	2,210	2,163	0,321
	0,20	0,33	35,9	68,0	0,528	0,384	2,324	2,277	0,290

TABEL CUPRINZIND CALCULUL DEBITULUI SOLID TIRIT PE RIUL ARGES IN ZONA U.H.E. Gh.Gheorghiu Dej - Argeş

(datele din tabel corespund modelului)

$Q_{Fm} = 0{,}208\ m^3/s$; $d = 1\ mm$; $C' = 18 \lg \frac{12h}{k_s} = 18 \lg 12000h$.

<h>=<b>= 1 m ;<C>=<C'>= 1 $m^{1/2}/s$;<P>= $10^{-3}\ m^3/s$ Tabela IV.4-2

i	h	b	C	C'	$\frac{C}{C'}$	$\mu=\left(\frac{C}{C'}\right)^{3/2}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}-0{,}047$	P
0,008	0,02	31,60	26,0	42,9	0,607	0,473	0,047	-	-
	0,03	16,10	27,8	46,0	0,605	0,470	0,068	0,021	0,050
	0,04	9,75	29,1	48,3	0,603	0,469	0,091	0,043	0,088
	0,05	6,90	30,1	50,0	0,602	0,468	0,114	0,067	0,122
	0,06	5,10	31,1	51,4	0,602	0,468	0,136	0,089	0,138
	0,07	3,93	31,8	52,7	0,602	0,468	0,158	0,111	0,147
	0,08	3,12	32,5	53,7	0,602	0,468	0,181	0,133	0,154
	0,09	2,58	33,1	54,6	0,602	0,468	0,204	0,157	0,163
	0,10	2,15	33,5	55,4	0,602	0,468	0,227	0,180	0,168
	0,11	1,85	33,9	56,2	0,602	0,468	0,250	0,203	0,172
	0,12	1,58	34,2	56,8	0,601	0,467	0,272	0,225	0,172
	0,13	1,38	34,6	57,5	0,601	0,467	0,295	0,248	0,173
	0,14	1,22	34,9	58,1	0,600	0,466	0,316	0,269	0,173
	0,15	1,08	35,1	58,6	0,599	0,465	0,338	0,291	0,172
	0,16	0,96	35,3	59,1	0,597	0,462	0,359	0,312	0,170
	0,17	0,86	35,4	59,6	0,594	0,458	0,378	0,331	0,167
	0,18	0,77	35,6	60,1	0,593	0,456	0,398	0,351	0,163
	0,19	0,69	35,7	60,5	0,591	0,455	0,420	0,373	0,160
	0,20	0,62	35,9	60,9	0,590	0,453	0,440	0,393	0,155
0,010	0,02	28,30	26,0	42,9	0,607	0,473	0,057	0,010	0,029
	0,03	14,40	27,8	46,0	0,605	0,470	0,085	0,038	0,108
	0,04	8,93	29,1	48,3	0,603	0,469	0,113	0,066	0,154
	0,05	6,16	30,1	50,0	0,602	0,468	0,142	0,095	0,181
	0,06	4,53	31,1	51,4	0,602	0,463	0,170	0,123	0,198
	0,07	3,49	31,8	52,7	0,602	0,468	0,198	0,151	0,208
	0,08	2,78	32,5	53,7	0,602	0,468	0,227	0,180	0,216
	0,09	2,29	33,1	54,6	0,602	0,468	0,256	0,209	0,222
	0,10	1,93	33,5	55,4	0,602	0,468	0,284	0,237	0,228
	0,11	1,64	33,9	56,2	0,602	0,468	0,313	0,266	0,229
	0,12	1,42	34,2	56,8	0,601	0,467	0,340	0,293	0,229
	0,13	1,24	34,6	57,5	0,601	0,467	0,368	0,321	0,228
	0,14	1,08	34,9	58,1	0,600	0,466	0,395	0,348	0,226
	0,15	0,96	35,1	58,6	0,599	0,465	0,422	0,375	0,224
	0,16	0,85	35,3	59,1	0,597	0,462	0,449	0,402	0,220
	0,17	0.76	35,4	59.6	0.594	0,458	0.472	0,425	0,214

i	h	b	C	C'	C/C'	μ	$\frac{\mu h i}{\Delta d}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}$ -0,047	P
0,010	0,18	0,68	35,6	60,1	0,593	0,456	0,498	0,451	0,209
	0,19	0,61	35,7	60,5	0,591	0,455	0,525	0,478	0,204
	0,20	0,54	35,9	60,9	0,590	0,453	0,550	0,503	0,196
0,015	0,02	23,10	26,0	42,9	0,607	0,473	0,086	0,039	0,181
	0,03	11,80	27,8	46,0	0,605	0,470	0,128	0,081	0,277
	0,04	7,30	29,1	48,3	0,603	0,469	0,170	0,123	0,321
	0,05	5,00	30,1	50,0	0,602	0,468	0,213	0,166	0,344
	0,06	3,62	31,1	51,4	0,602	0,468	0,256	0,209	0,358
	0,07	2,81	31,8	52,7	0,602	0,468	0,298	0,251	0,366
	0,08	2,30	32,5	53,7	0,602	0,468	0,341	0,294	0,372
	0,09	1,88	33,1	54,6	0,602	0,468	0,383	0,336	0,373
	0,10	1,57	33,5	55,4	0,602	0,468	0,426	0,379	0,373
	0,11	1,33	33,9	56,2	0,602	0,468	0,469	0,422	0,371
	0,12	1,15	34,2	56,8	0,601	0,467	0,511	0,464	0,370
	0,13	1,00	34,6	57,5	0,601	0,467	0,553	0,506	0,365
	0,14	0,86	34,9	58,1	0,600	0,466	0,593	0,546	0,358
	0,15	0,77	35,1	58,6	0,599	0,465	0,634	0,587	0,351
	0,16	0,68	35,3	59,1	0,597	0,462	0,674	0,627	0,343
	0,17	0,60	35,4	59,6	0,594	0,458	0,709	0,662	0,329
	0,18	0,53	35,6	60,1	0,593	0,456	0,747	0,700	0,319
	0,19	0,48	35,7	60,5	0,591	0,455	0,788	0,741	0,310
	0,20	0,44	35,9	60,9	0,590	0,453	0,825	0,778	0,301
0,020	0,02	20,00	26,0	42,9	0,607	0,473	0,115	0,068	0,360
	0,03	10,20	27,8	46,0	0,605	0,470	0,171	0,124	0,453
	0,04	6,30	29,1	48,3	0,603	0,469	0,227	0,180	0,490
	0,05	4,36	30,1	50,0	0,602	0,468	0,284	0,237	0,511
	0,06	3,20	31,1	51,4	0,602	0,468	0,341	0,294	0,518
	0,07	2,44	31,8	52,7	0,602	0,468	0,397	0,350	0,520
	0,08	1,97	32,5	53,7	0,602	0,468	0,454	0,407	0,522
	0,09	1,61	33,1	54,6	0,602	0,468	0,512	0,465	0,520
	0,10	1,35	33,5	55,4	0,602	0,468	0,568	0,521	0,519
	0,11	1,16	33,9	56,2	0,602	0,468	0,626	0,579	0,513
	0,12	0,98	34,2	56,8	0,601	0,467	0,681	0,634	0,504
	0,13	0,84	34,6	57,5	0,601	0,467	0,737	0,690	0,495
	0,14	0,74	34,9	58,1	0,600	0,466	0,790	0,743	0,482
	0,15	0,65	35,1	58,6	0,599	0,465	0,845	0,798	0,470
	0,16	0,57	35,3	59,1	0,597	0,462	0,898	0,851	0,456
	0,17	0,51	35,4	59,6	0,594	0,458	0,945	0,898	0,442
	0,18	0,45	35,6	60,1	0,593	0,456	0,996	0,949	0,422
	0,19	0,38	35,7	60,5	0,591	0,455	1,050	1,003	0,390
	0,20	0,33	35,9	60,9	0,590	0,453	1,100	1,053	0,362

BUPT

TABEL CUPRINZÂND VERIFICĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND TRANSPORTUL ALUVIUNILOR TÂRÂTE PE SECTORUL MODELULUI DE RÂU ARGEȘ, ÎN ZONA U.H.E., LA DEBITUL LICHID DE 0,208 m^3/s.

$<V_{al}> = 10^{-3}\ m^3$

Tabela IV.4-3

Nr. crt	Pentru intervalul de timp de 10 minute						Pentru intervalul de timp de 15 minute					
	Volume de aluviuni Val				$\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100$	$\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100\right)^2$	Volume de aluviuni Val				$\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100$	$\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100\right)^2$
	calculate Val_c	lansate Val_L	transportate Val_{Tr}	$Val_c - Val_{Tr}$			calculate Val_c	lansate Val_L	transportate Val_{Tr}	$Val_c - Val_{Tr}$		
d_m = 1 mm; i = 0,010; h = 0,108 m; b = 1,70 m; P_{max} = 0,299 × 10^{-3} m^3/s; Val_c = 13,74 × 10^{-3} m^3 într-un minut.												
1	137,4	137,4	136	+1,4	+1,03	1,06	206,1	206,1	205	+1,1	+0,54	0,29
2	137,4	137,4	135	+2,4	+1,78	3,16	206,1	206,1	206	+0,1	+0,05	0,01
3	137,4	137,4	134	+3,4	+2,53	6,44	206,1	206,1	204	+2,1	+1,03	1,06
4	137,4	140,0	134	+3,4	+2,53	6,44	206,1	210,0	206	+0,1	+0,05	0,01
5	137,4	145,0	137	+0,4	+0,29	0,09	206,1	215,0	207	−0,9	−0,43	0,19
6	137,4	150,0	137	+0,4	+0,29	0,09	206,1	220,0	208	−1,9	−0,91	0,83
				Σ	+8,45	17,28				Σ	+0,33	2,39

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = +1,41\%$ | Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = +0,05\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = 1,86\%$ | Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = 0,70\%$

Nr. crt	Val_c	Val_L	Val_{Tr}	$Val_c - Val_{Tr}$	$\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100$	$\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100\right)^2$	Val_c	Val_L	Val_{Tr}	$Val_c - Val_{Tr}$	$\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100$	$\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100\right)^2$
d_m = 1 mm; i = 0,008; h = 0,110 m; b = 1,85 m; P_{max} = 0,172 × 10^{-3} m^3/s; Val_c = 10,32 × 10^{-3} m^3 într-un minut.												
1	103,2	103,2	103	+0,2	+0,19	0,04	154,8	154,8	154	+0,8	+0,52	0,27
2	103,2	103,2	102	+1,2	+1,17	1,38	154,8	154,8	154	+0,8	+0,52	0,27
3	103,2	103,2	103	+0,2	+0,19	0,04	154,8	154,8	153	+1,8	+1,17	1,39
4	103,2	105,0	103	+0,2	+0,19	0,04	154,8	160,0	153	+1,8	+1,17	1,39
5	103,2	110,0	103	+0,2	+0,19	0,04	154,8	170,0	154	+0,8	+0,52	0,27
6	103,2	115,0	103	+0,2	+0,19	0,04	154,8	180,0	156	−1,2	−0,77	0,59
				Σ	+2,12	1,58				Σ	+3,13	4,18

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = +0,35\%$ | Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{Val_c - Val_{TR}}{Val_{Tr}}\right) = +0,52\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = 0,56\%$ | Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = 0,91\%$

TABEL COMPARATIV CU ELEMENTELE ALBIEI STABILE CALCULATE CU DIFERITE METODE PE RÂUL ARGEȘ

zona U.H.E. Gh.Gheorghiu Dej – (datele din tabel se referă la albia naturală)

Tabela IV.4-4

Sectorul de aliniament din amonte : i = 0,010

Metoda de determinare / Elementele albiei stabile	Teoria regimului (D) *	Metoda morfometrică-hidraulică Altunin	Elementele adoptate în proiectare și execuție	Metoda propusă în teză d = 25 mm	Metoda propusă în teză d = 10 mm
Înălțimea curentului h mm	2,85	3,0	3,0	2,87	2,5
Lățimea la fund b în m	88	42,5	42,5–45,0	38	48,3
Lăț. la oglinda apei B în m	95	50,0	50,0–52,5	45,2	54,5
Secțiunea de curgere S în m^2	271	136,0	136,0–143	119	128
Perimetrul udat P în m	95	52,1	52,1–54,6	47,2	56,3
Raza hidraulică R în m	2,85	2,61	2,61–2,62	2,52	2,25
Viteza medie în m/s	2,4	4,8	4,8–4,6	5,47	5,09
Sectorul de aliniament din aval i = 0,008					
Lățimea curentului h în m	2,85	3,4	3,5	3,37	2,75
Lățimea la fund b în m	88	41,5	46 – 50	32,5	46,2
Lăț. la oglinda apei B în m	95	50,2	54,8 – 58,8	41	53,1
Secțiunea de curgere S în m^2	271	155	176 – 190	123,5	136
Perimetrul udat P în m	95	52,60	57,2 – 61,2	43,2	55
Raza hidraulică R în m	2,85	2,95	3,08 – 3,10	2,86	2,48
Viteza medie	2,4	4,2	3,7 – 3,5	5,27	4,8

* panta rezultată cu această metodă nu se încadrează în zonă

§ 5.- Prognozarea evoluţiei unei albii existente

Prima problemă de prognoză, conform celor stabilite în paragraful 2 al acestui capitol, se referă la prevederea evoluţiei unei albii existente, la care panta i, lăţimea la fund b şi înălţimea curentului de apă h sînt cunoscute, pentru debitul de calcul.

Problema se impune studiului datorită caracteristicilor pe care le au cursurile naturale avînd debite lichide variabile şi unele elemente mai puţin variabile ca : panta fundului i şi lăţimea la fund b. Fluctuaţiile debitului în natură sînt urmărite în special de oscilaţiile adîncimii h.

Metoda de rezolvare a acestei probleme este aplicată, în cadrul tezei, la acelaşi sector al rîului Argeş, însă pentru debitul mediu care apare în exploatare.

Avînd în vedere că dimensionarea albiei s-a făcut la debitul cu asigurarea de 0,1 %, este necesar să se prevadă comportarea albiei în perioade mai scurte, la debite care apar curent în exploatare.

Ca date de bază au fost folosite datele puse la dispoziţia catedrei de construcţii hidrotehnice şi îmbunătăţiri funciare de către proiectantul general al lucrării I.S.P.H. Bucureşti în vederea modelării albiei regularizate.

Problema nu a constituit obiect al contractului.

Mărimile cunoscute sînt :

- coeficientul mediu de înclinare a taluzului m=1,25 ;
- coeficientul $m' = 2\sqrt{1 + m^2} = 3,2$;
- coeficientul de rugozitate $n_N = 0,034$, iar parametrul global de rugozitate absolută $k_{rN} = 0,414$;
- debitul de calcul $Q_N = 80\ m^3/s$;
- diametrul mediu al aluviunilor constituente ale patului, pentru care se fac prognozările este $d_N = 0,010$ m ;
- masa specifică relativă a aluviunilor sub apă $\Delta = 1,65$;
- rugozitatea absolută, tip nisip a patului $k_s = d$.

Trebue precizat că diametrul mediu luat în considerare $d_N = 0,010$ m corespunde albiei în execuţie.

Calculele, au fost făcute pentru mai multe pante dintre care se prezintă, în tabela IV.5-1 numai calculele pentru sectorul de aliniament din amonte de 1 ‰, pentru sectorul de aliniament din aval de 0,8 ‰ şi zonele intermediare cu pante de 1,5 ‰ şi 2 ‰ .

De asemenea se precizează că în cadrul acestei probleme se prezintă datele referitoare la albia din condiţiile naturale (care diferă de datele de pe model tot numai prin coeficienţii de scara). S-a făcut această alegere a datelor avînd în vedere că evoluţia albiei se va produce şi urmări în condiţiile din natură.

Pe lîngă panta i, care s-a adoptat din condiţiile de relief, ca la paragraful 4 al acestui capitol, în această problemă albia regularizată este considerată deja executată (ceea ce, dealtfel corespunde realităţii). Ca atare se cunosc lăţimile la fund $b_{N\ amonte} = 42,50$ m şi $b_{N\ aval} = 50,0$ m.

La debitul de calcul de 80 m^3/s se cunoaşte şi înălţimea curentului de apă $h_{N\ amonte} = 0,77$ m şi $h_{N\ aval} = 0,74$ m.

Este necesară determinarea debitului de aluviuni tîrîte P şi poziţia pe care acesta o ocupă pe curba $P = f(h)$ la panta dată.

Conform principiului variaţional enunţat albia va fi stabilă dacă debitul de aluviuni tîrîte este maxim (P_{max}), iar h şi b realizate sînt mărimile care corespund chiar acestui debit de aluviuni tîrîte maxim.

Ca şi în problemele de proiectare, s-au determinat cu ajutorul calculatorului electronic perechile de valori b şi h care verifică formula debitului lichid. Corespunzător acestor valori s-a calculat debitul de aluviuni tîrîte P cu formula Meyer Peter şi Müller. Calculele, selecţionate în zona care interesează, sînt date în tabela IV.5-1. Datele sînt reprezentate grafic în figura IV.5-1. In absoisă au fost reprezentat parametrul variabil h, iar pe ordonată debitul solid tîrît P.

Din graficul IV.5-1 se citeşte pentru $i = 0,01 \Longrightarrow b_{st} = 19,5$ m şi $h_{st} = 1,3$ m, iar pentru $i = 0,008 \Longrightarrow b_{st} = 11,1$ m şi $h_{st} = 1,8$ m.

Debitele de aluviuni tîrîte au rezultat în sectorul de aliniament din amonte $0,0634 < 0,0718$, iar în sectorul de aliniament din aval $0,0428 < 0,0531$. Deci nu este realizat debitul de aluviuni tîrîte maxim. Se mai constată că între valorile calculate şi cele executate (concretizate prin lăţimea la fund b) precum şi cele care apar în exploatare (concretizate prin adîncimea h) apar diferenţe destul de mari. Cum lăţimile albiei executate sînt mai mari şi înălţimile curentului mai mici, se prevede evoluţia albiei prin depuneri laterale care vor reduce lăţimea la bază b, precum şi creşteri de adîncime în sensul apropierii de albia corespunzătoare energiei disipate minime.

[illegible] CALCULUL DEBITULUI SOLID [illegible] PE RIUL ARGES IN ZONA U.H.E. Gh. Gheorghiu Dej - Argeș

$$Q = 80\ m^3/s \quad ; \qquad C' = 18\ lg\,\frac{12h}{k_s} = 18\ lg\ 1200h$$

$$\Delta = 1{,}65 \quad ;$$

$$d = 0{,}010\ m \quad ;$$

<h>=<b>= 1 m ;<C>=<C'>= 1 $m^{1/2}/s$;<P>= 1 m^3/s Tabela IV.5-1

i	h	b	C	C'	$\frac{C}{C'}$	$\mu=\left(\frac{C}{C'}\right)^{3/2}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}-0{,}047$	P
0,008	0,5	96,5	26,1	50,0	0,522	0,376	0,091	0,044	0,0286
	1,0	30,5	29,0	55,4	0,523	0,379	0,184	0,137	0,0487
	1,6	13,6	30,9	59,2	0,522	0,376	0,292	0,245	0,0530
	1,8	11,0	31,3	60,0	0,522	0,376	0,329	0,282	0,0531
	1,9	10,0	31,4	60,4	0,522	0,375	0,345	0,298	0,0523
	2,0	9,0	31,5	60,8	0,518	0,373	0,362	0,315	0,0512
	3,0	3,4	31,9	[illegible]	0,498	0,352	0,512	0,465	0,0348
	4,0	0,5	32,0	66,3	0,482	0,335	0,650	0,603	0,0075
0,010	0,5	90,0	24,7	50,0	0,494	0,348	0,105	0,058	0,0404
	1,0	27,0	29,0	55,4	0,523	0,379	0,229	0,182	0,0674
	1,3	19,5	30,1	57,5	0,523	0,379	0,299	0,252	0,0718
	1,4	15,3	30,4	58,1	0,523	0,379	0,322	0,275	0,0711
	1,5	13,6	30,6	58,6	0,522	0,377	0,343	0,296	0,0703
	2,0	8,0	31,4	60,8	0,517	0,372	0,450	0,403	0,0662
	3,0	3,0	31,8	64,0	0,497	0,350	0,633	0,586	0,0435
	4,0	0,2	31,8	66,3	0,479	0,332	0,804	0,757	0,0042
0,015	0,5	75,0	24,7	50,0	0,494	0,348	0,158	0,111	0,0742
	1,0	22,0	29,0	55,4	0,523	0,379	0,345	0,298	0,1155
	1,1	19,0	29,4	56,3	0,523	0,379	0,379	0,332	0,1165
	1,2	16,2	29,7	56,9	0,523	0,379	0,413	0,366	0,1155
	1,5	11,0	30,5	58,6	0,522	0,377	0,513	0,466	0,1108
	2,0	6,5	31,2	60,8	0,514	0,368	0,670	0,623	0,1005
	3,0	2,0	31,4	64,0	0,491	0,343	0,936	0,889	0,0538
	4,0	0,01	31,7	66,3	0,478	0,330	1,200	1,153	0,0004
0,020	0,5	64,0	24,7	50,0	0,494	0,348	0,212	0,165	0,1380
	0,8	28,0	28,1	53,8	0,522	0,377	0,366	0,319	0,1620
	0,9	23,0	28,5	54,6	0,522	0,377	0,411	0,364	0,1625
	1,0	19,0	29,0	55,4	0,523	0,379	0,460	0,413	0,1625
	1,1	16,4	29,2	56,3	0,518	0,373	0,497	0,450	0,1590
	2,0	5,3	31,0	60,8	0,510	0,365	0,886	0,839	0,1310
	3,0	1,5	31,2	64,0	0,488	0,341	1,240	1,193	0,0628

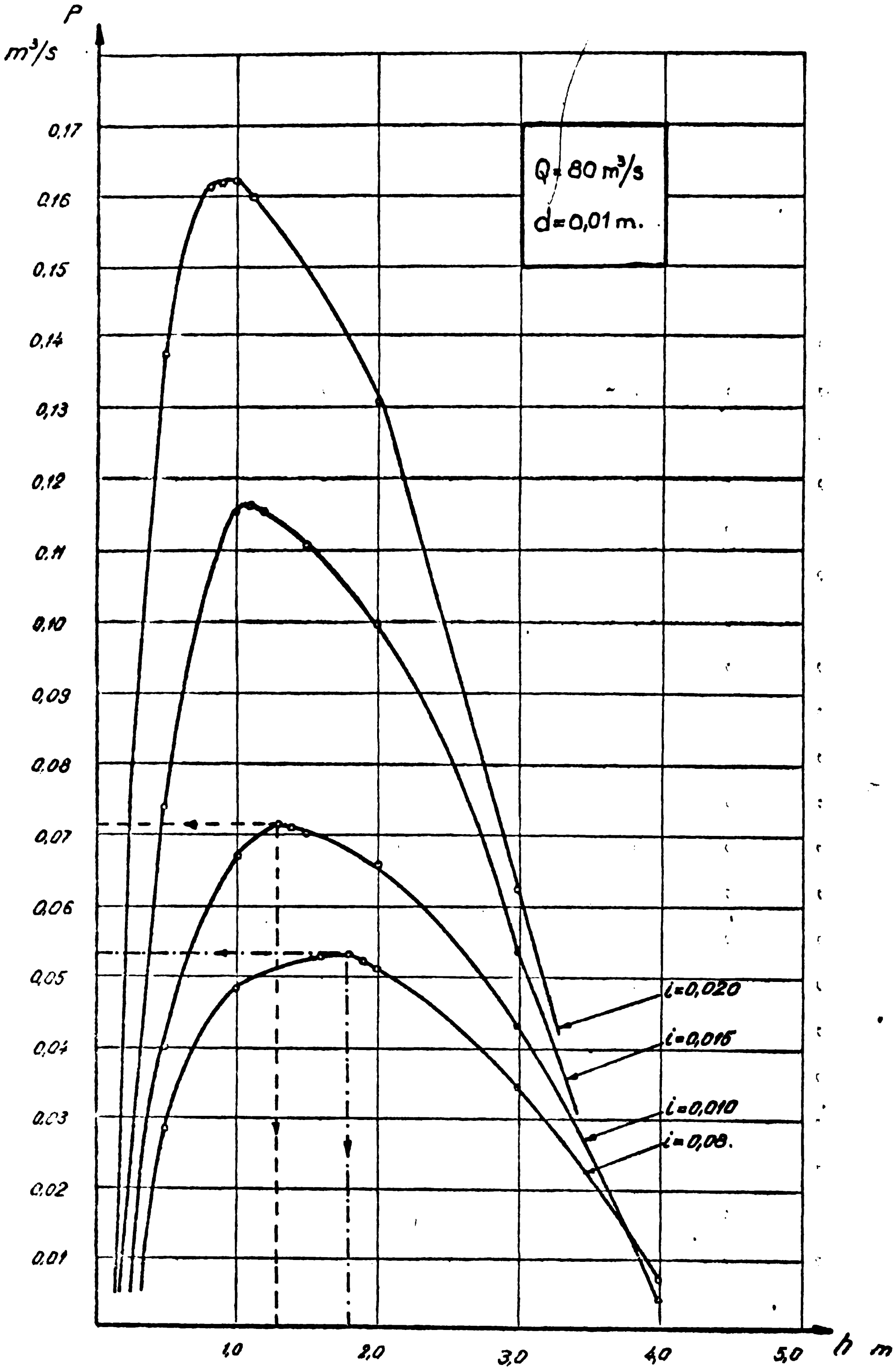


Fig. IV.5-1 Variatia transportului de aluviuni tîrîte pe sectorul riului Argeș în zona U.H.E. Gh. Gheorghiu Dej, la debitul de 80 m^3/s

§ 6.- Prognozarea transportului de aluviuni într-o albie existentă

In proiectare este necesar, uneori, să se aprecieze dacă particulele de anumite dimensiuni "d" vor fi transportate de curent. Conform prezentării din paragraful 2 aceasta este cea de a doua problemă de prognoză.

Metodica de rezolvare a acestei probleme este aplicată, în cadrul tezei, la acelaşi sector al rîului Argeş studiat în § 4 şi § 5, datele de bază fiind aceleaşi, doar problema care trebue rezolvată este alta.

Mărimile cunoscute sînt în general aceleaşi, cu următoarele precizări :

- debitul de calcul pe model $Q_m = 0,208\ m^3/s$;
- diametrul mediu al aluviunilor pentru care se face prognozarea : d_m s-a considerat 0,4 mm, 1,0 mm , 2,0 mm şi 6 mm.
- panta i=0,01 corespunde sectorului de aliniament din amonte.

Mărimile care trebue determinate şi interpretate sînt : debitul de aluviuni tîrîte P pentru diferiţi diametri şi P_{max} corespunzător acestor diametri cu elementele albiei respective b_{st} şi h_{st}.

Ca şi în problemele de proiectare s-au determinat perechile de valori b şi debitul de aluviuni tîrîte P (tabela IV.6-1) la pantă constantă şi s-au reprezentat în figura IV.6-1. Datele din tabel şi figură se referă la valorile de pe model calculate cu scopul de a fi comparate cu datele experimentale.

Conform principiului variaţional enunţat, albia este stabilă dacă debitul de aluviuni tîrîte este maxim la capacitatea de transport dată a curentului. Din graficul IV.6-1 se constată că în general pe măsură ce diametrul particulelor care trebue antrenate creşte şi înălţimea curentului de apă capabilă să producă antrenarea creşte (în timp ce b descreşte) cînd se respectă condiţia de P_{max} (zonele haşurate). De asemenea se constată că pentru dimensiunile adoptate de proiectant în sectorul de aliniament din amonte ($b_N = 42,50$ m, $b_m = 1,70$ şi $h_N = 2,62-2,85$ m, $h_m = 0,105 - 0,115$ m) condiţia de stabilitate a albiei apreciată prin debitul maxim de aluviuni tîrîte este îndeplinită pentru diametrele de $d_m = 0,4$ mm ($d_N = 10$ mm) şi $d_m = 1$ mm ($d_N = 25$ mm). Pentru diametri mai mari debitul de aluviuni tîrîte maxim se situează la adîncimi mai mari şi lăţimi mai mici ale albiei. In aceste situaţii (cînd diametrii sînt mai mari) soluţia concretă adoptată în proiectare nu se încadrează în zona de maxim a curbe-

...tivo şi ca atare se preconizează evoluţia albiei în sensul micşorării lăţimii la fund b şi creşterii adîncimii h.

In vederea verificării acestor ipoteze au fost făcute experimentări pe modelul sectorului de rîu Argeş realizat pe platforma laboratorului catedrei de CHIF.

In tabela IV.6-2 sînt prezentate rezultatele experimentelor. In general lansările de aluviuni s-au făcut cu volume apropiate de cele calculate, la lansări mai mari înregistrîndu-se depuneri în zonele de la baza taluzurilor.

Valoarea medie a abaterii a variat între +1,59 % şi -0,03 % iar abaterea medie pătratică între 0,61 % şi 2,16 % ceea ce denotă o concordanţă bună a experienţelor cu datele calculate

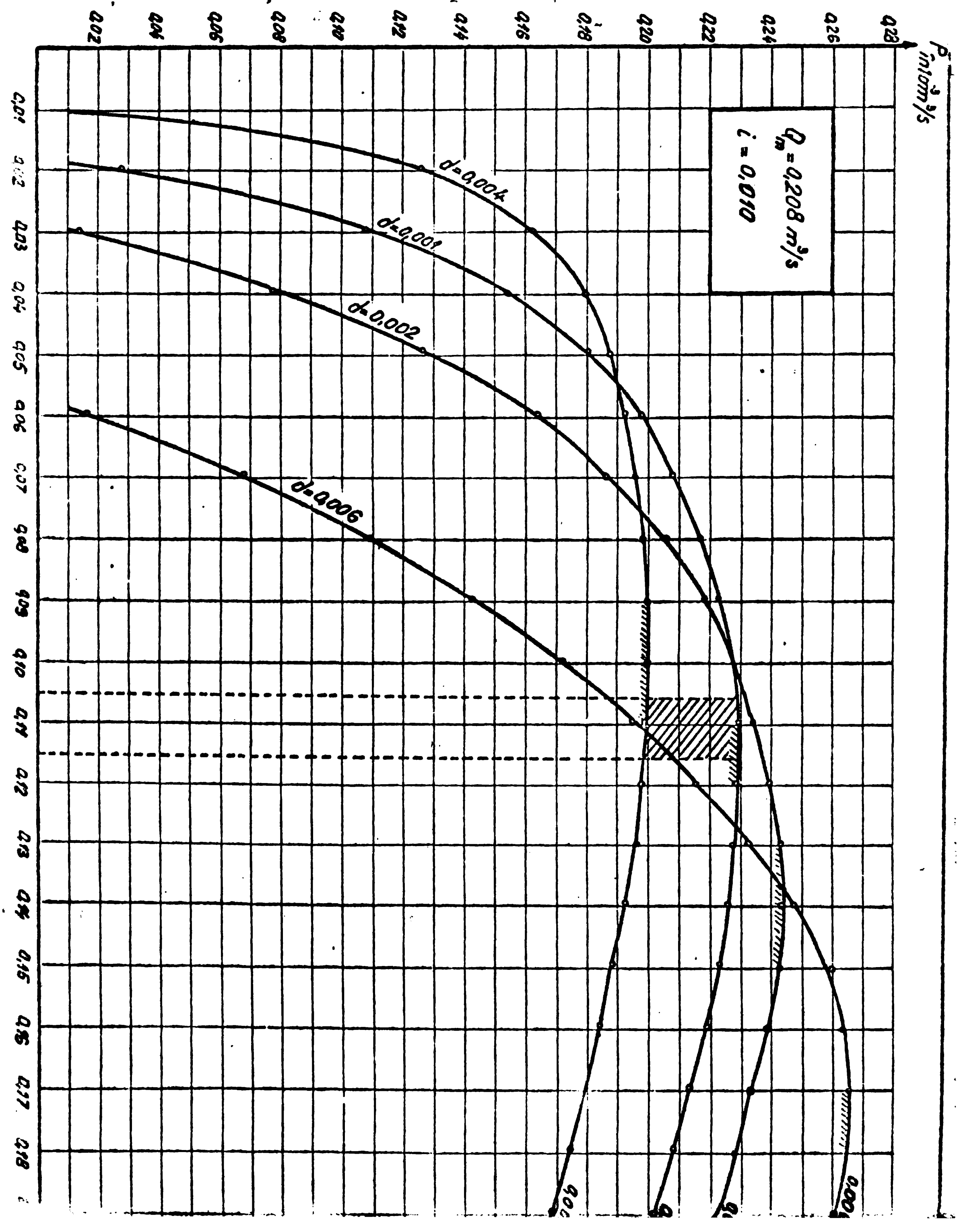


Fig. IV. 6-1 Variaţia transportului de aluviuni tîrîte pe modelul sectorului de rîu Argeş, pentru diferiţi diametri.

TABELE [illegible] CALCULUL DEBITULUI SOLID TIRIT PE MODELUL SECTORULUI DE RIU ARGES IN ZONA U.H.E. Gh.Gheorghiu-Dej, PENTRU DIFERITI DIAMETRI DE ALUVIUNI

$Q = 0{,}208\ m^3/s$; $n = 0{,}02$ $C' = 18 \lg \frac{12h}{k_s}$

$i = 0{,}010$;

$\langle d\rangle = \langle h\rangle = \langle b\rangle = 1\ m$; $\langle C\rangle = \langle C'\rangle = 1\ m^{1/2}/s$; $\langle P\rangle = 10^{-3}\ m^3/s$ Tab. IV.6-1

d	h	b	C	C'	$\frac{C}{C'}$	$\mu = \left(\frac{C}{C'}\right)^{3/2}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d} - 0{,}047$	P
0,0004	0,02	28,3	26,0	50,0	0,520	0,375	0,114	0,067	0,126
	0,03	14,4	27,8	53,2	0,523	0,378	0,172	0,125	0,153
	0,04	8,93	29,1	55,4	0,526	0,380	0,230	0,183	0,179
	0,05	6,16	30,1	57,1	0,527	0,382	0,289	0,242	0,187
	0,06	4,53	31,1	58,6	0,531	0,387	0,352	0,305	0,193
	0,07	3,49	31,8	59,8	0,532	0,388	0,412	0,365	0,197
	0,08	2,78	32,5	60,9	0,534	0,390	0,472	0,425	0,198
	0,09	2,29	33,1	62,0	0,534	0,390	0,532	0,485	0,199
	0,10	1,93	33,5	62,6	0,535	0,392	0,594	0,547	0,200
	0,11	1,64	33,9	63,3	0,536	0,392	0,654	0,607	0,199
	0,12	1,42	34,2	64,0	0,535	0,392	0,714	0,667	0,198
	0,13	1,24	34,6	64,6	0,535	0,392	0,773	0,726	0,197
	0,14	1,08	34,9	65,2	0,535	0,392	0,833	0,786	0,193
	0,15	0,96	35,1	65,7	0,534	0,390	0,888	0,841	0,189
	0,16	0,85	35,3	66,2	0,[illegible]	0,389	0,943	0,896	0,185
	0,17	0,76	35,4	66,7	0,5[illegible]	0,388	0,998	0,951	0,180
	0,18	0,68	35,6	67,2	0,53[illegible]	0,386	1,051	1,004	0,175
	0,19	0,61	35,7	67,6	0,528	0,384	1,104	1,057	0,170
	0,20	0,54	35,9	68,0	0,528	0,384	1,157	1,110	0,162
0,001	0,02	28,3	26,0	42,9	0,607	0,473	0,057	0,010	0,029
	0,03	14,4	27,8	46,0	0,605	0,470	0,085	0,038	0,108
	0,04	8,93	29,1	48,3	0,603	0,469	0,113	0,066	0,154
	0,05	6,16	30,1	50,0	0,602	0,468	0,142	0,095	0,181
	0,06	4,53	31,1	51,4	0,602	0,468	0,170	0,123	0,198
	0,07	3,49	31,8	52,7	0,602	0,468	0,198	0,151	0,208
	0,08	2,78	32,5	53,7	0,602	0,468	0,227	0,180	0,216
	0,09	2,29	33,1	54,6	0,602	0,468	0,256	0,209	0,223
	0,10	1,93	33,5	55,4	0,602	0,468	0,284	0,237	0,228
	0,11	1,64	33,9	56,2	0,602	0,468	0,313	0,266	0,229
	0,12	1,42	34,2	56,9	0,601	0,467	0,340	0,293	0,229
	0,13	1,24	34,6	57,5	0,601	0,467	0,368	0,321	0,228
	0,14	1,08	34,9	58,1	0,600	0,466	0,395	0,348	0,226
	0,15	0,96	35,1	58,6	0,599	0,465	0,422	0,375	0,224
	0,16	0,85	35,3	59,1	0,597	0,462	0,449	0,402	0,220
	0,17	0,76	35,4	59,6	0,594	0,458	0,472	0,425	0,214
	0,18	0,68	35,6	60,1	0,593	0,456	0,498	0,451	0,209
	0,19	0,61	35,7	60,5	0,591	0,455	0,525	0,478	0,204
	0,20	0,54	35,9	60,9	0,590	0,453	0,550	0,503	0,196

continuare tab. IV.6-1

d	h	b	C	C'	$\frac{C}{C'}$	$\mu=\left(\frac{C}{C'}\right)^{3/2}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}$	$\frac{\mu h i}{\Delta d}-0{,}047$	p
0,002	0,02	28,3	26,0	37,4	0,696	0,581	0,035	–	–
	0,03	14,4	27,8	40,6	0,685	0,569	0,052	0,005	0,015
	0,04	8,93	29,1	42,8	0,680	0,561	0,068	0,021	0,078
	0,05	6,16	30,1	44,6	0,675	0,556	0,084	0,037	0,127
	0,06	4,53	31,1	46,0	0,675	0,556	0,101	0,054	0,164
	0,07	3,49	31,8	47,3	0,672	0,551	0,117	0,070	0,186
	0,08	2,78	32,5	48,3	0,672	0,551	0,134	0,087	0,206
	0,09	2,29	33,1	49,2	0,672	0,551	0,150	0,103	0,218
	0,10	1,93	33,5	50,0	0,670	0,550	0,166	0,119	0,228
	0,11	1,64	33,9	50,7	0,669	0,548	0,182	0,135	0,234
	0,12	1,42	34,2	51,4	0,665	0,543	0,198	0,151	0,240
	0,13	1,24	34,6	52,0	0,665	0,543	0,214	0,167	0,244
	0,14	1,08	34,9	52,6	0,664	0,542	0,230	0,183	0,244
	0,15	0,95	35,1	53,2	0,660	0,537	0,245	0,198	0,244
	0,16	0,85	35,3	53,7	0,658	0,534	0,259	0,212	0,239
	0,17	0,76	35,4	54,2	0,653	0,529	0,273	0,226	0,235
	0,18	0,68	35,6	54,6	0,652	0,526	0,287	0,240	0,230
	0,19	0,61	35,7	55,0	0,650	0,524	0,302	0,255	0,226
	0,20	0,54	35,9	55,4	0,648	0,523	0,317	0,270	0,219
0,006	0,02	28,3	26,0	29,0	0,898	0,849	0,019	–	–
	0,03	14,4	27,8	32,0	0,869	0,810	0,027	–	–
	0,04	8,93	29,1	34,3	0,849	0,781	0,035	–	–
	0,05	6,16	30,1	36,0	0,837	0,765	0,042	–	–
	0,06	4,53	31,1	37,4	0,832	0,758	0,051	0,004	0,017
	0,07	3,49	31,8	38,6	0,823	0,748	0,059	0,012	0,069
	0,08	2,78	32,5	39,7	0,819	0,741	0,066	0,019	0,109
	0,09	2,29	33,1	40,6	0,813	0,735	0,073	0,026	0,143
	0,10	1,93	33,5	41,5	0,807	0,725	0,080	0,033	0,173
	0,11	1,64	33,9	42,3	0,801	0,717	0,088	0,041	0,195
	0,12	1,42	34,2	43,0	0,796	0,707	0,094	0,047	0,216
	0,13	1,24	34,6	43,5	0,795	0,705	0,101	0,054	0,233
	0,14	1,08	34,9	44,1	0,792	0,703	0,109	0,062	0,248
	0,15	0,96	35,1	44,6	0,787	0,699	0,116	0,069	0,260
	0,16	0,85	35,3	45,1	0,783	0,692	0,122	0,075	0,264
	0,17	0,76	35,4	45,6	0,777	0,685	0,129	0,082	0,266
	0,18	0,68	35,6	46,0	0,773	0,681	0,136	0,089	0,266
	0,19	0,61	35,7	46,4	0,769	0,675	0,142	0,095	0,265
	0,20	0,54	35,9	46,8	0,767	0,671	0,149	0,102	0,258

TABEL CENTRALIZÎND VERIFICĂRILE EXPERIMENTALE PRIVIND TRANSPORTUL ALUVIUNILOR TÎRÎTE DE DIFERITE DIMENSIUNI, PE SECTORUL MODELULUI DE RÎU ARGEȘ

$<Val> = 10^{-3}\ m^3$

Tabela IV.6-2

$i = 0,010$; $h = 0,108\ m$; $b = 1,70\ m$; $Q = 0,208\ m^3/s$

Nr. crt	Pentru intervalul de timp de 40 minute						Pentru intervalul de timp de 15 minute					
	Volume de aluviuni Val						Volume de aluviuni Val					
	calculate Val_c	lansate Val_L	transportate Val_{Tr}	$Val_c - Val_{Tr}$	$\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100$	$\left[\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100\right]^2$	calculate Val_c	lansate Val_L	transportate Val_{Tr}	$Val_c - Val_{Tr}$	$\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100$	$\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100\right)^2$
$d = 0,4$ mm ; $P_{max} = 0,200 \times 10^{-3}\ m^3/s$; $V_{al\ calculat} = 12 \times 10^{-3}\ m^3$ într-un minut ; $P_{curbă} = P_{max}$												
1	120	120	120	0,00	0,00	0,00	180	180	178	+2,0	+1,12	1,25
2	120	120	119	+1,0	+0,84	0,71	180	180	180	0,0	0,00	0,00
3	120	125	121	-1,0	-0,83	0,68	180	185	181	-1,0	-0,55	0,30
4	120	127	120	0,0	0,00	0,000	180	190	181	-1,0	-0,55	0,30
				Σ	+0,01	1,39				Σ	+0,02	1,86

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = +0,003\%$ Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = +0,005\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = 0,68\%$ Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = 0,79\%$

Nr. crt	calculate Val_c	lansate Val_L	transportate Val_{Tr}	$Val_c - Val_{Tr}$	$\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100$	$\left[\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100\right]^2$	calculate Val_c	lansate Val_L	transportate Val_{Tr}	$Val_c - Val_{Tr}$	$\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100$	$\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100\right)^2$
$d = 1$ mm ; $P_{max} = 0,229 \cdot 10^{-3}\ m^3/s$; $V_{al\ calculat} = 13,74 \times 10^{-3}\ m^3$ într-un minut ; $P_{curbă} = P_{max}$												
1	137,4	137,4	136	+1,4	+1,03	1,06	206,1	206,1	205	+1,1	+0,54	0,29
2	137,4	137,4	134	+3,4	+2,53	6,44	206,1	206,1	204	+2,1	+1,03	1,06
3	137,4	140,0	134	+3,4	+2,53	6,44	206,1	210,0	206	+0,1	+0,05	0,01
4	137,4	150	137	+0,4	+0,29	0,09	206,1	220,0	208	-1,9	-0,91	0,83
				Σ	+5,33	14,03				Σ	+0,71	2,19

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = +1,59\%$ Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = +0,18\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = 2,16\%$ Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = 0,85\%$

$<Val> = 10^{-3}\ m^3$ continuare Tabela IV.6-2

$i = 0{,}010$; $h = 0{,}108\ m$; $b = 1{,}70\ m$; $Q = 0{,}208\ m^3/s$

Nr. crt.	Pentru intervalul de timp de 10 minute – Volume de aluviuni Val – calculate Val_c	lansate Val_L	transportate Val_{Tr}	$Val_c - Val_{Tr}$	$\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100$	$\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100\right)^2$	Pentru intervalul de timp de 15 minute – Volume de aluviuni Val – calculate Val_c	lansate Val_L	transportate Val_{Tr}	$Val_c - Val_{Tr}$	$\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100$	$\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100\right)^2$
$d = 2$ mm ; $P_{max} = 0{,}244x10^{-3}\ m^3/s$; $V_{al\ calculat} = 14{,}64x10^{-3}$ într-un minut ; $P_{curbă} = 0{,}234x10^{-3} < P_{max}$; $V_{al\ curbă} = 14{,}04x10^{-3}\ m^3$ într-un minut												
1	140,4	140,4	140,0	+0,4	+0,29	0,08	210,6	210,6	210,0	+0,6	+0,29	0,08
2	140,4	140,4	139,0	+1,4	+1,01	1,02	210,6	210,6	209,0	+1,6	+0,77	0,59
3	140,4	145,0	143,0	-2,6	-1,82	3,32	210,6	215	210,0	+0,6	+0,29	0,08
4	140,4	150,0	142,0	-1,6	-1,13	1,27	210,6	218	212,0	-1,4	-0,66	0,44
				Σ	-1,65	5,69				Σ	+0,69	1,19

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = -0{,}41\%$ Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = +0{,}17\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = 1{,}38\%$ Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = 0{,}63\%$

Nr. crt.	Val_c	Val_L	Val_{Tr}	$Val_c - Val_{Tr}$	$\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100$	$\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100\right)^2$	Val_c	Val_L	Val_{Tr}	$Val_c - Val_{Tr}$	$\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100$	$\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}} 100\right)^2$
$d=5$ mm; $P_{max}=0{,}266x10^{-3}\ m^3/s$; $V_{al\ calc}=15{,}96x10^{-3}\ m^3/min$; $P_{curbă}=0{,}173x10^{-3} < P_{max}$; $V_{al\ curbă}=10{,}38x10^{-3}\ m^3/min$												
1	103,8	103,8	103	+0,8	+0,78	0,60	155,7	155,7	155	+0,7	+0,45	0,20
2	103,8	103,8	103,5	+0,3	+0,29	0,08	155,7	155,7	155	+0,7	+0,45	0,20
3	103,8	105	105	-1,2	-1,14	1,30	155,7	158	156	-0,3	-0,19	0,04
4	103,8	110	105	-1,2	-1,14	1,30	155,7	155	157	-1,3	-0,83	0,69
				Σ	-1,21	3,28				Σ	-0,12	1,13

Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = -0{,}30\%$ Valoarea medie a abaterii $M\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = -0{,}03\%$

Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = 1{,}05\%$ Abaterea medie pătratică $\sigma\left(\frac{Val_c - Val_{Tr}}{Val_{Tr}}\right) = 0{,}61\%$

Cap.V – CONTRIBUTII PRIVIND STABILITATEA LA EROZIUNE A ALBIILOR IN CURBE

§ 1.– Prezentarea cîtorva date din literatura de specialitate privind deformarea albiei în curbele curenților cu fața liberă

In urma cercetării literaturii de specialitate, care a fost accesibilă se poate formula constatarea de ordin general că problema deformării albiei în curbe este o problemă insuficient studiată.

Există o unanimitate de păreri referitoare la faptul că în curbe albia este mai mult expusă eroziunilor decît în sectoarele rectilinii.

Studiile experimentale efectuate în laboratoare ar putea fi grupate în următoarele patru categorii :

- experimente pentru stabilirea legităților meandrării naturale a albiilor (M.A.Velikanov) ;
- experimente pentru stabilirea imaginii generale a fenomenului deformației fundului albiei pe modele cu pereți rigizi (A.Shuckry, T.M.Prus-Chasinski);
- experimente pentru amplasarea prizelor de apă pe rîuri (A.S.Ofițerov, M.V.Potapov, experimente efectuate la I.S.C.H. și I.S.C.I.F.București); în general în acest domeniu există o bogată experiența atît pe plan național cît și internațional ;
- experimente avînd ca scop explicarea creșterii capacității de eroziune în curbele albiilor prismatice și evaluarea cantitativă a acestei creșteri (A.Ippen și P.Drinker, I.L.Rozowski).

Deoarece ultimul grup este mai important pentru problema studiată se vor prezenta în continuare cîteva date privind aceste experimente.

A.Ippen și P.Drinker au făcut studii în curbele canalelor trapezoidale cu următoarele dimensiuni :

- lățimea canalelor la fund $b = 30,5$ cm și 61 cm ;
- adîncimea de umplere $h = 5 \div 15$ cm ;
- coeficientul de inclinare al taluzurilor $m = 2,0$;
- coeficientul de rugozitate $n = 0,010$;
- unghiul de intoarcere al curentului $\alpha = 60^0$;
- raza de curbură relativă $1,25 \leq R/B \leq 3,5$,

în care R este raza de curbură a axului canalului iar B este lățimea canalului măsurată la oglinda apei.

Cu ajutorul tuburilor Pitôt de suprafață, preluorate în mod special de J.Preston, s-au măsurat și apoi calculat tensiunile tangențiale (τ) pe pereți solizi ai canalului folosind formula verificată de Preston :

$$\lg \frac{\tau d^2}{4\rho\nu^2} = -1{,}396 + 0{,}875 \lg \frac{(p_t - p_o)d^2}{4\rho\nu^2} \qquad (V.1-1)$$

în care : $(p_t - p_0)$ este sarcina viteză, înregistrată la tubul Pitôt ;

d este diametrul exterior al tubului ;

ρ este densitatea apei ;

ν este coeficientul cinematic de vîscozitate.

Domeniul de aplicabilitate al formulei de mai sus este :

$$4{,}5 < \lg \frac{(p_t - p_o)\, d^2}{4\rho\nu^2} < 6{,}5 \qquad (V.1-2)$$

In tabela următoare sînt prezentate unele rezultate ale experiențelor lui A.Ippen și P.Drinker care arată în mod concret cît variază efortul tangențial în cazul curbelor față de sectoarele rectilinii.

Tabela V.1-1

Nr.experienței	1	2	3	4-B	5	6	7
r_o/B	1,67	1,50	1,37	1,25	3,45	2,95	2,50
$\frac{\tau_{max.rectil.}}{\tau_{max.curb}}$	0,60	0,67	0,54	0,50	0,75	0,75	0,68

In tabela V.1-1 cu $\tau_{max.rectil}$ a fost notat efortul τ_{max} măsurat pe pereții canalului în sectorul rectiliniu și cu $\tau_{max.curb}$ efortul tangențial maxim pe sectorul în curbă.

Rezultatele autorilor citați prezintă însă unele neconcordanțe care se pot pune în evidență prin aceea că tensiunea tangențială medie pe sectorul rectiliniu calculată pe calea integrării grafice a distribuției eforturilor tangențiale pe perimetrul udat determinată prin măsurători și calculată cu relația $\sqrt{gRI}$ prezintă diferențe de pînă la 20 % .

La laboratorul de aerodinamică al Institutului politehnic "M.I.Kalinin" din Leningrad, condus de profesorul Loițianski, s-au făcut studii speciale privind domeniul de valabilitate al relației propuse de Preston și s-a ajuns la concluzia că aceste limite nu sînt corecte.

In experiențele desfășurate în perioada anilor 1948-5o, I.L.Rozowski a utilizat modele de canale curbe cu secțiunea transversală poligonală avînd următorii parametrii principali:

- unghiul de întoarcere al curentului 90^0 ;
- înălțimea maximă de umplere h_{max} = 14 cm ;
- lățimea la oglinda apei $B \cong 160$ cm ;
- curbura relativă a liniei axiale $r_0/B \cong 3,1$.

Creșterea capacității de erodabilitate a fost determinată nemijlocit măsurîndu-se viteza medie la care apar primele eroziuni.S-a constatat că primele eroziuni ale patului au apărut spre sfîrșitul curbei,pe malul concav,la viteza medie pe verticala în axa curentului de $\overline{V}$ = 0,22 m/s,în timp ce primele eroziuni în porțiunea rectilinie au apărut la $\overline{V}$ = 0,28 m/s.

Rezultă că se poate calcula un coeficient de scădere al vitezei medii,la care începe eroziunea,egal cu raportul dintre viteza medie pe sectorul în curbă și pe sectorul rectiliniu,ambele luate în momentul în care începe prima eroziune :

$$k = \frac{0,22}{0,28} = 0,78 \qquad (V.1-3)$$

Ca aspecte critice referitoare la aceste experiențe s-ar putea semnala următoarele [illegible] :

- viteza medie în [illegible] ala axială nu pare a fi cea mai indicată viteză caracteristică,avînd în vedere variația relativ mare a adîncimilor pe secțiunea transversală (radială) ;
- modelul a fost construit din nisip avînd fracțiuni de diferite dimensiuni,cuprinse între 0,1 mm și 2 mm ceea ce nu permite stabilirea unei dependențe a fazei incipiente a eroziunii de diametrul particulelor care alcătuiesc patul.

O altă experiență a fost efectuată de Rozowski într-un canal de secțiune dreptunghiulară cu pereți rigizi și fundul erodabil,avînd curbura relativă a axului r_0/B = 2,5. In această experiență coeficientul k,exprimînd raportul vitezelor la care începe eroziunea,a avut valoarea 0,80.

Pe baza rezultatelor experimentale menționate,precum și a altora,Rozowski a propus,pentru prima dată pe plan mondial, o metoda de calcul a vitezelor de eroziune în curbele canalelor După această metodică coeficientul de scădere a vitezelor de eroziune are expresia :

$$k = \frac{V_{er.\ curb.}}{V_{er.\ rectil.}} = k_1 k_2 k_3 k_4 \qquad (V.1-4)$$

în care : k_1 este un coeficient care exprimă creșterea în curbe a maximului vitezei medii după verticală ;

k_2 este un coeficient care exprimă faptul că viteza maximă în curbe se observa spre maluri unde adîncimea apei este mai mică ;

k_3, coeficient care exprimă circumstanța că pe malul concav viteza datorata circulației transversale este dirijată de sus în jos pe taluz ;

k_4, coeficient ce caracterizează creşterea relativă a vitezei de fund în curbe.

In determinarea concretă a valorilor coeficienților descrişi mai sus şi asupra metodicii de calcul în general, se pot formula unele rezerve referitoare la :

1.- Se compară stabilitatea particulelor de aluviuni de pe taluzul malului concav la sfîrşitul curbei şi a celor din axa fundului canalului în porțiunea rectilinie; alegerea acestor poziții în care s-a considerat stabilitatea particulelor nu este însă justificata în mod logic ;

2.- coeficientul k_1 s-a determinat cu ajutorul măsurătorilor pe modele ;

3.- coeficientul k_2 s-a calculat folosind formula empirică a lui G.I.Samov, formula care dă uneori erori destul de mari

4.- coeficientul k_3 s-a calculat folosind formula lui B.A.Pişkin, care dă în general o valoare mai mică a coeficientului k_3 decît cea reala ;

4.- coeficientul k_4 a fost luat egal cu unitatea, deşi după cum rezultă din experiențele altor cercetători (N.F.Danelia G.N.Zambahidze) şi chiar ale lui Rozowski, în curbe se produce o importantă creştere a vitezelor de fund, ceea ce face să nu fie acceptabilă valoarea considerată de Rozowski.

Ca o concluzie la cele prezentate mai sus rezultă că este necesară o îmbunătățire a metodicii de calcul propusă de Rozowski pentru determinarea cantitativa a creşterii capacității de erodare a curentului în curbe.

§ 2.- Propunere de evaluare a capacității de eroziune a curentului pe sectoarele curbe, comparativ cu sectoarele rectilinii

Pentru a ține seama de faptul că viteza la care încep să se produca eroziunile pe sectoarele în curba este mai mica decît cea corespunzătoare sectoarelor rectilinii se va introduce un coeficient de reducere al vitezei de eroziune în curbe notat c :

$$V_{eroz.curb.} = \frac{V_{eroz.rectil.}}{c} \quad , \quad c > 1 \qquad (V.2-1)$$

Aceste viteze trebuiesc interpretate în modul următor. Să presupunem că pe un curs de apă avînd un pat omogen debitul de apă crește în trepte, fiecare treaptă avînd o durată de existență suficient de lungă pentru a se stabili un regim permanent și a permite inițierea procesului de eroziune. La un debit anumit vor apare primele eroziuni pe sectorul în curbă, viteza medie corespunzătoare fiind notată $v_{eroz.curbă}$. Această viteză medie se calculează prin împărțirea debitului la secțiunea vie din sectorul rectiliniu, indicele exprimînd doar faptul că viteza corespunde începutului procesului de eroziune în curbă.

Continuînd cu creșterea treptată a debitului, la un debit anumit se va inițializa procesul de eroziune și pe sectorul rectiliniu, viteza medie corespunzătoare fiind notată $v_{eroz.rectil}$ și fiind calculată prin împărțirea debitului respectiv la secțiunea vie din sectorul rectiliniu. Problema care trebuie rezolvată este determinarea valorilor coeficientului c, deoarece problema determinării vitezelor de eroziune în aliniament este relativ mult studiată și finalizată în relații de calcul aplicabile în proiectare /V-1/, /S-5/, /G-2/, /L-4/ etc.

Ca și în metoda lui Rozowski, coeficientul c se va considera produsul mai multor coeficienți c_i, exprimînd influența diferitelor schimbări care se produc în curgerea pe sectorul în curbă în comparație cu curgerea pe sectorul rectiliniu.

$$c = c_1 \, c_2 \, c_3 \, c_4 \, c_5 \qquad (V.2-2)$$

Coeficientul c_1. Acest prim coeficient ține cont de faptul că la aceeași viteză medie pe secțiunea de curgere, viteza medie pe verticală are o cu totul altă distribuție în cazul sectorului în curbă decît în cazul sectorului rectiliniu :

$$c_1 = \frac{\bar{v}_{curb.}}{\bar{v}_{rectil.}} \qquad (V.2-3)$$

In relația (V.2-3) vitezele medii trebuie considerate pe verticale care se corespund, adică pe verticale situate la aceeași distanța relativă y/B de axul curentului. Evident, interesează verticalele în care coeficientul c_1 are valorile cele mai mari. Se menționează că din cauza faptului că c este un produs al mai multor coeficienți s-ar putea ca valoarea maximă a lui să nu se obțină pentru nici una din valorile maxime ale coeficienților factori, respectiv valoarea maximă a lui c să nu corespundă valorii maxime a coeficientului c_1. Din această cauză se recomandă ca în calculele practice să se calculeze acest raport (V.2-3) în mai multe verticale, cu valorile cele mai mari ale coeficientului c_1 pentru a determina prin încercări valoarea maximă a coeficientului c.

Referitor la viteza $\overline{v}_{rectil}$, în cadrul tezei la Cap. II, s-a dat următoarea relaţie referitoare la distribuţia vitezelor medii verticale pe laţimea curentului în aliniament :

$$\frac{\overline{v}_{rectil}}{v} = 1 + \frac{\sqrt{g}}{C}\left[2 - f(\eta)\right] \qquad (V.2-4)$$

unde $f(\eta)$ se calculează cu relaţia (II.2-1),

În ceea ce priveşte repartiţia pe laţimea curentului a vitezei $\overline{v}_{curb}$, în cap. III.§ 5, s-a elaborat un algoritm şi un program de calcul care determină succesiv, începînd din secţiunea de intrare în curbă, repartiţia vitezelor medii verticale.

Dacă există posibilităţi de executare a unei modelări atunci se vor folosi vitezele medii verticale determinate pe cale experimentală, modelarea făcîndu-se fie cu pat fix, fie cu pat mobil.

Coeficientul c_2. Acest al doilea coeficient ţine cont de faptul că distribuţia adîncimilor apei pe lăţimea curentului în curbe, este diferită de cea pe porţiunea rectilinie, unde nivelul apei este aproximativ orizontal.

Pentru a determina valoarea coeficientului c_2 este necesară cunoaşterea influenţei pe care adîncimea apei o are asupra vitezei de eroziune.

În acest scop se vor folosi relaţiile lui Levi-Knoroz, care conform /M-1, pg.30/ sînt şi cele mai răspîndite (în care s-a înlocuit raza hidraulică cu adîncimea h) :

$$v_{cr} = a\sqrt{g\,\frac{\rho_s - \rho}{\rho}\,d}\;\left(\frac{h}{d}\right)^m \qquad (V.2-5)$$

unde, cu excepţia observaţiei de mai sus, semnificaţiile au fost prezentate la (IV.1-2).

Pentru d < 0,20 mm, Levi-Knoroz recomandă formula :

$$v_{cr} = \frac{100\, h^{1/8}\, d^{0,05}}{\sqrt{7,5 + \sqrt[4]{h}}} \qquad (V.2-6)$$

în care d şi h se introduc în mm.

Rezultă, folosind relaţiile Levi-Knoroz, următoarea expresie a coeficientului c_2 :

$$c_2 \begin{cases} \left(\dfrac{h_{curb.}}{h_{rectil.}}\right)^m & \text{pentru } d > 0,20 \text{ mm}; m = 1/4-1/6 \text{ (frecvent 1/6)} \\[2ex] \left(\dfrac{h_{curb.}}{h_{rectil}}\right)^{1/8}\left(\dfrac{7,5+\sqrt[4]{h_{rectil}}}{7,5+\sqrt[4]{h_{rectil}}}\right)^{1/2} & \text{pentru } d \leq 0,20 \text{ mm cu d în mm şi h în mm.} \end{cases} \qquad (V.2-7)$$

Se poate folosi de asemenea formula lui Samov G.I. :

$$v_{cr} = 1{,}3\left(\frac{0{,}01}{d^{1/6}} + 4{,}7\,d^{1/3}\right)h^{1/6}\varphi \qquad (V.2-8)$$

în care : d este diametrul aluviunilor în m ;

h este adîncimea curentului în m ;

$\varphi = \frac{F_a}{F_a + F_b}$ un coeficient care ţine cont de neomogenitatea aluviunilor ;

Fa, suprafaţa figurii deasupra curbei granulometrice;

Fb, suprafaţa figurii dedesubtul curbei granulometrice.

Prin utilizarea formulei lui Samov rezultă :

$$c_1 = \left(\frac{h_{curb}}{h_{rectil}}\right)^{1/6} \qquad (V.2-9)$$

Determinarea mărimilor h_{rectil} nu prezintă dificultăţi, avînd în vedere că pe sectorul rectiliniu se poate considera nivelul apei orizontal.

In ceea ce priveşte adîncimea h_{curb} se poate folosi algoritmul şi programul de calcul prezentat în cap. III § 5.

O soluţie mai bună constă în efectuarea unor cercetări prin modelare hidraulică pe modele cu pat fix sau cu pat mobil.

Coeficientul c_2 se calculează pe aceleaşi verticale pentru care s-a calculat şi coeficientul c_1.

Coeficientul c_3. Acest al treilea coeficient ţine cont de condiţiile defavorabile din punct de vedere al stabilităţii în care se găsesc particulele aflate pe un taluz în comparaţie cu particulele de pe un fund orizontal. Rezultă că acest coeficient trebuie folosit atunci cînd înclinarea malurilor sau local chiar a fundului este mai mare decît înclinarea taluzului natural.

Pe taluz se va considera relaţia lui Pişkin B.A. modificată, în sensul unei apropieri faţă de rezultatele experimentale, prin neglijarea unui termen negativ :

$$c_3 = \sqrt[4]{\frac{m^2 - m_0^2}{1 + m^2}} \qquad (V.2-10)$$

unde : m este coeficientul de pantă al talului ;

m_0, coeficientul de pantă al taluzului natural.

După cum este cunoscut din geotehnică, studiindu-se echilibrul unei particule de teren pe un taluz pe care se scurge o lamă subţire de apă se ajunge la următoarea condiţie de echilibru $m \geq 2\,m_0$ condiţie care trebuie să fie respectată şi atunci cînd se utilizează relaţia propusă. Pentru cazul în care $m \leq 2\,m_0$ eroziunea se va produce dacă nu se protejeaza taluzul, oricît de mică ar fi viteza de curgere a apei.

Coeficientul c_4. Acest coeficient ţine cont de creşte -

rea relativă a vitezelor de fund datorată curgerii secundare care apare pe sectoarele în curbă, față de sectoarele în aliniament. Deoarece în aliniament această circulație apare doar local datorită unor neregularități ale albiei, în plan vertical și în plan orizontal nu se pot stabili mărimi omoloage. De aceea coeficientul c_4 se va defini ca fiind raportul dintre vitezele rezultante la o distanță convențională de fund. In lipsa oricăror indicații în literatura de specialitate și în concordanță cu unele încercări preliminare, s-a considerat drept distanță caracteristică distanța de fund egala cu 0,05 h :

$$c_4 = \frac{\left(\sqrt{\overline{U}^2_{0,05} + \overline{W}^2_{r0,05}}\right)_{curb}}{\overline{U}_{0,05\,curb}} = \left(\sqrt{1 + \frac{\overline{W}^2_{r0,05}}{\overline{U}^2_{0,05}}}\right)_{curb} \qquad (V.2\text{-}11)$$

Utilizînd relațiile stabilite în cap. II și cap. III se poate calcula raportul $\frac{\overline{W}_{r0,05}}{\overline{U}_{0,05}}$ și ca urmare și c_4 :

$$\frac{\overline{W}_r}{v} = \frac{C}{10}\sqrt{\frac{B}{h}}\,\frac{h}{r}\,\frac{\theta - \theta_{max}}{\theta_{lim} - \theta_{max}} f_w(\xi)\,;\; f_{w0,05}(\xi) = 0,284 \;(\text{TAB.III.4-1}) \qquad (III.4\text{-}22)$$

$$\frac{\overline{U}}{v} = \frac{\overline{U}_{max}}{v} - \frac{v_*}{v} f(\xi) = 1 - 2\frac{\sqrt{g}}{C} - \frac{\sqrt{g}}{C} f(\xi) \qquad (II.1\text{-}3\text{-}20)$$

$$f_{0,05}(\xi) = 6,7034 \;(\text{TAB.II.1-3-1})$$

$$\frac{\overline{W}_{r0,05}}{\overline{U}_{0,05}} = \frac{0,0284\,C\,\frac{h}{r}\sqrt{\frac{B}{h}}\;\frac{\theta - \theta_{max}}{\theta_{lim} - \theta_{max}}}{1 - 4,7034\,\frac{\sqrt{g}}{C}} \qquad (V.2\text{-}12)$$

$$c_4 = \sqrt{1 + \left(\frac{0,0284\,C\,\frac{h}{r}\sqrt{\frac{B}{h}}\;\frac{\theta - \theta_{max}}{\theta_{lim} - \theta_{max}}}{1 - 4,7034\,\frac{\sqrt{g}}{C}}\right)^2} \qquad (V.2\text{-}13)$$

Coeficientul c_5. Acest al cincilea coeficient ar trebui să țină cont de modificarea caracteristicilor de turbulență care apar pe sectorul în curbă în comparație cu sectorul în aliniament.

Din nefericire există foarte puține date publicate referitoare la această problemă. Singurele măsurători în această problemă (de care am dispus) se datoresc lui E.Mässer, care a determinat unele caracteristici ale turbulenței prin două metode : cu ajutorul filmării și cu ajutorul termoanemometrului. S-a stabilit în mod incontestabil că acolo unde apar creșteri ale vitezei și anume la malul convex la începutul curbei și la malul concav la sfîrșitul curbei, intensitatea turbulenței scade. La sfîrșitul curbei, pe înălțimea 0,3 h de la fund, mărimea $\frac{\sqrt{\overline{U'^2}}}{\overline{U}}$ este în medie, pe lățimea curentului cu 28 % mai mică decît în cazul canalului rectiliniu de aceeași secțiune (în puncte izolate scăderea ajungînd la 50 %). Dacă se face medierea pe întreaga secţiune de curgere în curbă se constată totuşi o creştere în raport cu canalul rectiliniu.

În concluzie, pînă la efectuarea unor cercetări detaliate se va considera în continuare $c_5 = 1$.

§ 3.- Aplicarea metodei propuse pentru determinarea vitezei de eroziune în curbe la sectorul de rîu Argeş modelat

Metoda propusă anterior pentru determinarea vitezei de eroziune în curbe a fost utilizată şi implicit testată cu ocazia rezolvării unei probleme concrete cercetată în laboratorul Catedrei CHIF în cadrul unui contact încheiat cu ISPH Bucureşti referitor la rîul Argeş în zona U.H.E. "Gh.Gheorghiu Dej". Între alte probleme, s-a cerut şi verificarea consolidării radierului în zona malului concav cu anrocamente, întrebarea fiind dacă mărimea anrocamentelor propuse de proiectant asigură stabilitatea acestora în timpul viiturilor. Această verificare s-a făcut, în cadrul contractului, numai prin modelare hidraulică şi a generat cercetări teoretice, puse la punct ulterior şi prezentate în capitolul de faţă.

Anrocamentele se extind în zona profilelor $P_{124}-P_{123}-P_{122}-P_{121}-P_{120}$ numerotarea făcîndu-se în sens contrar sensului de curgere a apei.

Avînd în vedere că zona periculoasă în ceea ce priveşte eroziunea este situată totdeauna spre sfîrşitul curbei, verificarea s-a făcut în ultimele trei profile $P_{122}-P_{121}-P_{120}$ cărora le corespund respectiv următoarele unghiuri la centru de la începutul curbei $\theta = 55^0, 85^0$ şi 110^0. Anrocamentele ocupa zona spre malul concav cu lăţime variabila (fig.V.3-1)

Determinările de viteze s-au făcut în fiecare secţiune pe verticale situate la distanţele relative $\eta = 0,4$, $0,6$ şi $0,8$; rezultatele sînt indicate în tabela V.3-1. În tabel au fost incluse şi alte cîteva valori necesare ca : înălţimile măsurate ale nivelului apei h, razele de curbura respective r ; laţimea la oglinda apei $B = 2,10$ m.

Pentru a putea aprecia stabilitatea anrocamentelor este necesară cunoaşterea vitezei de eroziune funcţie de dimensiunile anrocamentelor. In acest scop s-a utilizat formula Levi-Knoroz, făcîndu-se şi verificările rezultatelor respective pe modelul hidraulic construit în laborator. De asemenea s-au determinat vitezele de eroziune şi pe baza instrucţiunilor "Hidroener-

„Gosproiect" (URSS) pentru calculul vitezei de antrenare folosind vitezele unitare de antrenare a particulelor izolate/D.1,pg.113/

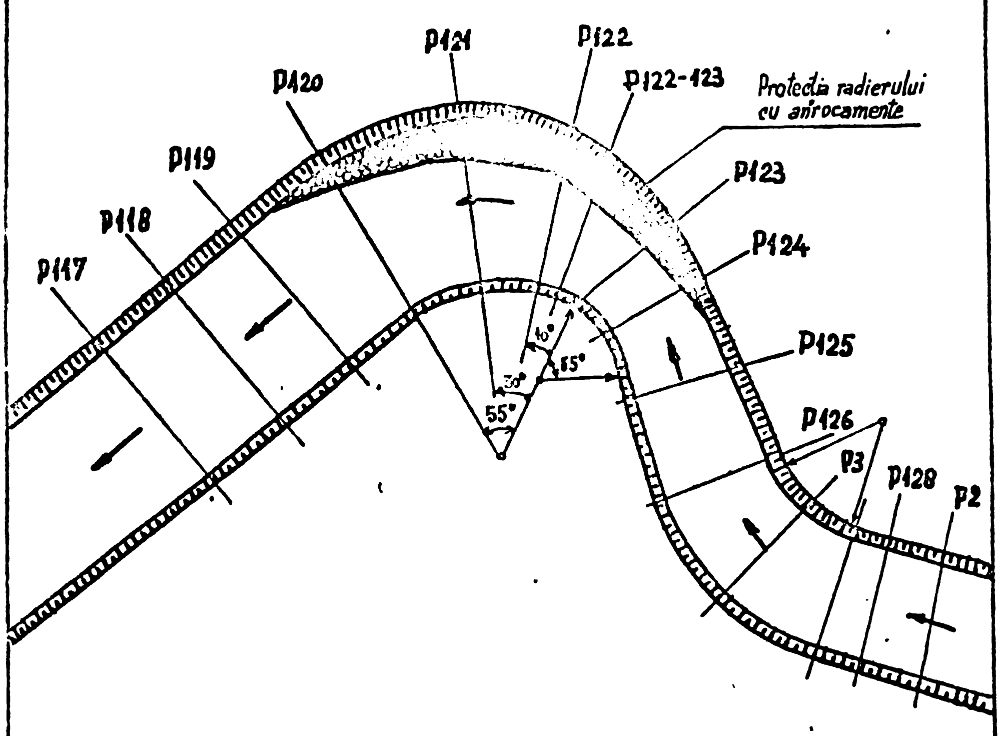


FIG.V.3-1 Modelul sectorului de rîu Argeș în zona protejată cu anrocamente

Date cunoscute inițial

Tabela V.3-1

Profilul	η	$\overline{V}$ Viteze măsurate în curbă în m/s	h Inălțimi ale apei măsurate în m	r Raze de curbură în m	Zona ocupată de anrocamente
P_{122}	0,4 0,6 0,8	0,990 0,770 0,500	0,142 0,165 0,160	3,95 4,20 4,45	da da da
P_{121}	0,4 0,6 0,8	1,196 0,937 0,781	0,145 0,172 0,145	3,95 4,20 4,45	nu da da
P_{120}	0,4 0,6 0,8	1,410 1,310 1,140	0,122 0,131 0,175	3,95 4,20 4,45	nu nu da
P 0 aliniament	0,4 0,6 0,8	1,090 1,070 1,050	0,108 0,100 0,100	- - -	nu nu nu

La dimensiunile anrocamentelor luate în considerare, au rezultat viteze de eroziune în aliniament prezentate în tabela V.3-2.

Viteze de eroziune în aliniament

Tabela V.3-2

Viteza de eroziune calculată cu relația \ d mm	20	40	60	70	80	100
Levi-Knoroz $v_a = a\sqrt{g\frac{\rho_s-\rho}{\rho}d}\left(\frac{h}{d}\right)^n$	0,754	0,950	1,090	1,145	1,200	1,290
Hidroenergoproiect $v_a = v_{a_1} h^{0,2}$	0,576	0,864	1,058	1,108	1,151	1,250

Utilizînd metoda propusă în teza s-au obținut următoarele valori ale coeficienților c_i și c prezentate în tabela V.3-3

Valorile coeficienților de reducere c_i și c

Tabela V.3-3

Profilul	η	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c
P_{122}	0,4	0,909	1,047	1,0	1,025	1,0	0,975
	0,6	0,720	1,072	1,0	1,025	1,0	0,791
	0,8	0,476	1,069	1,0	1,022	1,0	0,520
P_{121}	0,4	1,090	1,051	1,0	1,009	1,0	1,164
	0,6	0,875	1,0[illegible]	1,0	1,009	1,0	0,956
	0,8	0,744	1,0[illegible]	1,0	1,007	1,0	0,788
P_{120}	0,4	1,292	1,021	1,0	1,000	1,0	1,320
	0,6	1,223	1,032	1,0	1,000	1,0	1,264
	0,8	1,085	1,083	1,0	1,000	1,0	1,178

Valorile subunitare ale coeficientului c indică faptul că în curbă există și zone în care capacitatea de erodare a curentului este mai mică decît cea din aliniament, concluzie verificată de existența în natură a unor zone de depuneri. In mod acoperitor se va considera în aceste cazuri pentru coeficientul c valoarea unitară.

In cazul valorilor supraunitare ale coeficientului c se determină valorile vitezelor de eroziune în curbă $v_{eroz.curb}$ în ipoteza că viteza de eroziune pe sectorul rectiliniu $v_{eroz.rectil}$ ar fi chiar egală cu viteza medie reală de 1,06 m/s, ceea ce revine la înmulțirea vitezei de 1,06 m/s cu coeficientul c. Prin compararea valorilor obținute pentru $v_{eroz.curb}$ cu valorile vitezelor de eroziune înscrise în tabela V.3-2 se pot alege dimensiunile minime ale anrocamentelor în așa fel ca aceastea să nu fie antrenate de apă. Acest deziderat se realizează în cazul în care viteza de eroziune corespunzătoare unui diametru din tabela V.3-2 este mai mare sau egală cu $v_{eroz.curb}$. In tabela V.3-4 sînt date dimensiunile minime ale anrocamentelor stabilite pe această cale.

Tabela V.3-4

Profil	η	v_{reotil} o în m/s	d_{minim} în mm	Zona unde se pun anrocamente	Observaţii
P_{122}	0,4	1,06	60	da	Pentru protecţia radierului sînt necesare anrocamente cu dimensiunea minimă 60 mm (1,50 m în natură) cu excepţia secţiunii P_{120} unde sînt necesare anrocamente cu dimensiunea minimă de 80 mm (2,0 m în natură). La distanţele relative 0,4 şi 0,6 în P_{120} ar fi necesare anrocamente cu dimensiunea de 100 mm (2,5 m în natură)
	0,6	1,06	60	da	
	0,8	1,06	60	da	
P_{121}	0,4	1,235	80	nu	
	0,6	1,06	60	da	
	0,8	1,06	60	da	
P_{120}	0,4	1,40	100	nu	
	0,6	1,34	100	nu	
	0,8	1,24	80	da	

Concluziile obţinute, verificate integral prin încercări pe model, demonstreaza concludent forţa mare de antrenare pe care o au curenţii de apă în timpul viiturilor, la mal concav, mai ales dacă şi panta albiei este relativ mare (în zona studiată panta a fost de 0,817 ‰).

In acest fel s-a explicat şi avansarea mare a procesului de eroziune în zona considerată (în profilul P_{120}, c = = 1,32 - 1,10) precum şi faptul că măsurile iniţiale de protecţie au fost subdimensionate.

Cap.VI - SIMILITUDINE SI MODELARE HIDRAULICA

§ 1.- Criterii de similitudine

Similitudinea curenţilor lichizi cu faţa liberă se bazează pe considerentul că forţa predominantă care produce curgerea este forţa gravitaţională. Pe de altă parte mişcarea sub acţiunea unei forţe constante se desfăşoară conform legii lui Newton, ceea ce implică existenţa forţelor inerţiale ca o a doua categorie de forţe preponderente. Aceste considerente conduc la legea de similitudine Froude, căreia îi sînt proprii următoarele relaţii între coeficienţii de scara (definiţi ca raportul a două mărimi omoloage din fenomenul natural şi respectiv, din fenomenul model) :

- pentru viteze $\alpha_v = \alpha_\ell^{1/2}$; - pentru pierderi de sarcină $\alpha_{hr} = \alpha_\ell$
- pentru timp $\alpha_t = \alpha_\ell^{1/2}$; - pentru pante (piezometrică, energetică) $\alpha_i = 1$
- pentru debit $\alpha_Q = \alpha_\ell^{5/2}$;
- pentru forţe $\alpha_F = \alpha_\ell^3$; - pentru presiuni $\alpha_p = \alpha_\ell$
- pentru rugozităţi $\alpha_n = \alpha_\ell^{1/6}$; - pentru coeficienţi de rezistenţă $\alpha_c = \alpha_\lambda = 1$

(VI.1-1)

In relaţiile de mai sus s-a considerat coeficientul de scară al lungimilor $\alpha_\ell = \frac{L}{\ell}$ ca fiind independent, valoarea lui alegîndu-se în general funcţie de disponibilităţile laboratorului ca amplasament al modelului, debit de alimentare, posibilităţi de finanţare etc. După recomandările din literatură /M-1/,/L-10/ /R-7/ se poate alege α_ℓ = 100...1000. Evident alegerea unui coeficient de scară mai mic are efect favorabil asupra preciziei rezultatelor.

Modelarea rîurilor se poate realiza cu scară nedeformată (recomandabil), dar în anumite situaţii concrete poate apare necesitatea realizării unor modele distorsionate.

Intrucît în cadrul laboratorului Catedrei CHIF s-a dispus de suficient teren pentru amplasarea modelului şi de debite suficient de mari s-a executat model nedistorsionat, de aceea în continuare vor fi făcute rezumativ, cîteva consideraţii suplimentare privind similitudinea în această situaţie.

După cum s-a menţionat, coeficientul de scară al lungimilor este independent, totuşi această independenţă nu este absolută, ci relativă fiind condiţionată de o serie de factori limitativi, dintre care s-au indicat anterior factorii legaţi de disponibilităţile laboratorului.

Un prim factor restrictiv care trebuie respectat este încadrarea în domeniul de automodelare în raport cu criteriul Reynolds, care să asigure independenţa în raport cu acţiunea forţelor de frecare moleculara, vîscoasă deoarece în cazul legii de similitudine Froude aceste forţe nu se reproduc la scara forţelor preponderente (gravitaţionale, inerţiale). În acest scop s-a folosit graficul Knoroz-Shields /L-10 pg.128/ care dă următoarele două condiţii exprimate cu ajutorul a două numere Reynolds, scrise respectiv cu viteza medie a curentului (v) şi cu viteza tensiunii de frecare (viteza dinamica v_*):

$$Re_v = \frac{v d}{\nu} > 300 \qquad \text{(VI.1-2)}$$

$$Re_{v_*} = \frac{v_* d}{\nu} > 50$$

în care ν este coeficientul cinematic de vîscozitate a apei, iar d este diametrul particulelor constituente ale patului.- Se menţioneaza că respectarea relaţiilor anterioare de automodelare asigura implicit realizarea regimului turbulent şi pe model.

O a doua condiţie restrictivă o reprezintă limita inferioară a vitezei pentru apariţia valurilor. După /M-1/ şi /L-10/ în cazul curgerii apei cu suprafaţa liberă limitată de aer, viteza minimă este 0,23 m/s. Dacă viteza la suprafaţa apei coboară sub această limita nu se mai respectă similitudinea suprafeţei libere din natură şi de pe model ceea ce nu este acceptabila în problema studiată.

O altă condiţie restrictiva, specifică problemei studiate, se referă la asigurarea unei adîncimi minime pe malul convex, care sa permita efectuarea măsurătorilor în condiţii acceptabile de precizie.

O altă condiţie care trebuie realizată este aceea a asigurării regimului lent (respectiv rapid) de curgere atît în fenomenul natural cît şi în fenomenul de pe model. Această condiţie este automat satisfăcută în cazul modelelor nedeformate.

In fine mai trebuie menţionate condiţiile de similitudine care au fost folosite pentru modelarea protecţiei de mal şi a aluviunilor.

Protecţia de mal se execută în natura sub forma unor plăci de beton armat ($\gamma_{b.a.} = 2400$ kgf/m^3), iar pe model din plăci de mortar de ciment ($\gamma_{m.} = 2000$ kgf/m^3). Pentru a păstra raportul greutăţilor impus de similitudinea Froude şi a păstra în acelaşi timp şi raportul forţelor hidrodinamice (care cere păstrarea raportului suprafeţelor dinspre apa ale plăcilor a fost necesar ca plăcile sa fie modelate cu un coeficient de scara al grosimilor diferit de coeficientul de scara al lungimilor :

$$\alpha_{h\,placă} = \frac{\gamma_{m.}}{\gamma_{b.a.}} \cdot \alpha_{\ell} \qquad \text{(VI.1-3)}$$

Pentru modelarea transportului de aluviuni s-a avut în vedere relaţia vitezei critice Levi-Knoroz /L-10/ :

$$v_a = a\sqrt{g\,\frac{\rho_1-\rho}{\rho}\,d}\;\left[\frac{R}{d}\right]^m \qquad \text{(VI.1-4)}$$

din care, prin aplicarea regulii scărilor, în condiţiile modelării Froude a rezultat scara pentru diametrul aluviunilor

$$\alpha_d = \alpha_{\ell} \qquad \text{(VI.1-5)}$$

Deci, în cazul în care aluviunile pe model sînt formate din acelaşi material ca şi în natura, avînd aceeaşi densitate şi greutate specifică, similitudinea geometrica este suficientă. Aceasta concluzie este formulata şi în /B-1/.

§ 2.- Modelul unui sector al rîului Argeş

Modelul sectorului de rîu Argeş realizat în cadrul laboratorului catedrei de CHIF a fost făcut pe baza planurilor predate de I.S.P.H. Bucureşti.

La alegerea coeficientului de scara al lungimilor s-a ţinut cont de valorile uzuale ale acestui coeficient ca şi de toate cerinţele necesare respectării legilor de similitudine menţionate in paragraful anterior. La definitivarea scarii s-a avut in vedere şi caracterul special al unor probleme la care modelarea hidraulică trebuie sa raspunda. Nefiind o modelare de rutina, cerind raspuns la unele probleme speciale la care nu existau metode teoretice de calcul, chiar cu caracter aproximativ care sa permită o comparare a rezultatelor, s-a aplicat regula respectării tuturor restricţiilor menţionate. Faţă de coeficienţii de scara ai lungimilor uzuale de modelare a albiilor, mai mici ca 100, a rezultat un coeficient de scara al lungimilor egal cu 25, tocmai din cauza problemelor speciale care trebuiau modelate. S-a obţinut astfel un model de dimensiuni relativ mar in comparaţie cu cele descrise in mod uzual in literatura de specialitate, dar cu posibilităţi superioare în ceea ce priveşte concluziile care se pot obţine.

O problemă care se rezolvă de obicei dificil în cazul modelarii albiilor este realizarea pe model a unei rugozităţi în concordanţă cu cerinţele legii de similitudine adoptate. După mai multe tatonări, în conformitate cu indicaţiile din literatura de specialitate şi ţinînd cont de caracteristicile albiei, în lipsa unor valori ale coeficientului de rugozitate n date de proiectant, s-au adoptat valori ale coeficientului n diferite pentru patul alcătuit din material aluvionat grosier (n = 0,037) şi pentru malurile protejate cu plăci (n = 0,017), iar in final s-a adoptat o valoare unică (n = 0,034) calculată ca o medie ponderată a celor două valori menţionate, pentru condiţiile din natură. Pe model a rezultat corespunzător o valoare medie a coeficientului de rugozitate n = 0,02 . S-a constatat cu ocazia tarării modelului, tarare pentru care s-au folosit sectoarele rectilinii ale modelului, că pe model coeficientul de rugozitate efectiv a fost iniţial mai mic decît cel cerut de legile de similitudine adoptate. Din acest motiv s-a mărit treptat rugozitatea modelului pînă la atingerea rugozităţii de calcul prin introducerea unor rugozităţi suplimentare din pietriş mărunt (3-4 mm) fixat in lapte de ciment pe fundul de beton al canalului. Controlul tarării s-a făcut prin realizarea adîncimii de apă, de calcul, la debitul dat şi la panta dată.

Modelul a fost amplasat pe platforma din zona S.E. a laboratorului catedrei de construcţii hidrotehnice şi îmbunătăţiri funciare din cadrul Institutului politehnic "Traian

Vuia"·Timişoara.

In foto Nr.1 este prezentată o vedere de ansamblu a modelului, iar în foto Nr.2 se vede capul de alimentare cu sectorul rectiliniu de acces şi cu dispozitivul de liniştire. Se observă pe acest sector modul în care a fost realizată rugozitatea necesară pe model, prin procedeul menţionat anterior, un detaliu fiind prezentat în foto Nr.3.

Profilele în care s-au făcut măsurătorile de niveluri şi viteze au fost marcate, cu vopsea pe pereţii canalului. Măsurarea nivelurilor şi vitezelor s-a făcut de pe o podină metalică, nedeformabila, rezemată pe două glisiere realizate din ţevi metalice (foto Nr.4) care au încadrat modelul şi pe care au fost de asemenea marcate poziţiile secţiunilor de măsură. Vitezele s-au măsurat cu ajutorul unei sonde diferenţiale (tub Prandtl - Pitot) montată pe un limnimetru care a permis stabilirea cu precizie a poziţiei sondei pe verticala. Limnimetrul cu sonda s-au fixat pe un jug cu posibilităţi de glisare pe orizontală. Vitezele s-au explorat pe verticale echidistante la 25 cm, iar pe verticala măsurătorile s-au făcut din 2 în 2 cm, începînd de la radier.

Nivelurile suprafeţei libere s-au măsurat în aceleaşi secţiuni şi verticale ca şi vitezele cu un limnimetru Neyrpic, montat pe un sistem de susţinere ca şi instrumentul de măsurat viteze (foto Nr.5)

Măsurarea debitului s-a făcut cu un deversor dreptunghiular cu contracţie laterală, etalonat special, care a fost amplasat înaintea de intrarea apei în model ; funcţionarea deversorului se observă în foto Nr.4.

Evacuarea apei s-a realizat la capătul aval al modelului, la o distanţă de 6,0 m de ultima secţiune de măsurători. Gura de evacuare a fost prevăzută cu un oblon reglabil care permite controlul nivelurilor. Inaintea evacuării este prevăzută o capcană pentru recuperarea aluviunilor tîtîte lansate în amonte şi antrenate de curentul de apă (foto Nr.6).

In foto Nr.7 este prezentat aspectul curgerii în cot în cazul unui debit relativ mic (natură 100 mc/s), iar în foto Nr.8 este prezentat aspectul curgerii în cazul debitului maxim (natură 652 mc/s).

In foto Nr.9 se prezintă modul în care au fost dispuse anrocamentele cu rol de protecţie a piciorului taluzului.

În foto Nr.10 şi Nr.11 se vede clar cum secţiunea cea mai periculoasă pentru stabilitatea anrocamentelor este zona de ieşire din curbă, deoarece aici anrocamentele la debitul dat au fost spălate, în timp ce în rest ele s-au menţinut.

În foto Nr.12 se poate observa cum la debite relativ mici are loc procesul invers de depunere a aluviunilor tîrîte.

În încheierea acestui paragraf, menţionez înţelegerea şi sprijinul primit din partea conducerii catedrei în realizarea unui model de dimensiuni corespunzătoare ca şi aportul grupului de studenţi care au ajutat la desfăşurarea lucrărilor de cercetare începînd cu construcţia modelului şi apoi la efectuarea măsurătorilor şi a prelucrărilor respective de date experimentale.

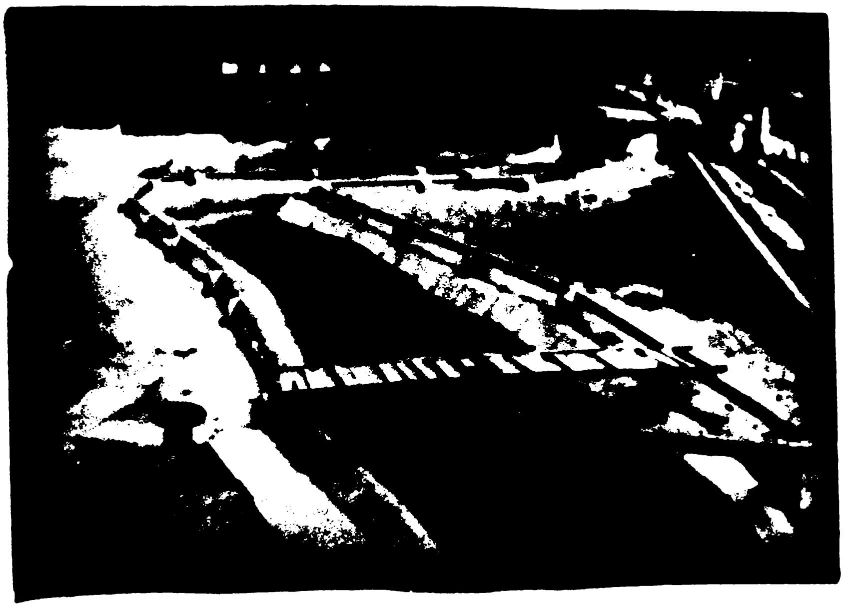


Foto 1 - Vedere de ansamblu a modelului

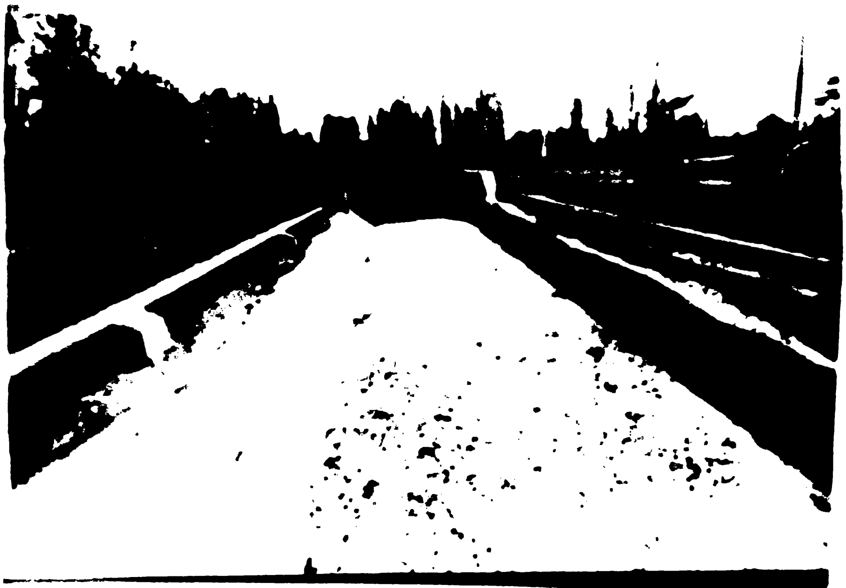


Foto 2 - Capul de alimentare cu dispozitivul de liniştire şi sectorul rectiliniu de acces

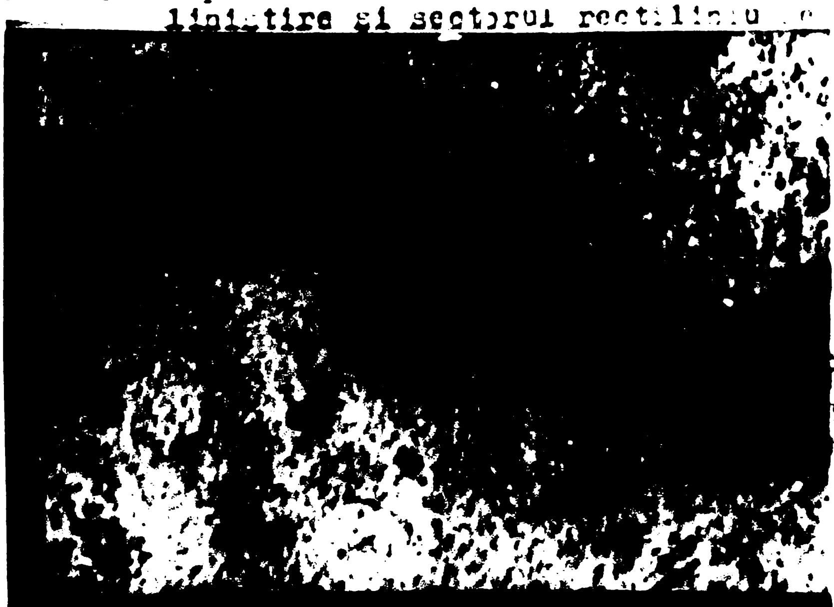


Foto 3 - Detaliu de [illegible]

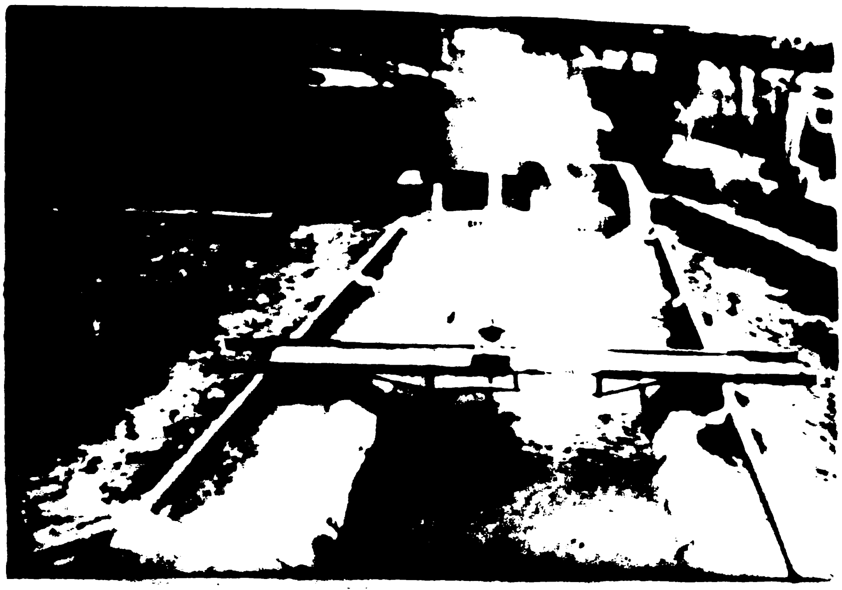


Foto 4 – Montajul de ansamblu [illegible]

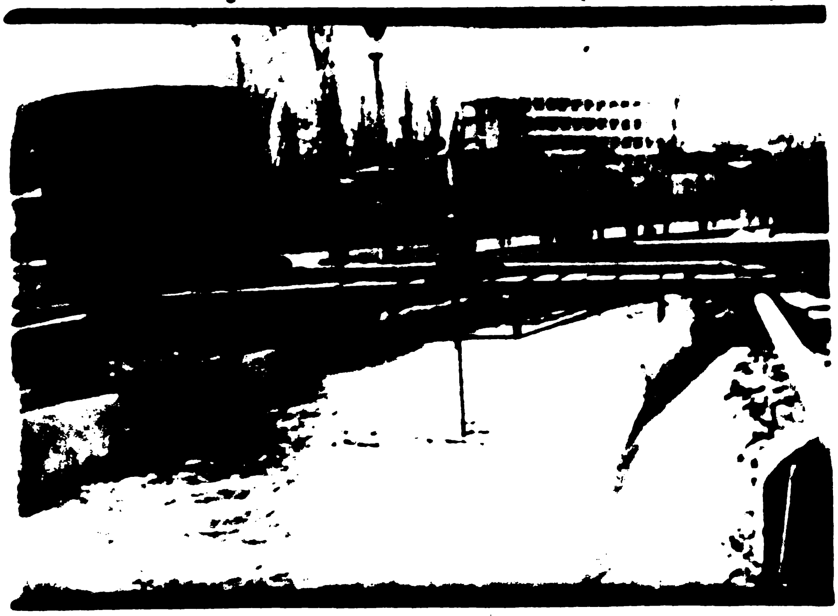
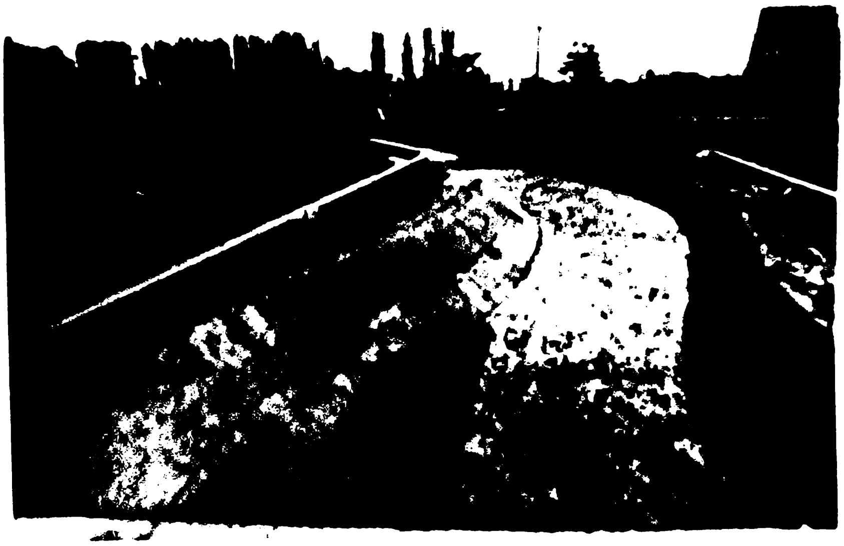


Foto 5 – Montajul de ansamblu [illegible]
măsurarea nivelurilor

Foto 6 – Vedere [illegible]
[illegible]

Foto 7 – Aspectul curgerii în zona [illegible] de debit relativ mai [illegible]

Foto 8 – Aspectul curgerii în zona [illegible] la debitul maxim



[illegible]

Foto 10 - Vederi ale zonei spalate din radierul de bolovani

Foto 11 - Vederi ale zonei spalate din radierul de bolovani

Foto 12 - [illegible]

CAPITOLUL VII - CONCLUZII

In cadrul acestui capitol se vor expune succesiv principalele rezultate obţinute în cadrul tezei,punînd accentul pe contribuţiile originale aduse în rezolvarea celor cinci probleme mari tratate în cadrul tezei,constituind conţinutul celor cinci capitole esenţiale ale tezei :

- problema cinematicii curentului pe sectoarele în aliniament ;
- problema cinematicii curentului pe sectoarele în curbă;
- problema stabilităţii albiei pe sectoarele în aliniament ;
- problema stabilităţii albiei pe sectoarele în curbă;
- problema similitudinii şi modelarii hidraulice.

Primul capitol,introductiv,conţine un număr de trei paragrafe.

In primul paragraf,intitulat "Problema apei în lume şi în R.S.R." se subliniază importanţa problemei apei şi faptul că folosirea raţională a resurselor de apă este un imperativ al epocii contemporane.

In ţara noastră principiul folosirii complexe,raţionale, a apelor face parte integrantă din politica Partidului şi Statului,fiind exprimat în importante documente cum este "Programul PCR de făurire a societăţii socialiste multilateral dezvoltate şi înaintarea României spre comunism" adoptat la Congresul al XI-lea.

In cel de al doilea paragraf,intitulat "Problema regularizării cursurilor de apă" se pune în evidenţa complexitatea deosebită a proceselor de albie ceea ce generează probleme tehnice dificile legate de proiectarea,execuţia şi întreţinerea lucrărilor de regularizare.Se menţionează faptul că în procesele de albie intervin mulţi factori,existînd diferite metode şi criterii care considera influenţa preponderenta a cîte unui factor.In teza atenţia principală se acordă aluviunilor "tîrîte" factor a cărui importanţă în determinarea elementelor albiei stabile este unanim recunoscută,dar pentru care nu sînt dezvoltate în literatura de specialitate metode de calcul cu aplicabilitate directă în proiectare.

In paragraful al treilea,intitulat "Obiectul tezei" se face o enumerare succesivă şi rezumativă a problematicii tratate în cadrul fiecărui capitol şi paragraf al tezei,se fac cîteva observaţii critice generale privind literatura de specialitate consultată,fără a se intra în detalii şi fără a se menţiona rezultatele obţinute,ceea ce a permis concentrarea acestui paragraf la un număr minim de pagini.

Capitolul al doilea "Contribuţii la cinematica curgerii pe sectoarele în aliniament" conţine un prim paragraf "Repartiţia vitezei pe verticală" în care este prezentat un studiu destul de complet al acestei probleme.Se analizează critic relaţiile recomandate în literatura de specialitate între care relaţii de tip parabolic,de tip eliptic şi de tip logaritmic. O atenţie deosebită este acordată problemei poziţiei vitezei maxime în care scop se face o comparaţie cu distribuţiile de viteze pentru 100 verticale pe rîul Trotuş la postul hidrometric Tîrgu-Ocna,obţinute în timp de peste patru ani.Se pun în evidenţă factorii care influenţează poziţia vitezei maxime : frecarea cu aerul,lăţimea relativă a cursului de apă,rugozitatea patului.Se prezintă cîteva date din literatură privind mărimea vitezei dinamice de frecare v_* pe rîuri din URSS, Japonia şi Cehoslovacia, viteza v_* constituind o caracteristică globala a turbulenţei curentului şi care intervine în legea logaritmică de repartiţie a vitezei.

Pe baza datelor din literatură se discută valabilitatea modelului plan,efectul curenţilor transversali şi problema distribuţiei vitezelor locale în cazul curenţilor cu pat mobil.

In urma prezentării critice a datelor din literatură de specialitate s-a ajuns la concluzia că este util a propune o relaţie de repartiţie care să reflecte mai bine distribuţia reala a vitezei pe verticala.Această concluzie a fost verificată suplimentar cu ajutorul unor date publicate în literatură referitoare la măsurători efectuate pe rîul Turuncik în URSS între anii 1966-1971,prin măsurători proprii pe modelul sectorului de rîu Argeş şi prin prelucrarea proprie a unor date aflate în arhiva Institutului de meteorologie şi hidrologie filiala Timişoara care se referă la rîul Timiş în secţiunea 2.1.4 Lugoj.

Se adopta un model al curgerii,se face o discuţie asupra tensiunilor de frecare demonstrîndu-se corectitudinea relaţiei liniare de variaţie a tensiunilor turbulente de frecare pe secţiunea de curgere.Pornind de la o lucrare publicată în anul 1969 în "Studii şi cercetări de mecanică aplicată" se propune o relaţie pentru lungimea de amestec fundamentată pe principiul puterii disipate minime la un debit constant dat (II.1-2-31).

Acest principiu enunţat calitativ de M.A.Velikanov a fost utilizat,pe plan naţional,pentru rezolvarea unor probleme de albie de prof.dr.doc.S.Hâncu şi de autoare în cîteva lucrări ştiinţifice publicate.Folosirea principiului puterii disipate minime şi în general a principiilor variaţionale în cadrul tezei reprezintă o rezolvare modernă a problemelor puse.

Odată stabilită expresia lungimii de amestec,s-a putut determina o nouă lege de repartiţie a vitezei,în esenţă tot o relaţie de tip logaritmic,dar care aproximează mai bine repartiţia vitezei în albii (II.1-3-11, în varianta simplificată II.1-3-19).

Pentru relaţia propusă,prin integrarea distribuţiei de viteze,s-a determinat legătura între viteza medie şi viteza maximă (II.1-3-29) ca şi coeficientul de corecţie β al pătratului vitezei medii (II.1-3-53).

În teză sînt date tabele şi grafice care facilitează utilizarea relaţiei propuse pentru repartiţia vitezei pe verticală în albii naturale şi canale largi.

Paragraful se încheie cu verificări detaliate ale relaţiei propuse utilizîndu-se pentru aceasta carnete de măsurători efectuate în natură pe rîul Timiş şi pe canalul Bega puse la dispoziţie de Institutul de meteorologie şi hidrologie Timişoara,date publicate de V.V.Bolgacova şi I.V.Ivanov privind un rîu din URSS ca şi prin măsurători proprii efectuate pe modelul unui sector al rîului Argeş,model executat în cadrul unui contract de cercetare cu I.S.P.H. Bucureşti la care am fost responsabila de contract.Pentru fiecare din aceste verificări s-a calculat valoarea medie a abaterii şi abaterea medie pătratică comparativ cu formula logaritmică uzuală Prandtl obţinîndu-se indici superiori pentru formula propusă.Spre exemplificare,abaterea medie pătratică a rezultat de 5,79 % cu formula Prandtl faţă de 3,81 % cu formula propusă în teză.

O interesantă reprezentare grafică comparativă este dată în fig.II.1-3-8, în care au fost reunite relaţiile teoretice măsurătorile proprii,măsurătorile I.M.H. cît şi măsurători efectuate în străinătate,toate fiind favorabile relaţiei propuse în teză.

Paragraful al doilea este intitulat "Repartiţia vitezei pe secțiune" și tratează succesiv următoarele etape :

– stabilirea pe baze raționale a unei legi de repartiție a vitezei pe orizontală pentru secțiunea dreptunghiulară echivalentă ;

– adaptarea acestei relații pentru secțiunile neregulate, reale ale albiilor ;

– verificarea în practică a relației propuse.

In cadrul primului punct s-a propus o lege logaritmică de o structură similară celei utilizate pentru repartiția vitezei pe verticală, iar în cadrul punctului al doilea s-a indicat un procedeu de mediere a adîncimilor cu ajutorul căruia să se poată adapta relația propusă la cazul unei secțiuni neregulate (II.2-13).

Pentru verificare s-au utilizat următoarele materiale cuprinzînd rezultate experimentale :

– măsurători de viteze pe rîul Timiș la postul hidrometric Sadova-Veche ;

– măsurători pe rîul Bega la postul hidrometric Balint;

– măsurători proprii efectuate pe modelul hidraulic al unui sector al rîului Argeș ;

– rezultate experimentale publicate pentru un rîu din URSS ;

– rezultate experimentale obținute într-un canal trapezoidal de Polotaev la Institutul politehnic "M.I.Kalinin" din Leningrad.

Fiecare tabel comparativ este însoțit de calculul indicatorilor statistici abaterea medie relativă și abaterea medie pătratică, care în final au dus la valori medii de -0,10 %, respectiv 5,19 %. In calculul indicatorilor statistici s-a constatat că abaterile valorilor măsurate de cele teoretice sînt în general mai mari spre maluri, unde adîncimea apei este mai mică și unde probabil și influența factorilor locali este mai mare.

Prin rezolvarea problemei repartiției vitezelor pe verticală și orizontală rezultă că se poate determina mărimea vitezei într-un punct arbitrar al secțiunii transversale, ceea ce și reprezintă problema fundamentală a cinematicii curenților lichizi pe sectoarele în aliniament.

Cunoașterea repartiției vitezei are atît o importanță intrinsecă, utilizabilă în anumite probleme de proiectare (la prize, traversări) cît și pentru legătura nemijlocită cu alte fenomene între care transportul aluviunilor. In ceea ce privește dezvoltarea ulterioară a tezei repartiţia vitezei pe sectorul în aliniament reprezintă o condiţia de margine pentru stabilirea repartiţiei vitezelor pe sectorul în curbă.

Capitolul III,"Contribuţii la cinematica curgerii pe sectoarele în curbă" are un prim paragraf intitulat "Denivelarea longitudinală a suprafeţei libere a apei în curbă".La începutul acestui paragraf se face o prezentare critică a datelor din literatura de specialitate cu referiri,în deosebi, la lucrările lui Müller, Rozowski, Goncearov, Paletaev şi Radu Pop. Ca urmare a rezultatelor prezentate în bibliografie s-a adoptat următoarea variaţie schematizată a adîncimilor apei în axul geometric al curbei :

- creşterea adîncimii începe într-o secţiune transversală din sectorul rectiliniu de acces,situată la distanţa B/2 amonte de începutul curbei ;

- adîncimea în curbă s-a calculat cu formula Boussinesq-Altunin şi Müller adaptată de Radu Pop;s-a considerat că ea este atinsă în secţiunea radială $\theta_1 = \frac{\theta_{lim}}{K}$ aval de începutul curbei cu K = 4 ;

- în secţiunea de început a curbei adîncimea apei este semi-suma adîncimilor din aliniament şi din secţiunea radială $\theta_1 = \frac{\theta_{lim}}{K}$;

- în curbă panta longitudinală este aceeaşi cu cea din sectorul amonte pînă într-o secţiune θ_{n-1} aproximativ simetrică faţă de mijlocul curbei cu secţiunea θ_1 ;

- din secţiunea θ_{n-1} adîncimea apei începe să scadă astfel încît într-o secţiune situată la B/2 aval de sfîrşitul curbei se regăseşte adîncimea caracteristică sectorului în aliniament ;

- în secţiunea de sfîrşit a curbei adîncimea apei este semi-suma adîncimilor din curbă (secţiunea θ_{n-1}) şi din aliniament.

Schematizarea propusă a fost verificată cu rezultatele experimentale ale lui Rozowski şi cu rezultatele experienţelor proprii efectuate pe modelul sectorului de rîu Argeş.

Paragraful al doilea este intitulat "Denivelarea suprafeţei libere a apei pe sectoarele în curbă după direcţie transversală (radială)".Cauza care produce această denivelare este evident forţa centrifugă,dar în explicarea formei suprafeţei libere trebuie avute în vedere şi proprietăţile fizice ale apei.La gradienţii de viteză aproape nuli care apar în zona de la suprafaţă apa se comportă aproximativ ca un lichid ideal, iar suprafaţa liberă se va orienta în fiecare punct perpendicular pe rezultanta forţei gravitaţionale şi a forţei centrifuge. Deoarece forţa centrifugă este direct proporţională cu pătratul vitezei longitudinale şi invers proporţională cu raza de curbură în timp ce forţa gravitaţională este constantă, rezultă că în sens transversal suprafaţa liberă va avea o formă curbilinie. Se face o discuţie interesantă asupra concavităţii şi convexităţii suprafeţei libere. Se prezintă rezultatele experimentale obţinute de A. Shuckry şi rezultate experimentale proprii obţinute pe modelul sectorului de rîu Argeş din care se evidenţiază neuniformitatea mare care există în repartiţia vitezelor de suprafaţă pe sectoarele în curbă. Pentru calculul profilului suprafeţei libere în sens transversal s-a propus o relaţie cu diferenţe finite (III.2-8). Verificarea relaţiei propuse s-a făcut utilizînd măsurătorile de viteze şi niveluri efectuate de Zambahidze şi măsurători proprii efectuate pe modelul sectorului de rîu Argeş. La aceste verificări s-a obţinut pentru abaterea medie +0,61 % iar pentru abaterea medie pătratică 6,28 %.

Paragraful al treilea este intitulat "Circulaţia transversală în literatura de specialitate" şi conţine o selecţie bibliografică pe această temă, importante fiind în special cercetările lui Thompson, Jukovski, Muramoto, Kojevnicov, Shuckry, Rozowski, Zambahidze, Liachter, Maccaveev etc.

Cercetările deşi relativ numeroase nu sînt finalizate sub forma unor relaţii analitice sau reprezentări grafice utilizabile în proiectare, ci conţin de cele mai multe ori, rezultate experimentale obţinute în cazuri particulare prin măsurători de laborator sau rezultate teoretice formulate cu ajutorul unui aparat matematic complicat, greoi de utilizat în lucrările de proiectare.

S-a ajuns la concluzia că este necesar a se propune o relaţie proprie pentru distribuţia pe verticală a vitezei radiale, ceea ce formează conţinutul paragrafului al patrulea "Relaţie propusă pentru distribuţia vitezei radiale". Pornind de la o schematizare a circulaţiei transversale, făcînd anumite ipoteze simplificatoare şi utilizînd relaţia de repartiţie a vitezelor a lui Karauşev, se ajunge la o ecuaţie diferenţială liniară de ordinul întîi. Prin integrare se obţine o primă formă a relaţiei de repartiţie pe verticală a vitezei radiale (III.4-18). Se adoptă după Muramoto concluzia proporţionalităţii vitezei radiale cu unghiul θ de întoarcere a curentului pe zona de început a curbei. Această creştere a circulaţiei transversale se produce pînă la un unghi de întoarcere limită. Unghiul limită s-a determinat, în continuare, pe baza formulei lui N.F.Danelia şi astfel s-a obţinut relaţia (III.4-22) de repartiţie pe verticala a vitezei radiale care include şi influenţa unghiului de întoarcere. Pentru a se putea da o forma unica acestei relaţii valabilă atît în zona iniţială a curbei în care are loc o creştere a intensităţii circulaţiei transversale cît şi în zona finală unde are loc o descreştere a intensităţii circulaţiei s-a introdus funcţia Heaveside, frecvent utilizată în electrotehnica. Verificarea relaţiei propuse s-a făcut folosind rezultate experimentale ale lui Goncearov, Rozowski, Poletaev precum şi măsuratori proprii efectuate pe modelul sectorului de rîu Argeş. Media indicatorilor statistici a fost, în ceea ce priveşte abaterile medii relative de +1,48 %, iar în ceea ce priveşte abaterea medie pătratica de 7,44 %.

Paragraful al cincelea este intitulat "Distribuţia vitezelor longitudinale pe sectoarele în curba" şi are ca obiect stabilirea unui algoritm care să permită calculul vitezelor longitudinale în curba, considerîndu-se ca datorita apariţiei circulaţiei transversale are loc o redistribuire a vitezelor longitudinale pe sectoarele în curba, comparativ cu sectoarele în aliniament. Se porneşte de la aplicarea primei teoreme a impulsului unui volum elementar de lichid închis de o suprafaţă invariabila de control cu neglijarea forţelor de frecare pe suprafeţele laterale verticale ale acestui volum. În efectuarea integralelor care intervin se aplică rezultatele anterioare obţinute în cadrul tezei referitoare la cinematica curenţilor. Ecuaţia la care se ajunge se transcrie în diferenţe finite. Această ecuaţie conţine, însă, un număr de două necunoscute : viteza medie în diferitele verticale şi adîncimea corespunzatoare a apei. O a doua ecuaţie se va obţine utilizînd schematizarea adoptata pentru adîncimea apei în curbă, în axul curentului şi relaţia stabilită pentru denivelarea nivelului în secţiunea transversala. Algoritmul propus permite determinarea adîncimilor şi a vitezelor medii pe anumite verticale fixate iniţial şi în secţiuni fixate iniţial, determinarea făcîndu-se din aproape în aproape începînd cu secţiunea de intrare în curbă, trecînd succesiv prin secţiunile intermediare şi sfîrşind cu secţiune de ieşire din curba.

In ultimul paragraf al acestui capitol, al şaselea, intitulat "Calculul automat al vitezelor şi denivelărilor suprafeţei libere pe sectoarele în curbă" este prezentată schema logică care permite programarea calculului la un calculator electronic. Pe baza acestei scheme logice a fost întocmit un program în limbaj FORTRAN IV care a fost testat cu datele modelului sectorului de rîu Argeş.

Se menţionează că importanţa determinării pe cale teoretică a denivelărilor în curbe, cu toate ipotezele simplificatoare pe care se bazează, este deosebită întrucît în asemenea sectoare nu se fac de regulă măsurători hidrometrice, din care cauză proiectantul lucrărilor de regularizare este lipsit de datele iniţiale necesare. In schimb sînt cazuri în care obiective importante au fost amplasate obligat tocmai în apropierea unor astfel de sectoare (UHE "Gh.Gheorghiu-Dej Argeş) şi necunoaşterea iniţială a denivelării în curbă, în timpul viiturilor, a produs dificultăţi ulterioare.

Următoarele capitole au fost inspirate direct din necesităţile producţiei, reprezentînd generalizarea pe plan teoretic a unor rezultate parţiale obţinute cu ocazia cercetărilor efectuate în cadrul unor contracte.

Capitolul IV este intitulat "Contribuţii la determinarea influenţei transportului de aluviuni tîrîte asupra stabilităţii albiilor pe sectoarele în aliniament" şi începe cu paragraful "Fenomenul de transport al aluviunilor tîrîte, teorii şi relaţii analitice". In acest paragraf se face o sinteză concisă a clasificărilor referitoare la modul în care sînt transportate aluviunile de către un curs natural de apă, subliniindu-se aspectul specific al modului în care se respectă principiul conservării masei în cazul aluviunilor tîrîte. La aceste aluviuni există posibilitatea ca debitul solid prin secţiunea de intrare să fie diferit de debitul solid prin secţiunea de eşire, diferenţa reprezentînd cantitatea de aluviuni depusă sau erodată din patul aluvionar în unitatea de timp. In cadrul unor parametrii hidraulici precizaţi, situaţia stabilă a albiei este tocmai acea situaţie unică în care are loc o egalitate a debitului afluent de [illegible] tîrîte cu debitul defluent. Se ajunge, astfel, la concluzia [illegible] pentru aprecierea stabilităţii locale a albiei este [illegible] să determine capacitatea de transport a aluviunilor [illegible] contribuţiile majore ale [illegible] avînd [illegible] [illegible]ecive, constă tocmai în [illegible] unei [illegible] caracter semi-empiric de determinare a elementelor albiei stabile pe baza capacității de transport a unui rîu, însoțită de verificările efectuate în laborator și în natură care testează valabilitatea ei. Tot în acest paragraf se prezintă pe scurt direcțiile principale în care s-au dezvoltat teoriile referitoare la transportul aluviunilor tîrîte : teorii bazate pe efortul tangențial unitar critic la nivelul patului albiei, teorii bazate pe viteza critică a curentului, respectiv pe debitul solid tîrît critic. O atenție speciale este acordată teoriilor statistice ale mișcării aluviunilor mult dezvoltate în special în ultima perioadă pe baza lucrărilor lui H.A.Einstein, A.A.Kalinske, A.G.Mercer și A.S.Paintal.

In figura IV.1-1 se prezintă o diagramă comparativă a rezultatelor altor cercetători (Shields, Eghiazarov, Negy, Chabert Chauvin, Bonnefille) privind începutul mișcării aluviunilor caracterizat cu ajutorul efortului unitar critic de antrenare, pe axe fiind măsurate respectiv $Re_* = \frac{v_* d}{\nu}$ și $\frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma)\, d}$. Pe aceeași diagrama s-au reprezentat, prin puncte, rezultatele unor cercetări proprii constatîndu-se o bună încadrare în diagramele celorlalți cercetători.

In figura IV.1-2 s-au reprezentat curbele obținute prin metode statistice, într-un sistem de axe pe care se măsoară respectiv $\frac{p_s}{d^{3/2}\sqrt{g\frac{\rho_s - \rho}{\rho}}}$ și $\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \cdot \frac{d}{\mu h i}$. S-au avut în vedere rezultatele lui Einstein, Kalinske, Frijlink, Meyer-Peter și Muller și rezultatele proprii. Se observă că rezultatele lui Meyer-Peter și Muller sînt în bună concordanță cu rezultatele lui H.A.Einstein și a celorlalți cercetători, iar rezultatele experiențelor proprii se apropie foarte bine de curba Meyer-Peter și Muller. Avînd în vedere și posibilitățile pe care formula Meyer-Peter și Muller le prezintă pentru prelucrări analitice, această formulă va fi utilizată în continuare ca una dintre formulele care stau la baza metodei propuse.

Paragraful al doilea este intitulat "Fundamentarea metodei propuse pentru determinarea stabilității locale". Se fac cîteva considerații asupra noțiunii de "debit de formare" și asupra ecuațiilor fundamentale ale fenomenului, ecuația debitului lichid și ecuația debitului solid tîrît. Mărimile care intervin în cele două ecuații fundamentale au fost grupate în două categorii :

- o primă categorie include mărimile care trebuiesc cunoscute în mod uzual de la început de proiectantul lucrărilor de regularizare (coeficientul de pantă al taluzului m, coeficientul de rugozitate n sau echivalentul lui k_r, diametrul mediu al aluviunilor tîrîte d, masa specifică a aluviunilor ρ_s, debitul lichid de formare Q_F;

- o a doua categorie cuprinde mărimile care în unele situații concrete pot fi cunoscute de proiectant, dar în alte probleme pot apare ca necunoscute (debitul solid de aluviuni tîrîte P, dimensiunile caracteristice ale secțiunii trapezoidale b și h, coeficienții de rezistență Chezy pentru pat neted C' și pentru patul real cu toate obstacolele existente în calea curgerii C, factorul de rifluri μ, panta suprafeței libere a apei i (regimul de curgere fiind considerat uniform).

Mărimile din a doua categorie nu sînt toate independente, ci dacă se iau în considerare și relațiile auxiliare existente între aceste mărimi se ajunge la concluzia că următoarele patru mărimi esențiale sînt independente : P, b, h, i. Cu aceste mărimi s-au formulat patru probleme tipice care intervin mai des în practică din care primele două au fost denumite probleme de proiectare și următoarele două probleme de prognoză :

- se proiectează regularizarea unui curs de apa pe care există suficiente măsurători de debite solide tîrîte ; drept urmare P trece în categoria mărimilor cunoscute, iar mărimile care definesc albia stabilă b, h și i rămîn necunoscute ;

- se proiectează regularizarea unui curs de apă pe care nu există măsurători de debite solide tîrîte ; în acest caz este necesar să se adopte panta în regim regularizat, celelalte mărimi (P, b, h) rămînind necunoscute; deseori, mai ales în zonele de munte și de deal această pantă este impusă între anumite limite de configurația terenului ;

- se cere să se aprecieze dacă un anumit sector existent este sau nu este stabil, iar în caz de instabilitate să se precizeze dacă în evoluția viitoare vor fi preponderente procesele de depunere sau de eroziune ;

- se cere să se aprecieze dacă particulele de o anumită dimensiune d pot constitui majoritatea în cadrul aluviunilor tîrîte în curent.

Se constată că pentru rezolvarea problemelor formulate cele două ecuații fundamentale nu sînt suficiente. Pentru obținerea unei a treia ecuații se va utiliza din nou principiul variațional al disipării minime a energiei, în formularea dată de prof.dr.doc.S.Hâncu. Concluzia care rezultă este aceea că sectorul considerat se găseşte în echilibru dacă debitul solid tîrît P este maxim, la o capacitate de transport dată a curentului.Rezolvînd consecvent această problema de extrem condiţionat într-o maniera diferita de a prof.Hâncu (care a determinat criteriul stabilităţii locale sub forma $\tau \cong 10\tau_{\omega}$) se obţine cea de a treia ecuaţie necesară sub forma (IV.2-9) sau (IV.2-9') după cum se foloseşte formula tip Nikuradze sau tip Manning pentru calculul coeficientului C ".

Paragraful al treilea este intitulat "Determinarea elementelor albiei stabile b,h,i (problema I-a de proiectare)". Metodica de rezolvare a acestei probleme a fost exemplificată în cadrul tezei la determinarea elementelor albiei stabile a rîului Jiu în zona Rovinari,la posturile hidrometrice 1 şi 6.Datele necesare au fost extrase dintr-o succesiune de articole publicate în revista "Hidrotehnica" care dau o tratare destul de completă a problemei,conţinînd elementele care au stat la baza proiectării,rezultatele masuratorilor pe model, rezultatele masuratorilor în natura înainte şi după executarea lucrărilor de regularizare.Debitele de aluviuni tîrîte nefiind date explicit în aceste articole a fost necesar ca ele sa fie recalculate pe baza punctelor experimentale figurate în diagramele respectivelor articole.Folosind metoda propusă s-au construit graficele din figurile (IV.3-1) şi (IV.3-2) respectiv pentru posturile hidrometrice 1 şi 6.In absoisa acestor grafice s-a luat adîncimea h,pe ordonata s-a reprezentat debitul solid tîrît P calculat cu formula Meyer-Peter şi Müller,iar ca parametru variabil s-a luat panta i . Se intra în acest grafic cu valoarea cunoscuta a debitului solid tîrît (o orizontala P = constant) şi se determina acea curba,din familia de curbe P = f(h,i),pentru care orizontala P = const. este tangentă la grafic,respectiv acea curbă care admite debitul solid tîrît cunoscut drept debit maxim.Abscisa punctului de tangenţă dă adîncimea h a albiei stabile, iar panta i corespunzătoare curbei tangente este panta stabilă.Determinarea lăţimii b este o problemă elementară de hidraulică.Rezultatele finale sînt prezentate în tabela IV.3-3 comparativ cu rezultatele proiectării şi ale măsurătorilor din natură.

In figurile IV.3-3 şi IV.3-4 sînt redate profilele transversale ale albiei regularizate cu evoluţia lor în timp de unde rezultă că evoluţia albiei s-a produs în sensul apropierii de dimensiunile albiei stabile determinate prin utilizarea metodei propusă în teză. In cazul concret al evoluţiei albiei Jiului în zona Rovinari a fost confirmată justeţea metodei propuse deoarece, în timp, dimensiunile albiei stabile s-au depărtat de cele calculate teoretic prin utilizarea "teoriei regimului" după G.Lacey şi de cele calculate cu relaţiile propuse de S.Altunin. S-a confirmat astfel, prin măsurători efectuate în natură, rolul major pe care îl au aluviunile tîrîte în formarea albiei stabile cît şi faptul că metoda propusă în teză reflectă corect acest rol major.

Paragraful al patrulea este intitulat "Calculul secţiunii transversale stabile (b,h) şi a transportului de aluviuni P_{max} cînd I este dat (problema a II-a de proiectare)". Metoda propusă pentru rezolvarea acestei probleme este aplicată în teză pentru rîul Argeş în zona UHT Gh.Gheorghiu Dej ; datele de bază au fost puse la dispoziţie de către proiectantul general, ISPH Bucureşti şi s-au referit la debitul de viitură cu asigurarea de 0,1 %. In cadrul unui contract de cercetare problema a fost rezolvată pe calea modelării hidraulice. In cadrul tezei, ulterior predării contractului, s-a propus o metodă teoretică de rezolvare, la fiecare pantă studiată determinîndu-se perechile de valori (b,h) care verifică formula debitului lichid şi care ar putea constitui o soluţie a problemei. S-au construit apoi graficele din figurile IV.4-1 şi IV.4-2 în coordonate (h,P) ca şi în cazul problemei anterioare. Construirea curbelor de transport a aluviunilor la mai multe pante dă o imagine de ansamblu asupra posibilităţilor de rezolvare a problemei de către proiectant. Cunoscînd panta se urmăreşte curba respectivă, soluţia problemei corespunzînd maximului acestei curbe care permite determinarea lui P_{max} şi h stabil. Lansînd pe model un debit de aluviuni mai mare decît cel citit pe curbă s-a constatat apariţia depunerilor în timp ce la lansarea unui debit mai mic aceste depuneri nu au apărut. Rezultatele finale privind elementele albiei stabile au fost înscrise în tabela IV.4-4 în care sînt prezentate comparativ şi rezultatele obţinute prin folosirea altor metode.

Paragraful al cincilea este intitulat "Prognoza evoluţiei unei albii existente". Metoda propusă pentru rezolvarea acestei probleme a fost aplicată la acelaşi sector al rîului Argeş însă pentru debitul mediu care apare în exploatare ; rezolvarea acestei probleme de asemenea nu a constituit obiect al contractului menţionat.

Calculele au fost făcute pentru mai multe pante dintre care în tabela IV.5-1 s-au prezentat doar calculele pentru sectorul de aliniament din amonte cu panta de 1 % , pentru sectorul de aliniament aval cu panta de 0,8 % și pentru zonele intermediare cu pante de 1,5 % și 2 %.S-au determinat perechile de valori (b,h) care verifică formula debitului lichid și debitul de aluviuni tîrîte P corespunzător.Din reprezentarea grafică respectivă (IV.5-1) a rezultat că,în albia existentă,(b dat) la h corespunzător debitului de calcul,nu este realizat debitul maxim de aluviuni tîrîte.Cum lățimile albiei sînt mai mari,decît cele corespunzătoare soluției de albie stabilă,și înălțimile respective ale curentului mai mici,se prognozează evoluția albiei în sensul reducerii lățimii la bază prin realizarea unor depuneri laterale însoțite de creșterea adîncimii în sensul apropierii de albia corespunzătoare energiei disipate minime.

Paragraful ultim,al șaselea,este intitulat "Prognozarea transportului de aluviuni într-o albie existentă".In cadrul capitolului se rezolvă problema care apare uneori în proiectare, de a aprecia,dacă particulele de anumite dimensiuni "d" (aceste dimensiuni referindu-se la diametrul preponderent al aluviunilor) vor fi transportate de curent.Metoda s-a aplicat tot la modelul menționat al rîului Argeș.Din graficul IV.6-1 care este construit după același principiu ca cele anterioare,însă pentru o pantă constantă și diferite dimensiuni ale particulelor,se constată că în general pe măsură ce diametrul particulelor crește, crește și adîncimea curentului de apă capabil să producă antrenarea aluviunilor în condiții de stabilitate a albiei.Se mai constată că pentru dimensiunile albiei adoptate de proiectant, condiția de stabilitate a albiei,apreciată prin prisma debitului maxim de aluviuni tîrîte,este îndeplinită pentru diametre ale aluviunilor cuprinse între 10 mm și 25 mm.In cazul cînd diametrii caracteristici ai aluviunilor vor fi mai mari sînt de așteptat depuneri,iar în cazul că diametri vor fi mai mici sînt de așteptat eroziuni.

Capitolul V este intitulat "Contribuții la problema stabilității albiilor pe sectoarele în curbă".Paragraful întîi al acestui capitol este intitulat "Prezentarea cîtorva date din literatura de specialitate privind deformarea albiei în curbele curenților cu fața liberă".In urma cercetării literaturii,care a fost accesibilă,se formulează constatarea generală că deformarea albiei în curbe este o problemă insuficient studiată.In general studiile experimentale efectuate în laborator asupra albiilor curbate pot fi grupate în următoarele patru categorii,după scopul principal pe care l-au urmărit:

- stabilirea legităţilor meandrării naturale a albiilor;
- stabilirea imaginii generale a fenomenului deformării fundului albiei pe modele cu pereţi rigizi ;
- stabilirea poziţiei de amplasare a prizelor de apă în sectoarele curbe ale rîurilor ;
- explicarea creşterii eroziunilor în curbele albiilor prismatice şi evaluarea cantitativa a acestei creşteri.La fiecare categorie de probleme sînt citate cercetările cele mai reprezentative,dar în detaliu sînt prezentate cercetările din ultima categorie care au o importanţa mai mare pentru problema studiată,cercetări datorate lui A.Ippen şi P.Drinker şi lui I.L.Rozowski.In fiecare caz s-au arătat şi unele neajunsuri ale cercetărilor respective.Metoda utilizată de Ippen şi Drinker se bazează pe folosirea unor relaţii ale lui Preston privind determinarea efortului tangenţial la perete prin citiri cu sonde Pitot de un tip special.Metoda dă erori relativ mari,iar cercetări efectuate în laboratorul catedrei de aerodinamica a Institutului politehnic "M.I.Kalinin" din Leningrad au dus la concluzia că domeniul de aplicabilitate al relaţiilor Preston este situat în intervale care se întîlnesc rar în practică.Metoda adoptată de Rozowski a apărut mai adecvată pentru a fi utilizată în proiectare de aceea s-a căutat să se aducă unele îmbunătăţiri acestei metode,îmbunătăţiri bazate în primul rînd pe rezultatele obţinute în teză în ceea ce priveşte cinematica curentului pe sectoarele curbe.In esenţa metoda constă în introducerea unui coeficient global de reducere care să exprime de cîte ori este mai mica viteza medie a curentului în momentul iniţierii procesului de eroziune pe sectoarele în curbă comparativ cu viteza medie a curentului în momentul iniţierii procesului de eroziune pe sectoarele în aliniament.Coeficientul de reducere global rezultă din înmulţirea unor coeficienţi parţiali care ţin cont,fiecare,de cîte o latură a fenomenului studiat.

Paragraful al doilea este intitulat "Propunere de evaluare a capacităţii de eroziune a curentului pe sectoarele curbe, comparativ cu sectoarele rectilinii".Coeficientul global de reducere se consideră format din înmulţirea a cinci coeficienţi exprimînd influenţa diferitelor schimbări care se produc în curgerea pe sectorul în curbă în comparaţie cu curgerea pe sectorul din aliniament.Primul coeficient este cel mai important și el ține cont de faptul că la aceeași viteză medie pe secțiunea de curgere, viteza medie pe verticală are cu totul altă distribuție în cazul sectorului în curbă decît în cazul sectorului în aliniament. Coeficientul este definit ca raportul a două viteze medii pe verticale omoloage din curbă și aliniament. Coeficientul se calculează în secțiunile situate aval de secțiunea de mijloc a curbei, pe verticale situate spre malul concav, unde acest coeficient are valori asupraunitare. Din cîteva cazuri studiate a rezultat că secțiunea cea mai periculoasă este chiar secțiunea de ieșire din curbă. Determinarea vitezei medii pe diferite verticale pe sectoarele rectilinii se poate realiza prin măsurători în natură, prin măsurători pe modele cu pat fix sau pat mobil sau, în lipsa acestora, prin relația propusă în teză, privind distribuția pe lățime a vitezelor medii verticale. Determinarea vitezei medii pe diferite verticale pe sectoarele în curbă se poate realiza de asemenea prin măsurători, iar în lipsa acestora folosind algoritmul sau programul de calcul automat propus în teză. Coeficientul al doilea ține cont de faptul că variația adîncimilor apei pe lățimea curentului în curbe este diferită de cea pe porțiunile în aliniament, unde nivelul apei este relativ orizontal. Determinarea adîncimilor corespunzătoare sectorului rectiliniu nu prezintă dificultăți, în schimb pentru determinarea adîncimilor în curbă sînt necesare măsurători sau se poate utiliza algoritmul și programul de calcul automat propus în teză. Influența variației adîncimilor s-a introdus prin formula Levi-Knoroz, putînd însă să fie utilizată în acest scop și formula lui Samov.

Coeficientul al treilea ține cont de condițiile defavorabile din punct de vedere al stabilității în care se găsesc particulele solide aflate pe un taluz în comparație cu cele aflate pe un fund orizontal. Pentru exprimarea coeficientului s-a propus folosirea relației lui B.A.Pîșkin, modificată în sensul unei apropieri față de rezultatele experimentale.

Coeficientul al patrulea ține cont de creșterea relativă a vitezelor de fund datorate curgerii secundare care apare pe sectoarele în curbă față de sectoarele în aliniament. In lipsa oricăror indicații din literatură, s-a adoptat drept distanță reprezentativă de fund, necesară pentru definirea vitezelor de fund distanța de 0,05 h. Pentru definirea coeficientului se utilizează repartiția vitezelor radiale propusă în teză.

Ultimul coeficient ar trebui să țină cont de modificarea caracteristicilor de turbulenţa care se produc pe sectorul în curbă în comparaţie cu sectorul în aliniament.Singurele măsurători în această direcţie de care s-a dispus,se datoresc lui E.Masser şi sînt suficiente pentru precizarea valorii coeficientului.Ca urmare,la nivelul actual al datelor de care dispunem,se va adopta pentru acest coeficient o valoare unitară.

Paragraful al treilea este intitulat "Un exemplu de aplicare a metodei propuse pentru determinarea vitezei de eroziune în curbe".Aplicarea metodei propuse s-a făcut pentru rezolvarea şi teoretică a unei probleme concrete solicitată de ISPH Bucureşti referitor la rîul Argeş în zona UHE "Gh.Gheorghiu Dej" (solicitarea se referea la rezolvarea problemei prin modelare). Problema consta în determinarea dimensiunilor minime ale anrocamentelor care pot fi folosite pentru consolidarea unui anumit sector,fără a fi antrenate de apă în timpul viiturilor,Datele cunoscute iniţial au fost trecute în tabela V.3-1, vitezele de eroziune în aliniament calculate pe baza formulei Levi-Knoroz şi a normelor sovietice elaborate de Ghidroenergoproiect sînt cuprinse în tabela V.3-2 iar valorile obţinute pentru coeficientul global de reducere au fost trecute în tabela V.3-3.Dimensiunile minime ale anrocamentelor au fost trecute în tabela V.3-4 şi confirmate de verificările făcute pe model.Se constată,din acest tabel excepţionala forţă de antrenare de care este capabil rîul Argeş,în timpul viiturilor,în curbele considerate în verticalele cele mai periclitate ajungîndu-se la dimensiuni de anrocamente aproape egale cu adîncimea medie a apei pe sectorul de aliniament,dimensiunile rezultate fiind mult mai mari decît cele prevăzute iniţial de proiectant.

Capitolul al şaselea "Similitudine şi modelare hidraulică" este alcătuit din două paragrafe intitulate respectiv "Criterii de similitudine" şi "Modelul unui sector al rîului Argeş".

In primul paragraf se indică forţele predominante în fenomenul studiat,forţele gravitaţionale şi forţele inerţiale, care conduc la legile de similitudine Froude şi Newton,cu respectarea unor restricţii impuse de disponibilităţile de dotare şi amplasare ale laboratorului,de încadrare a fenomenelor similie (natură,model) în domeniul de automodelare în raport cu criteriul Reynolds,de realizare a unei adîncimi minime pe malul convex care să permită efectuarea măsurătorilor în condiţii acceptabile de precizie,de realizare a unei viteze mai mari ca o,23 m/s care să asigure similitudinea reliefului suprafeţei libere şi de pastrare a caracterului regimului de curgere in fenomenele simile. De asemenea, avînd în vedere că plăcile de protecţie a taluzurilor s-au confecţionat pe model din alt material decît în natură a fost necesar să se execute distorsionate, cu grosimea redusă la o altă scară decît cea a lungimilor, in schimb deoarece anrocamentele s-au folosit din aceeaşi rocă ca şi in natură nu a mai fost necesară distorsionarea lor.

Paragraful al doilea este intitulat "Modelul unui sector al rîului Argeş". Se prezintă motivele care au stat la baza adaptării unui coeficient de scară al lungimilor relativ mai mic decît cel uzual (α_l = 25), rezultat ale cerinţei de a respecta toate restricţiile impuse de ansamblul problemelor la care modelarea trebuia să răspundă. Se pune în evidenţă caracterul special al problemelor studiate, comparativ cu problemele ce se pun în cazul modelărilor de rutină, precum şi lipsa unor metode teoretice care să permită comparaţia cu rezultatele măsurătorilor efectuate pe modelul hidraulic.

O problemă căreia i s-a acordat o atenţie specială a constituit-o tararea modelului, astfel incît să se realizeze efectiv rugozitatea pe model cerută de transpunerea rugozităţii naturale prin intermediul regulilor de similitudine considerate. In acest scop s-a executat iniţial un model cu o rugozitate mai mica, apoi s-a mărit rugozitatea pînă la valoarea dorită prin folosirea de pietriş mărunt (3-4 mm) fixat de pat prin intermediul laptelui de ciment.

Intr-un număr de douăsprezece fotografii sint prezentate imagini caracteristice ale modelului, în timpul desfăşurării cercetărilor.

<u>Concluzii generale</u>

Pe baza studierii unui vast material bibliografic de strictă specialitate (128 titluri), teza prezintă numeroase contribuţii in rezolvarea a patru probleme fundamentale :

- cinematica curenţilor cu faţa liberă pe sectoarele in aliniament ;
- cinematica curenţilor cu faţa liberă pe sectoarele în curbă ;
- stabilitatea albiei la eroziune pe sectoarele in aliniament ;

- stabilitatea albiei la eroziune pe sectoarele în curbă.

Rezultatele teoretice sînt permanent însoţite de verificări experimentale proprii şi în paralel se folosesc rezultatele obţinute de alţi cercetători, prin măsuratori în laborator şi în natură, ceea ce conferă un plus de obiectivitate şi generalitate acestor rezultate.

BIBLIOGRAFIE

A-1 Arsenie,M.,Arsenie,D.- Considerații variaționale asupra pierderilor de energie în curgerea laminară a lichidelor newtoniene în conducte rectilinii de secțiune circulară." In Studii și cercetări de Mecanică Aplicată Nr.4,1968 tom 27.

A-2 Arsenie,M.,Arsenie,D.- O fundamentare variațională a legilor frecării în cazul mișcării permanente a lichidelor între doi pereți plani-paraleli.In Buletinul științific și tehnic I.P.T. fascicola 1,197o tom 15(29).

A-3 Arsenie,M.,Arsenie,D.,- O teoremă de minim privind pierderile de energie de natură vîscoasă în curgerea laminară a lichidelor newtoniene în canale.In Buletinul științific și tehnic I.P.T. fascicola 1,1969,tom 14(28).

A-4 Arsenie,M.,Arsenie,D.,- O propunere privind lungimea de amestec din teoria lui L.Prandtl pentru cazul curgerii turbulente în canale și conducte avînd la bază un principiu variațional.In Studii și cercetări de Mecanică Aplicată, Nr.3,1969 tom 28.

A-5 Arsenie,M.,Arsenie,D.,- Două teoreme variaționale cu caracter energetic în mișcarea fluidelor care satisfac ecuația constitutivă Cauchy-Poisson.In Buletinul științific și tehnic al I.P.T. seria construcții,fascicola 1, 1973 tom 18(32)

A-6 Ananian,A.K. - Dvijenie jidcosti na povorote vodovoda. Izdatelistvo A.N.Armen.SSR,Erevan,1957

A-7 Altinun,S.T.,- Regulirovanie rusel,Selihozghiz,Moskva 1956

B-1 Berdenis van Berlekom,H.A.,Vries,M.,Prins,J.E. - Selected problems from the theory of simulation of hydrodynamic phenomena,Polskiej Akademie Nauk,1972

B-2 Băloiu,V., - Combaterea eroziunii solului și regularizarea cursurilor de apă, Editura didactică și pedagogică București, 1967

B-3 Blidaru,V.,- Hidraulica vol.I și vol.II,Editura didactică și pedagogică,București,1964.

B-4 Bolișakova,V.V.,Ivanov,A.I. - Sbornic zadaci po ghidrometrii injenernoi ghidrologhii i regulirovanii stoka,Vîsșaia școla,Moskva,1975

B-5 Bătucă,D. - Metodele stochastice pentru studiul fenomenelor aluvionare.In Hidrotehnica,vol.18,nr.8,1973

B-6 Brooks,N.H. - Mechanics of streams with movable beds of the sands.In Transactions ASCE,vol.123,1958

C-1 Constantinescu,M.,Goldstein,M.,Haram,V.,Solomon,S. - Hidrologie,Editura tehnică,Bucureşti,1956

C-2 Constantinescu,V.N.,- Teoria lubreficaţiei în regim turbulent,Editura Academiei RSR,Bucureşti,1965

C-3 Ciugaev,R.R. - Ghidravlika Izd."Energhia" Leningrad,1970, izdanie vtoroe.

C-4 Comitetul de stat al apelor.Institutul de studii şi cercetări hidrodinamice.Studii de hidrologie XXI,Bucureşti,1967

C-5 Chien,N. - The Present Status of Research on Sediment Transport Proc.ASCE,New York 80,1954

D-1 Dan,E.,- Regularizări de rîuri,Editura didactică şi pedagogică,Bucureşti,1964

D-2 Dementiev,M.A. - O dvijenie jidkostiv mestah povorota rusla, Izv.naucino-melioraţ.Instituta,vîp XXIIXXII,Leningrad,1930

D-3 Danelia,N.F.- Formirovanie rusla na izghibe potoka metodom poperecinoi ţirkulaţii,Sbornik "Poperecinaia ţirculiaţiia v otkrîtom potoke" pod redakţii Potapova,M.V.,Selihozghiz, Moskva,1936

D-4 Diaconu,C., Debitul solid pe rîurile din RSR.Lucrare de doctorat 1970

E-1 Einstein,H.A.,- Formulae for the transportation of bed load In Transactions A.S.C.E. vol.107,1942

E-2 Einstein,H.A., - Bed Load function for sediment transportation in open channel flow.In Technical Bulletin,nr.1026,1950

E-3 Einstein,H.A. şi Barbarossa,N.,River chanel Roughness. In Transaction ASCE,vol.117,1952

E-4 Einstein,H.A. şi Barbarossa,N. - Sediment transportation mechanics - Sediment discharge formulas.In Journal of the Hydraulics Division,P.ASCE,vol.97,No.H.Y aprilie 1971

E-5 Einstein,H.A. şi Barbarossa,N. - Hydraulic relations for alluvial streams.In Journal of the Hydraulics Division, P.ASCE vol.97 No.H.Y 1,ianuarie 1971

E-6 Emmett,W.W.,Leopold,L.B. - Geometry of river channel.Discussion.Journal of the Hydraulics Division,Proc.Am.Soc.Civ. Engrs.,90 No.H.Y. 5,1964

F-1 Fidman,B.A. - Rezulitată izmerenia turbulentnosti v raznomernom i rezko rasşiriaiuşcemsia potoke.Izv.AN SSSR,OTN, 1953,No.11,p.1630-1644

G-1 Grinvald,D.J. - Turbulentnosti ruslovîh potokov,Ghidrometeoizdat,Leningrad,1974

G-2 Goncearov,V.N. - Dinamika ruslovah potokov,Ghidrometeoizdat, Leningrag,1962

G-3 Griganin,K.V. - Teoria ruslovovo proțessa. Izdt.Transport, Moskva,1972

G-4 Gradstein,J.S.,Rîjik,J.M. - Tablițî integralov,summ,riadov i proizvedenii,Gosudarstvennoe izdatelistvo fiz-mat. literaturî,Moskva,1963

H-1 Hâncu,S.,- Regularizarea albiilor rîurilor mici,Editura CERES,București,1971

H-2 Hâncu,S. - Modelarea hidraulică în curenți de aer sub presiune,Editura Academiei RSR,București,1967

H-3 Henderson,F.M. - Open Channel Flow.The Macmillan Company, New York Collier-Macmillan Limited,London,1966

H-4 Haiași,K. și ~~Bark~~,I.S. - Mnogoznacinîe tablițî crugovîh ghiperboliceskih i drughih funcții,Vîcislitelnîi țentr A.N.-SSSR,Moskva,1965

H-5 Hâncu,S.,Predescu,L.,Novotny,P. - Model de calcul privind dimensionarea lucrărilor de regularizare a albiilor în zona amenajărilor hidroameliorative.Analele ICIFP Seria hidrotehnica,vol.I,1967

H-6 Hâncu,S.,Predescu,L.,Marinescu,V. - Sur le mouvement des fluides autour d'une plaque plane,C.R.Acad.Sc. Paris 269 , 1969

H-7 Hâncu,S. - Calculul hidraulic al podurilor-Studii de hidraulică ISCH,București,1964

I-1 Iokoși,Sh. - Observations of turbulence in Sosui Canal.Bull Disaster Prevention Research Institute.Annuals Nr.9 Kyoto, Japan,1966

I-2 Iușmanov O.L.K rasciotu poperecinoi țirkuliații na krivolineinom uciastke kanala,Ghidrotehnika i melioratția No.1, 1953

I-3 Iakovleva,T.I - Skorostnoe pole potoka na odinocinom izghibe.Kandidatskaia dissertațiia,L.G.M.I.,Leningrad,1958

I-4 Institutul de meteorologie și hidrologie-sectorul Timișoara
a.- Carnete de măsurători pe rîul Timiș,postul Lugoj, Ban.2.1.4. anii 1960, 1970
b.- Carnete de măsurători pe rîul Timiș,postul Sadova Veche, Ban.2.1.4,anii 1961, 1966
c.- Carnete de măsurători pe rîul Bega,postul Balinț, Ban.1.1.3, anii 1961, 1966

I-5 Ibad-Zade Iu.A. - Ghidravlika sprianlenii izlucin rek. Baku , 1961

I-6. Ionescu Sisești Dan, Beleciu, St. - Regularizarea rîurilor, București, 1965
I-7 Institutul de meteorologie și hidrologie. Rîurile României, București, 1971
J-1 Jura, C. - Curs de economia apelor, Editura didactică și pedagogică, București, 1962
K-1 Kojevnikov, M.P. - O dvijenii vodî na povorote rusla. Izb. VNIIG, t.44, Leningrad-Moskva, 1951
K-2 Kalinske, A.A. - Movement of sediment as bed load in rivers. In Transactions ASCE, vol.4, 1947
K-3 Knoroz, V.S. - O deformațiah dna i o vliianii ih na ghidravlicceskii regim potokov. Trudî III Vsesoiuznogo ghidrologiceskogo siezda, Leningrad 1960
K-4 Karausev, A.V. - Ghidravlika rek i vodohranilișci. Recitransizdat, Leningrad, 1955
K-5 Kondratev, N.E. ș.a. - Ruslovoi proțes, Ghidrometeoizdat, Leningrad, 1959
L-1 Liahter, V.M., Prudovskii, A.M. - O vliianii coefițienta ghidravliceskogo treniia i otnositelinoi șirinî potoka na raspredelenie prodolinîh skorostei na povorote. Bul. naucin.-teh., informații Ghidroproekta im.S.Ia.Juk.No.1, Moskva, 1958
L-2 Liahter, V.M., Prudovskii, A.M. - Usloviia dvijeniia na povorote v zavisimosti ot coefițienta ghidravliceskogo treniia i otnositelinoi șirinî potoka. Sbornik Ghidravlika soorujenii i dinamica recinîh rusel. A.N. SSSR, 1959
L-3 Leliavsky, S. - V vedenie v recinuiu ghidravlicu. Traducere din limba engleză. Ghidrometeorologhiceskoe izdatelistvo, Leningrad, 1961
L-4 Levi, I.I. - Dvijenie recinîh potokov v nijnîh biefah ghidrotehniceskih soorujenii, Moskva 1955
L-5 Larras, J. - Hydraulique et granulats. Eyrolles 1972
L-5 Levi, I.I. - Injenernaia ghidrologhia, Moskva 1968
L-7 Lopatin, G.V. - Nanosî rek SSSR, Moskva 1952
L-8 Langbein, W.B. - Geometry of river channels. Proc. ASCE, vol.90 n Hy 2, 1964
L-9. Latișencov, A.M. - Voprosî ghidravlichi isoustweno sjatîh rusel. Gosizdat, Moskva 1960
M-1 Mateescu, C. - Hidraulica. Editura didactică și pedagogică București, 1963
M-2 Manoliu, I. - Regularizări de rîuri și căi de comunicație pe apă. Editura didactică și pedagogică, București, 1973

M-3 Manoliu, I. ş.a. - Regularizări de rîuri. Manualul inginerului hidrotehnician, vol. II. Editura tehnică Bucureşti, 1970
M-4 Manoliu, I. - Principiile şi metodele dimensionării albiei stabile. In Hidrotehnica, Gospodărirea apelor, meteorologia, nr.11, 1971
M-5 Mostkov, M.A. - O cerk istorii ruslovovo potoka. Izdat A.N. SSSR, 1959
M-6 Monin, A.S., Iaglom, I. - Staticeskaia ghidromehanica. Izdat Nauca, Moskva 1965
M-7 Mîndru R., Ioniţoaia H. Hidrologie ameliorativă, Editura agrosilvică, Bucureşti, 1962
M-8 Malkus, W.R. - Discrete transmitions in turbulent convection Proc. Roy. Soc. Seria A(225)
M-9 Milovici, A. Ia. - Nerabocii izgib potoka jidkosti. Bul. Politehniceskogo obşcestva No.10, Moskva, 1914
M-10 Makkaveev, V.M. - O dvijenii ruslovîh potokov i ob obşcih voprosah turbulentnogo dvijeniia jidkosti. Trudi 1 Y ghidrologhiceskoi konferenţii baltiiskih stran, doklad No.91, 1933
M-11 Muramoto Y.- Secondary flow in curved open channels. Trudi XII kongressa M.A.G.I., t I, 1967
M-12 Müller, R. - Theoretische Grundlagen der Fluss-und Wildbachverbaungen. Ed. A.G. Gebr. Leemann § Co, Zürich, 1943
M-13 Mercer, A.G.- Characteristics of Sand ripples in low Froude nomoer flows. University of Minnesota, 1964
M-14 Meyer Peter E., Müller, R. - Formulas for Bed-Load Transport, Congresul II AIRH, Stockholm, 1948
M-15 Mamak, W.- River regulation. Warszawa, 1964
N-1 Nicolescu, M., Dinculescu, N., Marcus, S. - Analiză matematică vol. I. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1966
O-1 Oghievskii, A.V. - Hidrologia uscatului vol. I. Traducere din limba rusă. Institutul de documentare tehnică, Bucureşti, 1955
O-2 Oroveanu, T. - Hidraulica şi transportul produselor petroliere. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1966
P-1 Pavel, D. - Hidraulica teoretică şi aplicată. Editura tehnică Bucureşti, 1950
P-2 Pecikurov, A.F., Sapliukov, F.V., Vîrjikovskii, L.V. - Izmerenie turbulentnosti ruslovogo potoka tenzometriceskim datcikom Ghidrotehnika i melioraţia No.6, 1967
P-3 Potapov, M.V.- Socineniia T II, III, Selihozghiz, Moskva 1950

BUPT

P-4 Prus-Chasinski T.M. - Patterns of motion in open channel bends. Journal of the Institution of Water Engineers, vol.10, No.5, 1956

P-5 Poletaev, I.B. - Studiul stabilității albiei la eroziune și legitățile generale ale mișcării în curbele canalelor trapezoidale înguste (în limba rusă). Teză de doctorat elaborată în cadrul catedrei de ameliorații inginerești a Facultății de hidrotehnică a Institutului politehnic "M.I.Kalinin" din Leningrad, sub conducerea prof.dr.Ghobov P.D., om de știință emerit, 1971

P-6 Pecicurov, A. - Ustoicivosti rusl rek i kanalov. Izdatelistvo "Urojai" Minsk, 1964

P-7 Pop A.Radu. - Contribuții la optimizarea dimensionării albiilor de cursuri regularizate. In Hidrotehnica No.9 vol.18 septembrie 1973

P-8 Paintal, A.S. - The probabilistic characteristics of bed load transport in alluvial channels. University of Minesota, 1969

P-9 Paintal, A.S. - A stochastic model of bed load transport. In Journal of Hydraulic Research, A.I.R.H. vol.9 No.4, 1971

Q-1 Quesnel Bernard - Traite d'hydraulique fluviale appliquee. Ed. Eyrolles, Paris

R-1 Rudiš, M., Smutek, R. - Relations between turbulence characteristics and the hydraulic Parameters of the shear flow. Acta technica CSAN, No.2, 1966

R-2 Reynolds, W.C., Tiederman, W.C. - Stability of turbulent channel flow with application to Malkus's theory. Journal of Fluid Mechanics, febr.1967

R-3 Rozowski, I.L. - Issledovanie poperecinoi țirculiații na izghibe recinogo potoka. Meteorologhia i ghidrologhia No.6, 1955

R-4 Rozowski, I.L. - Dvijenie vodî na povorote otkrîtogo rusla. Izdat.A.N. SSSR, Kiev, 1957

R-5 Rozowski, I.L. - Vîzmacenia poperecinîh șvidkostei na povorotî rusla. Visiti Institutu ghidrologhii i ghidrotehniki An.URSR, T 6(13), 1950

R-6 Rouse, H. - Mehanika jidcosti dlia injenerov ghidrotehnikov. Traducere din limba engleză. Moskva, 1958

S-1 Schlichting, H. - Teoria pogranicinovo sloia. Traducere după ediția a cincea din limba germană. Izdatelistvo Nauka, Moskva, 1974

S-2 Satkevici,A.A. - Teoreticeskie osnovî ghidrodinamiki,partea a II-a,Moskva,1934

S-3 Săvulescu,S.N. - Tranziţia de la curgerea laminară la cea turbulentă.Editura Academiei RSR,Bucureşti,1968

S-4 Shuckry,A. - The flow around bends in an open flume.Trans. Amer.Soc.of.Civ.Eng.,vol.115,1950

S-5 Sisman,I.,Şîrbu,St.,- Metode simplificate de măsurare a debitelor de apă.Studii de hidrologie vol.XXI,CSA.Institutul de studii şi cercetări hidrometrice,Bucureşti,1967

S-6 Şamov,G.I.- Recinîe nanosî.Leningrad,1959

S-7 Scibulescu,C.,Bătucă,D.- Studiul rezistenţelor hidraulice a scurgerii pe canalul de deviere a Jiului de la Rovinari-Roşia,prin metoda Einstein.In Hidrotehnica,vol.18 nr.9, 1973

S-8 Scibulescu,C.,Bătucă,D. - Comportarea în timp şi analiza scurgerii în albia cu pat mobil a canalului de deviere a Jiului de la Rovinari-Roşia.In Hidrotehnica vol.18,1,1973

S-9 Scibulescu,C.,Enescu,G.,Bozez,C - Proiectarea şi executarea canalului de deviere a Jiului la Rovinari.In Hidrotehnica vol.15,7,1970

S-10 STAS 9269-73 - Lucrări de regularizare a albiei rîurilor Prescripţii de proiectare.

T-1 Tipei,N.,Constantinescu,V.N. - Influenţa legii de variaţie a lungimii de amestec asupra mişcării turbulente din stratul de lubrefiant.Studii şi cercetări de mecanică Aplicată. Nr.5 tom 11,1960

U-1 Urziceanu Roşca D. - Aspecte metodice privind dinamica albiilor în Studii de hidrologie vol.XXXVIII , 1973

U-2 Urziceanu D. - Relaţiile dintre variaţia albiei pe verticală în profile caracteristice şi regimul hidrologic la staţia experimentală Conţeşti.In Studii de hidrologie vol. XXVIII , 1970

U-3 Urziceanu,D - Consideraţii asupra deformabilităţii albiilor şi unele rezultate ale cercetărilor.In Studii de hidrologie vol.XXI,1967

U-4 Urziceanu-Roşca,D. - Consecinţele pentru activitatea hidrometrică ale evoluţiei albiilor rîurilor şi unele aspecte metodice.In Studii de hidrologie vol.XLI , 1973

U-5 Urziceanu,D. - Consideraţii privind caracterizarea stabilităţii albiilor rîurilor.In Hidrotehnica,Gospodărirea Apelor,Meteorologia,nr.1,1967

U-6 Ujvari, I.- Geografia apelor României.Editura ştiinţifică Bucureşti,1972

V-1 Velikanov,M.A. - Ruslovoi proţess.Gosudarstvenoe izdatelstvo fiziko-matematiceskoi literatură,Moskva,1958

V-2 Ven te Chow - Open-channel hydraulics Mc Graw-Hill Book Company New York Toronto London 1959

V-3 Velikarov,M.A. - Dinamica ruslovah potokov.Gostehizdat Moskva,vol.1,1954,vol.2,1955

V-4 Veiga da Cunha L. - Evoluçao actual dos conceitos sobre transporte solido em escamentos cam superficie livre. Lisboa,1969

V-5 Ven te Chow - Handbook of applied hydrology.Section 17-II. Part.II.River sedimentation,by Hans Albert Einstein New York,1964

Y-1 Yalim Selim - Geometrical properties of sand waves. Proc.ASCE,vol.9o , n Hy 5 , 1964 Part.1

Z-1 Zambahidze,G.N. - Dvijenie realnoi jidkosti i tviordîh tel na krivolineinîh ucicstkah rek.Izdat.Sabciota Sakartvelo, Tbilisi,1967

Z-2 Zamarin,I.,Popov,I. - Ghidrotehnicescki soorujenia Selhozghiz , 1952

L-1o Levi,I.I.,- modelirovanie ghidravliceskih iavlenii, Moskva,1967

R-7 Raghunath,H.M.,- Dimensional analysis and hydraulic model testing, New York,1967

C-6 Chiselev,P.G.,- Indreptar pentru calcule hidraulice, traducere din limba rusa,Editura energetica de stat,1953