

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMIȘOARA
FACULTATEA DE HIDROTEHNICĂ

619.472
366 C.

TEZĂ DE DOCTORAT

**Tema: Studiul influenței parametrilor hidraulici și
geometrici asupra curgerii la ape mari**

Conducător științific
Prof. dr. ing. *David Ioan*

Doctorand
ș.l. ing. *Bălă Pompiliu*

- 1997 -

109.000

Cuprins

Capitolul 1. Generalități	5
1.1. Considerații asupra regimului hidrografic al României	5
1.2. Generalități asupra curgerii în albiile naturale	5
1.3. Modele de calcul pentru curgerea la ape mari în albiile naturale	6
1.4. Scopul lucrării	7
Capitolul 2. Caracteristicile curgerii cu nivel liber la ape mari	8
2.1. Descrierea fenomenologică	8
2.2. Factorii hidraulici ai curgerii la ape mari	9
2.2.1. Geometria secțiunii de curgere	9
2.2.2. Influența albicii majore inundabile	11
2.2.3. Rugozitatea albicii și acoperirea vegetală	12
2.2.4. Alți factori de influență	13
Capitolul 3. Bazele calcului hidraulic ale curgerii la ape mari	14
3.1. Considerații generale	14
3.2. Legi de curgere fundamentale	16
3.2.1. Calculul albiilor naturale cu rugozitate omogenă	16
3.2.2. Calculul albiilor naturale cu rugozitate diferențiată	20
3.2.2.1. Calculul rugozității echivalente	20
3.2.2.2. Calculul coeficientului de rezistență hidraulică	21
3.2.3. Influența formei albicii	22
3.2.4. Modelarea interacțiunii dintre albia minoră și albia majoră	23
3.2.5. Modelarea efectului vegetației asupra curgerii	26
3.3. Ecuațiile Saint-Venant	32
3.3.1. Considerații asupra posibilităților și limitelor de soluționare analitică a ecuațiilor Saint-Venant	34
3.3.2. Metodă de calcul a suprafeței libere a apei bazată pe folosirea metodei diferențelor finite	35
Capitolul 4. Obiective propuse spre studiu	37
Capitolul 5. Modele și legi de curgere pentru o albie fracționată, obturată (parțial) de vegetație	39

5.1.	Considerații asupra modelelor existente	39
5.2.	Metodă propusă pentru determinarea capacității de transport a albiilor fracționate, (parțial) obturate de vegetație	40
5.3.	Determinarea raporturilor de curgere în diferitele zone ale secțiunii	42
5.3.1.	Zona 1. Curgerea în albia majoră, cu vegetație, neinfluențată de cugerea din albia minoră	42
5.3.1.1.	Schemă logică. Program "A"	45
5.3.1.2.	Program "A"	46
5.3.2.	Zona 4. Curgerea în albia minoră, fără vegetație, neinfluențată de cugerea din albia majoră, cu vegetație	49
5.3.2.1.	Schemă logică. Program "B"	51
5.3.2.2.	Program "B"	52
5.3.3.	Zona 2. Curgerea în albia majoră, cu vegetație, influențată de cugerea din albia minoră	56
5.3.3.1.	Schemă logică. Program "C"	59
5.3.3.2.	Program "C"	60
5.3.4.	Zona 3. Curgerea în albia minoră, fără vegetație, influențată de cugerea din albia majoră, cu vegetație	61
5.3.4.1.	Schemă logică. Program "D"	62
5.3.4.2.	Program "D"	63
5.4.	Model pentru determinarea capacității de transport, la ape mari, a albiilor fracționate cu vegetație în albia majoră	65
Capitolul 6. Model de calcul pentru determinarea suprafeței libere de curgere, la ape mari, în cazul albiilor fracționate		66
6.1.	Schemă pentru calculul nivelului de apă $Y_{(K)}$	69
6.1.1.	Program pentru determinarea nivelului de apă	70
6.2.	Schemă pentru calculul pantei energetice $I_{E(K)}$	71
6.2.1.	Program pentru determinarea pantei energetice	72
Capitolul 7. Prezentarea cercetărilor de laborator		73
7.1.	Descrierea standului experimental	74
7.2.	Descrierea geometriei secțiunii transversale	75
7.3.	Descrierea tipurilor de rugozitate artificială	75
7.4.	Prezentarea măsurătorilor	80

Capitolul 8. Prezentarea rezultatelor experimentale	81
8.1. Curgerea în alpii fracționate, fără vegetație în curent	81
8.1.1. Secțiune dreptunghiulară simplă. Tipul de rugozitate A_1	81
8.1.2. Secțiune dreptunghiulară compusă. Tipul de rugozitate A_2	84
8.2. Curgerea în alpii fracționate cu vegetație compactă în curent. Secțiune dreptunghiulară simplă. Tipurile de rugozitate B_1, C_1, D_1, E_1 .	86
8.3. Curgerea în alpii fracționate, obturate parțial de vegetație. Secțiune dreptunghiulară compusă. Tipurile de rugozitate B_2, C_2, D_2, E_2 .	98
Capitolul 9. Concluzii și contribuții personale	111
Bibliografie	114

Capitolul 1. Generalități

1.1. Considerații asupra regimului hidrografic al României

În cuprinsul celor 237.000Km² ai teritoriului României se pot identifica mai mult de 4000 de râuri, care au suprafața bazinului de recepție mai mare de 10Km². Lungimea totală a acestor cursuri de apă este de 60.000Km, ceea ce îndreptățește aprecierea că România posedă o bogată rețea de ape interioare.

Toate fenomenele și procesele care definesc caracterul curgerii în albiile naturale poartă denumirea de regim hidrografic.

Regimul hidrografic al râurilor țării noastre este caracterizat prin prezența unor debite mari, rezultat prin topirea zăpezilor, din ploile de primăvară și vară, care reprezintă 30% până la 50% din totalul anual. Lunile iulie-septembrie și decembrie-februarie sunt caracterizate de debite mici, iar de la un an la altul apar importante variații ale debitelor.

1.2. Generalități asupra curgerii în albiile naturale

O caracteristică a curgerii în albiile naturale este că formele secțiunilor transversale, traseul în plan și panta longitudinală a fundului sunt modelate de curgerea însăși, printr-o dublă acțiune de eroziune și depunere și reciproc, forma secțiunii transversale, traseul în plan și panta longitudinală a fundului determină distribuția vitezelor în secțiuni.

Condițiile reale de desfășurare a curgerii în albiile naturale sunt complexe, putându-se afirma că în aceste tipuri de albiile nu se realizează mișcări permanente.

În decursul anilor, datorită creșterii necesarului de spațiu pentru industrie, agricultură, locuințe, agrement, etc, s-au ocupat suprafețe importante în imediata apropiere a cursurilor de apă, reducându-se semnificativ suprafețele de retenție.

Micșorarea suprafețelor riverane a condus la modificarea modului de propagare a viiturilor prin scurtarea duratei de propagare și creșterea nivelurilor de apă, contribuind implicit la mărirea pericolului de inundație.

Pe lângă pagubele care le produc și care pot fi evaluate, inundațiile au și o serie de efecte sociale negative, în cea mai mare parte necuantificabile. Cel mai regretabil dintre aceste efecte îl constituie pierderea de vieți omenești.

În același timp însă inundațiile exercită și o serie de funcțiuni naturale, ele creând condiții specifice de cadru natural, aflat în echilibru

tocmai în condiții de inundabilitate. Eliminarea inundațiilor modifică inevitabil aceste condiții și ca atare constituie o intervenție, adeseori brutală, în echilibrul natural al zonei, care poate antrena consecințe de amploare.

În noile condiții, când se acordă o atenție sporită îmbunătățirii situației ecologice, conservării faunei și florei, adică renaturalizării cursurilor de apă, respectării dreptului de proprietate asupra terenului, dar și necesității apărării contra inundațiilor, este necesară o nouă abordare a studiului curgerii și implicit a propagării undelor de viitură.

1.3. Modele de calcul pentru curgerea la ape mari în albiile naturale

Un calcul exact al curgerii la ape mari ar trebui să țină seama în **primul rând** de variația în timp a geometriei albiei, ceea ce, la nivelul actual al științei, nu este încă posibil. **În al doilea rând**, curgerea la ape mari este un proces hidraulic tridimensional. Deși direcția principală de curgere este cea în lungul cursului de apă, apar curenți transversali importanți, legați în special de schimbul de debite între albia minoră și albia majoră și de vitezele de curgere, mult diferite în aceste albiile.

Dificultățile întâmpinate în aplicarea unor asemenea soluții impun în practica curentă adoptarea unor ipoteze simplificatoare.

Pe lângă ipotezele simplificatoare de bază (albie stabilă și curgere unidimensională), care sunt acceptate pentru toate modelele utilizate până în prezent, mai apar și ipoteze simplificatoare specifice diferitelor metode particulare.

În general, asemenea simplificări sunt acceptabile pentru unele mărimi și neacceptabile pentru altele.

În cazul modelelor bazate pe integrarea ecuațiilor diferențiale ale mișcării nepermanente, cea mai curentă dintre simplificări o constituie neglijarea anumitor termeni ai acestor ecuații.

Modelele sunt legate în principal de determinarea valorii unor parametrii sau coeficienți care intervin în ecuațiile curgerii, precum: rugozitatea, forma secțiunii transversale a albiei, prezența vegetației, etc.

Curgerea la ape mari în albiile naturale are un caracter complex, fiind funcție de diverși factori naturali (meteorologici, geografici, geologici, biologici), deosebindu-se de curgerea în albiile artificiale prin:

- profil transversal fracționat atât din punct de vedere geometric, cât și din punct de vedere al rugozității;
- traseu meandrat și apărări de maluri naturale;
- vegetație flexibilă, în majoritatea cazurilor inundată în albia minoră;

- vegetație relativ rigidă în albia majoră;
- rugozitate foarte diferită în lungul albiei.

Încă nu se cunoaște precis efectul fiecărui factor în parte asupra curgerii și cu atât mai mult, sarcina inginerului hidrotehnician de a aprecia conlucrarea acestor factori este foarte dificilă.

1.4. Scopul lucrării

Un prim obiectiv al lucrării este de a sistematiza și valorifica o parte din imensul material documentar existent până în prezent, privind evaluarea rezistențelor hidraulice și parametrii de influență ai curgerii la ape mari în albiile naturale sau apropiate de cele naturale.

Cercetările experimentale s-au efectuat în scopul de a completa baza de date și de a evidenția pe model hidraulic, în laborator, efectele parametrilor: geometrie, rugozitate, vegetație, asupra curgerii într-o albie artificială și stabilirea unor modele de calcul, prin care să se evalueze rezistențele hidraulice în funcție de parametrii de curgere independenți și direct măsurabili (geometrie, pantă, viteză și caracteristicile vegetației).

Scopul principal al lucrării de față îl constituie prezentarea unei metode îmbunătățite de calcul hidraulic pentru determinarea caracteristicilor de curgere (nivel, debit) în cazul albiilor fracționate, atât din punct de vedere al geometriei, cât și al rugozității.

Capitolul 2. Caracteristicile curgerii cu nivel liber la ape mari

2.1. Descrierea fenomenologică

Apa rezultată din marile averse de ploaie sau din topirea zăpezilor ajunge după o scurgere pe versanți, de cele mai multe ori rapidă, în albiile naturale, în care se scurge sub formă de unde de viitură.

La curgerea prin albiile naturale, viitura determină creșterea debitelor și ridicarea nivelurilor de apă într-un anumit interval de timp.

Datorită unor secțiuni insuficiente de curgere, a unor rugozități mari sau a unor obstacole, undele de viitură depășesc malurile albiei minore, trec în albia majoră și dacă nu întâlnesc o îndiguire în cale, inundă suprafețele riverane.

Studiul undelor de viitură din punct de vedere hidrometeorologic are ca scop studiul regimului de curgere la ape mari, într-o albic naturală, scoțând în evidență parametrii care caracterizează acest regim și mecanismul genezei fenomenelor la ape mari.

În general, pentru caracterizarea undelor de viitură se pornește de la hidrograful unde de viitură, diagramă care reprezintă variația în timp a debitelor (sau nivelurilor) într-o secțiune dată. Ea are o primă fază de creștere continuă, o fază mijlocie, care corespunde curgerii la vârf și o a treia fază, în care curgerea scade către valoarea inițială.

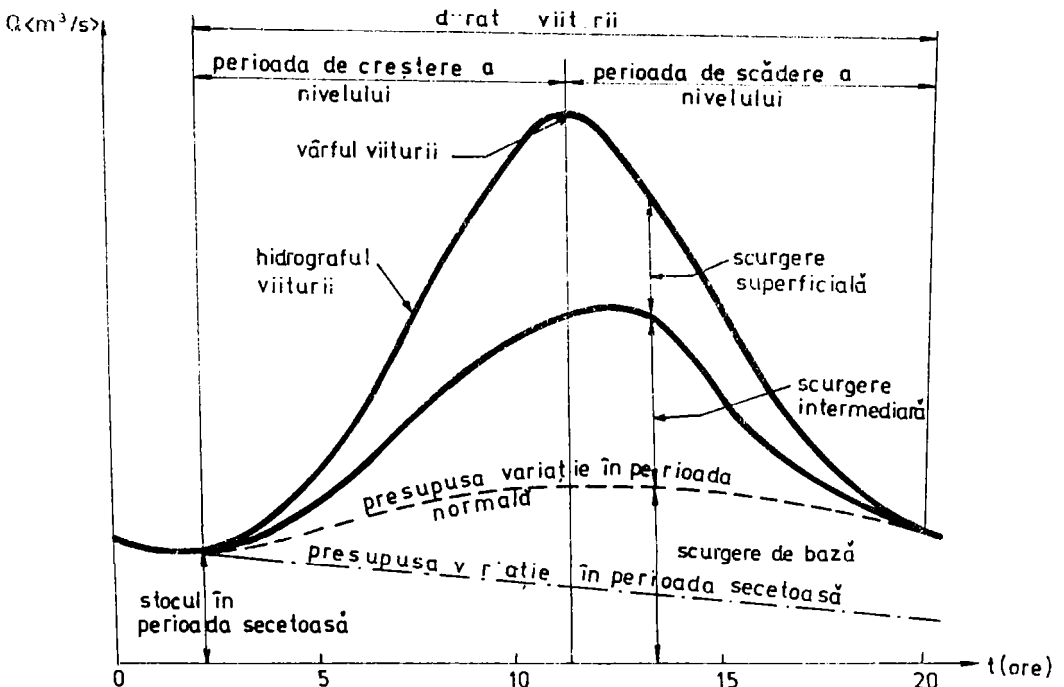


Fig.nr. 1 Hidrograful viiturii într-o secțiune de curgere

Pentru caracterizarea regimului la ape mari, debitul maxim (sau debitul de vârf) constituie parametru esențial.

Fiecare viitură este caracterizată și de durata undei de viitură, definită ca intervalul de timp între momentul începerii viiturii și cel al terminării viiturii.

Pentru amenajarea cursurilor de apă, în scopul combaterii efectului distrugător al apelor mari, cuprinzând: lucrări de acumulare, regularizare, îndiguire și altele, este necesar să se cunoască debitul maxim al viiturii și modul de propagare a undelor de viitură pe cursul respectiv de apă.

Forma curbei de curgere a unei viituri depinde, pe de o parte de situația hidrografică a bazinului în care se desfășoară și pe de altă parte de caracteristicile hidraulice ale cursului de apă.

În cele ce urmează se prezintă îndeosebi caracteristici hidraulice ale curgerii.

2.2. Factorii hidraulici ai curgerii la ape mari

Factorii hidraulici de influență sunt mărimi geometrice și hidraulice specifice cursurilor de apă, ei influențând semnificativ raporturile de curgere:

2.2.1. Geometria secțiunii de curgere

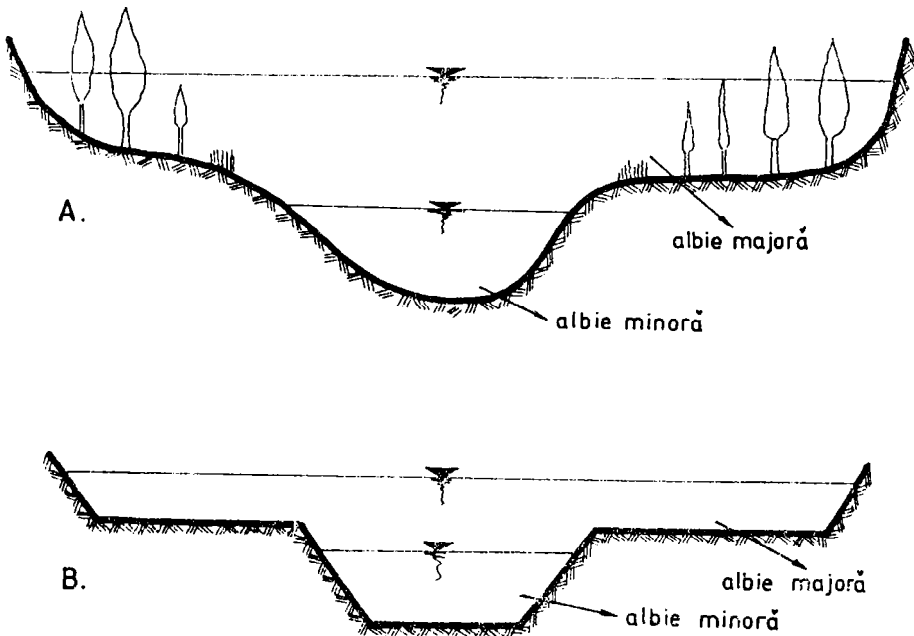


Fig.nr. 2. Secțiuni transversale printr-o apă curgătoare
A - albie naturală ; B - albie artificială

Geometria secțiunii de curgere are rolul cel mai important asupra propagării viiturii, atât prin lățimea și adâncimea curentului de apă, dar mai ales prin forma secțiunii transversale a albiei.

În fig.nr.2 se prezintă condițiile de inundabilitate pentru diferite configurații ale secțiunilor transversale a cursurilor de apă.

Cazul 2A prezintă o secțiune transversală printr-o albie naturală cu albia majoră slab dezvoltată și care, la ape mari, prezintă un grad de inundabilitate ridicat.

Cazul 2B prezintă o secțiune transversală printr-o albie artificială cu albia majoră bine dezvoltată. În acest caz, capacitatea sporită de transport a albici conduce la nivele de apă mult mai mici în albia majoră, la același debit ca și în cazul 2A și la un grad de inundabilitate scăzut.

Propagarea viituri în cazul 2B se face în mod diferit în albia minoră și în albia majoră. O astfel de secțiune transversală se numește divizată sau fracționată. În cazul secțiunilor divizate adâncimile de curgere diferite în albia majoră și cea minoră, determină o variație a vitezei de curgere în cele două albie (fig.nr.3).

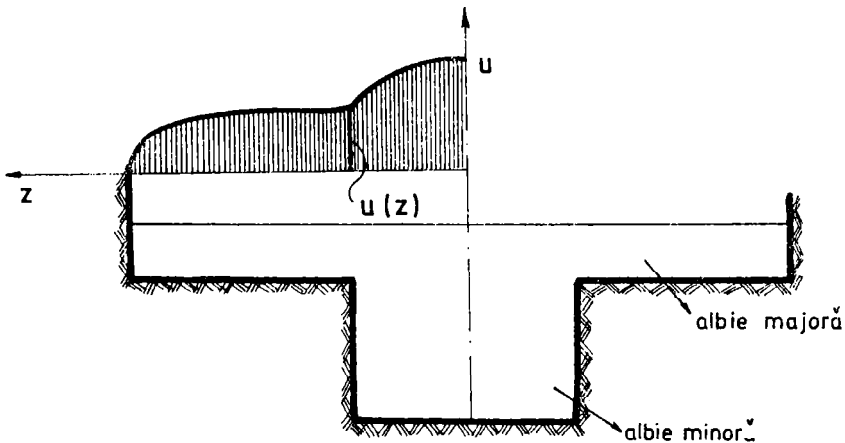


Fig.nr.3 Diagrama vitezei de curgere pentru o secțiune compusă (divizată)

În albia minoră, unde adâncimea apei este mai mare și viteza de curgere este mai mare decât în albia majoră.

În zona situată între albia minoră și cea majoră, datorită gradientului lateral al vitezei, apar interacțiuni de natură turbulentă, influența acestora jucând un rol important în configurația curgerii. Acest aspect va fi analizat în detaliu în paragraful 3.2.

2.2.2. Influența albiei majore inundabile

Prin albie majoră inundabilă (luncă), se înțelege zona de curgere situată lângă albia minoră, care în unele cazuri este de câteva ori mai lată decât albia minoră. La viitură, albiile majore au o contribuție favorabilă, preluând o parte însemnată din debitul transportat.

Prin extinderea lor în lățime, luncile împiedică creșterea accentuată a nivelului de apă din alpii (fig.nr.4).

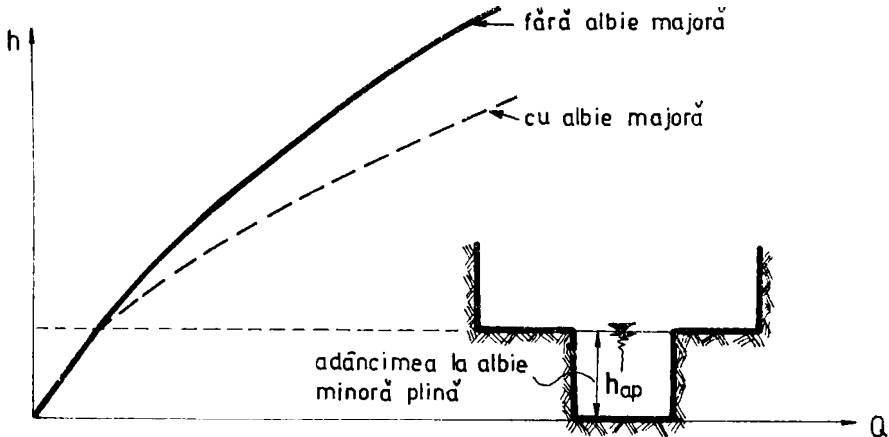


Fig.nr.4 Caracteristici de scurgere pentru o albie cu secțiune compusă

Mărirea secțiunii transversale de curgere și reîmpărțirea curgerii pe secțiunea divizată, conduce la reducerea vitezei medii de curgere, lucru foarte important, când se are în vedere studiul transportului de sedimente, eroziunea fundului albiei, respectiv stabilitatea generală a albiei.

În comparație cu albiile minore, luncile prezintă în natură forme geometrice mult mai variate. Astfel, se poate ajunge la variații importante ale secțiunii luncilor și implicit la apariția curenților laterali. Se poate întâmpla ca o parte a luncii să piardă pe o porțiune legătura cu curentul principal. De-a lungul acestor porțiuni, modelul și relațiile de calcul ale curgerii sunt altele decât cele pentru restul secțiunii. Pentru calculul curgerii este important a se deosebi care porțiune contribuie direct la scurgerea debitului de apă și care se transformă în zone de apă moartă.

Înfluența luncilor (albiilor majore) este deosebit de importantă la curgerea debitului de viitură. Prin inundarea lor se realizează, atât o întârziere a propagării undei de viitură, cât și o reducere a vârfului curgerii (fig.nr.5).

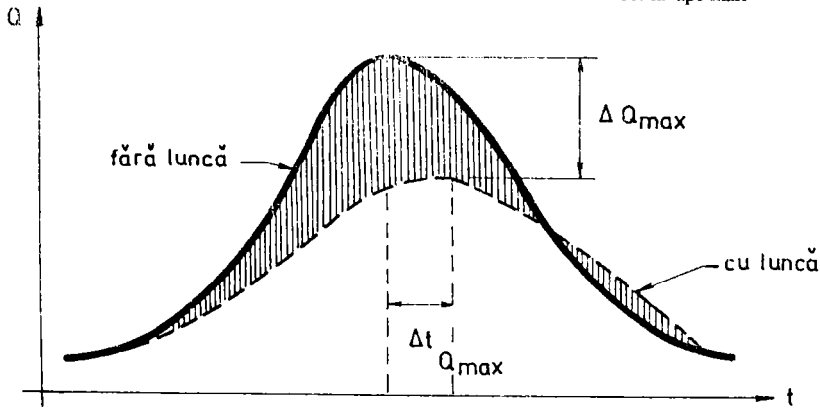


Fig.nr.5 Influența luncilor inundabile asupra propagării undei de viitură în timp

2.2.3. Rugozitatea albiei și acoperirea vegetală

Condițiile de curgere la o apă curgătoare sunt influențate de frecarea acesteia, atât cu fundul albiei, cât și cu malurile. Această frecare, care determină viteza de curgere, depinde în primul rând de rugozitatea albiei.

Pentru determinarea rugozității albiei, hotărâtoare este cunoașterea formei și mărimii materialelor constituente, precum și repartizarea acestora pe întreg perimetrul albiei. Cu cât albia râului este mai rugoasă, cu atât frecarea este mai mare, iar un grad de frecare sporit determină (la un debit și o secțiune egală) o ridicare a nivelurilor de apă.

La albiile naturale cu secțiune fracționată, raporturile de rugozitate între cea a albiei minore și cea a albiei majore sunt diferite. În cele mai multe cazuri luncile sunt mai rugoase decât albia minoră, fapt care contribuie la apariția unor deosebiri accentuate a curgerilor între diferitele porțiuni ale secțiunii considerate.

Influența vegetației asupra curgerii se poate compara în multe privințe cu o frecare de tip rugozitate, mai ales în condițiile inundării complete a stratului vegetal.

Acoperirea vegetală, într-o albie, poate fi împărțită în trei categorii, după cum se arată în fig.nr.6.

Încadrarea vegetației într-o categorie anume, depinde de situația curgerii, mai precis de raportul dintre înălțimea propriu-zisă a vegetației și adâncimea de curgere.

Specii vegetale a căror înălțime este mai mică decât cea de curgere se încadrează la vegetație mică, ea acționând asupra curgerii ca rugozitate a albiei.

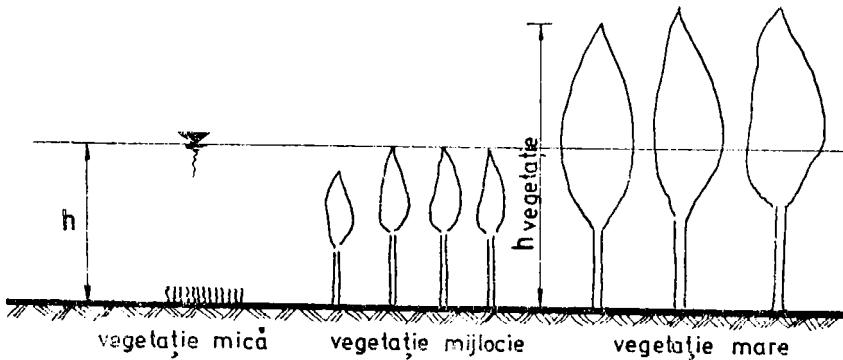


Fig. nr.6 Clasificarea vegetației

În categoria de vegetație mijlocie se încadrează vegetația a cărei înălțime se apropie de adâncimea apei în albie. Vegetația mijlocie se comportă, față de curgere, ca o rezistență locală, sau ca un obstacol izolat, iar forma, mărimea și dispunerea în plan în cadrul albiei, constituie parametrii de influență semnificativi.

Categoria a treia include vegetația mare, a cărei înălțime depășește adâncimea apei.

Curgera printre elementele de vegetație poate fi considerată, prin analogie, cu desfășurarea curgerii în jurul corpurilor cilindrice dispuse în curent.

De obicei în cazul curgerii la ape mari există toate cele trei categorii de vegetație și efectele lor asupra curgerii se suprapun. O descriere matematică exactă a raporturilor de rezistență în aceste cazuri nu este posibilă.

2.2.4. Alți factori de influență

Alături de factorii menționați, există și alții cum ar fi prezența în sau de-alungul cursurilor de apă naturale a: digurilor sau pragurilor pentru regularizarea curgerilor, culeclor sau pilelor de pod, instalațiilor și echipamentelor pentru măsurarea parametrilor curgerii, etc.

Curgera este influențată de fiecare dintre aceste construcții sau echipamente amplasate în curent, determinând modificarea propagării viiturii, prin scurtarea duratei și implicit prin mărirea vârfului acesteia.

Capitolul 3. Bazele calculului hidraulic ale curgerii la ape mari

3.1. Considerații generale

În capitolul 2 s-au descris fenomenologic condițiile de curgere la ape mari și în general factorii care influențează condițiile de curgere.

Din punct de vedere hidraulic, curgerea la ape mari este o mișcare nepermanentă, adică o mișcare în cadrul căreia toți parametrii locali ai curgerii (nivel, viteză, accelerație, presiune, debit) variază de la un moment al curgerii la altul, fiind funcție de timp.

Studiile proceselor hidraulice legate de propagarea undelor de viitură analizează modul în care undele de viitură se transformă în urma parcurgerii unui sector al cursului de apă studiat, precum și elementele hidraulice ale curgerii pe sectorul respectiv.

Condițiile reale de desfășurare a proceselor legate de curgerea la ape mari sunt foarte complexe. De aceea, în modelarea matematică a proceselor reale, apar necesare numeroase simplificări și schematizări ale fenomenului.

În primul rând albiile însăși, care determină limitele geometrice ale curgerii, constituie un element variabil al procesului. În special în cazul albiilor în materii aluvionare (albiile cu pat sau versanți mobili) apar în procesul de propagare al viiturii modificări ale secțiunilor transversale, ale traseului și ale profilului longitudinal. Un calcul exact ar trebui să țină seama de variațiile în timp ale a geometriei albiei, ceea ce la nivelul actual, nu este încă posibil. În consecință, modelele matematice ale proceselor de propagare a viiturilor pornesc de la ipoteza unui pat și a unor versanți ficși, adică al unei geometrii invariabile a albiei.

În al doilea rând curgerea la ape mari este un proces hidraulic spațial (tridimensional). Deși direcția principală de curgere este cea în lungul cursului de apă, apar curenți transversali importanți, legați în special de schimbul de debite dintre albia minoră și cea majoră (revărsări sau retrageri ale viiturilor) și de vitezele de curgere mult diferite în albiile majore și în cele minore.

Dificultățile întâmpinate în aplicarea unor asemenea soluții impun în practica curentă adoptarea unor ipoteze simplificatoare, considerând procesul unidimensional, adică analizându-se exclusiv procesele de transformare ale mărimilor medii pe secțiune în lungul cursului de apă.

Pe lângă cele două ipoteze simplificatoare de bază, care se fac pentru toate modelele matematice utilizate până în prezent, mai apar ipoteze simplificatoare specifice diferitelor metode particulare. Din acest punct de vedere se face distincție între:

- modele bazate pe integrarea ecuațiilor diferențiale ale mișcării neuniforme, care încearcă, prin diferite metode, să determine soluțiile sistemului de ecuații diferențiale cu derivate parțiale, care descriu fenomenul (optica școlilor europene);
- modele simplificate hidrologice, care încearcă să descrie fenomenul global, prin relații matematice mai simple (optica școlilor americane).

La rândul lor, în modelele bazate pe integrarea ecuațiilor diferențiale, pot apare diferite ipoteze simplificatoare. Cea mai curentă dintre acestea o constituie neglijarea anumitor termeni ai ecuațiilor diferențiale ale mișcării nepermanente.

În general, asemenea simplificări sunt acceptabile pentru unele mărimi și neacceptabile pentru altele. Se ajunge astfel la un ansamblu de modele, fiecare dintre ele fiind adecvat studierii unui anumit aspect. Astfel, prin neglijarea anumitor termeni ai ecuațiilor diferențiale se poate ajunge la determinarea unor valori de precizie acceptabilă pentru debitele maxime, însă insuficient de exacte pentru nivelul apei. În acest caz se acceptă din modelele respective numai debitele maxime calculate, iar pentru determinarea nivelurilor se utilizează alte modele, de exemplu calculul în regim permanent, care permite determinarea mai exactă a nivelurilor apei corespunzătoare debitelor respective.

Indiferent de tipul modelului matematic utilizat, se ridică în mod acut problema calării modelelor. Aceasta presupune evaluarea realistă a unor parametrii sau coeficienți, care intervin în ecuațiile care privesc descrierea fenomenului. Un exemplu reprezentativ al unui asemenea parametru îl constituie rugozitatea albiei. Pentru evaluarea acestui parametru trebuie să se dispună de măsurători pe albia supusă studiului, pentru curgeri la ape mari care s-au produs în realitate, valorile parametrilor stabilindu-se prin încercări, astfel încât să se obțină o coincidență sau o apropiere cât mai mare între măsurătorile din natură și rezultatele modelului pentru cazul considerat.

3.2. Legi de curgere fundamentale

În cazul curgerii la ape mari este necesară cunoașterea capacității de transport a albiei, la diferite niveluri de apă.

În cazul albiilor artificiale, la care secțiunea transversală are o formă geometrică bine precizată, determinarea capacității de transport nu ridică probleme deosebite.

Albiile naturale se caracterizează prin:

- secțiune transversală variată ca formă și mărime;
- rugozitate greu de apreciat și definit;
- transport de material solid la debite mari, ceea ce provoacă o scădere a vitezei medii de curgere;

De aceea, de-alungul anilor cercetători și ingineri au propus și experimentat modele de calcul și legi de curgere, care să cuprindă cât mai precis caracteristicile specifice menționate.

3.2.1. Calculul albiilor naturale cu rugozitate omogenă

Prima formulă fundamentală care s-a utilizat în calculul curgerii cu nivel liber în albiile naturale a fost elaborată de Chezy în anul 1775 și are forma cunoscută:

$$v = CR^{\frac{1}{2}}I^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

în care: v - viteza medie în secțiune;

R - raza hidraulică ($R = A/P$);

A - secțiunea udată;

P - perimetrul udat;

I - panta hidraulică;

C - coeficient depinzând de rugozitatea albiei, având dimensiunea ($C = L^{0.5}T^{-1}$).

Formula stabilită de Chezy pentru curgerea uniformă se poate deduce pe baza egalității greutatei apei în direcția curentului $F_G \sin \theta$ și a forței de frecare pe patul albiei F_R .

$$F_G \sin \theta = F_R \quad (3.2)$$

unde: $F_G = g\rho \cdot A\Delta L$

$F_R = \tau_0 \cdot P \cdot \Delta L$

F_G - greutatea apei;

F_R - forța de frecare de-alungul perimetrului udat (P), pentru un volum de control de lungime ΔL ;

θ - înclinarea fundului albiei față de orizontală;

$i_0 = \sin \theta$ - panta longitudinală a fundului albiei (panta geometrică);
 ρ - densitatea apei;
 g - accelerația gravitațională;
 τ_0 - efortul tangențial de frecare de-alungul perimetrului ud.

Din (3.2) rezultă:
$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot R \cdot I \quad (3.3)$$

Chezy a mai enunțat ipoteza că efortul tangențial pe patul albiei este proporțional cu pătratul vitezei de curgere medii:

$$\frac{\tau_0}{\rho} \sim v^2 \quad (3.4)$$

Relația lui Chezy (3.1) se obține prin înlocuirea relației (3.3) în relația (3.4) și introducând un coeficient de proporționalitate (C).

Cercetările ulterioare au stabilit pentru coeficientul Chezy "C" diferite formule de calcul. Astfel:

- formula lui Pavlovski:
$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (3.5)$$

unde: n - coeficient de rugozitate;

$$y = f(R, n);$$

$$y = 1,5\sqrt{n} \text{ pentru } 0,1m \leq R \leq 1,0m;$$

$$y = 1,3\sqrt{n} \text{ pentru } 1,0m \leq R < 3,0m;$$

- formula lui Manning-Strickler:
$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} = K_{st} \cdot R^{1/6} \quad (3.6)$$

unde: K_{st} este coeficientul lui Strickler;

- formula lui Agroskin:
$$C = 17,72(K + \lg R) \quad (3.7)$$

unde "K" este un coeficient care depinde de natura (rugozitatea) pereților.

Alte formule ale curgerii, în albiile cu nivel liber, până la cele elaborate de Manning-Strickler au rămas doar cu o importanță istorică.

Propusă de Manning în 1890 și Strickler în 1923, pe baza cercetărilor lui Chezy au rezultat formulele (3.8), care sunt astăzi cele mai răspândite și folosite formule de calcul ale curgerii într-o albie cu nivel liber:

$$v = \frac{1,49}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \text{ - Manning*}$$

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \text{ - Manning} \quad (3.8)$$

$$v = K_{st} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \text{ - Strickler}$$

*În teritoriul de limbă engleză se folosește formula lui Manning cu viteza exprimată în <ft/s> și raza hidraulică R exprimată în <ft>, constanta 1,49 fiind un factor de transformare din sistemul metric în sistemul de unități de măsură engleze.

619.472
366 C

Cei doi autori dau pentru coeficientul "C" a lui Chezy diferite valori. Astfel, în timp ce Manning folosește mărimea empirică "n" (coeficient de rugozitate), Strickler definește un coeficient de frecare funcție de rugozitatea patului albiei:

$$K_{St} = \frac{Const}{d_{90}^{1/6}} \quad (3.9)$$

unde: $Const = 21,1$ (Strickler 1923);

d_{90} - diametrul granulelor pe fundul albiei.

În relația lui Strickler (3.9) toate mărimile se introduc în unități metriche.

Cercetările lui Rouse (1950), Chow (1959), Yen (1975), precum și rezultatele experimentale, au arătat că atât "n" după Manning, cât și " K_{St} " după Strickler, nu sunt constante pentru o secțiune de albie, ci depind de adâncimile de curgere și de raza hidraulică.

Într-o secțiune de albie compusă (albie minoră și albie majoră) cu vegetație, distribuția vitezelor este cu totul alta, iar valorile "n" și " K_{St} " se vor modifica, funcție de adâncimile de curgere.

Din această cauză, începând cu anul 1901, s-a căutat să se stabilească formule, care să exprime debitul numai funcție de elementele geometrice (lățime, adâncime medie, pantă longitudinală), fără a introduce coeficientul de rugozitate. Aceste formule au ca bază ipoteza că, cursul natural își sapă albia corespunzător pantei și rugozității sale, adică lățimea și adâncimea medie depind de panta și rugozitatea efectivă. Formulele se aplică deci exclusiv albiilor naturale erodabile, deoarece numai în cazul lor este îndeplinită ipoteza de bază enunțată.

Formulele de acest tip au fost stabilite pe baza unui număr foarte mare de măsurători la albiile largi și de adâncime mică în raport cu lățimea, astfel încât se poate considera că raza hidraulică este aproximativ egală cu adâncimea medie. Structura formulilor, fără a ține cont de rugozitate, este în general următoarea:

$$v = K_v \cdot R^\alpha \cdot I^\beta \quad (3.10)$$

în care: v - viteza medie;

K_v - constantă;

R - raza hidraulică;

I - panta hidraulică.

După Hermanek:

pentru $R < 1,5m$: $v = 30,7 \cdot R \cdot I^{0,5}$

pentru $R > 1,5m$: $v = 34,0 \cdot R^{0,75} \cdot I^{0,5}$ (3.10')

După Gröger:

$$\begin{aligned} \text{pentru } R < 2\text{m: } & v = 23,78 \cdot R^{0,7} \cdot J^{0,453} \\ \text{pentru } R > 2\text{m: } & v = 22,21 \cdot R^{0,58} \cdot J^{0,45} \end{aligned} \quad (3.10'')$$

Gröger fixează limitele de aplicabilitate pentru formulele sale la:

- lărgimi de râuri peste 10m;
- adâncimi medii peste 0,2m;
- pantă maximă 0,005.

O a doua formulă fundamentală pentru calculul curgerii în albiile naturale este formula lui Darcy-Weisbach, care elimină neajunsurile semnalate mai sus, mai ales în ceea ce privește dimensionalitatea coeficienților:

$$v = \left(\frac{8g}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (R \cdot I)^{\frac{1}{2}} \quad (3.11)$$

$$\lambda = \lambda\left(\frac{4R}{k}; \text{Re}\right),$$

unde:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot 4R}{\nu}$$

R - raza hidraulică;

k - rugozitate de tip nisip;

ν - vâscozitatea cinematică a lichidului.

Elaborată inițial pentru curgerile sub presiune (conducte), relația (3.11) se poate folosi și pentru calculul curgerii cu suprafață liberă.

În contrast cu formulele Manning-Strickler (3.8), coeficientul de rezistență hidraulică “ λ ” este o mărime adimensională.

Rugozitatea patului albiei se caracterizează în formula Darcy-Weisbach prin “rugozitatea nisipului echivalent” după Nikuradse “k” și reprezintă rugozitatea de tip nisip, care are aceeași comportare de rezistență, ca și rugozitatea naturală a patului albiei.

Pentru “ λ ” se pot utiliza (cu neglijarea formei secțiunii transversale a albiei) relațiile:

$$\text{- canal hidraulic neted: } \frac{vk}{\nu} \leq 5 \text{ sau } \text{Re} \sqrt{\lambda} K < 14$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \left(\frac{\text{Re} \sqrt{\lambda}}{2,51} \right) = 2 \lg \left(\frac{4,51 \sqrt{gR^3 I}}{\nu} \right) \quad (3.12)$$

$$\text{- canal hidraulic rugos: } \frac{vk}{\nu} \geq 70 \text{ sau } \text{Re} \sqrt{\lambda} K > 200$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \left(\frac{14,84R}{k} \right) \quad (3.13)$$

sau relația universală Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{v}{4,51 \sqrt{gR^3 I}} + \frac{k}{14,84R} \right) \quad (3.14)$$

În aceste relații, R reprezintă raza hidraulică a secțiunii transversale, iar I este panta hidraulică. Relațiile de mai sus sunt valabile numai cu o anumită aproximație și numai pentru rugozități uniform distribuite pe întreaga albie (albie minoră și albie majoră).

Între coeficientul de rezistență hidraulică "λ" și coeficientul de rugozitate Strickler "K_{st}" există corespondența:

$$\lambda = \frac{8g}{K_{st}^2 \cdot R^1} \quad (3.15)$$

obținută din egalarea relațiilor (3.8) și (3.11)

Vom analiza pe rând modul în care factorii de influență ai curgerii sunt cuprinși în calculul coeficientului de rugozitate "K_{st}" sau al coeficientului de rezistență hidraulică "λ".

3.2.2. Calculul albiilor naturale cu rugozitate diferențiată

În cazul albiilor naturale, cu rugozitate diferențiată, viteza medie poate fi determinată utilizând o "valoare echivalentă" a rugozității sau a coeficientului de rezistență hidraulică.

3.2.2.1. Calculul "rugozității echivalente"

Pentru determinarea unei "rugozități echivalente", secțiunea transversală trebuie împărțită în "N" părți, a căror lungime din perimetru udat și rugozitate sunt cunoscute.

Autori ca Pavlovski, Banks au presupus că forța totală care se opune curgerii este egală cu suma forțelor de rezistență la curgere ce se dezvoltă pe cele "N" suprafețe de rugozitate cunoscută.

Pe baza acestei presupuneri, coeficientul de "rugozitate echivalent" Strickler poate fi calculat cu relația:

$$K_{st} = \left[\frac{I_i \cdot v^3}{\sum \frac{I_i \cdot v_i^3}{K_{sti}^2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.16)$$

unde:

$$v = K_{st} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} - \text{viteza medie în secțiunea transversală;}$$

R - raza hidraulică a întregii secțiuni;

I - panta hidraulică;

$v_i = K_{St} \left(\frac{A_i}{l_i} \right)^{2/3} \cdot I^{1/2}$ - viteza în domeniul de rugozitate K_{St} ;

A_i - suprafața secțiunii corespunzătoare lungimii l_i ;

l_i - lungimea din perimetrul udat corespunzătoare rugozității K_{St} ;

$$K_{St} = \left(\frac{A_i}{l_i} \right)^{1/6}.$$

Horton a presupus că fiecare domeniu rezultat din împărțirea secțiunii transversale are aceeași viteză medie, care în același timp este egală cu viteza medie a întregii secțiuni.

Pe baza acestei presupunerii, coeficientul de “rugozitate echivalent” Strickler poate fi calculat cu relația:

$$K_{St} = \left[\frac{\sum l_i}{\sum \left(\frac{l_i}{K_{St_i}^{3/2}} \right)} \right]^{2/3} \quad (3.17)$$

3.2.2.2. Calculul coeficientului de rezistență hidraulică

Pentru cazul albiilor naturale, care au o rugozitate diferențiată de-a lungul perimetrului udat, Einstein (1950) a elaborat “teoria rugozității”, care consideră că valoarea: “ $1/\sqrt{\lambda}$ ” trebuie înlocuită cu valoarea “ $1/\sqrt{\sum \lambda_i}$ ” unde “ λ_i ” reprezintă coeficientul de rezistență hidraulică pe porțiunea de rugozitate “ k_i ”.

În același timp, Indleköfer (1981) a arătat că vitezele medii “ v_i ”, corespunzătoare domeniilor de rugozitate “ k_i ” sunt ușor diferite, chiar dacă adâncimea de curgere este constantă. De aceea, el a introdus noțiunea de “rază hidraulică proporțională”, având următoarea relație de calcul:

$$R_i = \frac{\lambda_i \cdot A}{\sum (\lambda_i \cdot l_i)} \quad (3.18)$$

unde: A - aria întregii secțiuni transversale;

l_i - lungimea din perimetrul udat corespunzătoare rugozității k_i .

Utilizând apoi legea universală Darcy-Weisbach și Colebrook-White de forma: $v_i = \sqrt{\frac{8g}{\lambda} \cdot R_i \cdot I}$ și $\frac{1}{\lambda_i} = -2 \lg \left(\frac{v}{4,51 \sqrt{g \cdot R_i^3 \cdot I}} + \frac{k_i}{14,84 R_i} \right)$, Indleköfer a obținut pentru coeficientul de rezistență hidraulică echivalent relația:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \sqrt{\frac{\sum l_i}{\sum (\lambda_i \cdot l_i)}} \quad (3.19)$$

3.2.3. Influența formei albiei

La albiile cu rugozitate uniform distribuită de-a lungul perimetrului udat, cercetările lui Schröder(1950) au evidențiat pentru “ λ ” o formulă generală, de tip Colebrook-White, în care apare un “coeficient de corecție”, “ f ”, dependent de forma secțiunii transversale:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,51}{f \cdot \text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 \cdot 4R} \right) \quad (3.20)$$

unde, după Bock, coeficientul de formă “ f ” are următoarele expresii:

- pentru secțiuni dreptunghiulare de lățime “ b ” și adâncime “ h ”:

$$f = \left(1,629 \frac{\frac{h}{b}}{1 + \frac{2h}{b}} \right)^{0,25} \quad (3.21)$$

- pentru secțiuni trapezoidale :

$$f = \left(1,629 \frac{h}{b} \cdot \frac{1 + \frac{mh}{b}}{1 + 2\sqrt{1+m^2} \cdot \frac{h}{b}} \right)^{0,25} \quad (3.22)$$

- pentru secțiuni triunghiulare:

$$f = \left(\frac{2,539}{m} \right)^{0,15} \quad (3.23)$$

unde “ m ” reprezintă înclinarea taluzurilor.

Societatea americană a inginerilor civili recomandă formula:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,5}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{12R} \right) \quad (3.24)$$

valabilă pentru rugozității echivalente “ k ” reduse și pentru secțiuni, care nu depășesc cu nici o dimensiune valoarea de 1m.

3.2.4. Modelarea interacțiunii dintre albia minoră și albia majoră

Realitatea a demonstrat, că în cazul curgerii la ape mari, între albia minoră și albia majoră există o zonă caracterizată printr-un gradient de viteză lateral foarte mare, ceea ce conduce la apariția în planul vertical de separație dintre aceste albi a unei tensiuni de frecare.

Influența acestei tensiuni la calculul curgerii este deosebită, ea fiind socotită ca o “măsură” a interacțiunii între curentul din albia minoră și cel din albia majoră.

Pentru determinarea acestei tensiuni se prezintă, în cele ce urmează, două posibilități de rezolvare.

Prima posibilitate încearcă să determine o tensiune “ τ ” prin corelarea caracteristicilor geometrice cu mărimile hidraulice, identificarea parametrilor de influență hotărâtori, rezultând în urma unei analize dimensionale. Pe cale experimentală, prin variația sistematică a parametrilor de influență se obțin date, care interpretate, stabilesc relațiile de interacțiune căutate.

Un exemplu al unei asemenea metode este relația lui Könemann:

$$\frac{\tau}{\tau_0} = A \frac{T}{y_M} \quad (3.25)$$

cu: $A = 2,845$ pentru $T/B = 1/10$;

și $A = 1,358$ pentru $T/B = 1/5$, când: $B_M/B = 1$.

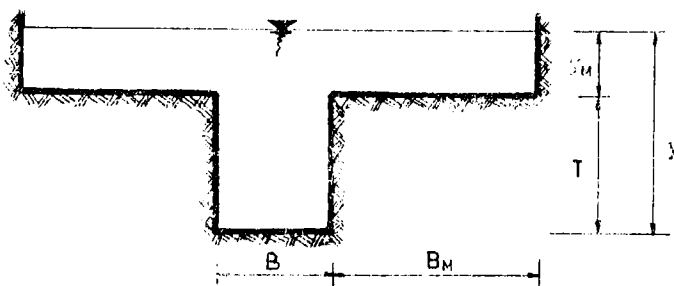


Fig. nr.7 Parametri geometrici ai albiilor cu secțiune compusă

În relația (3.25) tensiunea de frecare “ τ ” la limita verticală de separație între albia minoră și albia majoră, raportată la tensiunea de frecare “ τ_0 ” de pe fundul albicii (întregii secțiuni transversale) este proporțională cu raportul între adâncimea de curgere în albia minoră și adâncimea de curgere în albia majoră. Parametrul “A” rezultă dintr-o analiză a datelor pe cale experimentală.

A doua posibilitate de determinare a tensiunii de frecare pleacă de la considerarea faptului că, la baza relațiilor empirice stau o serie de formulări teoretice, a căror origine se găsesc în teoria de turbulență.

Pornind de la ecuația de mișcare Navier-Stokes și introducând oscilația mărimilor turbulente (presiune și viteză), este posibilă deducerea relației pentru o curgere turbulentă.

Legile distribuției vitezelor în mișcarea turbulentă au la bază câteva propoziții fundamentale, stabilite și interpretate de Reynolds, Taylor și Prandtl. Aceste propoziții exprimă, atât legătura dintre tensiunile de frecare “ τ ” și vitezele de agitație, cât și dintre “ τ ” și gradientele vitezelor medii temporale.

Reynolds a obținut pentru valoarea efortului specific de frecare aparentă “ τ ” expresia:

$$\tau = -\rho \cdot \overline{u' \cdot v'} \quad (3.26)$$

“ τ ” este exprimat ca o valoare medie temporară a componentelor vitezei de pulsație.

Semnul minus este necesar pentru că produsul “ $u' \cdot v'$ ” este în general negativ (întrucât la o dilatare într-un sens, trebuie să-i corespundă o contractare în celălalt sens, pentru ca masa totală să nu varieze).

Relația (3.26) arată că tensiunea de frecare aparentă este funcție de gradul de turbulență al curgerii.

Deoarece măsurarea componentelor vitezei de pulsație ar necesita o dotare tehnică specială, se încearcă de regulă cuprinderea mărimii τ în așa numitele modele de turbulență.

Unul dintre aceste modele, al lui Evers, pleacă în calculul tensiunii de frecare “ τ ” în sectorul de interacțiune, de la analogia de tip Boussinesq, între curgerea laminară și turbulentă, unde tensiunea de frecare pe suprafață dintre două straturi cu viteze de curgere diferită se exprimă prin relația:

$$\tau = \rho \cdot \varepsilon \cdot \frac{\overline{\partial u}}{\partial z} \quad (3.27)$$

unde “ ε ” joacă același rol ca ν din formula lui Newton.

ε - definit ca vâscozitate cimentică aparentă, nu corespunde unei proprietăți fizice a lichidului și nu are nici o legătură cu vâscozitatea.

Evers a propus pentru calculul lui “ ε ” o formulă omoloagă cu cea a lui Prandtl:

$$\varepsilon = l^2 \cdot \frac{d\overline{u}}{dz} \quad (3.28)$$

Deși formula nu elucidează total problema, ea înlocuiește vitezele de agitație u' și v' , cu mărimi fizice mai ușor măsurabile. Din acest motiv

ea a fost adoptată, pentru că s-a dovedit în teoria conductelor că, mărimea “ l ” a lungimii de amestec este mai ușor de determinat și de verificat experimental.

În cazul curgerii în albiile naturale, în zona de interacțiune între albia majoră și albia minoră, Evers a ales ca măsură a vitezei, diferența între vitezele de curgere la capetele porțiunii de interacțiune a albiei minore, iar pentru măsura lungimii, lățimea porțiunii de interacțiune B_1 (fig.nr.8). Cu aceste măsuri a propus pentru “ ε ” o evaluare de forma:

$$\varepsilon = x \cdot B_1 (\overline{u_{\max}} - \overline{u_{\min}}) \quad (3.29)$$

Astfel, rezultă pentru τ următoarea expresie :

$$\tau = x \cdot \rho \cdot (\overline{u_{\max}} - \overline{u_{\min}}) B_1 \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \quad (3.30)$$

unde x este un factor de proporționalitate.

Prin integrarea ecuației (3.30), în ipoteza că tensiunea de frecare are o distribuție liniară, obținem o funcție de gradul doi pentru variația vitezei pe domeniul de interacțiune considerat.

Integrala la limita suprafeței verticale de separație între albia minoră și albia majoră este o funcție de forma:

$$\tau = 2\rho \cdot x \cdot (\overline{u_{\max}} - \overline{u_{\min}})^2 \quad (3.31)$$

Cercetările experimentale ale lui Evers au obținut pentru factorul de proporționare x din relațiile (3.29), (3.30) și (3.31) valoarea $x = 0,01$.

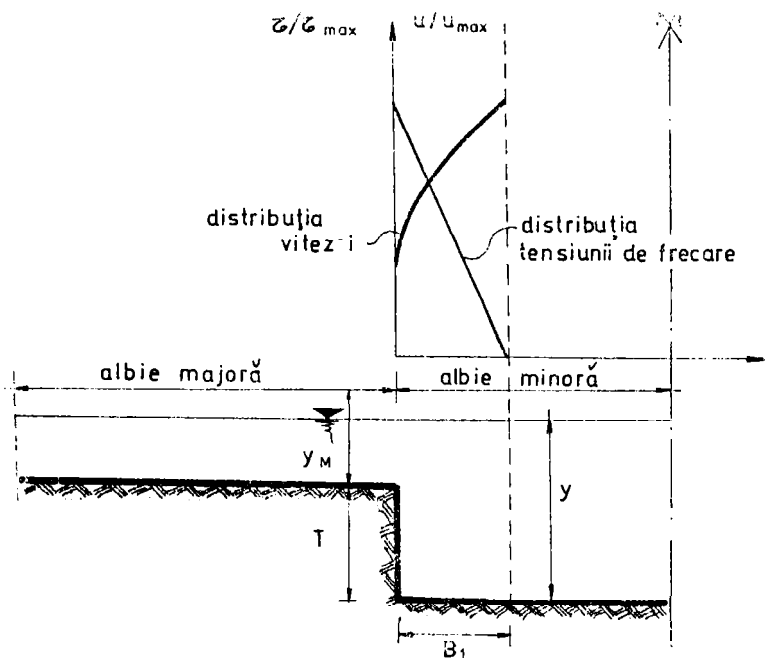


Fig.nr.8 Interacțiunea în domeniul albiei minore

Cercetările relativ recente : Wormleaton (1982), Knight și Demetriou (1983) și Myers (1984) au arătat că o fracționare a albiei se impune întotdeauna în cazul adâncimilor diferite de curgere. Ea este recomandată și atunci când condițiile de rugozitate diferă semnificativ pe perimetrul secțiunii transversale.

Toți autorii menționați procedează la o fracționare a albiei prin suprafețe fictive de separație, de diverse înclinări, cea mai mare răspândire având-o peretele de separație fictiv vertical (fig.nr.9).

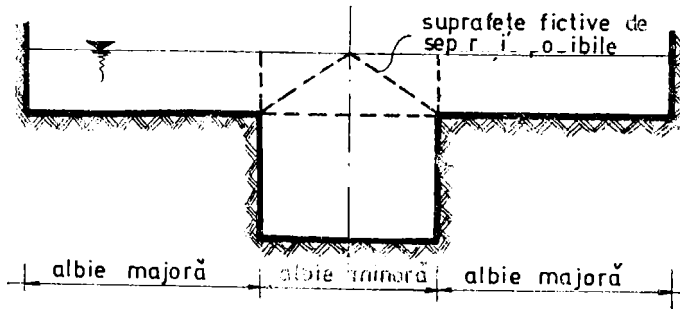


Fig.nr.9 Fraționarea secțiunii prin suprafețe fictive

Pentru calculul tensiunii tangențiale τ sunt prezentate în literatura de specialitate și alte relații empirice, asemănătoare ca structură cu formula (3.30) și (3.31).

Generalizând, această tensiune de frecare aparentă se exprimă adimensional cu relația Darcy-Weisbach :

$$\frac{\lambda_{\tau}}{8} = f \left(\frac{V_{\min ora}}{V_{\text{majora}}} \right)^2 \quad (3.32)$$

unde : λ_{τ} - coeficient de rezistență hidraulică în peretele fictiv de separație dintre albia minoră și albia majoră.

3.2.5. Modelarea efectului vegetației asupra curgerii

Un alt aspect al calculului hidraulic în albiile naturale îl constituie evaluarea din punct de vedere hidraulic a efectului vegetației existente.

După Bretschneider și Schultz (1985), materialul viu din cursurile de apă naturale poate fi clasificat în vegetație mică, mijlocie și mare (vezi fig.nr.6).

La vegetație mică, distribuția vitezelor corespunde calitativ cazului de rugozitate granulară pură, iar pentru a putea fi cuprinsă într-un calcul hidraulic se pot aplica direct, după caz, relațiile (3.14)-(3.24).

Vegetația mare și mijlocie poate fi subâmpărțită din punct de vedere al condițiilor de curgere în vegetație inundată total sau parțial.

Pentru vegetația inundată total, coeficientul de rezistență hidraulică se stabilește în funcție de următorii parametri ai curentului : înălțimea relativă de inundare a plantei (h/h_p), rigiditatea elementelor de vegetație, densitatea și poziția acestora în secțiunea transversală.(vezi fig.nr.10)

Bazat pe cercetările lui Kouwen și Unny (1973) și Plate și Quraishi (1965), relația funcțională a rezistenței hidraulice după Haber (1982)

este de forma:
$$\frac{v}{v_*} = f\left(\frac{h}{d_m}, \frac{h}{h_p}, \frac{h}{h'_p}, \frac{1}{h_p} \cdot \left[\frac{n \cdot E \cdot I}{\rho \cdot v_*^2}\right]^{1/4}, \alpha\right) \quad (3.33)$$

unde : d_m - diametru mediul al plantei;

h_p - înălțimea plantei;

h'_p - înălțimea plantei înclinate;

α - parametru de poziție;

$\frac{1}{h_p} \cdot \left[\frac{n \cdot E \cdot I}{\rho \cdot v_*^2}\right]^{1/4}$ - parametru de apreciere a rigidității elementului;

$v_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$ - o mărime de natura și dimensiunile unei viteze, care

poartă numele de "viteză de frecare"

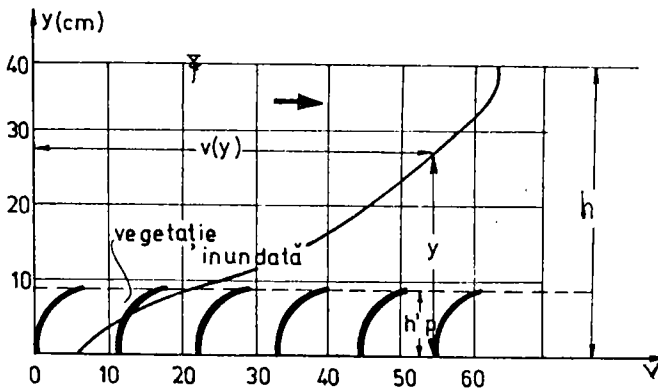


Fig. nr. 10 Distribuția vitezei în albie cu vegetație inundată (dupa Harber, 1982)

Chiar dacă Haber a reușit să deducă din această relație de analiză dimensională o relație generală pentru coeficientul de rezistență hidraulică, o aplicare a sa nu este posibilă decât aproximativ, datorită

neevaluărilor suficiente a parametrilor empirici, fapt care impune continuarea cercetărilor.

În ceea ce privește vegetația inundată parțial, înălțimea (h_p) a plantei este întotdeauna mai mare decât adâncimea curentului (h).

Acest caz a fost cercetat în numeroase studii de către: Fenzl (1961), Petryk și Bosmajian (1975) și Lindner (1982), toate cercetările conducând la concluzia generală că : rezistența hidraulică generată de vegetație, poate fi transferată suprafeței de bază și exprimată în final prin coeficienți Darcy-Weisbach cu ajutorul unei relații de tipul:

$$\lambda = \frac{4A_{pi}}{a_x \cdot a_z} \cdot C_{WR} \quad (3.34)$$

unde :

$A_{pi} = h \cdot d_{pi}$ - suprafața plantei proiectată pe direcția curentului;

d_{pi} - diametrul plantei;

$a_x; a_z$ - distanțe între elementele de vegetație;

C_{WR} - coeficient de formă, mai precis coeficient de rezistență adimensional al unui element de vegetație, dintr-un șir ordonat de elemente de vegetație

În timp ce Petryk și Bosmajian au ajuns la concluzia că valoarea C_{WR} poate fi determinată exclusiv pe baza distanței relative dintre elementele de vegetație, Lindner, asimilând elementele de vegetație cu cilindrii, a stabilit un sistem de relații de calcul, care permite determinarea coeficientului de rezistență C_{WR} . (fig.nr.11)

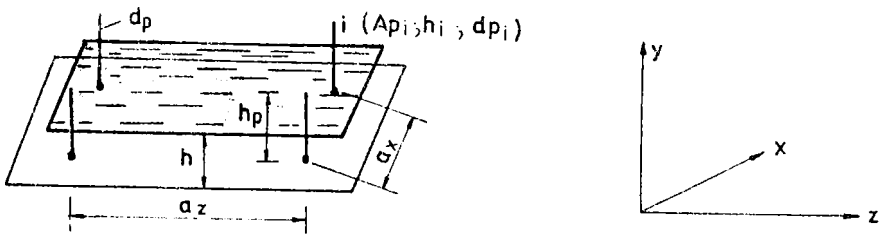
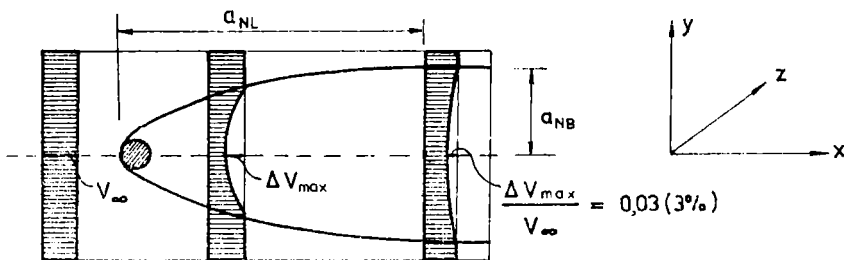


Fig nr 11



$$C_{WR} = 1,31 \cdot C_{W\infty} \cdot \left(\frac{v_n}{v} \right)^2 + \Delta C_W \quad (3.35)$$

unde:

$\frac{v_n}{v}$ - viteza relativă a curentului, aferentă elementului de vegetație "n";

$C_{W\infty}$ - coeficient de rezistență al unui element singular (cilindru), într-o curgere ideală bidimensională;

ΔC_W - coeficient de formă datorat forței gravitaționale;

$$\Delta C_W = \frac{2}{Fr^2} \left(1 - \frac{y_n}{y_0} \right) \quad (3.36)$$

unde: $\frac{y_n}{y_0}$ este înălțimea relativă de curgere în dreptul elementelor de vegetație.

Pentru calculul lui ΔC_W numărul Fr din relația (3.36) se definește cu relațiile:

$$Fr = Fr_1 = \frac{v}{\sqrt{gh}}; \quad Fr^2 = Fr_2^2 = \frac{y_n}{y_0} \cdot \frac{\left[\left(\frac{y_n}{y_0} \right)^2 - 1 \right]}{2 \left[\frac{y_n}{y_0} - \frac{a_z}{a_x} - d_v \right]} \quad (3.37)$$

Din egalarea celor două ecuații ($Fr_1 = Fr_2$) rezultă înălțimea relativă de curgere ($\frac{y_n}{y_0}$) și în final coeficientul de rezistență ΔC_W datorat forței gravitaționale.

Pentru viteza relativă a curentului, Lindner a stabilit relația:

$$\left(\frac{v_n}{v} \right)^2 = 1,151 \left[\frac{a_{NL}}{a_x} \right]^{-0,483} + 0,5 \left[\frac{a_{NB}}{a_z} \right]^{1,1} \quad (3.38)$$

cu:

$$a_{NL} = 128,876 C_{W\infty} \cdot d_v \cdot \left[1 + \frac{g \cdot a_{NL} \cdot I}{\frac{v^2}{2}} \right]^{-2,143} \quad (3.39)$$

$$a_{NB} = 0,24 \cdot a_{NL}^{0,59} \cdot (C_{W\infty} \cdot d_v)^{0,41} \quad (3.40)$$

Relațiile de mai sus permit determinarea coeficientului de rezistență C_{WR} și cu formula Darcy-Weisbach se obține în final viteza medie de calcul:

$$v = \sqrt{\frac{8g}{4 \cdot h \cdot d_v \cdot C_{WR}}} \cdot \sqrt{h \cdot I} \quad (3.41)$$

Pornind de la rezultatele cercetărilor lui Lindner, în urma unor programe experimentale U.Arnold, E.Pasche, K.Rickert (1987) au propus pentru calculul rezistenței la curgere în cazul albiei majore cu vegetație inundată atât parțial, cât și total, un model în care rezistența hidraulică este privită global.

Se definește mărimea “ ω_p ” ca fiind suprafața specifică de vegetație din curent:

$$\omega_p = \frac{\sum A_{pi}}{V_v} \quad (3.42)$$

unde:

$\sum A_{pi}$ - suprafața plantelor proiectată pe direcția de curgere;

V_v - volumul vegetației din curent;

ω_p - o mărime geometrică măsurabilă (m^{-1}), care în sens hidraulic poate fi comparată cu o rugozitate de tip nisip și care poate fi calculată, atât în cazul vegetației de “tip pom”, cât și în cazul vegetației neuniforme de “tip tufiș”.

$$\omega_p = d_p \cdot D_p \quad (3.43)$$

D_p - densitatea plantelor (buc/m^2);

d_p - diametrul plantelor (m).

Se definește $\varepsilon_p = \frac{\sum v_p}{v_v}$ ca o variabilă volumică, ε_p fiind o mărime adimensională, care stabilește raportul între partea de vegetație volumică (lemnasă) inundată și volumul total al plantelor din curent.

$$\varepsilon_p = \frac{\pi}{4} \cdot D_p \cdot d_p^2 \quad (3.44)$$

Cu mărimile definite se calculează rezistența hidraulică datorată vegetației.

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda_v}} = \sqrt{\frac{1 - \varepsilon_p}{4 \cdot C_{BR} \cdot \omega_p \cdot R}} \quad (3.45)$$

unde : R - rază hidraulică;

C_{BR} - coeficientul de rezistență al grupului de plante.

C_{BR} fizic, este similar celui rezultat din relațiile lui Lindner, dar pentru că lipsesc datele de calcul necesare (a_x, a_z) cercetătorii mai sus menționați au propus o “abacă” (fig.nr.12), cu care C_{BR} poate fi aproximat, funcție de viteza curentului (considerată $v = \frac{Q}{A}$) și diametrul mediu al vegetației.

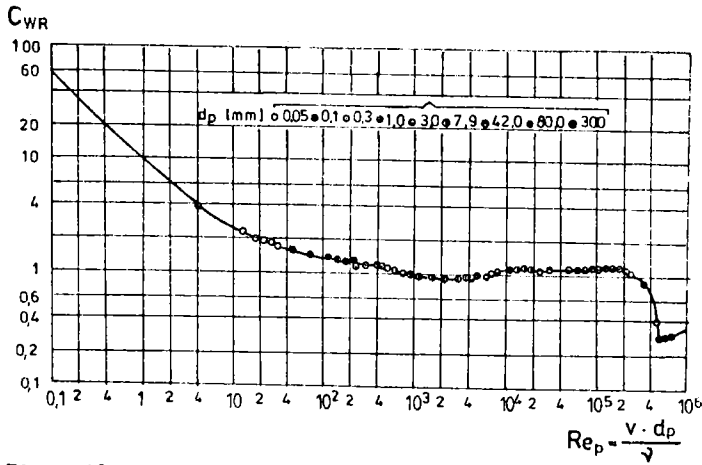


Fig.nr.12 Variația coeficientului C_{WR} funcție de numărul Reynolds (Re_p)

Cu valoarea C_{WR} se obține valoarea vitezei medii de calcul:

$$v_v = \sqrt{\frac{(1 - \varepsilon_p) \cdot 8g \cdot R \cdot I}{4 \cdot C_{WR} \cdot \omega_p \cdot R}} \quad (3.46)$$

Modelul propus, deși expeditiv, nu a dat rezultate mulțumitoare în cazul albiilor majore, cu vegetație variată (tip pom și tip tufiș).

“ ω_p ” deși este o mărime măsurabilă, fizic este dependentă de natura plantelor, de densitatea “pe etaje” a vegetației și de interacțiunea plantelor învecinate, aspecte care nu au putut fi suficient cuantificate.

Problema evaluării rezistenței hidraulice a vegetației rămâne în acest fel o problemă deschisă.

3.3. Ecuațiile Saint-Venant

Ecuațiile fundamentale ale mișcării nepermanente a curenților cu nivel liber, în ipoteza modelării unidimensionale sunt cunoscutele ecuații cu derivate parțiale Saint-Venant.

Aceste ecuații se obțin prin medierea pe secțiunea de curgere a ecuațiilor fundamentale ale hidromecanicii: ecuația de continuitate, respectiv ecuația de mișcare (Navier-Stokes sau Reynolds, după natura mișcării).

Medierea se realizează prin integrarea acestor ecuații pe un volum de control elementar, având baza egală cu secțiunea de curgere "A" și lungimea "dx" de-alungul albiei.

Viteza este mediată în secțiune.

Asemenea mediere este posibilă numai în cazul curenților gradual-variați (linii de curent cvasiparalele, adică neuniformități reduse ale curentului). Aceste caracteristici constituie de altfel ipotezele de valabilitate a ecuațiilor Saint-Venant.

Ecuațiile se pot obține și direct prin scrierea bilanțului masic, respectiv energetic, pentru un volum de control identic cu cel menționat mai sus.

Ecuațiile Saint-Venant sunt:

- ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3.47)$$

unde: A - aria reală de curgere;

Q - debitul curentului.

- ecuația dinamică:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\alpha v}{g} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial h_r}{\partial x} = 0 \quad (3.48)$$

unde: v - viteza medie;

$\frac{\alpha v}{g} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)$ - variația energiei cinetice specifice în lungul albiei, (α fiind coeficientul de neuniformitate al vitezei în secțiunea transversală): $\alpha = \frac{\int v^3 dA}{v^3 A}$;

$\frac{\partial y}{\partial x}$ - variația nivelului apei în lungul albiei (panta suprafeței libere a apei);

$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$ - termen inerțial, lucru mecanic absorbit de inerția locală pe unitatea de lungime);

$\frac{\partial h_r}{\partial x}$ - pierderile de sarcină pe lungimea dx sau panta energetică

$$I_E, \text{ unde: } I_E = \frac{\lambda}{8g} \frac{v^2}{R} \quad \text{după Darcy-Weisbach sau}$$

$$I_E = \frac{v^2}{C^2 R} \quad \text{după Chezy}$$

Cele două ecuații (3.47) și (3.48) formează un sistem de ecuații cu derivate parțiale, neliniare, de tip hiperbolic.

Pentru rezolvarea lui trebuie cunoscute condițiile inițiale:

$$\text{Pentru } t = t_0; \quad Q = Q(x) \text{ și } y = y(x)$$

$$\text{sau } v = v(x) \text{ și } y = y(x)$$

și condițiile la limită, în secțiunea $x=0$ și $x=l$, la capătul albiciei. De obicei condițiile la limită se dau sub forma:

$$\text{Pentru: } x=0; \quad Q = Q_1(t) \text{ și } y = y_1(t)$$

$$\text{sau } x=l; \quad Q = Q_n(t) \text{ și } Q = Q_n(y)$$

Pot fi și alte condiții la limită.

Rezolvarea sistemului de ecuații Saint-Venant se face de regulă prin metode numerice. În acest scop, ecuațiile (3.47) și (3.48) sunt aduse la forme convenabile, exprimându-se fie în variabile v, y , fie în variabile $v, h = y - y_0$, unde h este adâncimea curentului, iar y_0 este cota fundului albiciei.

Posibilitățile de rezolvare a sistemului de ecuații Saint-Venant (3.47) și (3.48) pot fi grupate în trei mari categorii:

- metode bazate pe caracteristici, din care rezultă un set de curbe caracteristice în planul (x,t) . În fiecare punct al relației curbilinii formate de caracteristice, se pot scrie 4 ecuații diferențiale cu 4 necunoscute: adâncimea apei, viteza, distanța și timpul, care pot fi integrate prin metode numerice;
- metode explicite, în care planul (x,t) este discretizat într-o rețea, pentru nodurile căreia se scriu ecuațiile Saint-Venant în diferențe finite, rezolvându-se apoi sistemul;
- metode implicite, care pornesc tot de la exprimarea ecuațiilor Saint-Venant în diferențe finite și de la o rețea rectangulară în planul (x,t) și care, permit determinarea simultană a vitezelor și adâncimilor înregistrate la un moment dat pentru toate secțiunile de calcul.

Este important de subliniat că indiferent care ar fi metoda aleasă pentru rezolvarea sistemului de ecuații Saint-Venant, dificultatea nu constă în rezolvarea în sine a ecuațiilor, ci în precizarea condițiilor la limită și a celor inițiale, în vederea soluționării sistemului.

Lucrarea de față nu și-a propus să treacă în revistă sau să analizeze algoritmurile de calcul care se întâlnesc în literatura de specialitate la rezolvarea sistemului de ecuații Saint-Venant. Trebuie însă precizat că aceste algoritmi se deosebesc, atât prin schema de discretizare a mărimilor care intervin în sistemul de ecuații (3.47) și (3.48), cât și prin modul cum se iau în considerare neliniaritățile ecuațiilor și a condițiilor la limită.

3.3.1. Considerații asupra posibilităților și limitelor de soluționare analitică a ecuațiilor Saint-Venant

În tratarea analitică a problemelor de mișcare neuniformă în albiile naturale un rol deosebit îl au termenii: $\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$ și $\frac{\alpha}{g} \frac{\partial v^2}{\partial x}$. Aceștia pot prezenta valori care să impună luarea în considerare sau neglijarea lor.

Uneori este admis să se neglijeze în ecuația energetică (3.48) termenul inerțial $\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$ (în cazul albiilor cu vegetație mijlocie și mare în albia majoră, când termenul $\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \ll \frac{\lambda}{8g} \frac{v^2}{R}$) sau termenul cinetic $\frac{\alpha}{g} \frac{\partial v^2}{\partial x}$ (în cazul râurilor mari, spre vărsare, când panta este foarte mică).

În cazul propagării undei de viitură, variațiile nivelurilor de apă și debit sunt lente și graduale, ceea ce determină variații mici ale pantei suprafeței libere. În acest caz diferențele între vitezele secțiunilor vecine, ca și variațiile pe care viteza le suferă din moment în moment în aceeași secțiune, vor deveni foarte mici.

Acest fapt face ca termenul inerțial din ecuația mișcării variabile să poată fi neglijat față de termenul care reprezintă rezistența albiei.

În cazul în care se neglijază termenul inerțial $\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$ se ajunge la următoarea formă simplificată a ecuației de mișcare:

$$\frac{\alpha v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} + I_E = 0 \quad (3.49)$$

Dacă se consideră cazul unei albiei prismatice, termenul $\frac{\partial A}{\partial t}$ din ecuația de continuitate (3.47) se poate neglijă, pentru că:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{\partial A}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t}$$

și $\frac{\partial A}{\partial x} = 0$, ipoteza albiilor prismatice, iar $\frac{\partial h}{\partial x} \cong 0$, în ipoteza variației lente.

În aceste condiții ecuația de continuitate (3.47) devine ecuația de continuitate în cazul mișcării permanente:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3.50)$$

Cele două ecuații (3.49) și (3.50) arată că în cazul apelor mari, mișcarea fiind lent variabilă, suprafața liberă a apei se menține paralelă cu panta fundului albicii, iar curgerea poate fi considerată “gradual variată”, pentru că variațiile de secțiune udată sunt mici de la o secțiune la alta, fără a putea fi însă neglijate.

Înlocuind în ecuația mișcării (3.49) pe v cu: $v = Q/A$ se obține o ecuație diferențială de ordinul I de tipul:

$$\frac{dy}{dx} - \frac{\alpha Q^2}{gA(x)^3} \cdot \frac{dA}{dx} + I_E = 0 \quad (3.51)$$

Problema principală care se studiază la mișcările gradual variate este determinarea nivelului liber al apei, în diferite secțiuni. Cum la cursurile naturale de apă intervin numeroși parametri de care depinde mișcarea, studiul analitic nu se poate face, fără o schematizare simplificatoare.

Dacă se procedează la calcule prin diferențe finite, se pot menține în calcul parametrii mai numeroși, cu valorile lor variind de la o secțiune la alta. Astfel, un calcul aparent aproximativ, cum este calculul prin metoda diferențelor finite, dă rezultate mai apropiate de realitate, pentru că ține seama mai bine de datele fizice.

3.3.2. Metoda de calcul a suprafeței libere a apei bazată pe folosirea metodei diferențelor finite

În cazul în care mărimile care figurează în ecuația (3.51) nu se pot exprima prin relații simple, cum se întâmplă cel mai adesea la albiile naturale, se preferă transformarea acestei ecuații, în ecuație cu diferențe finite. Se obține astfel o ecuație de forma:

$$\Delta y = y_1 - y_2 = \beta [\alpha_2 - \alpha_1] \frac{Q^2}{2g} + \frac{\Delta x}{2} [I_{E2} + I_{E1}] \quad (3.52)$$

unde “ β ” este un coeficient de corecție pentru neuniformitatea secțiunii transversale și care se poate calcula cu una din relațiile:

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{2A_2}{A_2 + A_1}; \text{ pentru } A_1 > A_2 \\ \beta &= 1; \text{ pentru } A_1 \leq A_2 \end{aligned} \quad (3.53)$$

Coeficientul care ține seama de neuniformitatea distribuției de viteză în secțiunea transversală “ α ” definită anterior, se calculează din relația:

$$\alpha = \frac{\sum_i A_i \cdot \left(\frac{R_i}{\lambda_i}\right)^{1.5}}{\left[\sum_i A_i \left(\frac{R_i}{\lambda_i}\right)^{0.5}\right]^3} \quad (3.54)$$

unde: A_i - suprafața corespunzătoare lungimii l_i (din perimetrul udat), de rugozitate k_i , ($\sum_i A_i = A$);

$R_i = A_i / l_i$ - raza hidraulică;

λ_i - coeficient de rezistență hidraulică pe zona de rugozitate k_i .

În relațiile (3.52) și (3.53) indicilor "1" și "2" le corespund secțiunile amonte, respectiv aval, iar Δy este creșterea nivelului de apă dintre cele două secțiuni.

Traseul în plan al axei curentului este greu de determinat și variază cu înălțimea apei "h". De aceea, se admite în mod convențional drept "axă a curentului" în cazul curgerii la ape mari, axa geometrică a suprafeței libere.

Detalierea procedurii de calcul în cazul albiilor fracționate, cu vegetație în albia majoră se va face în capitolul 6.

Capitolul 4. Obiective propuse spre studiu

Soluționarea ecuațiilor diferențiale ale mișcării nepermanente descrise în capitolul 3.3. prezintă un grad de dificultate ridicat, mai ales dacă se iau în considerare toți termenii, precum și complexitatea parametrilor corespunzători albiilor naturale.

Caracteristica curgerii în albiile naturale este că formele secțiunii transversale, traseul în plan și panta longitudinală sunt modelate de curgerea însăși, printr-o dublă acțiune de eroziune și depunere și reciproc, forma secțiunii, traseul și panta longitudinală a fundului albicii determină distribuțiile vitezelor în secțiune.

Din acest motiv, de-alungul timpului, s-au dezvoltat diferite modele de calcul simplificate, care să cuprindă totuși cât mai bine condițiile reale de curgere din albiile naturale. Modelele sunt legate de modul de determinare a valorilor unor parametrii sau coeficienți, care intervin în ecuațiile curgerii, precum: rugozitatea, forma secțiunii, vegetația, etc.

Un model de calcul pentru curgerea la ape mari în cazul albiilor cu vegetație în curent a fost elaborat de Lindner.

Modele de calcul pentru curgerea la ape mari în cazul albiilor naturale cu rugozitate diferențiată de-alungul perimetrului udat au fost elaborate de: Einstein, Indleköfer, Wormleaton, Knight, Demetriou și Myers.

Până în prezent nu a fost elaborat un model de calcul pentru curgerea la ape mari, care să cuprindă în mod satisfăcător condițiile de curgere în albiile naturale, cu albia majoră (parțial) obturată de vegetație și albia minoră cu rugozitate diferențiată.

Studiul curgerii în albiile naturale ridică probleme deosebite, la evaluarea rezistenței hidraulice, care depinde atât de caracteristicile vegetației (inundată, parțial inundată, diametru, densitate, flexibilitate), cât și de caracteristicile secțiunii transversale de curgere (geometrie, rugozitate, pantă), care variază de-alungul traseului albicii.

Obiectivul lucrării este ca pe baza datelor experimentale și teoretice existente în literatura de specialitate studiată, completate cu cercetările de laborator proprii, să se propună legi îmbunătățite de evaluare a rezistenței hidraulice, funcție de parametrii direct măsurabili (adâncimea de apă, geometria secțiunii, diametrul, înălțimea și dispoziția vegetației în secțiune).

Pe această bază se propun modele de calcul perfecționate pentru determinarea debitelor și nivelurilor de apă în cazul curgerii la ape mari în albiile fracționate (albiile minore și albiile majore), (parțial) obturate de vegetație.

Modelele se bazează pe acceptarea ipotezelor simplificatoare (conform considerațiilor teoretice din capitolul 3.3.), că în cazul curgerii la ape mari, curentul poate fi tratat în fiecare secțiune ca permanent, cu o viteză mediată pe secțiune, care depinde de parametrii specifici secțiunii considerate.

Metoda propune pentru calculul debitului, împărțirea secțiunii udate în “ i ” domenii (de suprafețe corespunzătoare “ A_i ”), funcție de rezistențele hidraulice “ λ_i ”. Pe fiecare domeniu “ i ” utilizând legea Darcy-Weibach se calculează viteza medie “ v_i ” corespunzătoare:

$$v_i = \left(\frac{8g}{\lambda_i} \cdot R_i \cdot I \right)^{0.5}$$

Cu valorile vitezelor medii “ v_i ”, debitul secțiunii se calculează prin însumare:

$$Q = \sum_i v_i \cdot A_i$$

Pentru calcularea rezistențelor hidraulice “ λ_i ”, funcție de parametrii specifici domeniului “ i ” au fost create programe de calcul. Prezentarea detaliată face obiectul capitolului 5.

Metoda propusă pentru calculul nivelurilor se bazează pe ecuația cu diferențe finite (3.52), pentru a cărei rezolvare se prezintă în capitolul 6 un program de calcul, care include programele anterioare, pentru evaluarea rezistențelor hidraulice funcție de parametrii specifici, prezentate în capitolul 5.

Metodele propuse asigură față de cele existente o determinare mai exactă a raporturilor de curgere în secțiunea fracționată, (parțial) obținută de vegetație, precum și un calcul mai rapid.

Cercetările de laborator proprii, efectuate pe un model hidraulic, completează informațiile experimentale privind influența geometriei secțiunii transversale și a vegetației de “tip pom” asupra curgerii. În același timp, ele au servit la verificarea relațiilor propuse pentru calculul rezistențelor hidraulice și a metodelor de calcul pentru debit și nivel.

Capitolul 5. Modele și legi de curgere pentru o albie fracționată, obturată (parțial) de vegetație

5.1. Considerații asupra modelelor existente

În capitolul 3.3. s-a arătat că un calcul exact al curgerii în albiile naturale ar trebui să țină seama în primul rând de variația în timp a geometriei albiei și în al doilea rând de faptul că, curgerea la ape mari este un proces hidraulic tridimensional. Deși direcția principală de curgere este în lungul cursului, apar curenți transversali importanți, legați în special de schimbul de debite între albia minoră și albia majoră și de vitezele de curgere mult diferite. La nivelul actual al științei, cele două aspecte nu pot fi cuprinse în relații matematice.

Dificultățile impun adoptarea în practica curentă a unor ipoteze simplificatoare. Pe lângă ipotezele de bază: albie stabilă și linii de curent evasiparalele, acceptate de ecuațiile Saint-Venant, mai apar și alte ipoteze simplificatoare, specifice diferitelor metode particulare.

În general, pentru determinarea capacității de transport a albiei, toate metodele consideră curentul evasipermanent și uniform, folosind ca bază teoretică de calcul legile Darcy-Weisbach sau Manning-Strickler. Diferența între ele constă în modul de evaluare a parametrilor " λ " sau " n ".

O metodă de calcul a capacității de transport a albiei ia în considerare viteza mediată pe întreaga albie. În capitolul 3.2.2 s-au prezentat pentru albiile cu rugozitate diferențiată relațiile (3.16), (3.17), (3.19) de calcul pentru rugozitatea echivalentă sau rezistența hidraulică echivalentă, cu care se pot calcula viteza mediată pe secțiune și capacitatea de transport a albiei. Metoda este nesatisfăcătoare în cazul albiilor naturale cu albiile majore dezvoltate, unde (conform capitolului 2) raporturile de curgere sunt mult diferite în albia minoră și albia majoră, iar capacitatea de transport a albiei este scăzută.

O altă metodă consideră raporturile de curgere diferențiate în albia minoră și albia majoră, calculând viteze mediate separat, folosind pentru determinarea coeficientului de rezistență hidraulică în albia minoră relațiile (3.16), (3.17) sau (3.19) și pentru coeficientul de rezistență hidraulică din albia majoră relațiile (3.34) sau (3.45). Capacitatea de transport a albiei se obține prin însumarea capacităților de transport a albiei minore și a albiei majore. Metoda face abstracție de schimbul de debite între albia minoră și albia majoră, datorate raporturilor de curgere diferite.

Metoda propusă introduce în calculul capacității de transport a albiilor fracționate efectul interacțiunii între albia minoră și albia majoră.

5.2. Metodă propusă pentru determinarea capacității de transport a albiilor fracționate, (parțial) obturate de vegetație

Metoda “are pretenția” să cuprindă în evaluarea capacității de transport a albiei, prin relații de calcul îmbunătățite, efectul vegetației (inundată parțial) asupra curgerii și efectul interacțiunii dintre albia minoră și albia majoră.

Pentru evidențierea modelelor de curgere s-a considerat o albie fracționată dreptunghiulară, cu vegetație (inundată parțial) în albia majoră conform figurii nr.13:

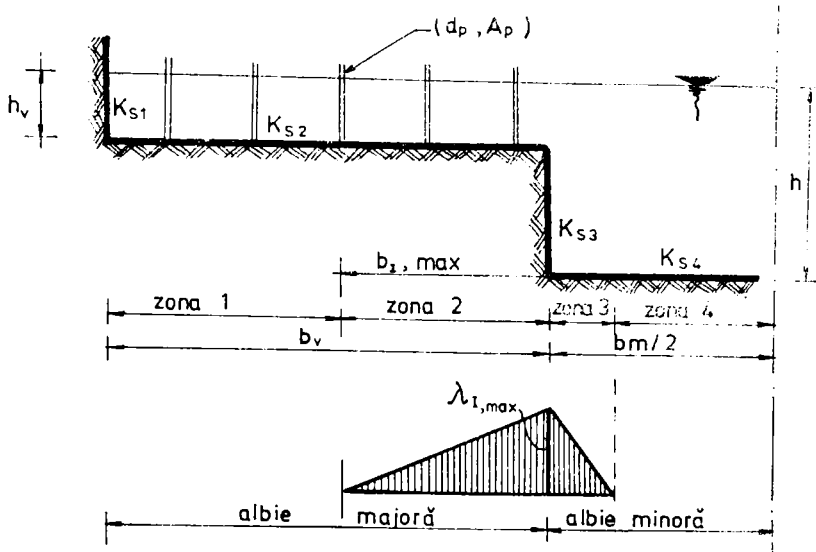


Fig. nr.13 Zone de curgere în secțiune transversală a unei albie fracționată

Ca bază teoretică de calcul pentru curgerea în albie fracționată se folosește legea cunoscută Darcy-Weisbach:

$$v = \left(\frac{8g}{\lambda} \cdot R \cdot I \right)^{0.5} \quad (5.1)$$

unde: v - viteza medie;

λ - coeficient de rezistență hidraulică;

R - raza hidraulică;

I - panta hidraulică.

Problema care se pune este evaluarea corectă a coeficientului de rezistență hidraulică “ λ ”.

Acest coeficient “ λ ” este dependent, atât de modul de distribuție (mărime și formă) a rugozității de-alungul perimetrului udat, cât și de forma secțiunii transversale și de interacțiunea dintre ele.

În cadrul modelului propus, datorită diferitelor condiții de curgere din albia majoră (cu vegetație) și din albia minoră (fără vegetație), în secțiunea de separație fictivă dintre ele se introduce “un perete fictiv”, pe care acționează tensiuni tangențiale fictive, care sunt “măsura” interacțiunii curentului dintre albia minoră și albia majoră. (conform capitolului 3.2.4)

Secțiunea de curgere se împarte în 4 zone, pe fiecare dintre acestea fiind valabilă legea Darcy-Weisbach:

$$v_j = \sqrt{\frac{8g}{\sum(\lambda_i \cdot l_i)/L}} \cdot \sqrt{R_j \cdot I_E} \quad (5.2)$$

unde: j - indicele zonei;

i - indicele de rugozitate din zona j ;

l_i - porțiunea din perimetrul udat, căreia îi corespunde rugozitatea “ i ”;

L - perimetrul udat;

I_E - panta energetică.

Cele 4 zone, conform figurii nr.13 sunt:

- **zona 1 - curgerea în albia majoră cu vegetație, neinfluențată de curgerea din albia minoră;**
- **zona 2 - curgerea în albia majoră cu vegetație, influențată de curgerea din albia minoră;**
- **zona 3 - curgerea în albia minoră, fără vegetație, influențată de curgerea din albia majoră;**
- **zona 4 - curgerea în albia minoră, fără vegetație, neinfluențată de curgerea din albia majoră.**

Împărțirea secțiunii în cele 4 zone s-a făcut în interesul algoritmului de calcul propus. În realitate, zona 4 (curgerea în albia minoră neinfluențată de curgerea din albia majoră) nu se realizează în cazul albiilor naturale cu vegetație în albia majoră.

Pentru coeficientul de rezistență hidraulică “ λ ” rezultă în fiecare zonă dependențe diferite, care vor fi tratate în cele ce urmează.

5.3. Determinarea raporturilor de curgere în diferitele zone ale secțiunii

5.3.1. Zona 1. Curgerea în albia majoră, cu vegetație, neinfluențată de curgerea din albia minoră

În studiul acestei zone se pornește de la faptul că, coeficientul de rezistență hidraulică poate fi obținut prin suprapunerea efectelor, datorate rugozității suprafeței patului albici λ_s , pe de o parte și a vegetației din albici λ_v , pe de altă parte:

$$\lambda_1 = \lambda_s + \lambda_v \quad (5.3)$$

Pentru calculul rezistenței hidraulice datorită rugozității suprafeței patului albici se folosește relația Colebrook-White, transformată pentru cazul curgerii în albiile cu suprafață liberă:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_s}} = -2 \log \left(\frac{v}{4,51 \sqrt{g} \cdot R^3 \cdot I_E} + \frac{k_s}{14,84R} \right) \quad (5.4)$$

Pentru calculul coeficientului de rezistență hidraulică datorat vegetației din albie, se echivalează curgerea reală, cu curgerea printre elemente de vegetație poziționate regulat din punct de vedere geometric.

În acest caz, presiunea dinamică care acționează pe elementele de vegetație poate fi atribuită patului albici, printr-o relație propusă de Lindner (a se vedea capitolul 3.2) de tipul:

$$\lambda_v = \frac{4A_{pv}}{a_x \cdot a_z} \cdot C_{HR} \quad \text{cu: } A_{pv} = h_v \cdot d_v \quad (5.5)$$

unde:

- A_{pv} - suprafața medie a unui element de vegetație, proiectată pe direcția de curgere;
- d_v - diametrul mediu al elementelor de vegetație;
- h_v - înălțimea medie a apei din zona cu vegetație;
- a_x, a_z - distanțele dintre elementele de vegetație pe direcția curgerii (a_x) și în secțiune transversală (a_z);
- C_{HR} - coeficient de rezistență adimensional, al unui element de vegetație, dintr-un șir ordonat de elemente de vegetație.

Lindner (1982), asimilând elementele de vegetație cu cilindrii, a stabilit un sistem de relații de calcul, care permite determinarea coeficientului de rezistență C_{HR} :

$$C_{HR} = 1,31 C_{HR\infty} \cdot \left(\frac{v_n}{v_1} \right)^2 + \Delta C_{HR} \quad (5.6)$$

$$\Delta C_W = \frac{2}{Fr^2} \left(1 - \frac{y_n}{y_0} \right) \quad (5.7)$$

$$Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g \cdot h_v}}; \quad Fr_2^2 = \frac{y_n}{y_0} \cdot \frac{\frac{y_n^2}{y_0^2} - 1}{2 \left(\frac{y_n}{y_0} - \frac{a_z}{a_z - d_v} \right)} \quad (5.8)$$

unde:

- $C_{W\infty}$ - coeficientul de rezistență hidraulică al unui element de vegetație, într-o curgere ideală, bidimensională, cu ajutorul căruia Lindner stabilește limitele de folosire a procedurii propus. Funcție de numărul $Re = \frac{v_1 \cdot d_v}{\nu}$, $C_{W\infty}$ este echivalat, cu relații empirice, astfel:

$$\begin{aligned} C_{W\infty} &= 3,07 \cdot Re^{-0,168} && \text{pentru } Re < 800; \\ C_{W\infty} &= 1,0 && \text{pentru } 800 \leq Re \leq 8000; \\ C_{W\infty} &= 1,2 && \text{pentru } 8000 < Re < 10^5. \end{aligned}$$

- $\frac{y_n}{v_1}$ - viteza relativă de curgere aferentă elementelor de vegetație, pentru a cărei determinare Lindner a stabilit următoarele relații empirice de calcul:

$$\left(\frac{v_n}{v_1} \right)^2 = 1,151 \left(\frac{a_{NL}}{a_x} \right)^{-0,483} + 0,5 \left(\frac{a_{NB}}{a_z} \right)^{1,1} \quad (5.9)$$

$$a_{NL} = 128,876 \cdot C_{W\infty} \cdot d_v \cdot \left(1 + \frac{g \cdot a_{NL} \cdot I_E}{v_1^2} \right)^{-2,143} \quad (5.10)$$

$$a_{NB} = 0,24 \cdot a_{NL}^{0,59} \cdot (C_{W\infty} \cdot d_v)^{0,41} \quad (5.11)$$

a_{NL} - lungimea de influență în aval, a elementelor de vegetație;

a_{NB} - lățimea de influență în aval, a elementelor de vegetație;

$\frac{y_n}{y_0}$ - înălțimea relativă de curgere, în dreptul elementelor de vegetație.

- ΔC_W - coeficient de formă datorat valului
Pentru calculul lui ΔC_W din relația (5.7), Lindner a exprimat numărul Fr în două moduri diferite prin relațiile (5.8). Din ecuațiile (5.8) rezultă $\frac{y_n}{y_0}$, înălțimea relativă de curgere și în final ΔC_W .

Pentru calculul coeficientului de rezistență datorat unui element de vegetație C_{WR} sunt determinate toate mărimile necesare. Procedeu propus de Lindner lucrează cu:

- caracteristicile măsurabile ale vegetației din secțiune ($a_x; a_z; d_v$), care pentru fiecare secțiune de calcul sunt **valori medii** ale mărimilor măsurabile;
- caracteristicile hidraulice ale secțiunii (h_v, v_1).

Dacă adâncimea de apă se poate măsura direct, viteza v_1 conform formulei Darcy-Weisbach:

$$v_1 = \sqrt{\frac{8g}{\lambda_v + \frac{4h_v \cdot d_v}{a_x \cdot a_z} \cdot C_{WR}}} \cdot \sqrt{R \cdot I_E} \quad (5.12)$$

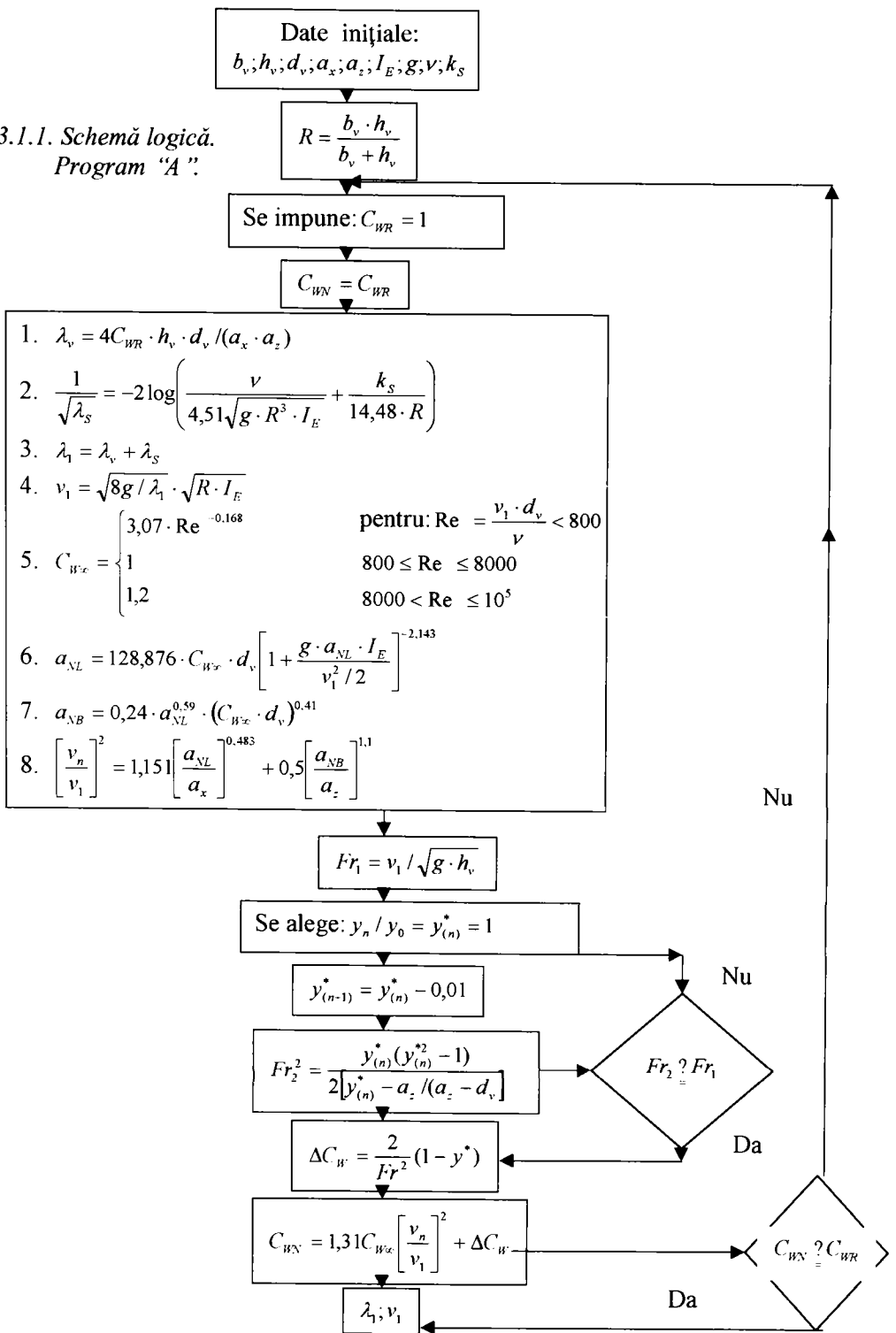
este funcție de λ_v și implicit de C_{WR} .

Pentru cazul practicii ingineresti se propune determinarea coeficientului de rezistență hidraulică a curgerii din albia majoră cu vegetație (λ_1) și a vitezei medii de curgere v_1 printr-un calcul iterativ, conform programului "A" a cărui schemă logică se prezintă mai jos.

În acest scop, se va calcula cu o viteză aproximativă de tipul $v_1 = \frac{Q}{A}$ și un coeficient de rezistență fictiv mediu C_{WR} cu valori între 1,0 și 1,5 valorile $\lambda_{1(n)}$ și $v_{1(n)}$, până când C_{WR} calculat, va fi egal cu cel propus. Pentru acea valoare a lui C_{WR} , valoarea coeficientului de rezistență $\lambda_1 = \lambda_s + \lambda_v$ este cel corespunzător secțiunii de calcul considerate, și lui îi corespunde viteza de curgere v_1 .

S-a propus acest mod de rezolvare, considerat mai operativ, plecând de la concluziile lui Lindner, care a stabilit pe cale experimentală că domeniul de variație pentru C_{WR} este $C_{WR} \in [0,6; 2,4]$, cu domeniul central: $C_{WR} \in [1,0; 1,5]$, pentru valori ale numărului Reynolds cuprinse în intervalul: $2,5 \cdot 10^2 < Re < 5 \cdot 10^4$.

5.3.1.1. Schemă logică.
Program "A".




```

endcase
aNL=0.1
do calc_anl
aNB=0.24*(aNL^0.59)*(Cw_inf*dv)^0.41
Vn_V1=1.151*(aNL/ax)^(-0.483)+0.5*(aNB/az)^1.1
Fr1=V1/sqrt(g*hv)
Y=0.9999
do calc_Y
DCw=2*(1-Y)/(Fr1^2)
Cwn=1.31*Cw_inf*Vn_V1+DCw
do case
  case abs(Cwn-Cwr)/Cwn>10^(-3)
    Cwr=Cwn
    contor=contor+1
    do calcul
  endcase
? 'landas='
?? landas
? 'landav='
?? landav
? 'landaT='
?? landaT
? 'V1='
?? v1
? 'aNL='
?? anl
? 'aNB='
?? anb
? 'Cwn'
?? cwn
? '-----'
cancel
return

procedure calc_anl
x=(aNL/(Cw_inf*dv))^(-0.7)
x=x*(1+2*g*aNL*I/V1^2)^(-1.5)
x=x*30
do while .not. between((X-1),-0.01,0.01)
  aNL=aNL+0.001
  do calc_anl1
enddo
return

procedure calc_Y
alfv=1-dv/az
z=Y^3*Fr1^2*(1-dv*Cwr/(2*az))-Y^2*(Fr1^2+alfv/2)+alfv/2
do while .not. between((z-0),-0.01,0.01)
  Y=Y-0.01
  do calc_Y1
enddo
return

procedure calc_anl1
x=(aNL/(Cw_inf*dv))^(-0.7)
x=x*(1+2*g*aNL*I/V1^2)^(-1.5)
x=x*30
return

```

```
procedure calc_Y1
  alfv=1-dv/az
  z=Y^3*Fr1^2*(1-dv*Cwr/(2*az))-Y^2*(Fr1^2+alfv/2)+alfv/2
return

*Afisarea rezultatelor:
*landaS=
*landaV=
*landaT=landa1=
*v1=
```


5.3.2. Zona 4. Curgerea în albia minoră, fără vegetație, neinfluențată de curgerea din albia majoră, cu vegetație.

În această zonă, curgerea se echivalează cu curgerea prin canale de rugozitate diferențiată de-alungul perimetrului udat.

În acest caz, se pot aplica relațiile din “teoria rugozității” a lui Einstein, care a considerat că suprafața secțiunii transversale a albiei minore (A_m), poate fi împărțită în suprafețe mai mici A_i , ($A_m = \sum_i A_i$), corespunzătoare lungimilor l_i ale fiecărui tip de rugozitate.

Razele hidraulice ale domeniilor rezultate se pot calcula cu o relație de tipul: $R_i = A_i / l_i$, iar între suprafețele de separație ale domeniilor A_i , rezultate prin împărțirea secțiunii transversale a albiei minore, nu există tensiuni de frecare.

În cazul curgerii cu rugozitate diferențiată de-alungul perimetrului udat trebuie îndeplinită condiția de sumă :

$$\frac{\sum_i A_i}{A_m} = \frac{\sum_i R_i \cdot l_i}{R \sum_i l_i} = \frac{\sum_i \tau_{oi} \cdot l_i}{\tau_o \sum_i l_i} \quad (5.13)$$

unde: $\tau_o = \rho \cdot g \cdot R \cdot I$ - tensiunea de frecare pe patul albiei;

τ_{oi} - tensiunea de frecare preluată de domeniul l_i , cu rugozitate k_{si} , corespunzătoare părții de secțiune transversală A_i .

Din relația (5.13) rezultă următoarea relație de proporționalitate:

$$\frac{A_i}{A_m} = \frac{R_i \cdot l_i}{R \sum_i l_i} = \frac{\tau_{oi} \cdot l_i}{\tau_o \sum_i l_i} \quad (5.14)$$

și cum:

$$R_i = \frac{A_i}{l_i}$$

rezultă:

$$R_i = R \frac{\tau_{oi}}{\tau_o} \quad (5.15)$$

Din punct de vedere fizic relației (5.15) i se poate da interpretarea că, domeniului l_i de rugozitate k_{si} și căruia îi corespunde aria A_i , îi revine o anumită parte din rezistența hidraulică.

În același timp, Einstein (1933) și Indleköfer (1981) au arătat că vitezele medii v_i în domeniile A_i sunt ușor diferite, chiar dacă adâncimea de curgere este constantă și au introdus noțiunea de “rază proporțională” având următoarea relație de calcul:

$$R_i = \frac{\lambda_i \cdot A_m}{\sum_i (\lambda_i \cdot l_i)} \quad (5.16)$$

Utilizând legea curgerii Darcy-Weisbach și relația Colebrook-White:

$$v_i = \sqrt{\frac{8g}{\lambda_i} \cdot R_i \cdot I_E} \quad ; \quad \frac{1}{\lambda_i} = -2 \log \left(\frac{v}{4,51 \sqrt{g \cdot R_i^3 \cdot I_E}} + \frac{k_{si}}{14,84 R_i} \right) \quad \text{se poate calcula,}$$

prin suprapunerea efectelor, coeficientul de rezistență hidraulică “ λ_4 ” în albia minoră fără vegetație, neinfluențată de curgerea din albia majoră, cu vegetație:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_4}} = \sqrt{\frac{\sum_i l_i}{\sum_i \lambda_i \cdot l_i}} \quad (5.17)$$

Viteza medie de calcul în această zonă va fi:

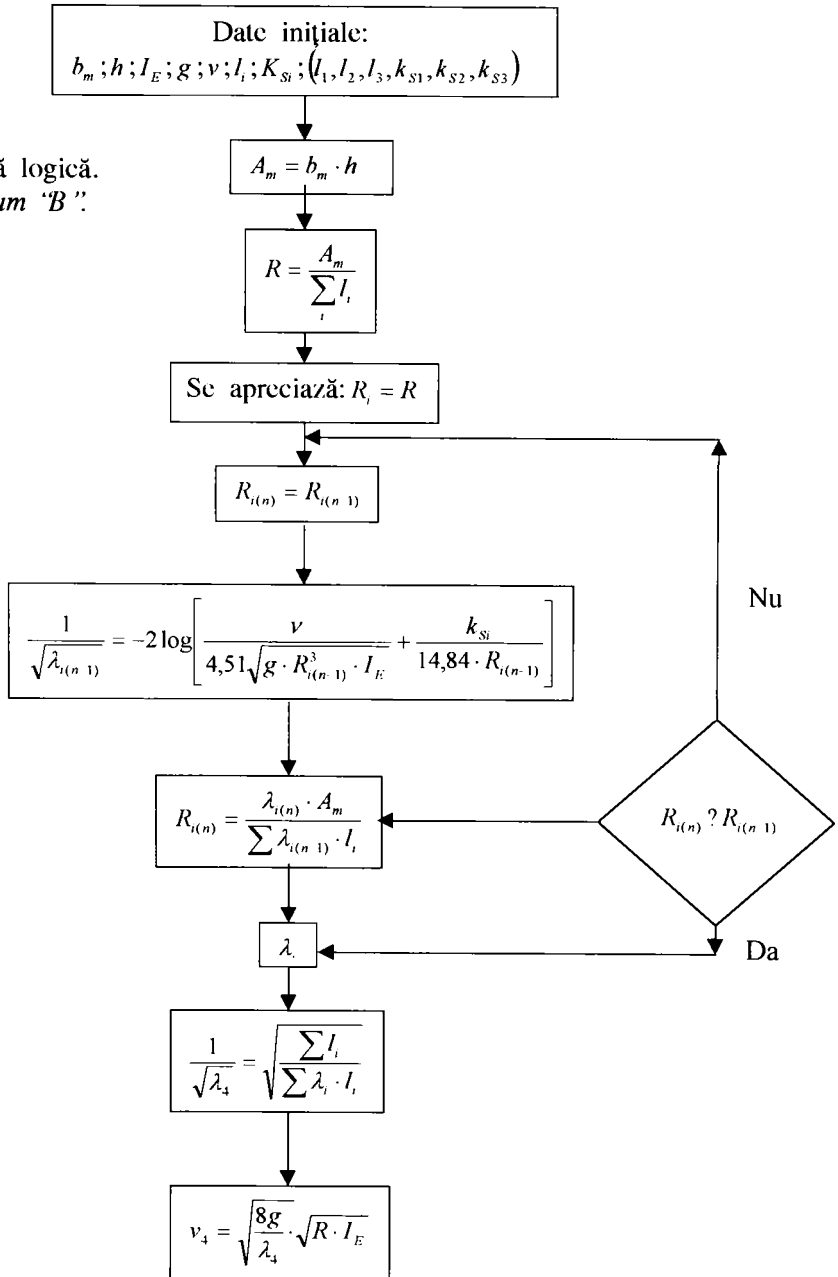
$$v_4 = \sqrt{\frac{8g}{\lambda_4}} \cdot \sqrt{R \cdot I_E} \quad (5.18)$$

Pentru determinarea valorii rezistenței la curgere λ_4 s-a conceput programul de calcul “B”, calculul conducându-se prin iterații succesive. Se consideră ca și necunoscute razele hidraulice R_i și valorile rezistențelor la curgere λ_i (care sunt dependente de R_i). La primul pas, valorile R_i se iau egale cu raza hidraulică a întregii secțiuni transversale a albicii minore R.

Calculul se încheie atunci când pentru valorile $R_{i(n)}$ rezultă:

$$\lambda_{i(n)} = \lambda_{i(n-1)} \quad (5.19)$$

5.3.2.1. Schemă logică.
Program "B".



```
*****
*
*           5.3.2.2. Program B
*           Calculul curgerii in albia minora, neinfluentata de
*           curgerea din albia majora cu vegetatie
*
*****
```

```
set talk off
deact wind all
clear all
clear
close all
set exact on
set clock on
```

```
#REGION 0
REGIONAL m.currarea, m.talkstat, m.compstat
```

```
IF SET("TALK") = "ON"
    SET TALK OFF
    m.talkstat = "ON"
ELSE
    m.talkstat = "OFF"
ENDIF
m.compstat = SET("COMPATIBLE")
SET COMPATIBLE FOXPLUS
```

```
m.currarea = SELECT()
```

```
*      OAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA.
*      o
*      o          S5702584 Databases, Indexes, Relations          o
*      o
*      OAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA.
*
```

```
IF USED("baza")
    SELECT baza
ELSE
    SELECT 0
    USE (LOCFILE("baza.dbf","DBF","Where is baza?"));
    AGAIN ALIAS baza
ENDIF
```

```
*      OAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA.
*      o
*      o          Window definitions          o
*      o
*      OAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA.
*
```

```
IF NOT WEXIST("pompi")
    DEFINE WINDOW pompi ;
    FROM INT((SROW()-19)/2),INT((SCOL()-77)/2) ;
    TO INT((SROW()-19)/2)+18,INT((SCOL()-77)/2)+76 ;
```

```

NOFLOAT ;
NOCLOSE ;
SHADOW ;
DOUBLE ;
COLOR SCHEME 16
ENDIF

*      OAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA.
*      °
*      °                                P Screen Layout                                °
*      °
*      OAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
*

#REGION 1
IF WVISIBLE("pompi")
    ACTIVATE WINDOW pompi SAME
ELSE
    ACTIVATE WINDOW pompi NOSHOW
ENDIF

scatter memvar blank
store 0 to m.x

*@ 2,7 GET M.I ;
*      SIZE 1,10 ;
*      DEFAULT 0
*@ 3,7 GET m.h ;
*      SIZE 1,10 ;
*      DEFAULT 0
*@ 4,7 GET m.b ;
*      SIZE 1,10 ;
*      DEFAULT 0
*@ 5,7 GET m.l1 ;
*      SIZE 1,10 ;
*      DEFAULT 0
*@ 6,7 GET m.l2 ;
*      SIZE 1,10 ;
*      DEFAULT 0
*@ 7,7 GET m.l3 ;
*      SIZE 1,10 ;
*      DEFAULT 0
*@ 8,3 SAY "Ks1="
*@ 8,7 GET m.ks1 ;
*      SIZE 1,10 ;
*      DEFAULT 0
*@ 9,3 SAY "Ks2="
*@ 9,7 GET m.ks2 ;
*      SIZE 1,10 ;
*      DEFAULT 0
*@ 10,3 SAY "Ks3="
*@ 10,7 GET m.ks3 ;
*      SIZE 1,10 ;
*      DEFAULT 0
*@ 7,3 SAY "l3 ="
*@ 6,3 SAY "l2 ="
*@ 5,3 SAY "l1 ="

```

```
*@ 4,3 SAY "b ="
*@ 3,3 SAY "h ="
*@ 2,3 SAY "I ="
*@ 1,2 TO 11,17 DOUBLE
*@ 13,2 GET m.opt ;
*   PICTURE "@*HN \<CALCUL;\<TERMINAT" ;
*   valid opt();
*   enab;
*   SIZE 1,10,1 ;
*   DEFAULT 1 ;
```

```
IF NOT WVISIBLE("pompi")
    ACTIVATE WINDOW pompi
ENDIF
```

```
READ CYCLE
```

```
RELEASE WINDOW pompi
SELECT (m.currarea)
```

```
#REGION 0
IF m.talkstat = "ON"
    SET TALK ON
ENDIF
IF m.compstat = "ON"
    SET COMPATIBLE ON
ENDIF
```

```
*procedure opt
* do case
*   case m.opt=1
*       do calcul
*   case m.opt=2
*       do terminat
* endcase
*return
```

```
do calcul
```

```
procedure calcul
    m.i=
    m.h=
    m.b=
    m.l1=
    m.l2=
    m.l3=
    m.ks1=
    m.ks2=
    m.ks3=
    m.am=m.b*m.h
    m.niu=
    m.r=m.am/(m.l1+m.l2+m.l3)
    m.k1=m.r
    m.k2=m.r
    m.k3=m.r
    do calcl
return
```

```

procedure calcl
do while m.x<>1
  m.r1=m.k1
  m.r2=m.k2
  m.r3=m.k3
  land1=2*log10(14.84*m.r1/m.ks1)
  land2=2*log10(14.84*m.r2/m.ks2)
  land3=2*log10(14.84*m.r3/m.ks3)
  m.landa1=1/land1^2
  m.landa2=1/land2^2
  m.landa3=1/land3^2

  m.r1=m.landa1*m.am/(m.landa1*m.l1+m.landa2*m.l2+m.landa3*m.l3)
  m.r2=m.landa2*m.am/(m.landa1*m.l1+m.landa2*m.l2+m.landa3*m.l3)
  m.r3=m.landa3*m.am/(m.landa1*m.l1+m.landa2*m.l2+m.landa3*m.l3)
  do while (between((m.r1-m.k1),-.001,.001) .and. between((m.r2-m.k2),-
.001,.001) .and. between((m.r3-m.k3),-.001,.001))

m.landa4=(m.landa1*m.l1+m.landa2*m.l2+m.landa3*m.l3)/(m.l1+m.l2+m.l3)
  m.v4=(1/sqrt(m.landa4))*sqrt(8*9.81*m.r*m.i)
  zap
  append blank
  gather memvar
  m.x=1
  exit
enddo
  m.k1=m.r1
  m.k2=m.r2
  m.k3=m.r3
enddo
return

*Afisarea rezultatelor:
*land1=
*land2=
*land3=
*land4=
*v4=

```

5.3.3. Zona 2. Curgerea în albia majoră cu vegetație, influențată de curgerea din albia minoră.

Între albia majoră și albia minoră se consideră o suprafață fictivă de separație, pe care acționează o tensiune de frecare aparentă, reprezentând interacțiunea dintre albia majoră, cu vegetație și albia minoră, fără vegetație (conform capitolului 3.2.4.).

Această tensiune se exprimă adimensional cu ajutorul relației Darcy-Weisbach:

$$\frac{\lambda_T}{8} = f \left(\frac{v_4}{v_1} \right)^2 \quad (5.20)$$

unde: v_4 - viteza medie de calcul din albia minoră, fără vegetație, neinfluențată de curgerea din albia majoră cu vegetație;(zona 4)
 v_1 - viteza medie de calcul din albia majoră, cu vegetație, neinfluențată de curgerea din albia minoră;(zona 1)

Coefficientul de rezistență hidraulică se consideră a fi compus din două părți:

$$\lambda_T = \lambda_{\tau_0} + \lambda_I \quad (5.21)$$

unde: λ_{τ_0} - coeficient de rezistență hidraulică al marginii de vegetație (al peretelui de delimitare), care depinde de structura vegetației și pentru care, cercetările lui Bertram și Kaiser (1985) indică o valoare cuprinsă între 0,06 și 0,1 funcție de raporturile elementelor de vegetație d_v/a_x ; d_v/a_z ; (cu cât valorile rapoartelor d_v/a_x ; d_v/a_z sunt mai mari, valoarea λ_{τ_0} se apropie de valoarea 0,1);

λ_I - coeficient de rezistență hidraulică de interacțiune și a cărei mărime depinde în primul rând de raportul vitezelor de curgere în albia minoră și în albia majoră (v_4/v_1) , dar și de raportul dintre lățimea albiei minore și lățimea albiei majore (b_m/b_v) .

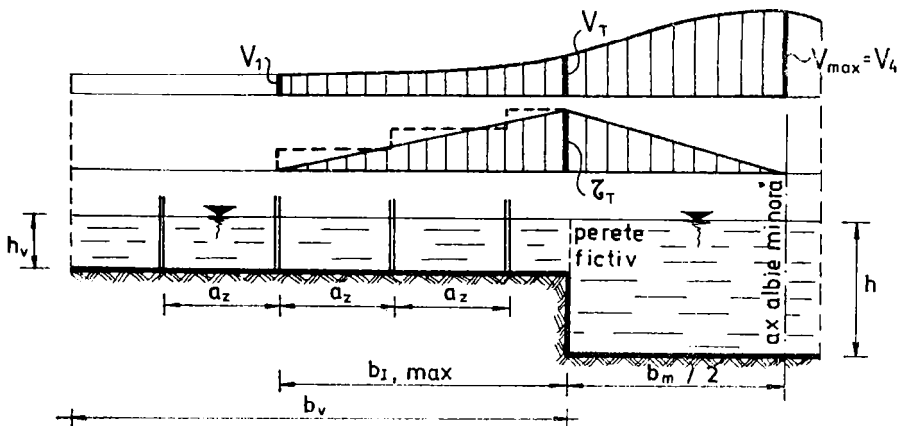


Fig. nr. 14

Valoarea maximă a coeficientului de rezistență hidraulică de interacțiune $\lambda_{i,\max}$ se atinge la o anumită lățime minimă a zonei de vegetație, la care se poate forma în întregime zona de interacțiune ($b_{l,\max}$).

În urma cercetărilor pe un canal dreptunghiular simplu, cu vegetație ordonată în curent, Kaiser (1985) a stabilit pentru evaluarea coeficientului de rezistență hidraulică de interacțiune λ_l , formulele empirice de mai jos, preluate și în calculul albiilor fracționate, cu vegetație (parțial) obturată în albia majoră. Intervalul de valabilitate al relațiilor empirice (5.22), (5.25) a fost stabilit de Kaiser între limitele:

$$80 \leq \frac{v_4^2 \cdot lm}{v_1^2 \cdot l_T} \leq 2000$$

$$\lambda_l = \alpha_l \cdot \lambda_{l,\max}; \quad \text{cu: } \alpha_l \leq 1,0 \quad (5.22)$$

α_l se calculează cu relația:

$$\alpha_l = 1 - \left(1 - \frac{b_v}{b_{l,\max}} \right)^{3,5} \quad (5.23)$$

$\lambda_{l,\max}$ se calculează cu relația:

$$\lambda_{l,\max} = 0,18 \log \left(0,0135 \frac{v_4^2 \cdot lm}{v_1^2 \cdot l_T} \right) \quad (5.24)$$

unde l_T reprezintă înălțimea peretelui fictiv de separație: $l_T = h_v$ și

$$b_{l,\max} = 17,5 \left(v_4^2 \cdot \lambda_{l,\max} \right) \cdot \frac{1}{g \cdot I_E} \quad (5.25)$$

Formula lui $\lambda_{l,\max}$ poate fi obținută și prin integrarea legii vitezelor (legea logaritmică a lui Prandtl) între peretele fictiv de separație și locul vitezei maxime din albia minoră, iar cu ajutorul analizei dimensionale poate fi simplificată, admițând în final forma empirică (5.24) menționată anterior.

Tensiunea de frecare, care apare pe peretele fictiv de separație, cauzată de curgerea din albia minoră, poate fi concepută ca având o variație "în trepte" în dreptul elementelor de vegetație (vezi fig. nr.14).

Spectrul tensiunilor de frecare, care apare în dreptul fiecărui șir de elemente de vegetație este dependent de viteza de acces la elementele respective de vegetație, scăzând spre zona 1 de curgere.

Dacă se înlocuiește variația în trepte a tensiunii de frecare printr-o variație liniară, pe baza modelului lui Evers (conform capitolului 3.2.4.),

care pune tensiunea de frecare $\tau = \rho \cdot \varepsilon \cdot \frac{dv}{dz}$ sub forma:

$$\tau = \rho \cdot \chi \cdot b_{l,\max} \cdot \left(\overline{v_T} - \overline{v_1} \right) \cdot \frac{dv}{dz} \quad (5.26)$$

unde: $\varepsilon = \chi \cdot b_{l,\max} (\overline{v_T} - \overline{v_1})$, se poate propune o lege de curgere pentru **zona 2** (curgerea în albie majoră, cu vegetație, influențată de curgerea din albia minoră): $v_2 = f(v_1, v_4, b_{l,\max}, z)$ de tipul:

$$v_2 = v_1 + \Delta v \left(1 - \frac{z}{b_{l,\max}} \right)^2 \quad (5.27)$$

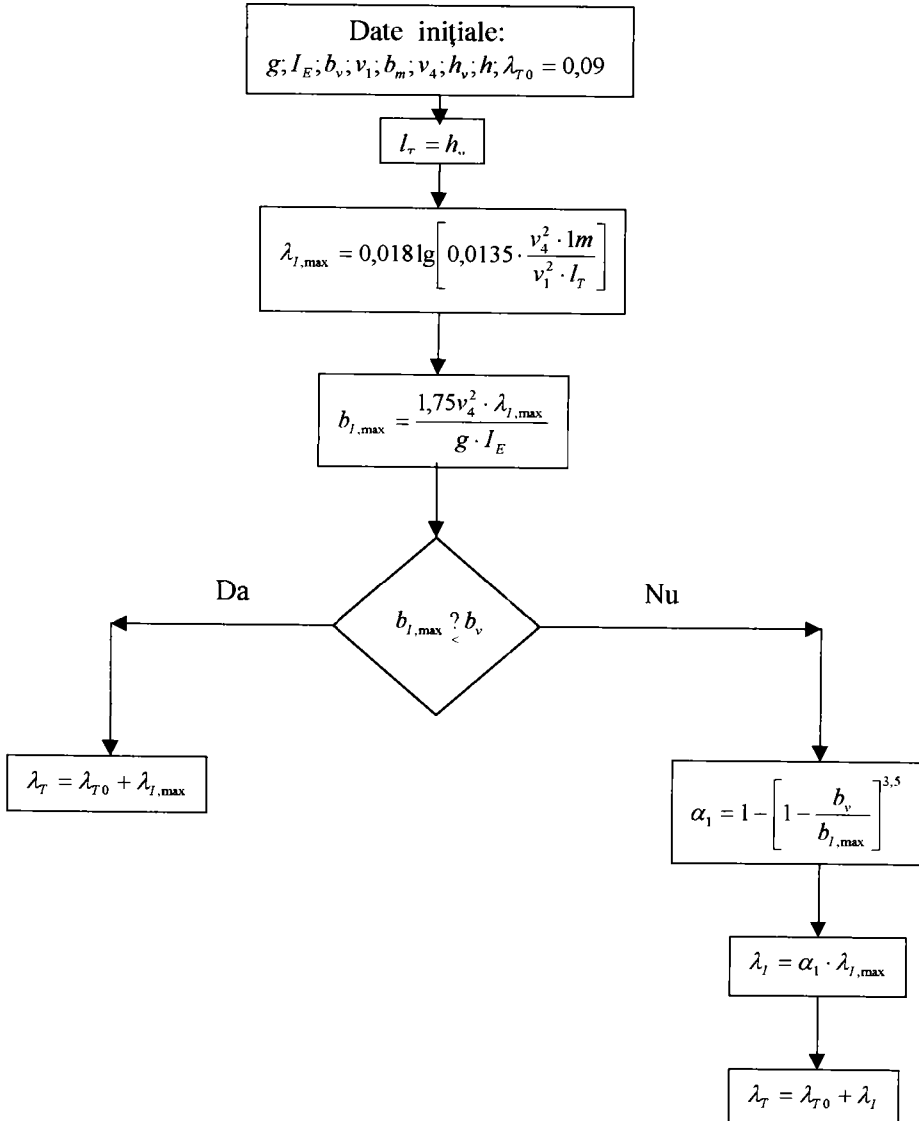
unde: $\Delta v = v_T - v_1$ (5.28)

iar “ v_T ” este viteza în peretele fictiv de separație.

Datorită dimensiunilor reduse ale modelului hidraulic realizat în laborator **zona 2** nu a putut fi delimitată corect, rezultatele cercetărilor nepermițând aprecieri asupra legii de curgere în domeniul albiei majore cu vegetație (parțial) obturată, influențată de curgerea din albia minoră.

În cele ce urmează se prezintă schema logică a programului “C” pentru calculul lui “ λ_T ”.

5.3.3.1. Schemă logică .
Program "C".



```
*****  
*                               *  
*           5.3.3.2. Program C   *  
*           Determinarea coeficientului de rezistența hidraulică      *  
*           în peretele fictiv de separație dintre albia minora      *  
*           și albia majora, cu vegetație                             *  
*                               *  
*****
```

```
set talk off  
set exact off  
set decimals to 10  
public bv,v1,v4,hv,landat0,I,g,lt,landa_I_max,b_I_max,landat,alfal,landaI  
  
bv=  
V1=  
V4=  
hv=  
landat0=  
I=  
g=  
  
LT=hv  
  
landa_I_max=0.18*log10(0.0135*V4^2/(LT*V1^2))  
b_I_max=1.75*landa_I_max*V4^2/(g*I)  
do case  
  case b_I_max<bv  
    landaT=landat0+landa_I_max  
  case b_I_max>bv  
    alfa1=1-(1-bv/b_I_max)^3.5  
    landaI=alfa1*landa_I_max  
    landaT=landat0+landaI  
endcase  
  
? 'landaT='  
?? landaT  
  
*Afisarea rezultatelor:  
*landT=
```

5.3.4. Zona 3. Curgerea în albia minoră, fără vegetație, influențată de curgerea din albia majoră, cu vegetație.

În această zonă curgerea este influențată în același timp de vegetația din albia majoră și de rugozitățile diferențiate din albia minoră.

Efectul hidrodinamic al vegetației este cuprins în valoarea coeficientului de rezistență hidraulică “ λ_T ” din peretele fictiv de separație.

Calculul coeficientului de rezistență hidraulică în această zonă se face apelând la teoria generală a rugozității a lui Einstein, cu mențiunea că, valoarea coeficientului de rezistență hidraulică λ_T din peretele fictiv de înălțime l_T este independentă de raza hidraulică și rămâne constantă la iterații, adică :

$$R_i = \frac{\lambda_i \cdot A_m}{\sum_i \lambda_i \cdot l_i + \lambda_T \cdot l_T} \quad (5.29)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} = -2 \log \left(\frac{v}{4,51 \sqrt{g \cdot R_i^3 \cdot I_E}} + \frac{k_{st}}{14,84 R_i} \right) \quad (5.30)$$

Pentru calculul coeficientului de rezistență hidraulică și a vitezei medii în **zona 3** s-a conceput programul de calcul “D”.

Calculul se conduce prin iterații succesive, pornind cu valorile “ λ_i ” stabilite în urma calculului curgerii din **zona 4** (albie minoră, fără vegetație, neinfluențată de curgerea din albia majoră, cu vegetație).

Cu valorile “ λ_i ” propuse se calculează valorile razei hidraulice R_i și apoi valorile necunoscute $\frac{1}{\sqrt{\lambda_i}}$ cu formula lui Colebrook-White. Iterațiile se încheie când valorile rezultate din calcul devin egale cu cele propuse inițial.

Valorile “ λ_i ” astfel determinate se folosesc la calculul coeficientului de rezistență hidraulică la curgerea din **zona 3** (curgerea în albia minoră influențată de curgerea din albia majoră, cu vegetație), cu o formulă de tipul:

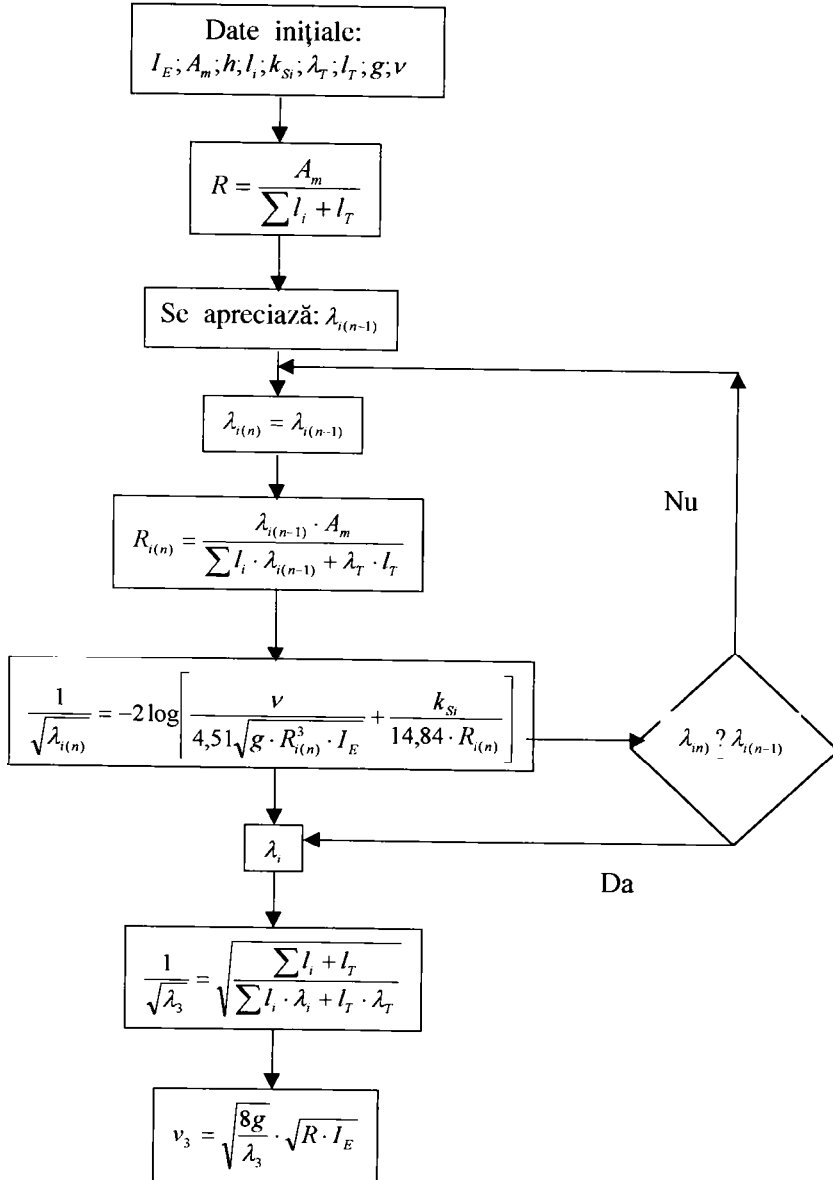
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_3}} = \sqrt{\frac{\sum_i l_i + l_T}{\sum_i \lambda_i \cdot l_i + \lambda_T \cdot l_T}} \quad (5.31)$$

iar viteza în aceeași zonă cu o relația Darcy-Weisbach:

$$v_3 = \frac{1}{\sqrt{\lambda_3}} \cdot \sqrt{8g \cdot R \cdot I_E} \quad (5.32) \quad \text{unde:} \quad R = \frac{A_m}{\sum_i l_i + l_T} \quad (5.33)$$

În cele ce urmează se prezintă schema logică a programului de calcul “D”.

5.3.4.1. Schemă logică.
Program "D".



```
*****
*
*           5.3.4.2. Program D
*           Calculul curgerii in albia minora, influentata de
*           curgerea din albia majora cu vegetatie
*
*****
```

```
set talk off
deact wind all
clear all
clear
close all
set exact on
set clock on
set exact off
set decimals to 10
public x1,x2,x3,iter
store 0 to x1,x2,x3,iter
m.iter=m.iter+1
```

```
bm=
h=
I=
l1=
l2=
l3=
Ks1=
Ks2=
Ks3=
landaT=
hv=
niu=
```

```
LT=hv
```

```
R=bm*h/(l1+l2+l3+LT)
```

```
lamda1=
landa2=
landa3=
```

```
do calcul
```

```
procedure calcul
  R1=lamda1*bm*h/(l1*lamda1+l2*landa2+l3*landa3+LT*landaT)
  R2=landa2*bm*h/(l1*lamda1+l2*landa2+l3*landa3+LT*landaT)
  R3=landa3*bm*h/(l1*lamda1+l2*landa2+l3*landa3+LT*landaT)
  land1=-2*log10(ks1/14.84*r1+niu/(4.51*sqrt(9.81*i*r1^3)))
  land2=-2*log10(ks2/14.84*r2+niu/(4.51*sqrt(9.81*i*r2^3)))
  land3=-2*log10(ks3/14.84*r3+niu/(4.51*sqrt(9.81*i*r3^3)))
  x1=1/land1^2
  x2=1/land2^2
  x3=1/land3^2
do while .not. (between((x1-lamda1),-0.0001,0.0001) .and. between((x2-
landa2),-0.0001,0.0001) .and. between((x3-landa3),-0.0001,0.0001))
  lamda1=x1
```

```

        landa2=x2
        landa3=x3
    do calcul1
enddo
lamda1=x1
landa2=x2
landa3=x3
landa_E=sqrt((l1+l2+l3+LT)/(l1*lamda1+l2*landa2+l3*landa3+LT*landaT))
landa_echiv=1/landa_E^2
V3=landa_E*sqrt(8*9.81*R*I)
? iter
? 'landa_echiv='
?? landa_echiv
? 'V3='
?? V3
return

procedure calcul1
    iter=iter+1
    R1=lamda1*bm*h/(l1*lamda1+l2*landa2+l3*landa3+LT*landaT)
    R2=landa2*bm*h/(l1*lamda1+l2*landa2+l3*landa3+LT*landaT)
    R3=landa3*bm*h/(l1*lamda1+l2*landa2+l3*landa3+LT*landaT)
    land1=-2*log10(ks1/14.84*r1+niu/(4.51*sqrt(9.81*i*r1^3)))
    land2=-2*log10(ks2/14.84*r2+niu/(4.51*sqrt(9.81*i*r2^3)))
    land3=-2*log10(ks3/14.84*r3+niu/(4.51*sqrt(9.81*i*r3^3)))
    x1=1/land1^2
    x2=1/land2^2
    x3=1/land3^2
return

*Afisarea rezultatelor
*v3=      &&<m/s>
*landa3=

```


5.4. Model pentru determinarea capacității de transport, la ape mari, a albiilor fracționate, cu vegetație în albia majoră

Având determinate valorile vitezelor medii în albia minoră v_3 și în albia majoră v_1 , se poate determina debitul total al secțiunii de curgere cu o relație de tipul:

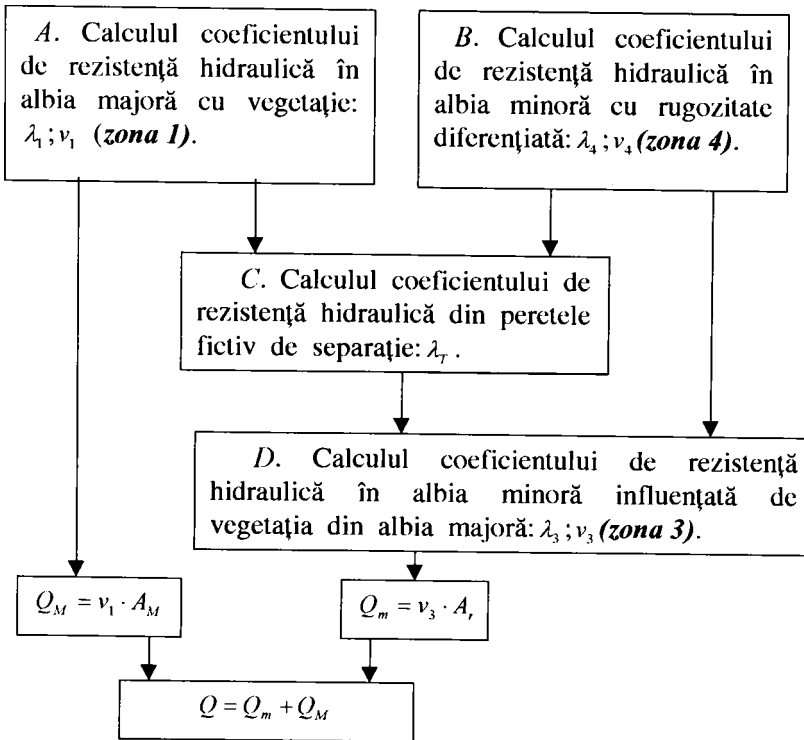
$$Q = Q_m + Q_M \quad (5.34)$$

unde:

$$Q_m = v_3 \cdot A_m \text{ și } Q_M = v_1 \cdot A_M \quad (5.35)$$

- v_3 - viteza medie de curgere în albia minoră, influențată de vegetația din albia majoră și interacțiunea dintre albia minoră și albia majoră;
- A_m - suprafața albici minore;
- v_1 - viteza medie de curgere în albia majoră, cu vegetație;
- A_M - suprafața albici majore

Modelul este prezentat schematic în cele ce urmează:



Capitolul 6. Model de calcul pentru determinarea suprafeței libere de curgere, la ape mari, în cazul albiilor fracționate

În capitolul 3.3. s-au discutat posibilitățile de rezolvare a ecuațiilor Saint-Venant pentru mișcarea nepermanentă unidimensională (mediată pe secțiunea de curgere). S-a subliniat că, în anumite condiții se poate neglija termenul inerțial, obținându-se modelul simplificat (ecuația 3.49) a mișcării staționare neuniforme (ecuația 3.51).

Această schemă simplificată permite o analiză mai aprofundată a influenței parametrilor curgerii, în mod deosebit parametrii caracteristici albiilor fracționate (atât din punct de vedere al geometriei secțiunii, cât și al distribuției elementelor de rugozitate), obiectiv major al lucrării de față.

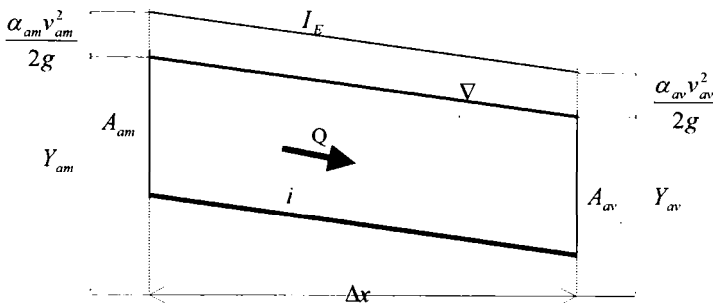
În continuare se consideră ecuația cu diferențe finite (3.52), pentru a cărei rezolvare se prezintă programe de calcul, care includ programele anterioare pentru evaluarea parametrilor curgerii corespunzători albiilor fracționate, prezentați în capitolul 5.

Calculul nivelurilor se face succesiv, folosind relația (3.52) transformată sub forma:

$$Y_{am} = Y_{av} + \beta [\alpha_{(av)} - \alpha_{(am)}] \frac{Q^2}{2g} + \frac{\Delta x}{2} [I_{E(av)} + I_{E(am)}] \quad (6.1)$$

Pentru numerele Froude ($Fr < 1$), calculele se desfășoară în sens contrar direcției de curgere și este necesară cunoașterea în prima secțiune de calcul, atât a debitului, cât și a nivelurilor de apă din albia minoră și majoră.

În secțiunile de calcul stabilite conform configurației albici mai trebuie precizate funcțiile pentru determinarea suprafețelor secțiunilor transversale și a coeficienților de rezistență hidraulică.



În prima secțiune de calcul cu valorile cunoscute ale lui: Q ; Y ; și h_m se calculează :

$$\alpha_{av} = \frac{\sum_i A_i \cdot \left(\frac{R_i}{\lambda_i}\right)^{3/2}}{\left[\sum_i A_i \left(\frac{R_i}{\lambda_i}\right)^{1/2}\right]^3} \quad (6.2)$$

unde: $\sum_i A_i = A$;

λ_i - coeficient de rezistență hidraulică pe porțiunea de rugozitate k_i ;

A_i - suprafața corespunzătoare lungimii l_i (din perimetrul udat), de rugozitate k_i ;

$R_i = A_i / l_i$ - raza hidraulică;

și valoarea $I_{E(av)}$, rezultată dintr-o relație de tip Darcy-Weisbach:

$$I_{E(av)} = \frac{Q^2}{8g} \left[\sum_i A_i \left(\frac{R_i}{\lambda_i}\right)^{1/2} \right]^{-2} \quad (6.3)$$

Pentru coeficientul “ β ” de corecție al neuniformității secțiunii transversale se folosește una din relațiile date în capitolul 3.3. (relația 3.53) iar $A_i; R_i; \lambda_i$ se calculează cu programele:

- “A” – curgerea în albia majoră, cu vegetație, neinfluențată de curgerea din albia minoră;
- “B” – curgerea în albia minoră, fără vegetație, neinfluențată de curgerea din albia majoră, cu vegetație;
- “C” – curgerea în albia majoră, cu vegetație, influențată de curgerea din albia minoră;
- “D” – curgerea în albia minoră, fără vegetație, influențată de curgerea din albia majoră, cu vegetație;

prezentate în capitolul 5.

Pentru calculul lui “ Y_{am} ” se folosește metoda iterativă Predictor-Corrector. Calculul iterativ începe în secțiunea amonte cu: $Y_{am}^{(1)} = Y_{av}$, iar pentru pasul următor $Y_{am}^{(2)}$ este valoarea obținută din relația (6.1). Calculul iterativ se încheie când:

$$\frac{Y_{am}^{(n+1)} - Y_{am}^{(n)}}{Y_{am}^{(n)}} < \delta \quad (6.4)$$

unde “ δ ” reprezintă eroarea de calcul acceptată.

Pentru calculul nivelului amonte este necesară și efectuarea unui calcul iterativ pentru $I_{E(am)}$. Acest calcul se desfășoară după același principiu cu cel prezentat pentru Y_{am} , în primul pas al iterației consi-

derându-se: $I_{E(am)}^{(1)} = I_{E(av)}$. În următorul pas $I_{E(am)}^{(2)}$ rezultă din relația (6.3), iar calculul iterativ se încheie când:

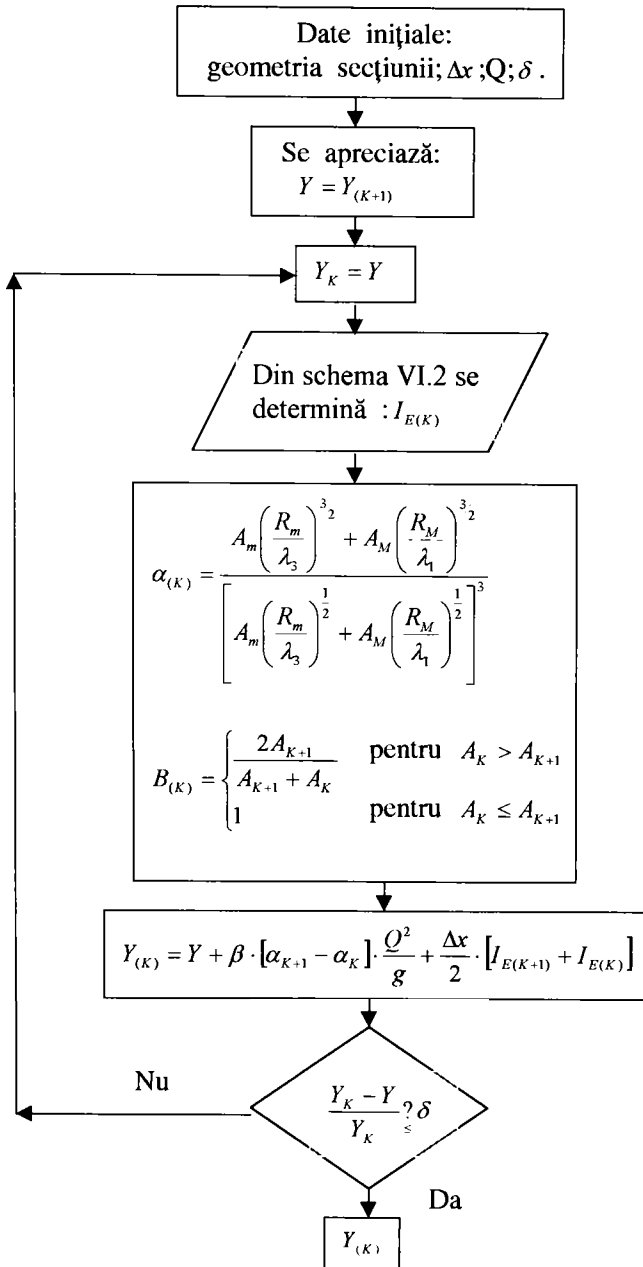
$$\frac{I_{E(am)}^{(n+1)} - I_{E(am)}^{(n)}}{I_{E(am)}^{(n+1)}} < \delta \quad (6.5)$$

Pentru sistematizarea calculelor este necesară parcurgerea următoarelor etape:

- calculul se pornește din secțiunea aval, unde sunt cunoscute: $Y_n; A_n; X_n; Q; I_{En}; \delta$;
- se fixează cele “n” secțiuni de calcul funcție de caracteristicile geometrice, hidraulice și profilul longitudinal;
- prima secțiune de calcul este secțiunea: $x = x_n - 1$, iar ultima este secțiunea: $x = x_0$, unde: $(\Delta x = x_1 - x_{i-1})$;
- pentru cele (n-1) secțiuni se calculează nivelul “Y” pornind din secțiunea imediat aval, definită $Y_{(k+1)}$.

În cele ce urmează se prezintă două scheme de calcul: una pentru determinarea nivelului de apă și alta pentru determinarea pantei energetice.

6.1. Schemă pentru calculul nivelului de apă $Y_{(k)}$



```
*****
*
*      6.1.1. Program pentru determinarea      *
*      nivelului de apa                        *
*
*
*****
```

```
* geometrie albie majora
```

```
bv =
```

```
dv =
```

```
ax =
```

```
az =
```

```
Ks =
```

```
* geometrie albie minora
```

```
b =
```

```
l1 =
```

```
l2 =
```

```
l3 =
```

```
Ks1 =
```

```
Ks2 =
```

```
Ks3 =
```

```
T =
```

```
dx =
```

```
Q =
```

```
delta =
```

```
Y = 1
```

```
dimension Y(100) , alfa(k)
```

```
* se calculeaza :
```

```
h = Y - dx*IE
```

```
hv = h - T
```

```
AM = bv * hv
```

```
Am = b * h
```

```
RM = bv * hv / (bv + hv)
```

```
Rm = Am / (l1 + l2 + l3)
```

```
k=1
```

```
do calcul
```

```
if ( Yk - Y(k-1) ) / Yk =< delta
```

```
    m.Y = Y(k)
```

```
    cancel
```

```
else
```

```
    do calcul
```

```
endif
```

```
procedure calcul
```

```
    Y(k)=Y(k-1)
```

```
    do I.prg
```

```
    alfa(k) = ( Am*(Rm/landa3)^(3/2) + AM*(RM/landa1)^(3/2) ) / (
```

```
Am*(Rm/landa3)^(1/2) + AM*(RM/landa1)^(1/2) )^3
```

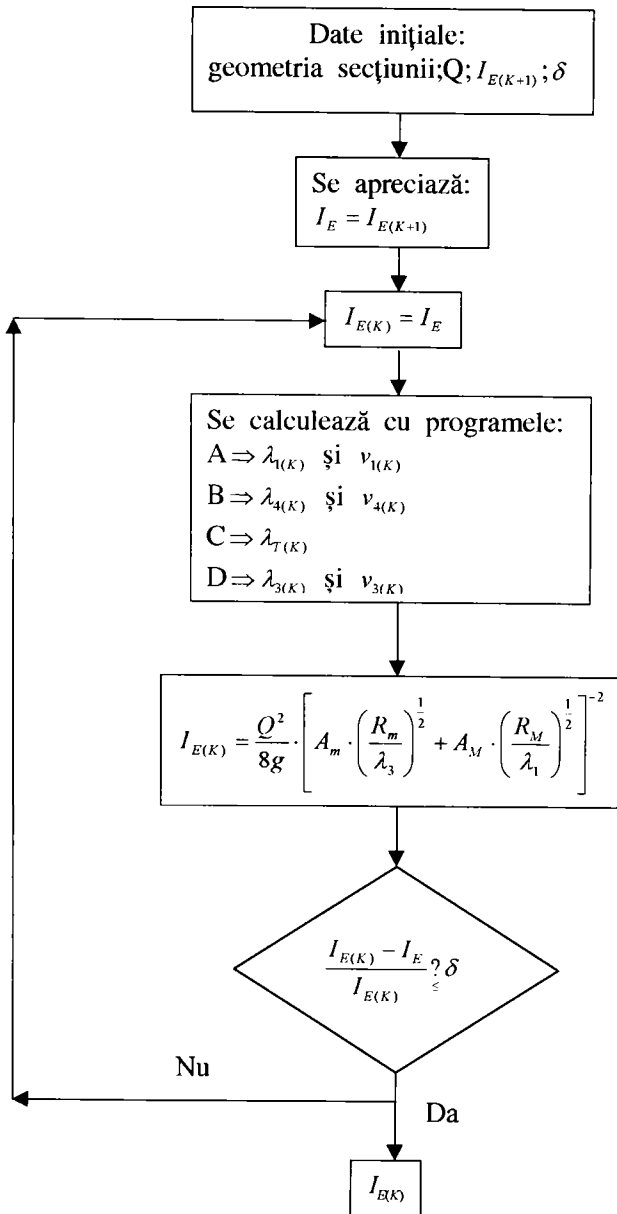
```
    beta = 1
```

```
    Y(k) = Y + beta*(alfa(k+1)-alfa(k))*Q^2/g + dx/2 * (IE(k+1)+IE(k))
```

```
    k = k + 1
```

```
return
```

6.2. Schema pentru calculul pantei energetice $I_{E(K)}$



```

*****
*
*   6.2.1.Program pentru determinarea   *
*           pantei energetice           *
*
*****

* geometrie albie majora
bv =
hv =
dv =
ax =
az =
Ks =
* geometrie albie majora
h =
b =
l1 =
l2 =
l3 =
Ks1 =
Ks2 =
Ks3 =

Q =
IE =
delta =

dimension IE(100)

IE(0) = IE
k = 1
do calcul

if ( IE(k)-IE(k-1) ) / IE(k) =< delta
    m.IE=IE(k)
    cancel
else
    do calcul
edif

procedure calcul
    IE(k)=IE(k-1)
    do A.prg      && rezulta landa1(k) si v1(k)
    do B.prg      && rezulta landa4(k) si v4(k)
    do C.prg      && rezulta landaT(k)
    do D.prg      && rezulta landa3(k) si v3(k)
    IE(k)=Q^2/(8*g) * ( Am*(Rm/landa3)^(1/2) + AM*(RM/landa1)^(1/2) )^(-2)
    k = k + 1
return

```


Capitolul 7. Prezentarea cercetărilor de laborator

7.1. Descrierea standului experimental

În conformitate cu obiectivele propuse, în cadrul laboratorului de hidraulică al Facultății de Hidrotehnică, s-a conceput un stand experimental, cu ajutorul căruia s-a studiat influența parametrilor hidraulici: geometrie și rugozitate de “tip pom” asupra curgerii în albiile fracționate.

Modelul hidraulic realizat și experimentările efectuate completează baza de date privind curgerea în albiile fracționate, cu vegetație de “tip pom” în albia majoră, pe de o parte, și a permis verificarea valabilității relațiilor teoretice propuse în lucrare, pe de altă parte.

Standul experimental folosit la studiul curgerii cu nivel liber în albiile fracționate cuprinde un canal de secțiune dreptunghiulară (simplă sau compusă), cu pantă reglabilă, având lungimea de 6m. La capătul amonte, standul este dotat cu un bazin de refulare și unul de liniștire, iar la capătul aval este prevăzut cu un deversor dreptunghiular cu perete subțire și contracție laterală și cu un bazin de evacuare a apei.

În fig.nr.15 se prezintă standul experimental cu schema circuitului hidraulic și a sistemului mecanic cu care este echipat, pentru a realiza modificările pantei geometrice ($i_1=1‰$; $i_2=2‰$; $i_3=5‰$).

Pe fundul canalului a fost creat un pat omogen de mortar de ciment și ipsos, peste care a fost fixat în ambele variante de secțiune (dreptunghiulară simplă și dreptunghiulară compusă) un covor de P.V.C. lucios.

Acest pat a asigurat suportul necesar creării rugozităților artificiale de simulare a elementelor de vegetație folosite în cadrul programului experimental.

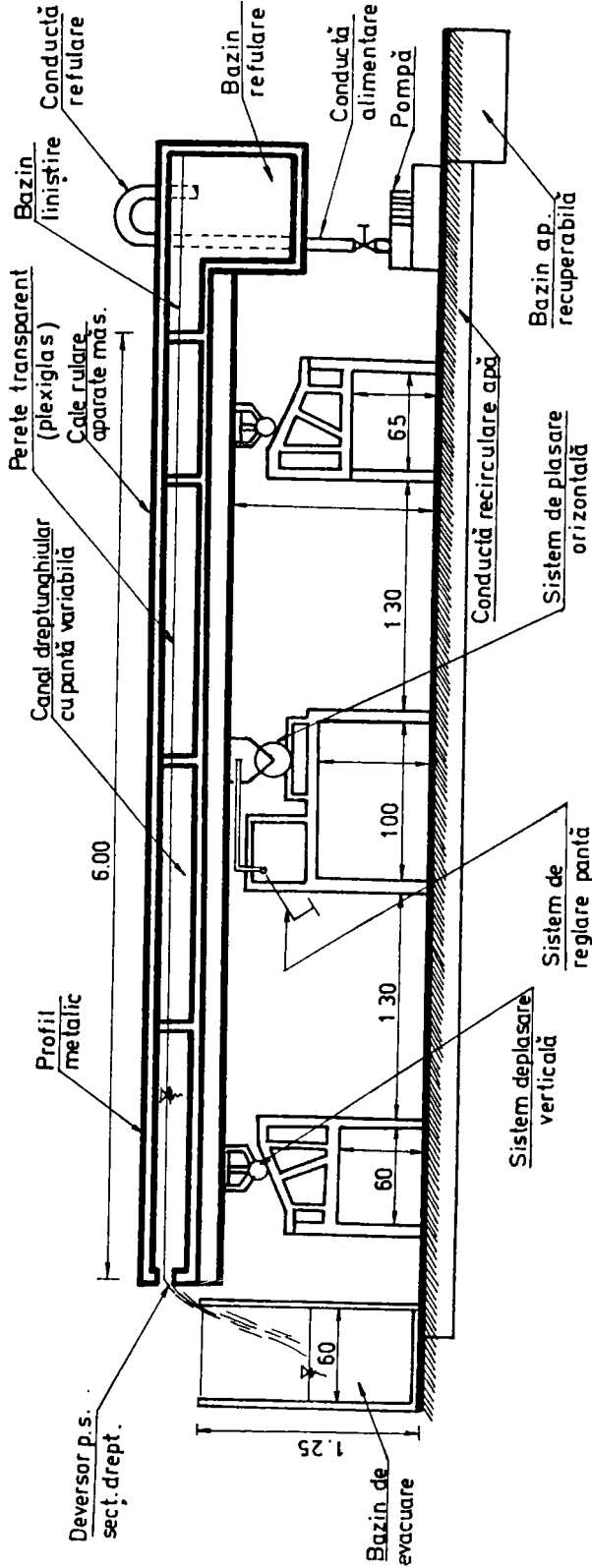


Fig. nr. 15 SCHEMA STANDULUI EXPERIMENTAL

7.2. Descrierea geometriei secțiunii transversale

În cadrul programului experimental au fost efectuate măsurători pentru două tipuri de secțiune geometrică:

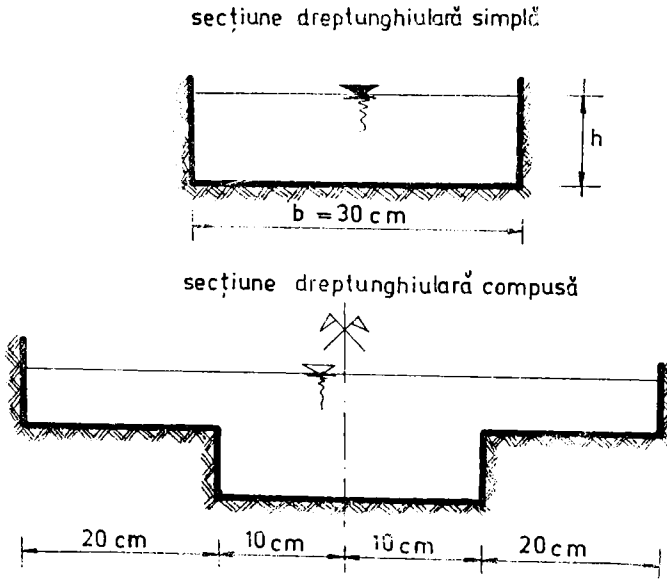


Fig. nr. 16

7.3. Descrierea tipurilor de rugozitate artificială

Pentru fiecare tip de secțiune geometrică s-au realizat cinci tipuri de rugozitate artificială.

S-a optat pentru varianta cu covor P.C.V. pe patul canalelor, pentru ca diferența dintre coeficientul de rezistență hidraulică corespunzător vegetației artificiale și cel corespunzător rugozității patului canalului să fie semnificativ mai mare.

Pentru simularea vegetației naturale de "tip pom" s-au folosit elemente cilindrice, variate atât ca poziție, cât și ca diametru. Elementele cilindrice au fost cuie într-o variantă și tuburi de plastic peste cuie, într-o altă variantă.

Pentru **secțiunea dreptunghiulară simplă** s-au cercetat variantele prezentate în fig nr.17 și anume:

- *rugozitate artificială tipul A_1* : covor P.V.C. neted pe patul canalului cu k_{s2} , iar pereții canalului din sticlă transparentă cu $k_{s1} = k_{s3}$
- *rugozitate artificială tip B_1* : covor P.V.C. neted pe patul canalului plus patru rânduri de cuie așezate la 5cm și respectiv 10cm unele față de altele în secțiunea transversală și la 10cm în profil longitudinal. Diametrul cuielor s-a ales $d_v = 2,5$ mm, iar înălțimea cuielor $h_c = 50$ mm. Cuietele de diametru d_v și înălțime h_c simulează elementele de vegetație rigide așezate în curent în șiruri orizontale.
- *rugozitate artificială tip C_1* : covor P.V.C. neted pe patul canalului cu aceeași dispoziție a elementelor de vegetație (cuietele) ca și la varianta tip B_1 , dar pentru a mări diametrul cuielor, acestea au fost “îmbrăcate” în tuburi de plastic. Deși tuburile de plastic au fost de înălțime mai mare decât cuietele propriu-zise și nu total rigide, în cadrul actualului studiu, flexibilitatea nu a fost cuantificată în nici un fel. În aceste condiții diametrul tuburilor s-a ales $d_v = 3$ mm, iar înălțimea tuburilor $h_c = 100$ mm.
- *rugozitate artificială tip D_1* : covor P.V.C. neted pe patul canalului și cu dispoziția elementelor de vegetație preluată de la varianta B_1 și în plus, pe axul canalului, încă un șir de cuie așezate la 5cm unele față de altele; $d_v = 2,5$ mm; $h_c = 50$ mm.
- *rugozitate artificială tip E_1* : covor P.V.C. neted pe patul canalului, cu dispoziția elementelor de vegetație preluată de la varianta D_1 , cu cuietele “îmbrăcate” în tuburi de plastic; $d_v = 3$ mm; $h_c = 100$ mm.

În figura nr.17 sunt prezentate schematic tipurile de rugozitate artificială folosite la secțiunea dreptunghiulară simplă.

Pentru *secțiunea dreptunghiulară compusă* s-au cercetat variantele prezentate în figura nr.18 și anume:

- *rugozitate artificială tip A_2* : covor P.V.C. pe patul canalului cu k_{s2} corespunzător, iar pereții care închid canalul din sticlă transparentă k_{s1} . Pe peretele vertical, care formează secțiunea compusă (dublu dreptunghiulară) executat din mortar de ciment sclivisit s-a considerat k_{s3} .
- *rugozitate artificială tip B_2* : varianta de rugozitate corespunzătoare tipul A_2 , plus trei rânduri de cuie așezate la 6cm unele față de altele în secțiune transvesală și la 10cm unele față de altele în profil longitudinal, numai pe porțiunea de canal care simulează

albia majoră. Diametrul cuielor care simulează elementele de vegetație este $d_v=2,5\text{mm}$, iar înălțimea $h_c=50\text{mm}$.

- *rugozitate artificială tip C_2* : aceeași dispoziție a elementelor de vegetație ca și la varianta B_2 , în plus cuietele au fost “îmbrăcate” în tuburi de plastic, cu: $d_v=3\text{mm}$ și $h_c=100\text{mm}$.
- *rugozitate artificială tip D_2* : covor neted P.V.C ca și în varianta A_2 , plus trei rânduri de cuiete așezate la 6cm unele față de altele în secțiune transversală, iar în profil longitudinal dispuse astfel:
 - primul șir de cuiete de la peretele canalului la 5cm unele față de altele;
 - al doilea șir de cuiete tot la 5cm unele față de altele;
 - al treilea șir de cuiete la 10cm unele față de altele.

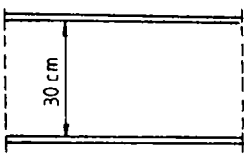
Diametrul și înălțimea elementelor de vegetație sunt: $d_v=2,5\text{mm}$ și $h_c=50\text{mm}$.

- *rugozitate artificială tip E_2* : aceeași dispoziție a elementelor de vegetație ca și la varianta D_2 , în plus cuietele au fost “îmbrăcate” în tuburi de plastic. În această variantă s-a considerat: $d_v=3\text{mm}$ și $h_c=100\text{mm}$.

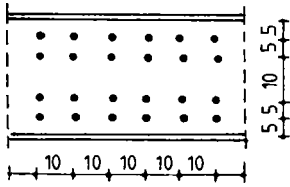
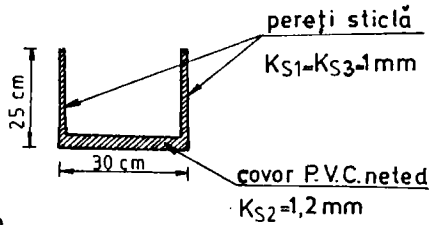
În fig.nr.18 se prezintă schematic tipurile de rugozități artificiale realizate pe secțiunea dreptunghiulară compusă.

VEDERE ÎN PLAN

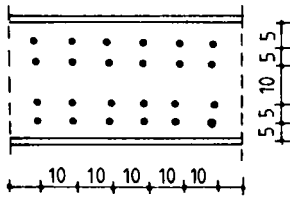
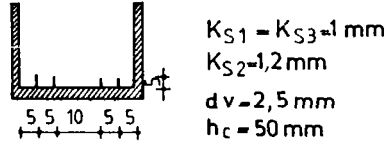
SECȚIUNI TRANSVERSALE



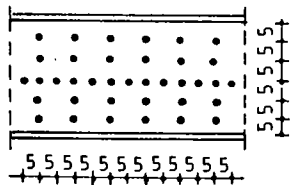
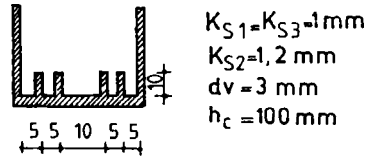
tip A₁



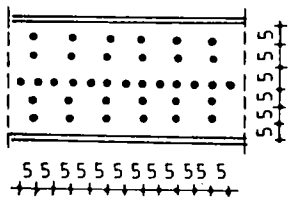
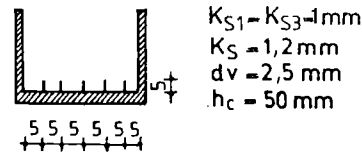
tip B₁



tip C₁



tip D₁



tip E₁

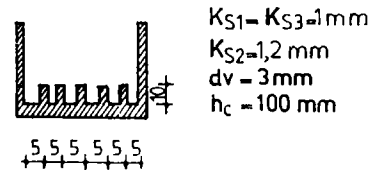


Fig.nr.17 Rugozitate artificială folosită la secțiune dreptunghiulară simplă

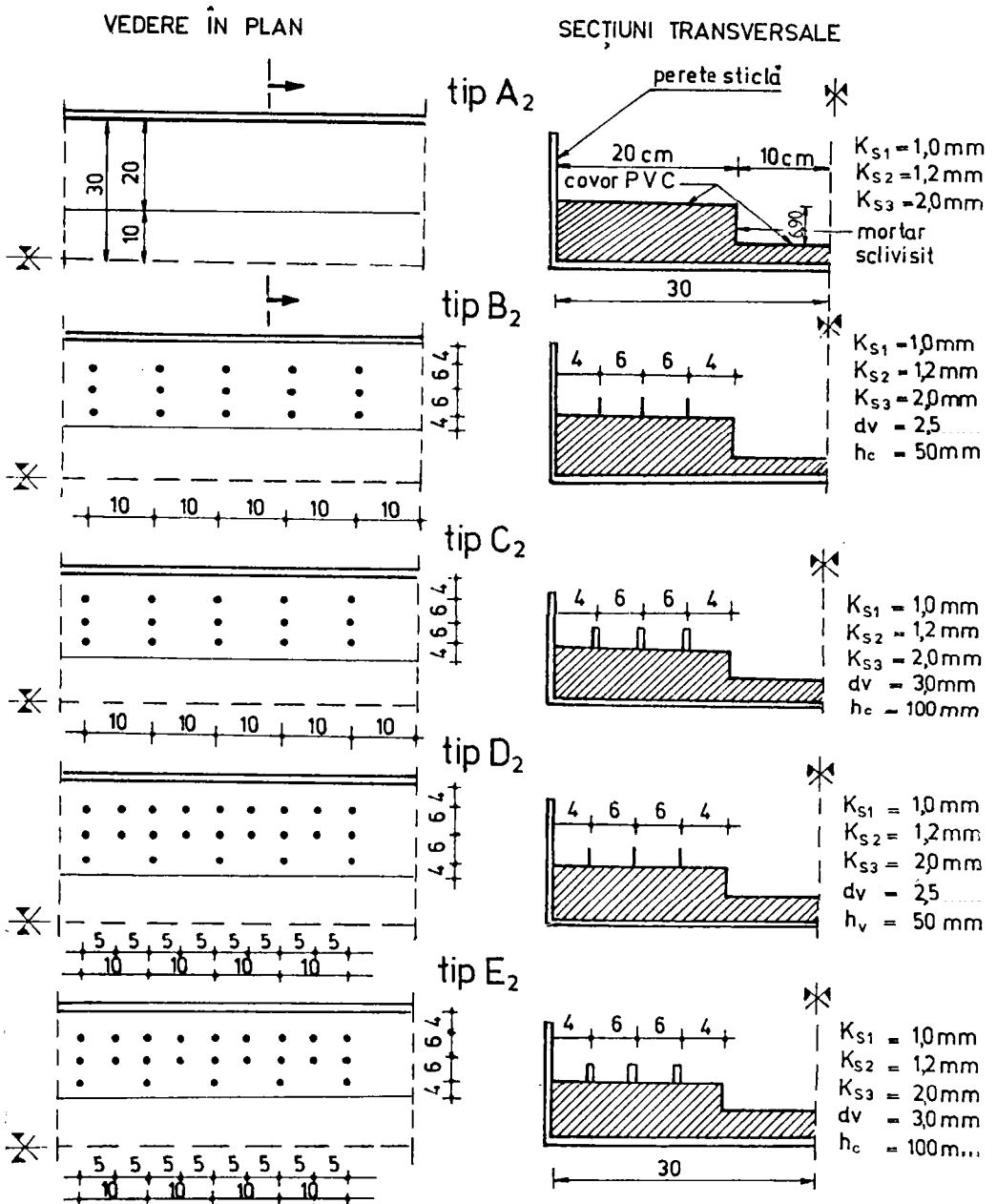


Fig. nr. 18 Rugozitate artificială pe secțiune dreptunghiulară compusă

7.4. Prezentarea măsurătorilor

Pentru fiecare tip de secțiune transversală și fiecare tip de rugozitate au fost efectuate măsurători experimentale pentru nivelurile de apă și viteze în trei (secțiunea dreptunghiulară simplă) respectiv două (secțiunea dreptunghiulară compusă) secțiuni ale canalului supus spre studiu, pentru trei valori ale pantei longitudinale: $i_1=1\text{‰}$; $i_2=2\text{‰}$; $i_3=5\text{‰}$.

Pentru fiecare dintre cele trei pante longitudinale menționate au fost efectuate măsurători la trei regimuri de alimentare cu debite diferite: $Q_1 \cong 3 \text{ l/s}$; $Q_2 \cong 11 \text{ l/s}$; $Q_3 \cong 19 \text{ l/s}$, respectiv: $Q_1 \cong 2 \text{ l/s}$; $Q_2 \cong 5 \text{ l/s}$; $Q_3 \cong 10 \text{ l/s}$, pentru secțiunea dreptunghiulară compusă.

Pentru măsurarea nivelelor s-a folosit o sondă diferențială, iar pentru măsurarea regimului vitezelor s-a folosit morișca hidraulică Ott. Debitele s-au măsurat cu un deversor de măsură, amplasat la capătul aval al canalului.

La fiecare dintre cele trei, respectiv două secțiuni transversale stabilite s-au măsurat vitezele punctuale în patru verticale (secțiunea dreptunghiulară simplă), respectiv cinci verticale (secțiunea dreptunghiulară compusă) stabilite în secțiunea transversală, iar pe fiecare verticală s-au măsurat vitezele punctuale din 2cm în 2cm, respectiv din 3cm în 3cm.

Corespunzător obiectivelor urmărite, pe modelulul hidraulic s-au respectat condițiile curgerii cu nivel liber în regim lent pe întreaga secțiune transversală și în toate cazurile studiate, adică:

$$Fr < 1$$

$$\frac{a_x}{a_{NL}} \leq 1$$

Alte condiții ale aplicării metodei propuse rezultă și din respectarea următoarelor limite recomandate de literatura de specialitate și îndeplinite de model:

$$\frac{\lambda_{fund(S)}}{\lambda_{perete, fctiv(T)}} \leq 1; \quad \frac{b_{min\ or\ a}}{h_T} < 40$$

Pe baza rezultatelor experimentale s-a intenționat și reușit în mare măsură verificarea legilor de curgere și a relațiilor de calcul ale coeficientului de rezistență hidraulic λ în cazurile:

- albie fracționată, fără vegetație în curent;
- albie fracționată, cu vegetație compactă în curent;
- albie fracționată, obturată (parțial) de vegetație.

Capitolul 8. Prezentarea rezultatelor experimentale

8.1 Curgerea în alpii fracționare, fără vegetație în curent

8.1.1. Secțiuniune dreptunghiulară simplă. Tipul de rugozitate A_1 .

Tipul de rugozitate A_1 (conform fig.nr.17):

$$K_{s1} = K_{s3} = 1mm, K_{s2} = 1,2mm.$$

Curgerea în acest caz a permis calibrarea modelului hidraulic realizat pe baza măsurătorilor experimentale ale vitezelor.

Valabilitatea relațiilor teoretice ale “teoriei rugozității” a lui Einstein a fost pe deplin recunoscută de cercetători. Pornind de la această certitudine s-a procedat la:

- stabilirea domeniilor de variație a rugozității echivalente de “tip nisip” pentru fundul canalului K_{s1} (covor P.V.C.), pentru pereții laterali ai canalului K_{s2} (sticlă), alegându-se pentru întreaga secțiune diferite combinații de valori K_{s1} și K_{s2} ;
- măsurarea debitelor și nivelurilor de apă în fiecare dintre cele trei secțiuni de calcul stabilite. Cu relațiile din “teoria rugozității” a lui Einstein, utilizând legea universală a curgerii Darcy-Weisbach și relația Colebrook-White (programul de calcul “B”), a rezultat viteza medie și coeficientul de rezistență hidraulică echivalent, notate în program cu “ v_4 ” și “ λ_4 ”.

Din compararea vitezelor măsurate experimental, cu cele calculate cu programul “B” s-a adoptat pentru K_{s1} și K_{s2} :

$$K_{s1} = 0,001m \quad (1mm)$$

$$K_{s2} = 0,0012m \quad (1,2mm)$$

- cu valorile astfel stabilite pentru K_{s1} și K_{s2} , diferența dintre vitezele măsurate și cele calculate se înscrie în marja de eroare acceptată ($\delta < 5\%$), pentru toate regimurile de debite și pante experimentate.

Din analiza rezultatelor la curgerea în albia de secțiune dreptunghiulară simplă și fără vegetație (tipul de rugozitate “ A_1 ” se desprind următoarele concluzii:

- prin considerarea relațiilor din “teoria rugozității” rezultă o bună concordanță între calculele teoretice și măsurători;
- coeficientul de rezistență hidraulică λ_4 este direct proporțional cu panta hidraulică și invers proporțional cu adâncimea de curgere.

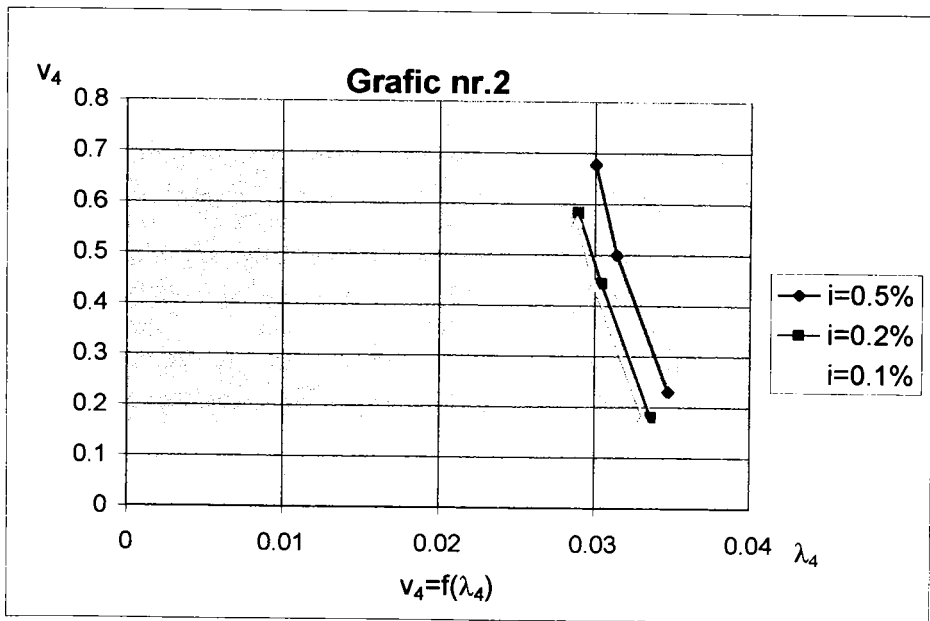
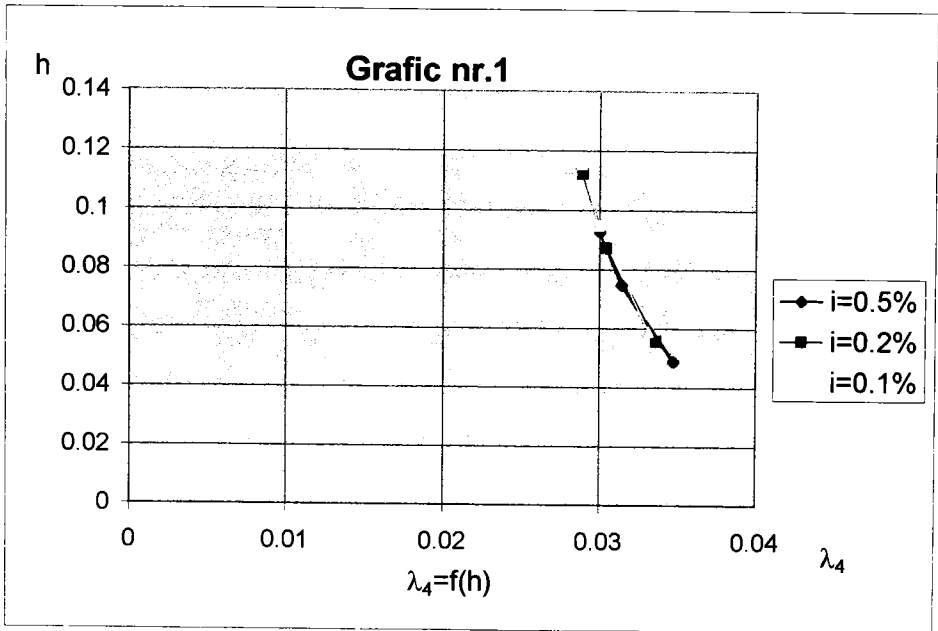
În tabelul 1 și în graficele nr.1 și nr.2 sunt prezentate aceste corespondențe.

Tabel nr.1

**Prezentarea rezultatelor la curgerea în albie fracționată,
secțiune dreptunghiulară simplă, fără vegetație.
Tipul de rugozitate "A₁".**

-rugozitate echivalentă tip nisip: $K_{S1} = 0,001m$
-rugozitate echivalentă tip nisip: $K_{S2} = 0,0012m$

Q <l/s>	I ‰	Secțiunea	Masuratori pe model		Program de calcul B		Abatere viteza
			h <m>	V <m/s>	V ₄ <m/s>	λ_4	$\frac{5-6}{6} \times 100$
1	2	3	4	5	6	7	8
		I	0,0550	0,2004	0,2054	0,0338	-2.4342
3,39	5	II	0,0490	0,2325	0,2305	0,0348	0.8676
		III	0,0470	0,2467	0,2401	0,0352	2.7488
		I	0,0583	0,1851	0,1806	0,0333	2.4916
3,16	2	II	0,0558	0,1923	0,1887	0,0337	1.9077
		III	0,0527	0,1935	0,1997	0,0342	-3.1046
		I	0,0604	0,1718	0,1749	0,0330	-1.7724
3,17	1	II	0,0591	0,1817	0,1788	0,0332	1.6219
		III	0,0527	0,1849	0,1831	0,0334	0.9831
		I	0,0808	0,4441	0,4628	0,0310	-4.0406
11,22	5	II	0,0748	0,5123	0,4999	0,0315	2.4804
		III	0,0697	0,5432	0,5365	0,0320	1.2488
		I	0,0901	0,4213	0,4302	0,0303	-2.0688
11,63	2	II	0,0873	0,4374	0,4444	0,0305	-1.5751
		III	0,0862	0,4431	0,4497	0,0305	-1.4676
		I	0,0960	0,4381	0,4336	0,0299	1.0378
12,49	1	II	0,0948	0,4432	0,4391	0,0300	0.9337
		III	0,0942	0,4493	0,4419	0,0300	1.6745
		I	0,1120	0,6008	0,5621	0,0290	6.8848
18,90	5	II	0,0928	0,6555	0,6780	0,0301	-3.3185
		III	0,0857	0,6850	0,7340	0,0306	-6.6757
		I	0,1132	0,5940	0,5788	0,0290	2.6261
19,66	2	II	0,1123	0,5961	0,5835	0,0290	2.1593
		III	0,1117	0,6022	0,5866	0,0290	2.6593
		I	0,1162	0,5765	0,5639	0,0288	2.2344
19,66	1	II	0,1156	0,5799	0,5668	0,0289	2.3112
		III	0,1153	0,5861	0,5669	0,0288	3.3668



8.1.2 Secțiune dreptunghiulară compusă. Tipul de rugozitate A_2 .

Tipul de rugozitate A_2 (conform fig.nr.18):

$$K_{s1} = 1mm; K_{s2} = 1,2mm; K_{s3} = 2mm.$$

Datorită complexității procesului de curgere, în această zonă cuprinderea fenomenului în relații teoretice de calcul este foarte dificilă.

Pentru coeficientul rezistenței hidraulice din peretele fictiv de separație între albia majoră și albia minoră (λ_T) s-a admis valoarea coeficientului de rezistență hidraulică echivalent, corespunzător albiei minore.

Accastă aproximare a fost făcută ca urmare a recomandărilor din literatura de specialitate, care pentru raporturi ale adâncimii apei din albia minoră și majoră: $\frac{h_m}{h_M} < 2,0$ admit pentru coeficientul rezistenței hidraulice atașat peretelui fictiv de separare o valoare, care poate fi evaluată corespunzător cu cea atașată fundului albiei minore.

Cercetările efectuate de Könemann (1980) au demonstrat că aceeași corepondență se păstrează chiar și până la valori ale raportului:

$$\frac{h_m}{h_M} \leq 3,0.$$

Admițând această ipoteză pentru K_{s3} (rugozitatea echivalentă "tip nisip" a peretelui ce desparte cele două alpii) a rezultat valoarea: $K_{s3} = 0,002m$, valoare care a condus la cea mai bună concordanță între vitezele măsurate experimental și vitezele calculate cu programele "B" și "D".

În tabelul nr.2 se prezintă comparativ aceste rezultate. Pe baza lor se pot desprinde următoarele concluzii:

- suprafața de separație dintre albia minoră și cea majoră nu este lipsită de tensiuni de frecare nici în cazul albiei majore netede;
- legile de calcul propuse pentru dterminarea vitezei medii în albia minoră " v_3 " au fost confirmate de rezultatele experimentale;
- prin considerarea frecării pe peretele fictiv de separație între albia minoră și albia majoră, valoarea vitezei medii " v_3 " în albia minoră scade cu circa 15% față de viteza " v_4 " (viteza din albia minoră calculată cu programul B, fără considerarea interacțiunii cu albia majoră).

Prezentarea rezultatelor la curgerea în albie fracționată, secțiune dreptunghiulară compusă fără vegetație. Tipul de rugozitate "A₂".

- rugozitate echivalentă tip nisip : K_{S1} = 0,0010 m
- rugozitate echivalentă tip nisip : K_{S2} = 0,0012 m
- rugozitate echivalentă tip nisip : K_{S3} = 0,0020 m

Q </s>	i	Masuratori pe model										Program calcul "B"					Program calcul "D"					Abatere viteza		
		h _m <m>	h _M <m>	v _m <m/s>	V _M <m/s>	λ _{4m}	V _{4m} <m/s>	λ _{4M}	V _{4M} <m/s>	λ ₃	λ _T	λ ₃	V ₃ <m/s>	$\frac{6-14}{14} \times 100$	$\frac{7-11}{11} \times 100$	$\frac{V_{4m}-V_3}{V_3} \times 100$								
2.08	5	I	0.122	0.053	0.1024	0.0800	0.0306	0.1044	0.0335	0.0760	0.0306	0.0283	0.0948	8.0168	5.2631	10.126								
		II	0.112	0.043	0.1138	0.0910	0.0315	0.1219	0.0354	0.0844	0.0315	0.0275	0.1165	-2.2317	7.8199	4.635								
2.05	2	I	0.132	0.063	0.0816	0.0741	0.0300	0.0913	0.0322	0.0688	0.0300	0.0288	0.0795	2.6415	7.7034	14.843								
		II	1.131	0.062	0.0849	0.0752	0.0300	0.0915	0.0322	0.0693	0.0300	0.0289	0.0798	6.3909	8.5137	14.662								
1.90	1	I	1.133	0.064	0.0734	0.0681	0.0298	0.0825	0.0319	0.0626	0.0298	0.0294	0.0709	3.3802	8.7859	16.361								
		II	0.132	0.063	0.0761	0.0691	0.0299	0.0827	0.0319	0.0630	0.0299	0.0294	0.0710	7.1830	9.6825	16.479								
5.30	5	I	0.141	0.071	0.1959	0.1709	0.0293	0.2106	0.0312	0.1622	0.0293	0.0249	0.1912	6.0321	5.3637	10.146								
		II	1.131	0.062	0.2313	0.1885	0.0300	0.2368	0.0322	0.1794	0.0300	0.0246	0.2238	6.6279	6.7873	5.809								
5.50	2	I	0.151	0.082	0.1834	0.1652	0.0286	0.1981	0.0302	0.1547	0.0286	0.0252	0.1720	6.6279	6.7873	5.809								
		II	0.150	0.081	0.1864	0.1698	0.0288	0.1985	0.0302	0.1569	0.0288	0.0253	0.1744	6.8807	8.2217	13.879								
5.44	1	I	0.153	0.084	0.1715	0.1608	0.0286	0.1904	0.0299	0.1504	0.0286	0.0254	0.1653	3.7507	6.9148	15.185								
		II	0.153	0.084	0.1707	0.1588	0.0286	0.1904	0.0299	0.1504	0.0286	0.0254	0.1653	3.2667	5.5851	15.185								
10.60	5	I	0.163	0.094	0.3177	0.2784	0.0281	0.3386	0.0293	0.2703	0.0281	0.0235	0.2969	7.0057	2.9966	14.045								
		II	0.152	0.084	0.3613	0.3077	0.0287	0.3733	0.0300	0.2960	0.0287	0.0232	0.3397	6.3585	3.9527	9.892								
10.75	2	I	0.174	0.105	0.2847	0.2720	0.0275	0.3123	0.0285	0.2509	0.0275	0.0237	0.2642	7.7592	8.4097	18.206								
		II	0.172	0.103	0.2813	0.2748	0.0277	0.3176	0.0286	0.2559	0.0277	0.0237	0.2704	4.0310	7.3856	17.456								
10.73	1	I	0.176	0.107	0.2686	0.2592	0.0275	0.3083	0.0285	0.2478	0.0275	0.0237	0.2596	3.4668	4.6004	18.760								
		II	0.175	0.106	0.2780	0.2599	0.0276	0.3110	0.0285	0.2509	0.0276	0.0237	0.2627	5.8241	3.5870	18.366								

8.2 Curgerea în albie fracționată, cu vegetație compactă în curent. Secțiune dreptunghiulară simplă. Tipurile de rugozitate B_1, C_1, D_1, E_1 .

Tipurile de rugozitate B_1, C_1, D_1, E_1 (conform fig.nr.17):

$$B_1 - K_{s1} = K_{s3} = 1mm, K_{s2} = 1,2mm, d_v = 2,5mm, h_c = 50mm, a_x = 10cm, a_z = 6cm$$

$$C_1 - K_{s1} = K_{s3} = 1mm, K_{s2} = 1,2mm, d_v = 3,0mm, h_c = 100mm, a_x = 10cm, a_z = 6cm$$

$$D_1 - K_{s1} = K_{s3} = 1mm, K_{s2} = 1,2mm, d_v = 2,5mm, h_c = 50mm, a_x = 9cm, a_z = 5cm$$

$$E_1 - K_{s1} = K_{s3} = 1mm, K_{s2} = 1,2mm, d_v = 3,0mm, h_c = 100mm, a_x = 9cm, a_z = 5cm$$

Pentru acest tip de "albie" și în cadrul cazurilor de rugozitate menționate s-au efectuat măsurători experimentale ale nivelurilor și vitezelor în trei secțiuni, pentru fiecare din pantele considerate ($i_1=1‰$; $i_2=2‰$; $i_3=5‰$), la cele trei debite măsurate la deversorul de măsură ($Q_{mc} \cong 3l/s$; $Q_{mj} \cong 11l/s$; $Q_{mare} \cong 19l/s$).

În cele ce urmează se prezintă patru tabele cu rezultatele măsurătorilor experimentale și a calculelor efectuate cu programul "A" pentru determinarea vitezelor și a coeficientului de rezistență hidraulică (λ_1, v_1) pentru fiecare din tipurile de rugozitate considerate: (tabelul nr.3 – tabelul nr.6).

Din analiza comparativă a vitezelor măsurate experimental și a celor rezultate din calcul se desprind următoarele concluzii:

- vitezele calculate cu relațiile teoretice sunt corecte. Distribuția vitezelor măsurate pe verticalele secțiunii transversale, arată că acestea se pot considera cvasiconstante (lucrul evidențiat și de Lindner, prin introducerea corecțiilor lui a_x, a_z cu a_{N1}, a_{NB} ;
- coeficientul de rezistență hidraulică datorită vegetației " λ_v " prezintă următoarele dependențe:
 - direct proporțional cu adâncimea apei;
 - invers proporțional cu panta;
 - la aceeași densitate a elementelor de vegetație este direct proporțional cu diametrul vegetației;
 - direct proporțional cu densitatea elementelor de vegetație.

Nu se poate stabili o dependență între " λ_v " și geometria dispunerii elementelor de vegetație de-a lungul secțiunii transversale.

În toate tipurile de rugozitate considerate nu s-a ținut cont de efectul de flexibilitate al vegetației din curent.

Concluziile mai sus menționate sunt evidențiate în graficele următoare :

- 9 grafice de tipul $\lambda_v = f(h)$ pentru cele 3 pante, la 3 debite de calcul, pentru fiecare tip de rugozitate (graficul nr.3 – graficul nr.11);
- 3 grafice de tipul $\lambda = f(i)$ pentru 3 debite și pentru fiecare tip de rugozitate (graficul nr.12 – graficul nr.14);
- 3 grafice de tipul $\lambda_v = f(d_v)$ pentru 3 pante și pentru fiecare caz de rugozitate (graficul nr.15 – graficul nr.17);
- 3 grafice de tipul $v_1 = f(\lambda_1)$ pentru 3 pante și pentru fiecare caz de rugozitate (graficul nr.18 – graficul nr.20).

Viteza de curgere printre elementele de vegetație (v_1) este dependentă de mărimea coeficientului de rezistență hidraulică corespunzător vegetației (λ_v) și anume cu cât “ λ_v ” este mai mare, cu atât “ v_1 ” este mai mică.

La o densitate foarte mare a elementelor de vegetație, coeficientul de rezistență hidraulică corespunzător fundului albicii “ λ_s ” este neglijabil față de cel corespunzător elementelor de vegetație “ λ_v ”.

Tabel nr. 3

**Prezentarea rezultatelor la curgerea în albie
fracționată, cu vegetație compactă în curent.**

Tipul de rugozitate "B₁".

- diametrul elementelor de vegetație: $d_v = 0,0025$ m
 - înălțimea elementelor de vegetație: $h_c = 0,0500$ m
 - distanța în secțiune transversală între elementele de vegetație: $a_z = 0,060$ m
 - distanța în lungul albici între elementele de vegetație: $a_x = 0,100$ m

Q <l/s>	i %	Secțiunea	Masuratori pe model		Program calcul "A"			Abatere viteza $\frac{5-6}{6} \times 100$	
			h <m>	v <m/s>	v ₁ <m/s>	λ_{∞}	λ_v		λ_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,12	5	I	0,0520	0,203	0,197	0,0364	0,0769	0,1133	3.0456
		II	0,0463	0,236	0,224	0,0374	0,0695	0,1069	5.3571
		III	0,0402	0,246	0,258	0,0386	0,0614	0,1000	-4.6512
3,16	2	I	0,0565	0,177	0,171	0,0359	0,0832	0,1191	3.5088
		II	0,0538	0,178	0,180	0,0363	0,0798	0,1161	-1.1111
		III	0,0516	0,182	0,187	0,0366	0,0770	0,1137	-2.6738
2,77	1	I	0,0578	0,162	0,160	0,0358	0,0854	0,1212	1.2500
		II	0,0567	0,166	0,163	0,0360	0,0839	0,1199	1.8404
		III	0,0547	0,174	0,169	0,0362	0,0815	0,1177	2.9585
10,83	5	I	0,0850	0,440	0,432	0,0319	0,0966	0,1285	1.8519
		II	0,0793	0,446	0,462	0,0323	0,0925	0,1248	-3.4623
		III	0,0757	0,470	0,484	0,0326	0,0899	0,1225	-2.8926
11,01	2	I	0,0905	0,410	0,404	0,0315	0,1006	0,1321	1.4851
		II	0,0893	0,416	0,411	0,0316	0,0997	0,1313	1.2165
		III	0,0882	0,422	0,415	0,0316	0,0988	0,1304	1.6867
10,74	1	I	0,0924	0,383	0,396	0,0314	0,1022	0,1336	-3.2828
		II	0,0917	0,390	0,399	0,0314	0,1017	0,1331	-2.2556
		III	0,0912	0,393	0,401	0,0315	0,1013	0,1328	-1.9950
19,82	5	I	0,1100	0,611	0,600	0,0302	0,1126	0,1428	1.8333
		II	0,1043	0,623	0,632	0,0305	0,1091	0,1396	-1.4240
		III	0,1017	0,632	0,649	0,0306	0,1075	0,1381	-2.6194
19,82	2	I	0,1152	0,578	0,572	0,0300	0,1154	0,1454	1.0489
		II	0,1144	0,590	0,578	0,0300	0,1150	0,1450	2.0761
		III	0,1142	0,593	0,579	0,0300	0,1149	0,1449	2.4179
19,82	1	I	0,1188	0,569	0,556	0,0299	0,1174	0,1473	2.3381
		II	0,1183	0,571	0,558	0,0299	0,1172	0,1471	2.3297
		III	0,1177	0,574	0,561	0,0299	0,1168	0,1467	2.3172

Tabel nr.4

**Prezentarea rezultatelor la curgerea în albie
fracționată, cu vegetație compactă în curent. Tipul
de rugozitate "C₁".**

- diametrul elementelor de vegetație: $d_v = 0,003$ m
- înălțimea elementelor de vegetație: $h_c = 0,100$ m
- distanța în secțiune transversală între elementele de vegetație: $a_z = 0,060$ m
- distanța în lungul albici între elementele de vegetație: $a_x = 0,100$ m

Q <l/s>	i ‰	Secțiunea	Masuratori pe model		Program calcul "A"			Abatere viteza	
			h <m>	v <m/s>	v_1 <m/s>	λ_s	λ_v	λ_1	$\frac{5-6}{6} \times 100$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,10	5	I	0,0524	0,204	0,197	0,0363	0,0874	0,1237	3.5532
		II	0,0475	0,226	0,217	0,0371	0,0803	0,1174	4.1474
		III	0,0417	0,230	0,247	0,0382	0,0717	0,1099	-6.8824
3,00	2	I	0,0564	0,181	0,177	0,0358	0,0935	0,1293	2.2598
		II	0,0549	0,183	0,182	0,0363	0,0914	0,1274	0.5494
		III	0,0524	0,187	0,190	0,0364	0,0880	0,1244	-1.5789
2,94	1	I	0,0580	0,171	0,169	0,0356	0,0962	0,1318	1.1834
		II	0,0568	0,173	0,172	0,0358	0,0945	0,1303	0.5813
		III	0,0557	0,174	0,176	0,0359	0,0928	0,1287	-1.1363
11,80	5	I	0,0860	0,454	0,457	0,0317	0,1125	0,1442	-0.6564
		II	0,0848	0,468	0,463	0,0318	0,1110	0,1428	1.0799
		III	0,0832	0,472	0,473	0,0319	0,1101	0,1420	-0.2114
10,77	2	I	0,0900	0,418	0,401	0,0315	0,1156	0,1471	4.2394
		II	0,0913	0,397	0,395	0,0314	0,1166	0,1480	0.5063
		III	0,0942	0,359	0,380	0,0313	0,1189	0,1502	-5.5263
10,83	1	I	0,0915	0,412	0,394	0,0314	0,1168	0,1482	4.5685
		II	0,0958	0,381	0,376	0,0312	0,1202	0,1514	1.3297
		III	0,0977	0,350	0,369	0,0311	0,1215	0,1526	-5.1490
19,45	5	I	0,1115	0,594	0,581	0,0301	0,1310	0,1611	2.2375
		II	0,1128	0,561	0,574	0,0300	0,1319	0,1619	-2.2648
		III	0,1147	0,526	0,565	0,0300	0,1332	0,1632	-6.9026
19,45	2	I	0,1180	0,555	0,549	0,0298	0,1351	0,1649	1.0928
		II	0,1218	0,548	0,532	0,0297	0,1375	0,1672	3.0075
		III	0,1230	0,483	0,527	0,0296	0,1383	0,1679	-8.3491
19,45	1	I	0,1200	0,552	0,540	0,0298	0,1364	0,1662	2.2222
		II	0,1208	0,534	0,536	0,0297	0,1369	0,1666	-0.3731
		III	0,1297	0,475	0,499	0,0294	0,1422	0,1716	-4.8096

Tabel nr.5

**Prezentarea rezultatelor la curgerea în albie
fracționată, cu vegetație compactă în curent.
Tipul de rugozitate "D₁".**

- diametrul elementelor de vegetație: $d_v = 0,0025$ m
- înălțimea elementelor de vegetație: $h_c = 0,050$ m
- distanța în secțiune transversală între elementele de vegetație: $a_y = 0,050$ m
- distanța în lungul albici între elementele de vegetație: $a_x = 0,090$ m

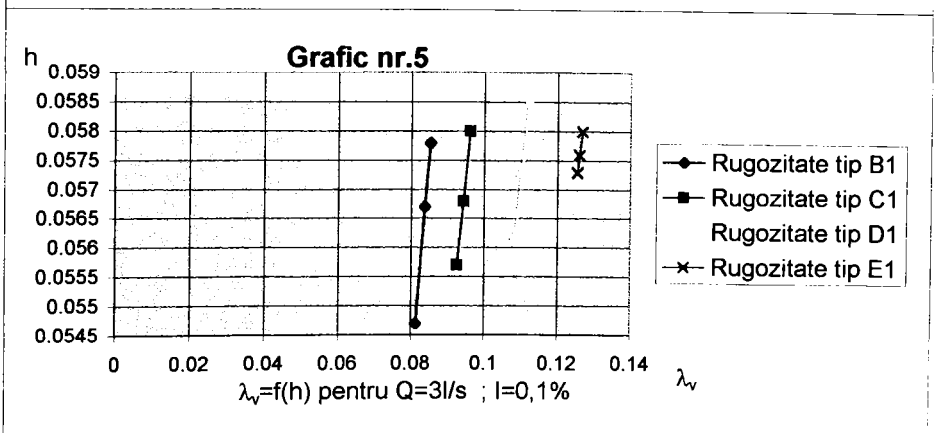
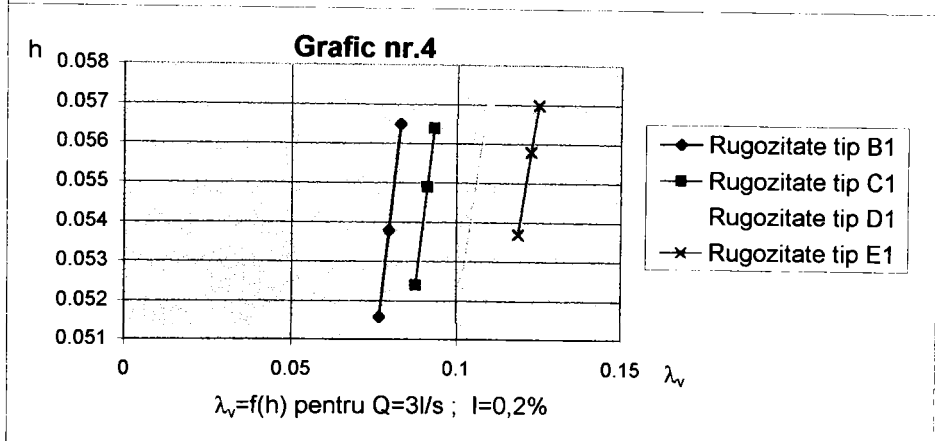
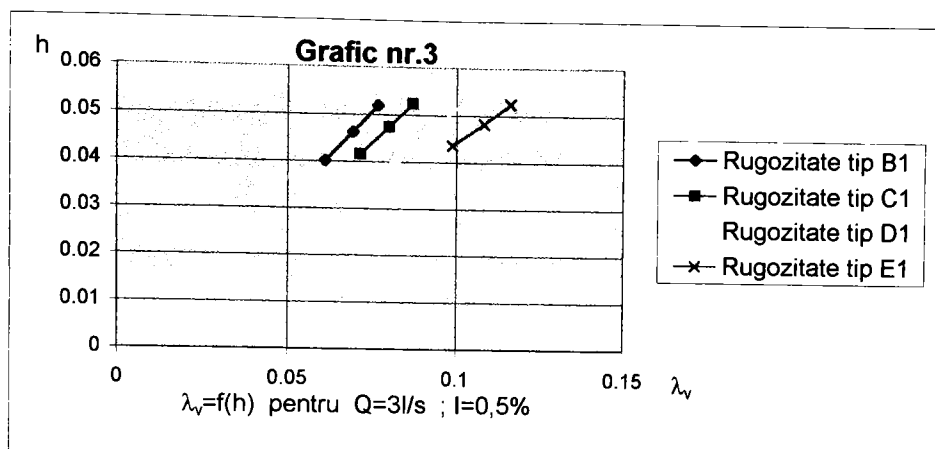
Q </s>	i ‰	Secțiunea	Masuratori pe model		Program calcul "A"			Abatere viteza $\frac{5-6}{6} \times 100$	
			h <m>	v <m/s>	v ₁ <m/s>	λ_s	λ_v		λ_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,23	5	I	0,0528	0,208	0,203	0,0361	0,1023	0,1384	2.4631
		II	0,0471	0,236	0,228	0,0370	0,0927	0,1297	3.5088
		III	0,0408	0,250	0,263	0,0383	0,0817	0,1200	-4.9430
3,10	2	I	0,0570	0,185	0,181	0,0356	0,1098	0,1454	2.2099
		II	0,0543	0,188	0,190	0,0359	0,1054	0,1413	-1.0526
		III	0,0525	0,190	0,197	0,0362	0,1023	0,1385	-3.5533
3,10	1	I	0,0585	0,180	0,177	0,0354	0,1122	0,1476	1.6949
		II	0,0573	0,181	0,180	0,0355	0,1103	0,1458	0.5556
		III	0,0562	0,182	0,184	0,0357	0,1086	0,1443	-1.0870
11,40	5	I	0,0845	0,473	0,450	0,0318	0,1268	0,1586	5.1111
		II	0,0803	0,478	0,473	0,0321	0,1229	0,1550	1.0571
		III	0,0763	0,480	0,495	0,0324	0,1190	0,1514	-3.0303
11,10	2	I	0,0895	0,406	0,413	0,0315	0,1314	0,1629	-1.6949
		II	0,0888	0,422	0,416	0,0315	0,1309	0,1624	1.4423
		III	0,0877	0,431	0,421	0,0316	0,1298	0,1614	2.3753
10,70	1	I	0,0910	0,398	0,392	0,0314	0,1339	0,1663	1.5306
		II	0,0911	0,392	0,391	0,0314	0,1340	0,1654	0.2558
		III	0,0913	0,380	0,390	0,0314	0,1342	0,1656	-2.5641
19,35	5	I	0,1105	0,602	0,583	0,0301	0,1487	0,1788	3.2590
		II	0,1048	0,604	0,615	0,0304	0,1444	0,1748	-1.7886
		III	0,1027	0,607	0,628	0,0305	0,1500	0,1805	-3.3439
19,35	2	I	0,1150	0,572	0,561	0,0299	0,1522	0,1821	1.9608
		II	0,1153	0,566	0,559	0,0299	0,1524	0,1823	1.2522
		III	0,1167	0,544	0,552	0,0299	0,1534	0,1833	-1.4493
19,35	1	I	0,1170	0,585	0,561	0,0298	0,1537	0,1835	2.5408
		II	0,1178	0,554	0,547	0,0298	0,1543	0,1841	1.2797
		III	0,1192	0,525	0,540	0,0298	0,1553	0,1851	-2.7778

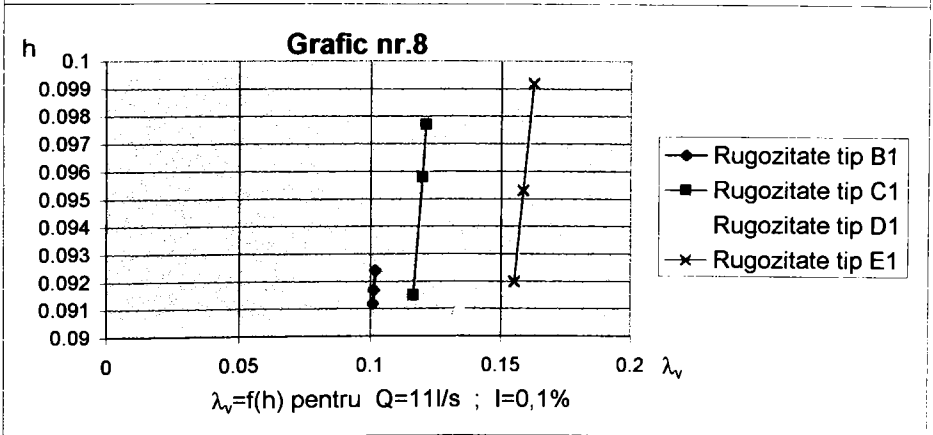
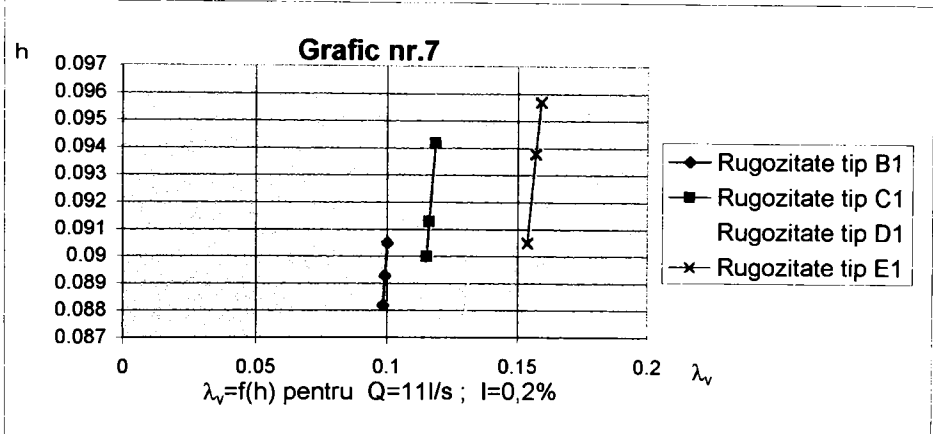
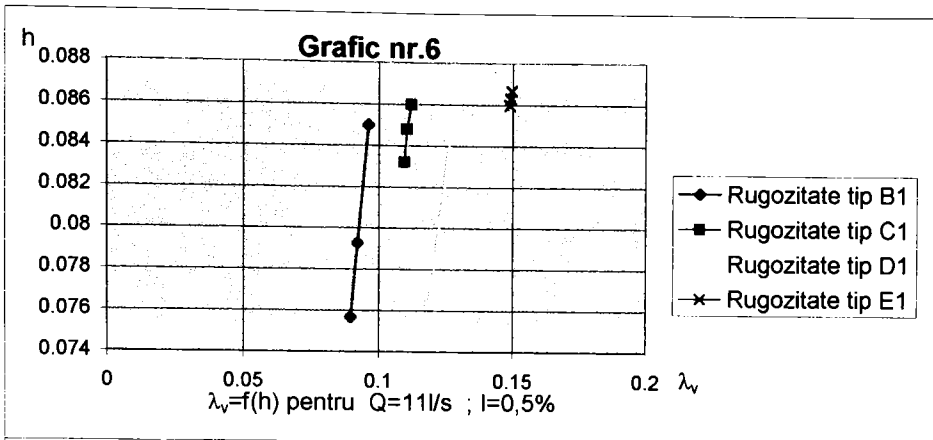
Tabel nr.6

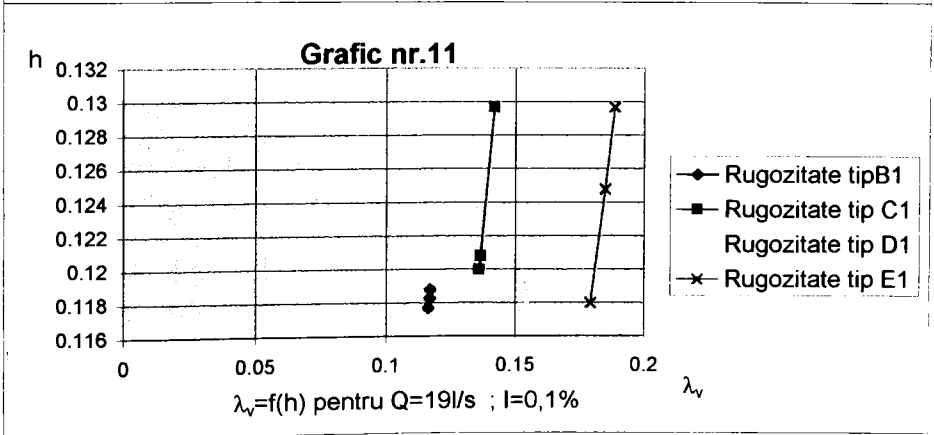
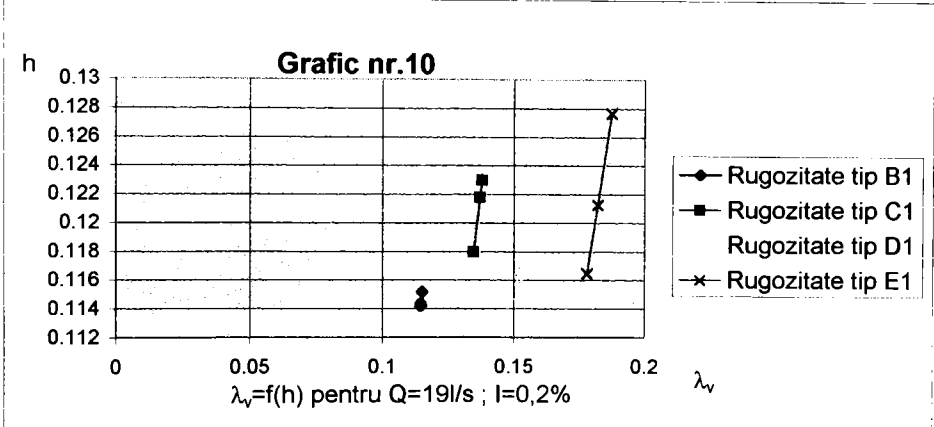
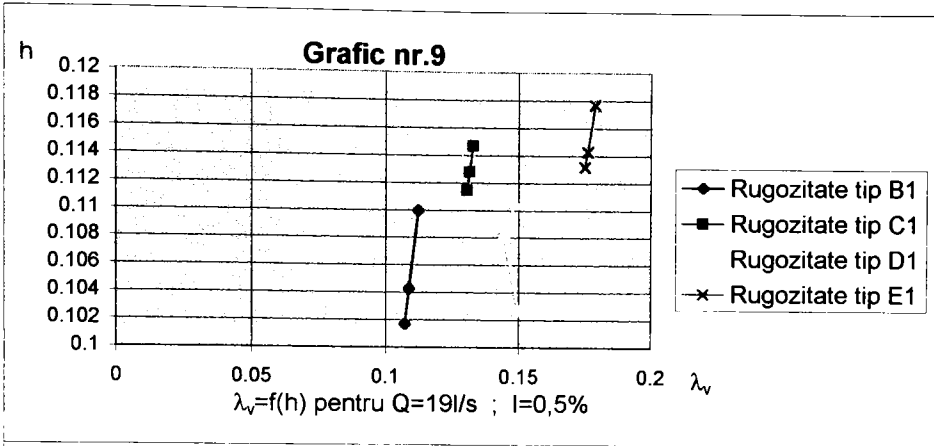
**Prezentarea rezultatelor la curgerea în albie
fracționată, cu vegetație compactă în curent.
Tipul de rugozitate "E₁".**

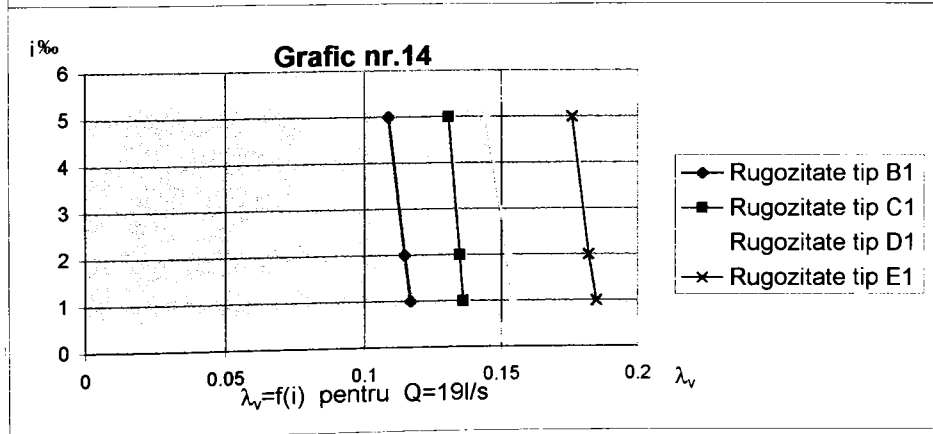
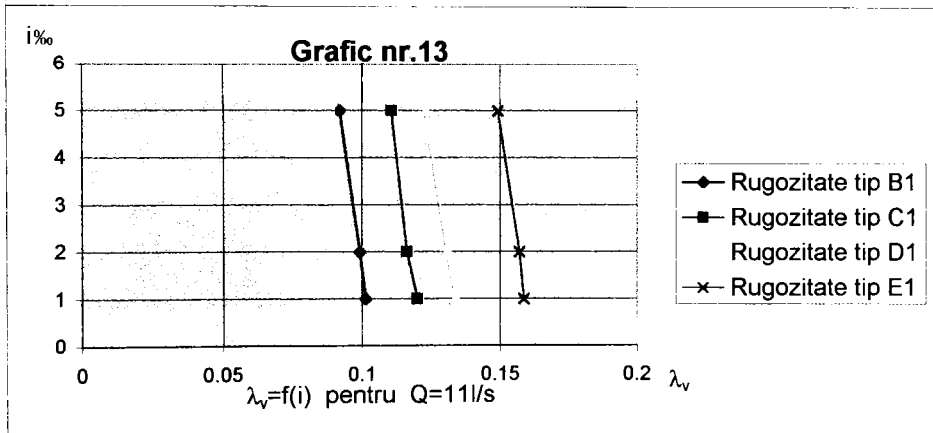
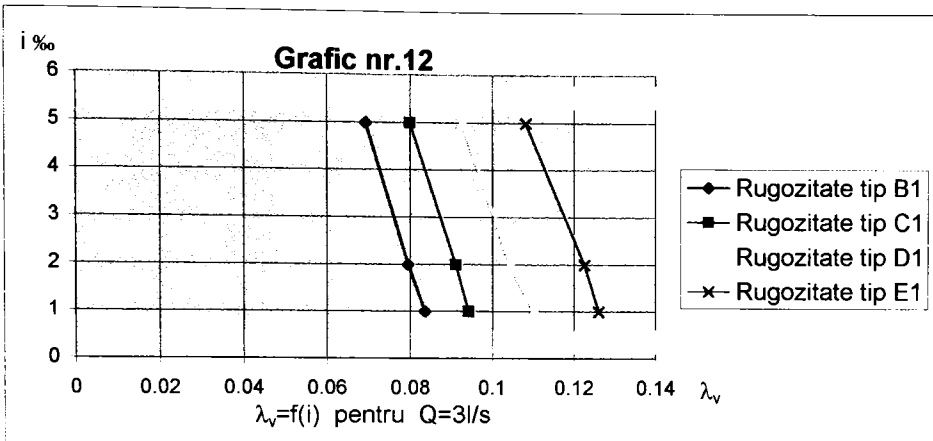
- diametrul elementelor de vegetație: $d_v = 0,003$ m
- înălțimea elementelor de vegetație: $h_c = 0,100$ m
- distanța în secțiune transversală între elementele de vegetație: $a_z = 0,005$ m
- distanța în lungul albici între elementele de vegetație: $a_x = 0,090$ m

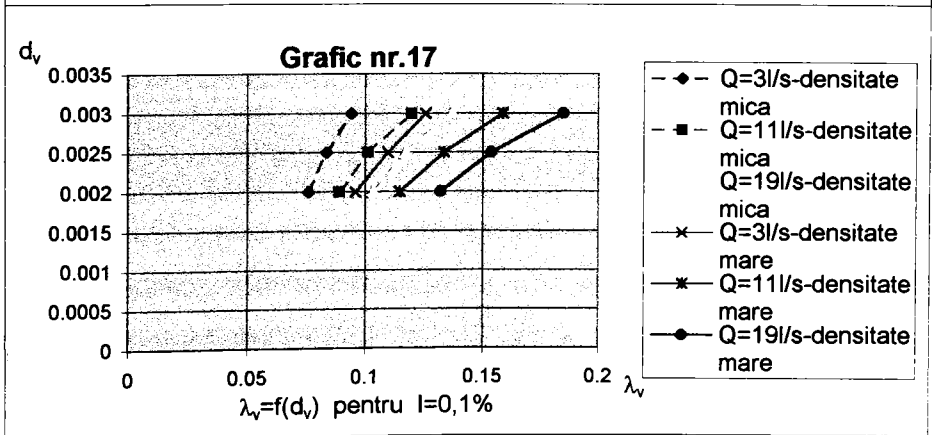
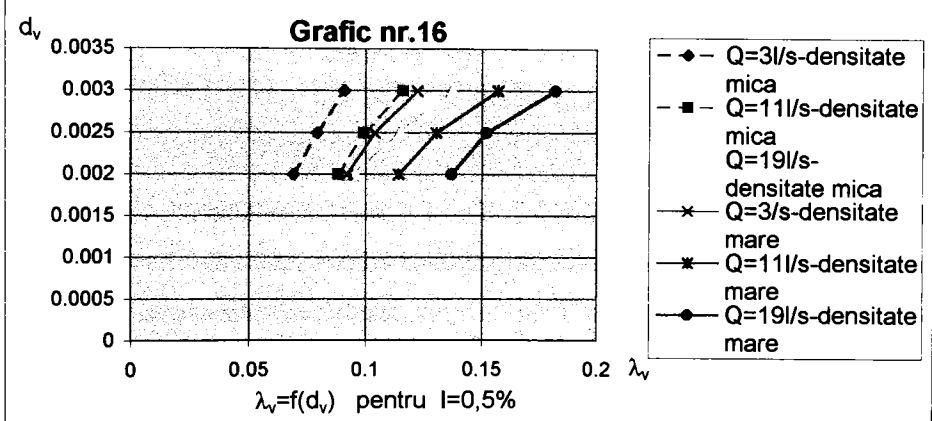
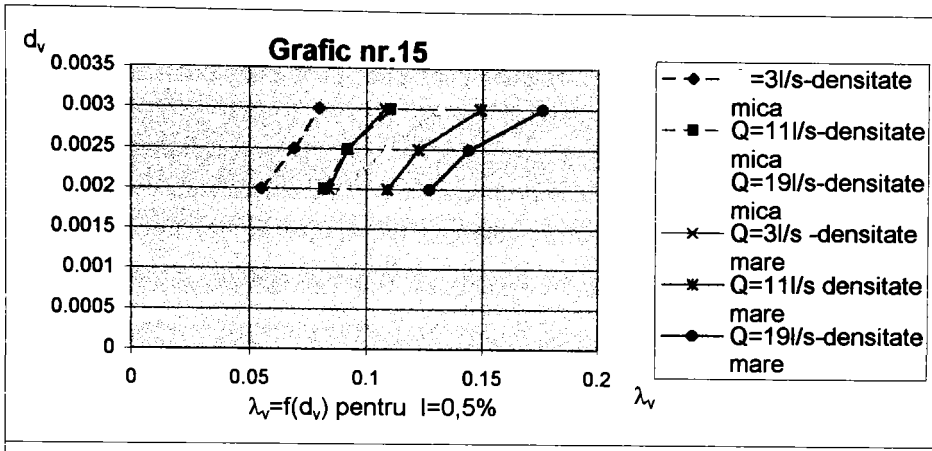
Q <l/s>	i ‰	Secțiunea	Masuratori pe model		Program calcul "A"				Abatere viteza
			h <m>	v <m/s>	v ₁ <m/s>	λ_s	λ_v	λ_1	$\frac{5-6}{6} \times 100$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,10	5	I	0,0525	0,202	0,196	0,0361	0,1164	0,1525	3,0612
		II	0,0483	0,220	0,213	0,0368	0,1085	0,1453	3,2864
		III	0,0437	0,231	0,236	0,0377	0,0991	0,1368	-2,1186
3,10	2	I	0,0570	0,177	0,180	0,0355	0,1252	0,1607	-1,6666
		II	0,0558	0,181	0,185	0,0357	0,1229	0,1586	-2,1621
		III	0,0537	0,189	0,192	0,0360	0,1190	0,1550	-1,5625
3,10	1	I	0,0580	0,173	0,178	0,0354	0,1271	0,1625	-2,8089
		II	0,0576	0,175	0,179	0,0354	0,1263	0,1617	-2,2346
		III	0,0573	0,177	0,180	0,0355	0,1257	0,1612	-1,6666
10,50	5	I	0,0860	0,417	0,407	0,0317	0,1493	0,1810	2,4570
		II	0,0863	0,416	0,405	0,0317	0,1496	0,1813	2,7160
		III	0,0867	0,416	0,403	0,0317	0,1501	0,1818	3,2258
10,50	2	I	0,0905	0,400	0,386	0,0314	0,1542	0,1856	3,6269
		II	0,0938	0,364	0,373	0,0312	0,1575	0,1887	-2,4128
		III	0,0957	0,337	0,365	0,0311	0,1594	0,1905	-7,6712
10,50	1	I	0,0920	0,395	0,380	0,0313	0,1556	0,1869	3,9474
		II	0,0953	0,357	0,367	0,0311	0,1590	0,1901	-2,7247
		III	0,0992	0,327	0,352	0,0309	0,1629	0,1938	-7,1023
19,00	5	I	0,1132	0,589	0,559	0,0300	0,1754	0,2054	5,3667
		II	0,1143	0,539	0,553	0,0299	0,1764	0,2063	-2,5316
		III	0,1177	0,526	0,538	0,0298	0,1793	0,2091	-2,2305
18,50	2	I	0,1165	0,543	0,529	0,0299	0,1783	0,2082	2,6465
		II	0,1213	0,518	0,508	0,0297	0,1824	0,2121	1,9685
		III	0,1277	0,466	0,482	0,0294	0,1876	0,2170	-3,3195
18,50	1	I	0,1180	0,539	0,522	0,0298	0,1796	0,2094	3,2567
		II	0,1248	0,505	0,494	0,0295	0,1853	0,2148	2,2267
		III	0,1297	0,457	0,476	0,0294	0,1889	0,2183	-3,9916

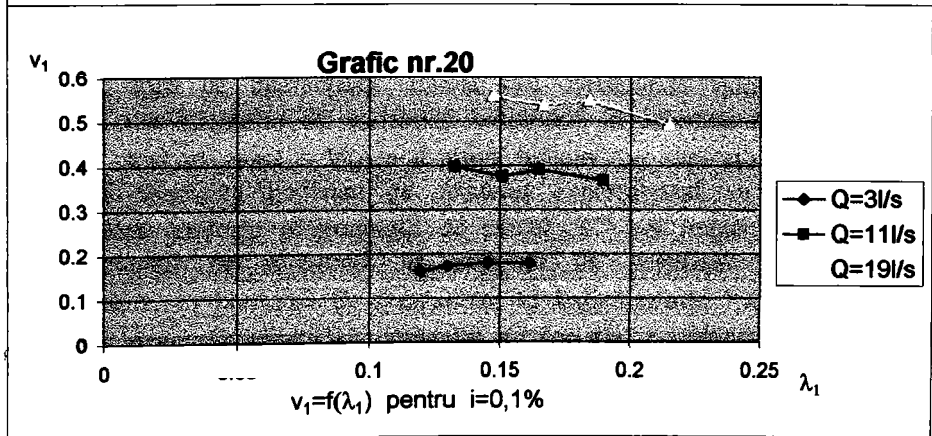
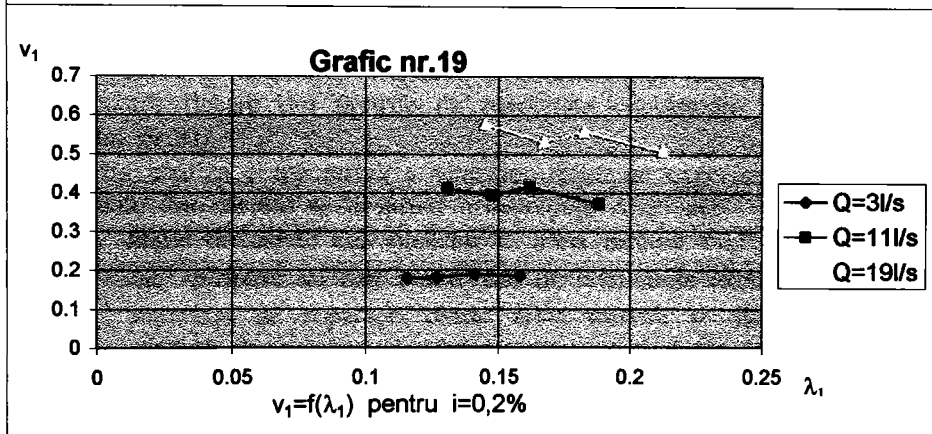
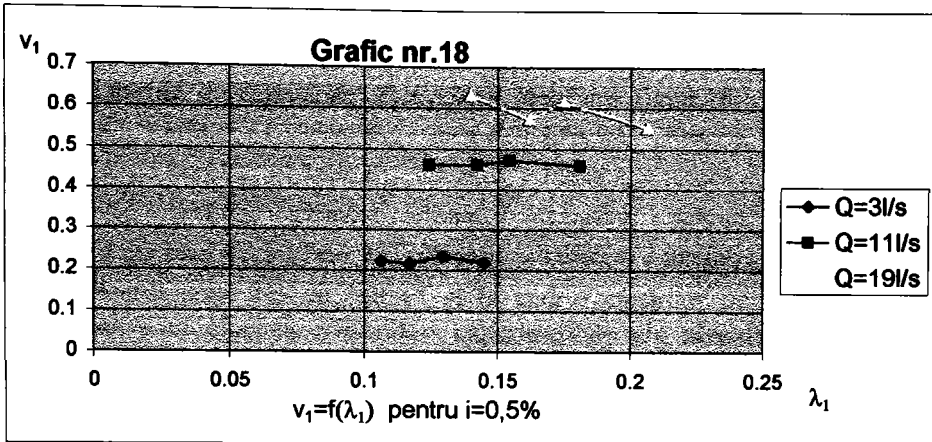












8.3. Curgerea în albie fracționată, obturată parțial de vegetație. Secțiune dreptunghiulară compusă. Tipurile de rugozitate $B_2; C_2; D_2; E_2$.

Tipurile de rugozitate $B_2; C_2; D_2; E_2$ (conform fig.nr.18):

$B_2 - K_{s1} = 1mm; K_{s2} = 1,2mm; K_{s3} = 2mm; d_v = 2,5mm; h_c = 50mm; a_x = 10cm; a_z = 6cm$

$C_2 - K_{s1} = 1mm; K_{s2} = 1,2mm; K_{s3} = 2mm; d_v = 3,0mm; h_c = 100mm; a_x = 10cm; a_z = 6cm$

$D_2 - K_{s1} = 1mm; K_{s2} = 1,2mm; K_{s3} = 2mm; d_v = 2,5mm; h_c = 50mm; a_x = 9cm; a_z = 5cm$

$E_2 - K_{s1} = 1mm; K_{s2} = 1,2mm; K_{s3} = 2mm; d_v = 3,0mm; h_c = 100mm; a_x = 9cm; a_z = 5cm$

Pentru acest tip de "albie" și în cadrul cazurilor de rugozitate menționate s-au efectuat măsurători experimentale ale nivelurilor și vitezelor în două secțiuni, pentru fiecare dintre pantele considerate: ($i_1=1‰$; $i_2=2‰$; $i_3=5‰$), la debitele: $Q_{mic} \cong 2l/s$; $Q_{mij} \cong 5l/s$; $Q_{mare} \cong 10l/s$.

În cele ce urmează se prezintă 4 tabele cu rezultatele măsurătorilor experimentale și a calculelor efectuate cu programele "A"; "B"; "C"; "D" pentru determinarea vitezelor și coeficienților de rezistență hidraulică pentru fiecare din tipurile de rugozitate considerate: (tabelul nr.7 – tabelul nr.10).

Din analiza comparativă a vitezelor măsurate experimental și a celor rezultate din calcule se desprind următoarele concluzii:

- legile de calcul ale vitezelor în albia minoră " v_3 " și albia majoră " v_1 " propuse au fost confirmate de rezultatele experimentale;
- suprafața de separație dintre albia minoră și albia majoră este afectată de tensiuni de frecare, mai mari decât în cazul curgerii în albie fracționată, fără vegetație, în albia majoră;
- lățimea zonei de interacțiune între albia majoră și albia minoră NU a putut fi aproximată vizual în faza experimentală, iar din programul de calcul "C" a rezultat că pentru a se putea forma zona de interacțiune, căreia să-i corespundă valoarea maximă a coeficientului de rezistență hidraulică de interacțiune ($\lambda_{i,max}$), ar fi fost necesară o lățime a albiei majore (cu vegetație) de circa 2m.

În condițiile realizate pe modelul experimental cu valoarea " λ_i " calculată conform programului de calcul "C" s-a impus atașarea pentru coeficientul de rezistență al marginii de vegetație " λ_{τ_0} " valoarea $\lambda_{\tau_0} = 0,09$. În literatura de specialitate se indică pentru " λ_{τ_0} ", care depinde de structura vegetației, domeniul de variație $\lambda_{\tau_0} \in (0,06, 0,1)$.

Introducând în programul de calcul "C" mai multe valori din acest domeniu pentru λ_{τ_0} și comparând valorile vitezelor rezultate din

programul de calcul "D" cu cele măsurate experimental m-am oprit la valoarea $\lambda_{T0} = 0,09$.

Pentru verificarea valabilității certe a legii de calcul propusă pentru " λ_T ", ar fi fost de dorit o abordare mai detaliată a problemei în sensul cercetării pe un domeniu $\frac{b_v}{b_m}$ mult mai variat.

De asemenea, pentru o mai bună aproximare a valorii λ_{T0} , ar fi necesară și o cercetare care să permită o evidențiere mai clară a dependenței în raport cu structura vegetației.

Din analiza rezultatelor calculului se desprind o serie de concluzii:

1. Coeficientul de rezistență hidraulică datorită vegetației (λ_v) admite aceleași dependențe ca și în cazul 8.2, care se prezintă în graficele (21-23), $\lambda_v = f(h_M)$; pentru $Q \cong 5l/s$, pentru cele trei pante considerate și pentru fiecare tip de rugozitate $B_2; C_2; D_2; E$; graficul nr.24 $\lambda_v = f(i)$, la $Q \cong 5l/s$ pentru fiecare tip de rugozitate $B_2; C_2; D_2; E_2$; graficul nr.25 $\lambda_v = f(d_v)$ la panta $i=2\%$ pentru debitele și rugozitațiile considerate;
2. Pentru coeficientul de rezistență hidraulică din peretele fictiv de separație dintre albia majoră, cu vegetație și albia minoră " λ_T " rezultă dependențele:

- λ_T este puțin influențat de raportul adâncimilor $\frac{h_v}{h_m}$, (graficele nr.26 –28);
- λ_T este influențat direct proporțional de raportul pătratelor vitezelor din albia minoră și albia majoră, $\left(\frac{v_4}{v_1}\right)^2$ (graficele nr.29-31);
- influența adâncimii apei în albia minoră asupra lui λ_T poate fi neglijată, (graficele nr. 32-34);
- influența diametrului vegetației și a densității acesteia asupra lui λ_T este nesemnificativă, (graficele nr.35-37).

Considerând efectul de interacțiune între albia majoră, cu vegetație și albia minoră, viteza medie în albia minoră (v_3) scade cu circa 20-30% față de viteza medie din albia minoră (v_4) calculată fără a ține seama de interacțiunea cu albia majoră, (graficul nr.38).

Tabel nr.8

**Prezentarea rezultatelor la curgerea în albie
fracționată, obținută parțial de vegetație.
Tipul de rugozitate "C₂".**

- diametrul elementelor de vegetație: $d_v = 0,003$ m
- înălțimea elementelor de vegetație: $h_c = 0,100$ m
- distanța în secțiunea transversală între elementele de vegetație : $a_z = 0,06$ m
- distanța în lungul albiei între elementele de vegetație : $a_k = 0,10$ m
- coeficient de rezistență hidraulică al marginii de vegetație : $\lambda_{T10} = 0,09$

Q </s> %	i	Măsurători pe model										Program calcul "B"		Program calcul "A"			Program calcul "C"		Program calcul "D"		Abatere viteza	
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	λ_v	V_1 <m/s>	λ_T	λ_3	V_3 <m/s>	$\frac{6-15}{15} \times 100$	$\frac{7-12}{12} \times 100$				
2.08	5	I	0.128	0.059	0.103	0.051	0.0302	0.148	0.1676	0.1290	0.0486	0.1076	0.0505	0.0984	4.6747	4.9382						
		II	0.122	0.053	0.106	0.056	0.0306	0.156	0.1559	0.1173	0.0530	0.1088	0.0487	0.1086	-2.3941	5.6603						
2.05	2	I	0.138	0.069	0.091	0.046	0.0295	0.140	0.1885	0.1500	0.0440	0.1059	0.0531	0.0881	3.2917	4.5454						
		II	0.135	0.067	0.093	0.047	0.0297	0.142	0.1809	0.1441	0.0454	0.1064	0.0523	0.0911	2.0856	3.5242						
1.90	1	I	0.139	0.07	0.082	0.041	0.0294	0.129	0.1920	0.1554	0.0404	0.1059	0.0537	0.0808	1.4851	1.4851						
		II	0.138	0.069	0.083	0.042	0.0295	0.131	0.1901	0.1533	0.0406	0.1061	0.0535	0.0817	1.5911	3.4482						
5.30	5	I	0.146	0.077	0.211	0.112	0.029	0.327	0.1690	0.1359	0.1090	0.1042	0.0505	0.2059	2.4769	2.7522						
		II	0.140	0.071	0.221	0.118	0.0294	0.338	0.1608	0.1271	0.1151	0.1051	0.0492	0.2191	0.8671	2.5195						
5.50	2	I	0.157	0.088	0.194	0.104	0.0284	0.320	0.1831	0.1510	0.1025	0.1028	0.0526	0.1911	1.5175	1.4634						
		II	0.154	0.085	0.198	0.107	0.0285	0.325	0.1790	0.1467	0.1052	0.1032	0.0521	0.1966	0.7121	1.7111						
5.44	1	I	0.161	0.092	0.182	0.098	0.0282	0.304	0.1894	0.1575	0.0953	0.1025	0.0536	0.1774	2.5930	2.8331						
		II	0.160	0.091	0.184	0.100	0.0283	0.313	0.1873	0.1554	0.0987	0.1025	0.0533	0.1836	0.2178	1.3171						
10.60	5	I	0.171	0.102	0.332	0.184	0.0277	0.561	0.1827	0.1523	0.1787	0.1008	0.0528	0.3213	3.3302	2.9658						
		II	0.164	0.095	0.347	0.193	0.028	0.579	0.1749	0.1441	0.1890	0.1014	0.0515	0.3418	1.5213	2.1164						
10.75	2	I	0.183	0.114	0.302	0.178	0.0272	0.541	0.1952	0.1654	0.1654	0.0998	0.0547	0.2948	2.4423	5.1995						
		II	0.180	0.111	0.309	0.178	0.0273	0.548	0.1920	0.1621	0.1691	0.1001	0.0542	0.3021	2.2840	5.2631						
10.73	1	I	0.184	0.115	0.295	0.166	0.0271	0.538	0.1964	0.1667	0.1637	0.0997	0.0549	0.2918	1.0966	1.4050						
		II	0.182	0.113	0.298	0.168	0.0272	0.542	0.1944	0.1646	0.1662	0.0999	0.0545	0.2965	0.5059	1.0830						

Tabel nr.9

**Prezentarea rezultatelor la curgerea în albie
fracționată, obținută parțial de vegetație.
Tipul de rugozitate "D₂".**

- diametrul elementelor de vegetație: $d_v = 0,0025$ m
 - înălțimea elementelor de vegetație: $h_c = 0,050$ m
 - distanța în secțiunea transversală între elementele de vegetație : $a_z = 0,05$ m
 - distanța în lungul albiei între elementele de vegetație : $a_k = 0,09$ m
 - coeficient de rezistență hidraulică al marginii de vegetație : $\lambda_{r0} = 0,09$

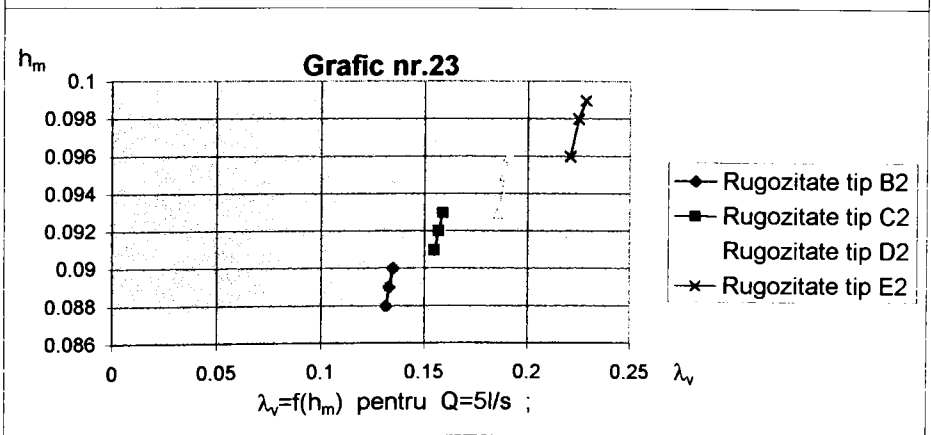
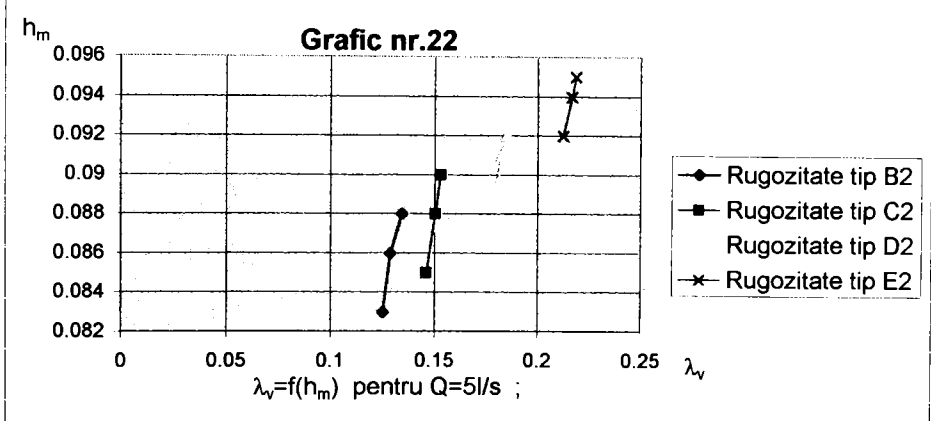
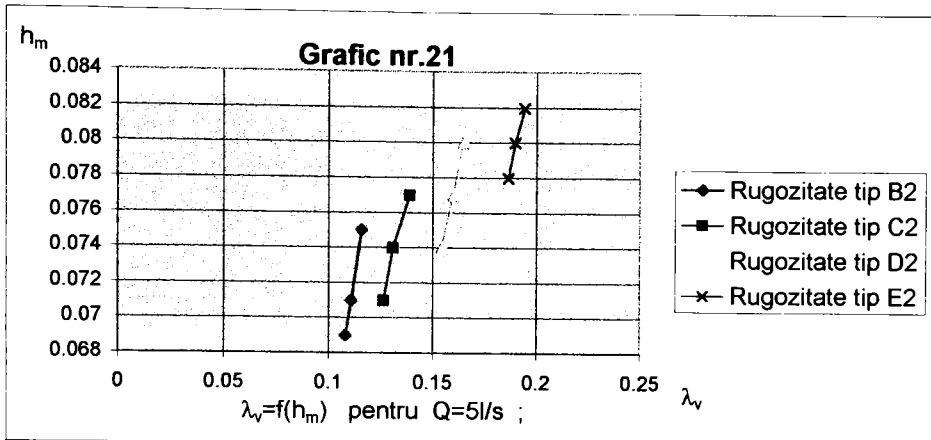
Q </s>	i	Secțiunea	Masuratori pe model						Program calcul "B"		Program calcul "A"			Program calcul "C"		Program calcul "D"		Abatere viteza	
			h_m <m>	h_M <m>	v_m <m/s>	V_M <m/s>	λ_{-4}	V_4 <m/s>	λ_{ech}	λ_{-V}	V_1 <m/s>	λ_{-T}	λ_{-3}	V_3 <m/s>	$\frac{6-15}{15} \times 100$	$\frac{7-12}{12} \times 100$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
2.08	5	I	0.129	0.060	0.105	0.049	0.0301	0.153	0.1922	0.1548	0.0469	0.1089	0.0507	0.1011	3.8576	4.4776			
		II	0.123	0.054	0.11	0.052	0.0306	0.158	0.1791	0.1407	0.0500	0.1089	0.0490	0.1085	1.3625	4.0000			
2.05	2	I	0.140	0.071	0.091	0.043	0.0294	0.141	0.2181	0.1820	0.0414	0.1061	0.0536	0.0880	3.4091	3.8647			
		II	0.138	0.069	0.092	0.044	0.0295	0.142	0.2138	0.1774	0.0420	0.1063	0.0530	0.0898	2.4499	4.7619			
1.90	1	I	0.141	0.072	0.085	0.039	0.0293	0.131	0.2251	0.1887	0.0377	0.1059	0.0542	0.0807	5.3284	3.4483			
		II	0.140	0.071	0.086	0.040	0.0294	0.132	0.2228	0.1863	0.0379	0.1060	0.0539	0.0815	5.5215	5.5409			
5.30	5	I	0.149	0.080	0.208	0.106	0.0288	0.329	0.1981	0.1653	0.1013	0.1044	0.0513	0.2035	2.2713	4.6397			
		II	0.143	0.074	0.221	0.111	0.0292	0.340	0.1882	0.1548	0.1071	0.1051	0.0499	0.2169	1.8903	3.6415			
5.50	2	I	0.160	0.091	0.195	0.099	0.0282	0.323	0.2149	0.1830	0.0953	0.1031	0.0534	0.1896	2.8481	3.8825			
		II	0.158	0.089	0.197	0.102	0.0283	0.329	0.2115	0.1794	0.0970	0.1032	0.0529	0.1933	1.9141	5.1546			
5.44	1	I	0.164	0.095	0.186	0.095	0.0280	0.314	0.2214	0.1897	0.0911	0.1027	0.0541	0.1809	2.8192	4.2810			
		II	0.162	0.093	0.191	0.096	0.0281	0.317	0.2183	0.1865	0.0927	0.1029	0.0538	0.1844	3.5792	3.5599			
10.60	5	I	0.174	0.105	0.311	0.172	0.0276	0.568	0.2136	0.1834	0.1670	0.1015	0.0536	0.3201	-2.8429	2.9940			
		II	0.168	0.099	0.324	0.181	0.0279	0.583	0.2058	0.1752	0.1753	0.1020	0.0526	0.3374	-3.9715	3.2516			
10.75	2	I	0.187	0.118	0.298	0.161	0.0270	0.547	0.2300	0.2005	0.1535	0.1005	0.0556	0.2924	1.9152	4.8860			
		II	0.184	0.115	0.305	0.164	0.0272	0.553	0.2260	0.1963	0.1571	0.1007	0.0552	0.2993	1.9044	4.3921			
10.73	1	I	0.189	0.119	0.282	0.156	0.0270	0.542	0.2313	0.2018	0.1513	0.1004	0.0558	0.2899	-2.3884	3.1064			
		II	0.187	0.118	0.285	0.158	0.0270	0.546	0.2301	0.2005	0.1532	0.1005	0.0557	0.2918	-2.3304	3.1332			

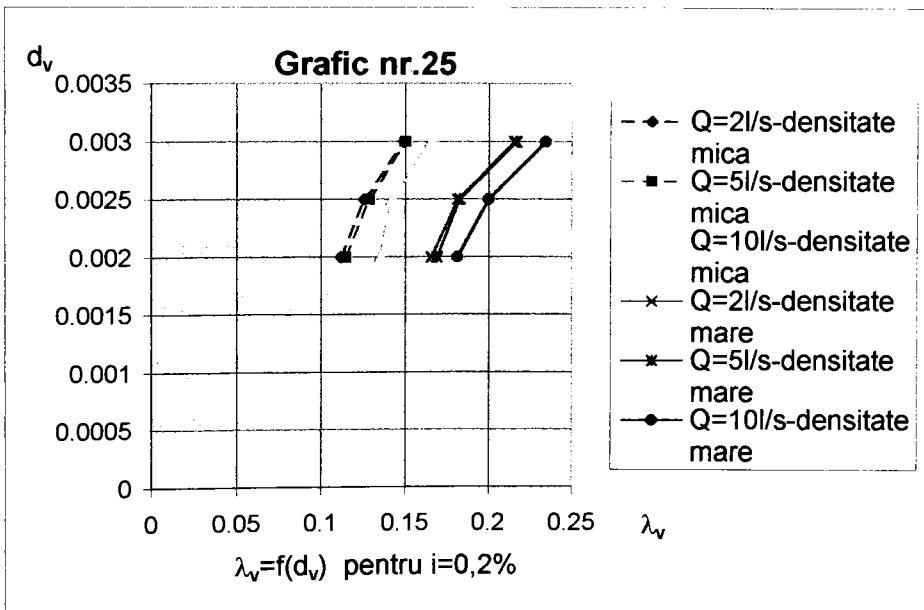
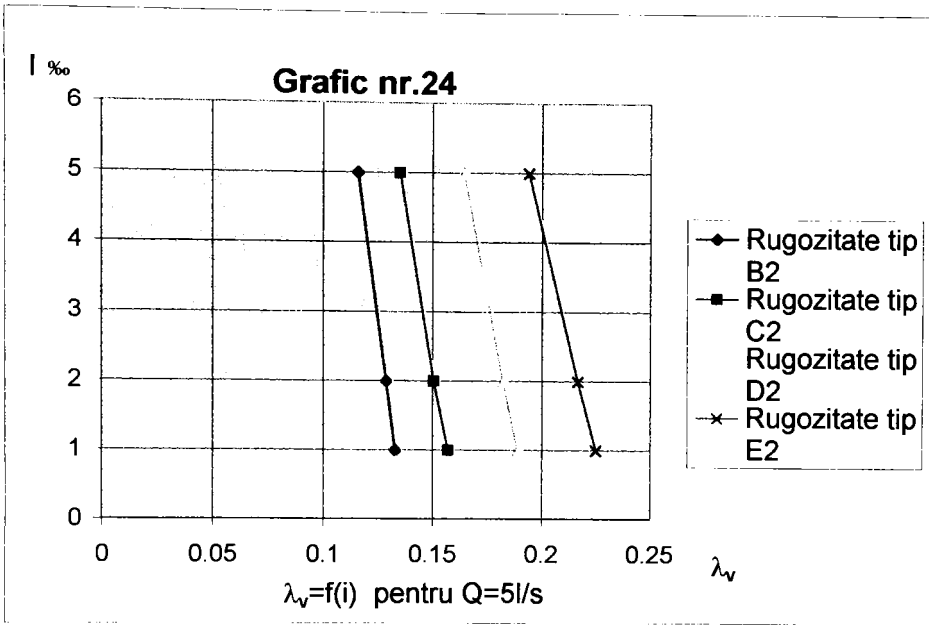
Tabel nr.10

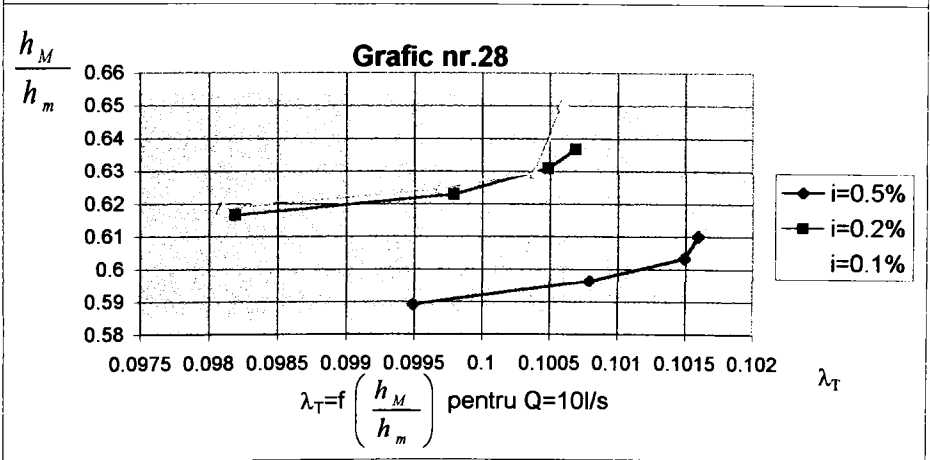
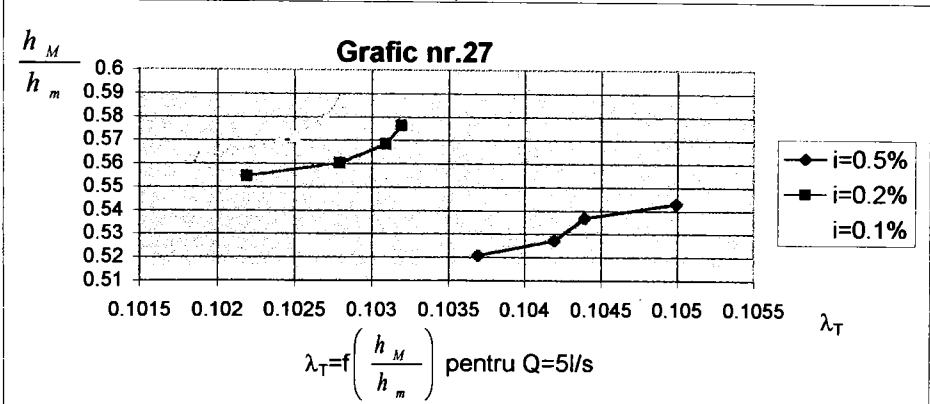
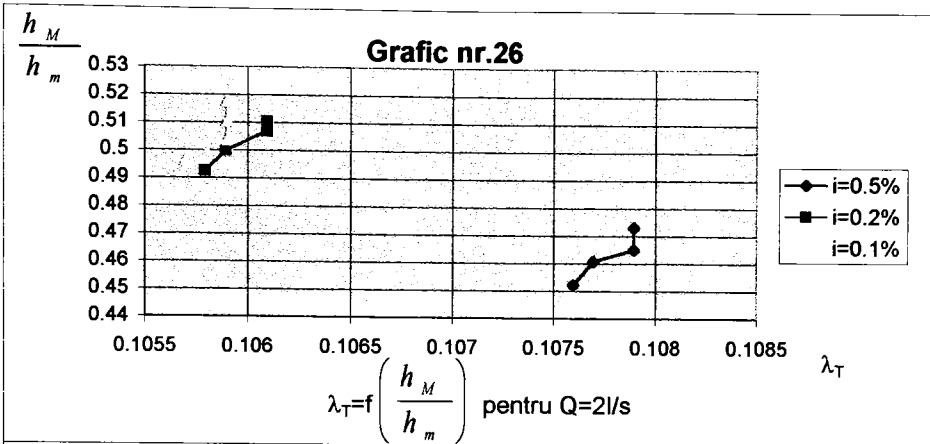
Prezentarea rezultatelor la curgerea în albie
fracționată, obținută parțial de vegetație.
Tipul de rugozitate "E₂".

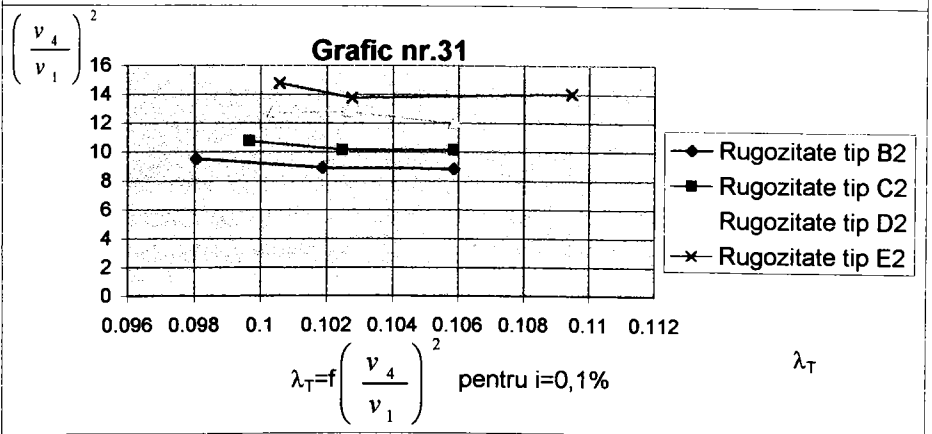
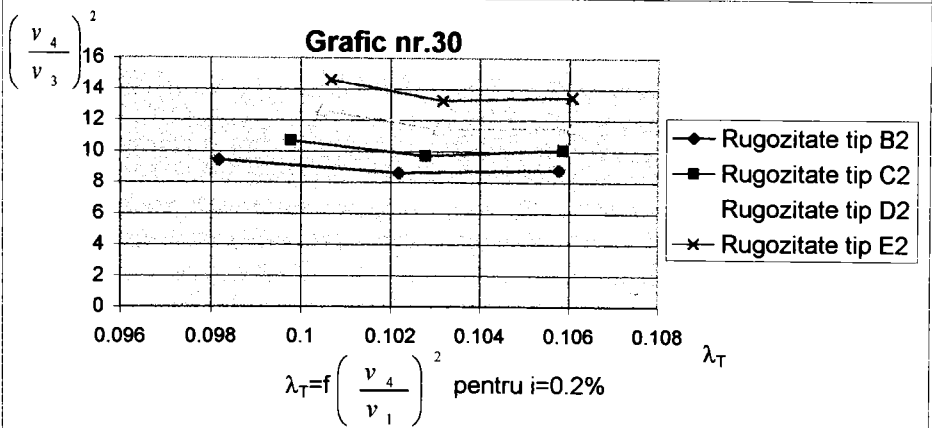
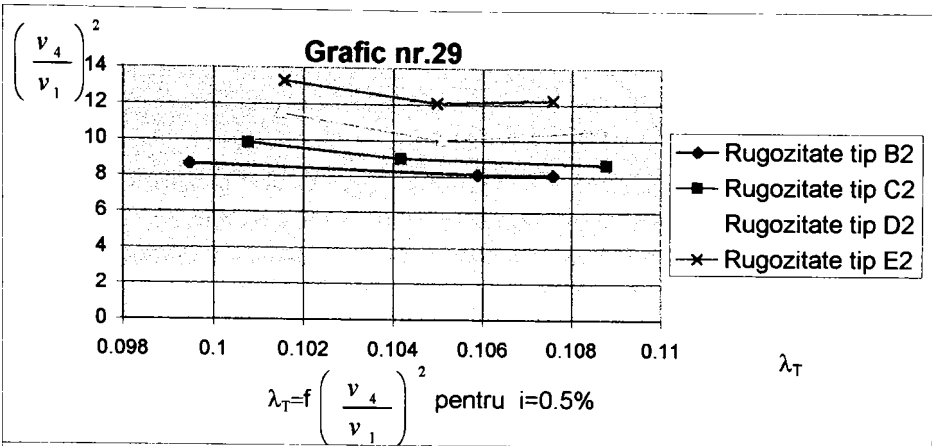
- diametrul elementelor de vegetație: $d_v = 0,003$ m
- înălțimea elementelor de vegetație: $h_c = 0,100$ m
- distanța în secțiunea transversală între elementele de vegetație : $a_z = 0,05$ m
- distanța în lungul albiei între elementele de vegetație : $a_x = 0,09$ m
- coeficient de rezistență hidraulică al marginii de vegetație : $\lambda_{10} = 0,09$

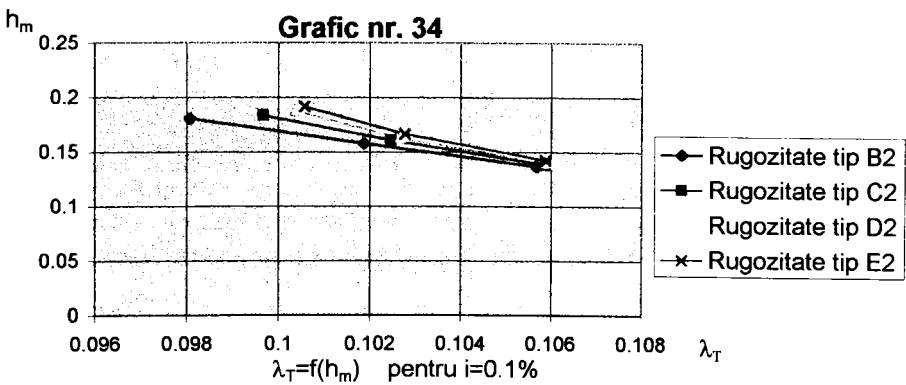
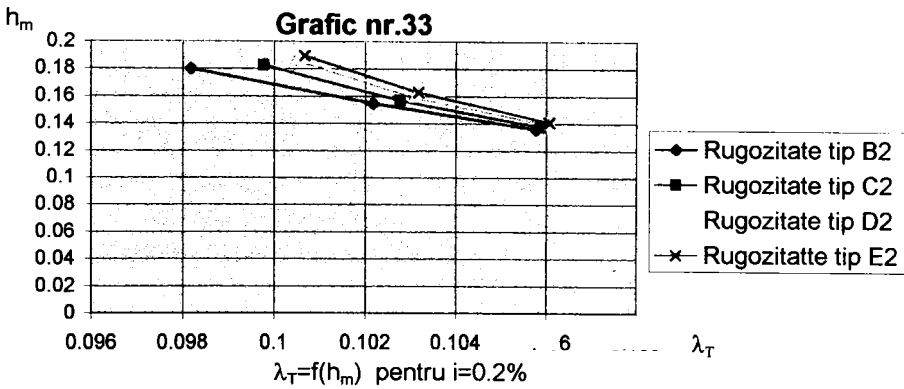
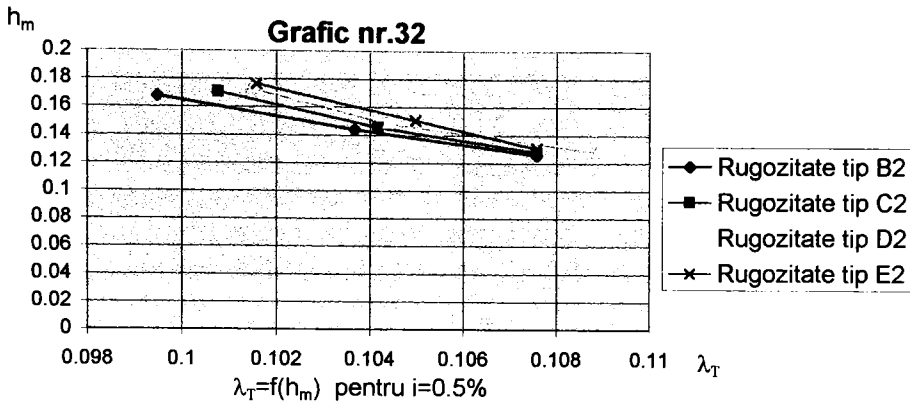
Q </s> %	i	Masuratori pe model										Program calcul "B"			Program calcul "A"			Program calcul "C"			Program calcul "D"		Abatere viteza		
		h _m <m>	h _m <m>	v _m <m/s>	V _M <m/s>	λ ₄	V ₄ <m/s>	λ _{vchil}	λ _v	V ₁ <m/s>	λ _T	λ ₃	V ₃ <m/s>	λ ₃	λ _T	λ ₃	V ₃ <m/s>	λ ₃	λ _T	λ ₃	λ _T	λ ₃	λ _T	λ ₃	λ _T
1	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
2.08	I	0.131	0.062	0.097	0.045	0.0300	0.153	0.2032	0.1861	0.0437	0.1076	0.0512	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
	II	0.127	0.058	0.102	0.048	0.0303	0.156	0.2126	0.1749	0.0455	0.1083	0.0502	0.1047	0.1047	0.1047	0.1047	0.1047	0.1047	0.1047	0.1047	0.1047	0.1047	0.1047	0.1047	0.1047
2.05	I	0.141	0.072	0.089	0.041	0.0293	0.143	0.2521	0.2161	0.0389	0.1061	0.0537	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885
	II	0.141	0.072	0.089	0.041	0.0293	0.143	0.2521	0.2161	0.0389	0.1061	0.0537	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885	0.0885
1.90	I	0.143	0.074	0.079	0.033	0.0292	0.132	0.2635	0.2274	0.0352	0.1059	0.0546	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806
	II	0.142	0.073	0.080	0.034	0.0293	0.133	0.2607	0.2245	0.0354	0.1060	0.0544	0.0813	0.0813	0.0813	0.0813	0.0813	0.0813	0.0813	0.0813	0.0813	0.0813	0.0813	0.0813	0.0813
5.30	I	0.151	0.082	0.201	0.092	0.0287	0.332	0.2273	0.1947	0.0954	0.1050	0.0518	0.2032	0.2032	0.2032	0.2032	0.2032	0.2032	0.2032	0.2032	0.2032	0.2032	0.2032	0.2032	0.2032
	II	0.147	0.078	0.204	0.093	0.0289	0.339	0.2198	0.1869	0.0989	0.1045	0.0509	0.2116	0.2116	0.2116	0.2116	0.2116	0.2116	0.2116	0.2116	0.2116	0.2116	0.2116	0.2116	0.2116
5.50	I	0.163	0.094	0.183	0.084	0.0281	0.325	0.2488	0.2171	0.0891	0.1032	0.0540	0.1882	0.1882	0.1882	0.1882	0.1882	0.1882	0.1882	0.1882	0.1882	0.1882	0.1882	0.1882	0.1882
	II	0.161	0.092	0.184	0.086	0.0282	0.328	0.2488	0.2130	0.0907	0.1034	0.0537	0.1918	0.1918	0.1918	0.1918	0.1918	0.1918	0.1918	0.1918	0.1918	0.1918	0.1918	0.1918	0.1918
5.44	I	0.167	0.098	0.171	0.081	0.0279	0.316	0.2569	0.2254	0.0852	0.1028	0.0579	0.1797	0.1797	0.1797	0.1797	0.1797	0.1797	0.1797	0.1797	0.1797	0.1797	0.1797	0.1797	0.1797
	II	0.165	0.096	0.172	0.082	0.0280	0.318	0.2529	0.2214	0.0860	0.1030	0.0544	0.1826	0.1826	0.1826	0.1826	0.1826	0.1826	0.1826	0.1826	0.1826	0.1826	0.1826	0.1826	0.1826
10.60	I	0.177	0.108	0.308	0.162	0.0274	0.572	0.2454	0.2154	0.1567	0.1016	0.0542	0.3382	0.3382	0.3382	0.3382	0.3382	0.3382	0.3382	0.3382	0.3382	0.3382	0.3382	0.3382	0.3382
	II	0.171	0.102	0.315	0.168	0.0277	0.586	0.2365	0.2061	0.1641	0.1021	0.0532	0.3343	0.3343	0.3343	0.3343	0.3343	0.3343	0.3343	0.3343	0.3343	0.3343	0.3343	0.3343	0.3343
10.75	I	0.190	0.121	0.281	0.152	0.0269	0.552	0.2644	0.2349	0.1443	0.1007	0.0562	0.2917	0.2917	0.2917	0.2917	0.2917	0.2917	0.2917	0.2917	0.2917	0.2917	0.2917	0.2917	0.2917
	II	0.187	0.118	0.289	0.156	0.0270	0.558	0.2598	0.2302	0.1475	0.1009	0.0558	0.2982	0.2982	0.2982	0.2982	0.2982	0.2982	0.2982	0.2982	0.2982	0.2982	0.2982	0.2982	0.2982
10.73	I	0.192	0.123	0.276	0.149	0.0268	0.547	0.2672	0.2378	0.1421	0.1006	0.0565	0.2868	0.2868	0.2868	0.2868	0.2868	0.2868	0.2868	0.2868	0.2868	0.2868	0.2868	0.2868	0.2868
	II	0.190	0.121	0.280	0.151	0.0269	0.551	0.2645	0.2351	0.1440	0.1007	0.0562	0.2910	0.2910	0.2910	0.2910	0.2910	0.2910	0.2910	0.2910	0.2910	0.2910	0.2910	0.2910	0.2910

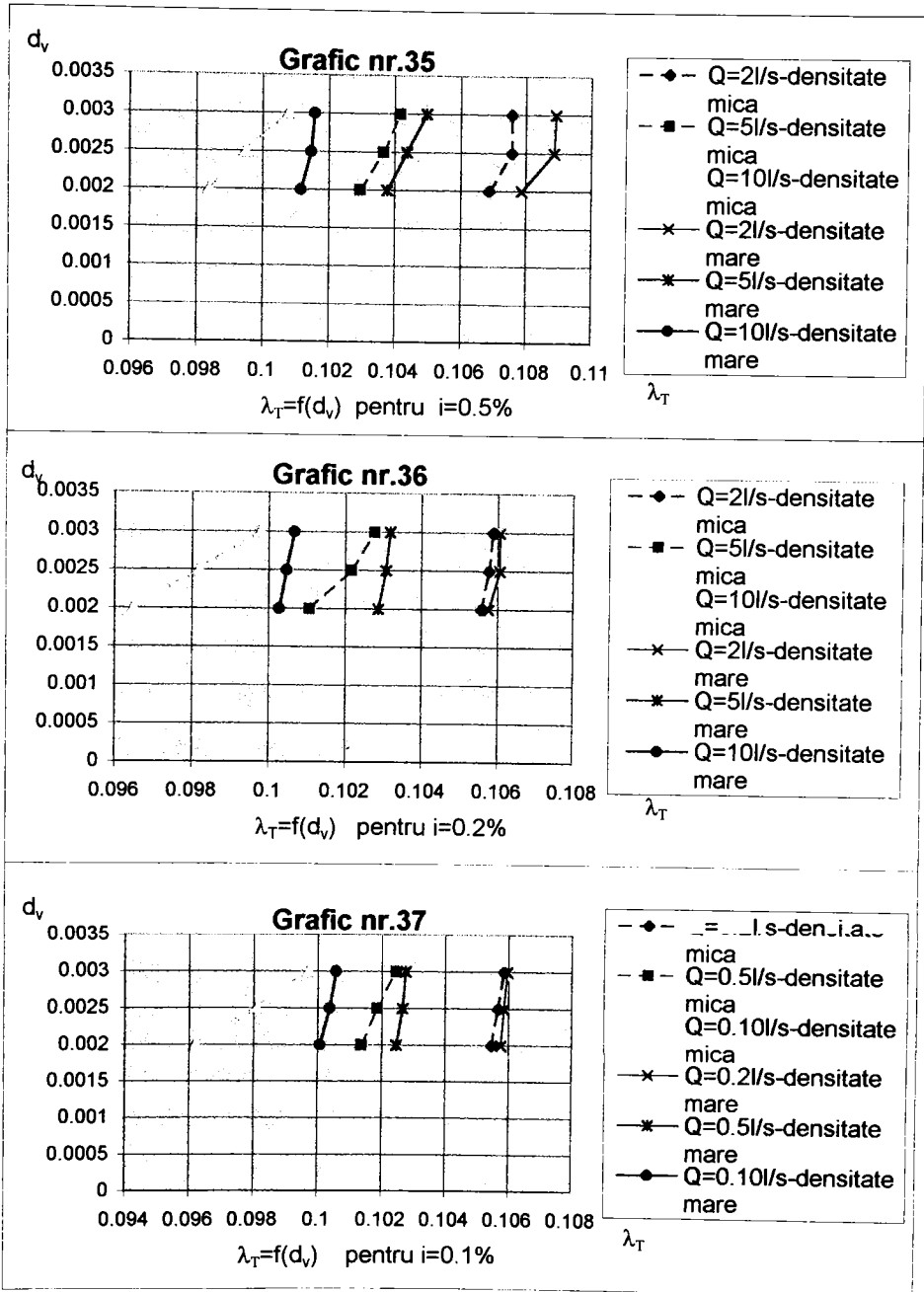


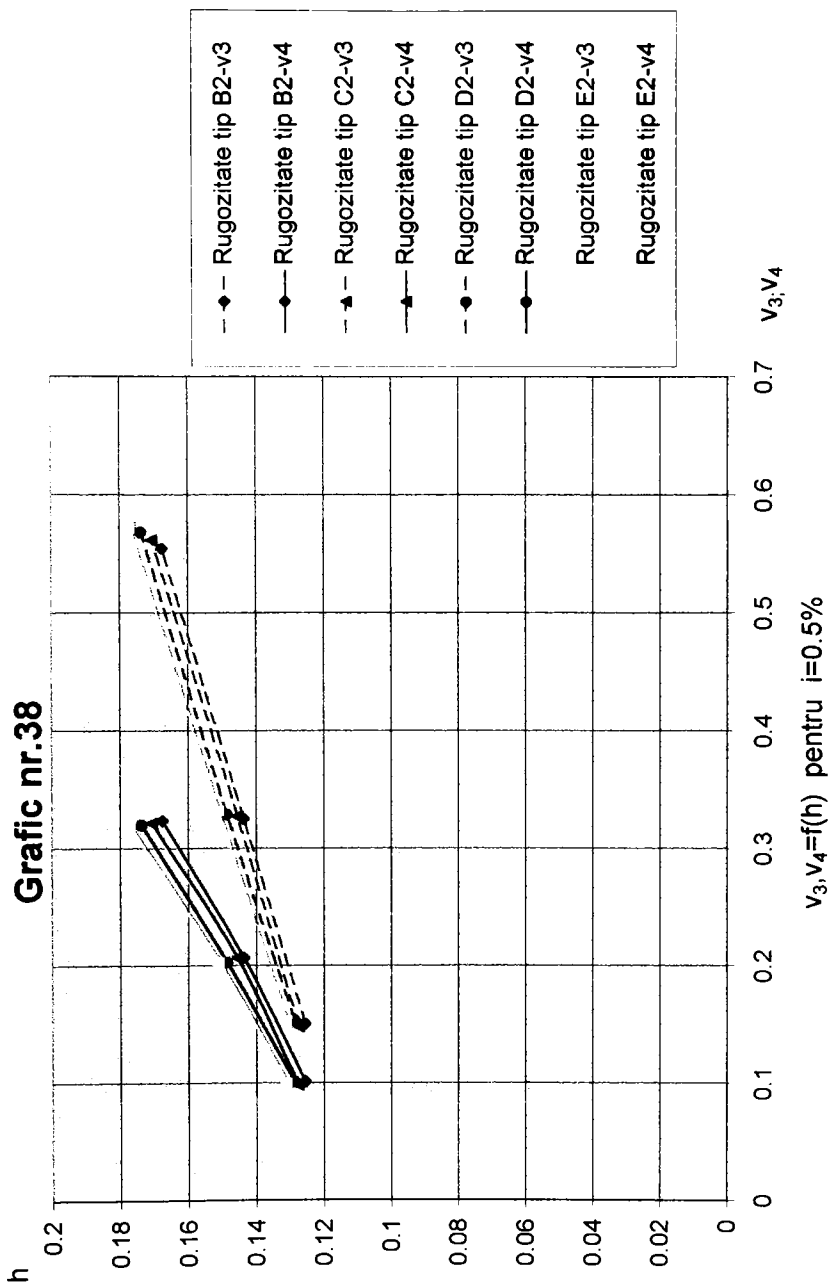












Capitolul 9. Concluzii și contribuții personale

Condițiile reale de desfășurare ale curgerii în albiile naturale sunt foarte complexe. Un calcul exact ar trebui să țină seama de caracteristicile albiilor naturale.

Un curs de albie în condiții naturale se caracterizează printr-un profil transversal fracționat, atât din punct de vedere al geometriei, cât și al rugozității; albie compusă cu albie majoră și minoră de lațimi și adâncimi diferite; vegetație fixă sau flexibilă în albia majoră; vegetație flexibilă, inundată în albia minoră; traseu meandrat și apărări de mal naturale; rugozități foarte diferite în profil longitudinal.

Complexitatea acestor factori face imposibil un calcul hidraulic exact, studiul curgerii în albiile naturale făcându-se pe baza unor modele simplificatoare. Totuși, simplificările respective, introduc anumite aproximații, care le fac aplicabile numai în anumite situații.

Pentru cazul *apelor mari* într-o albie naturală cu caracteristici geometrice constante, unda de viitură poate fi aproximată ca mod de formare, cu unda de schimbare de regim al cărei profil prezintă variații lente ale adâncimii pe o lungime mare. Considerând variațiile de nivel suficient de graduale, astfel încât să nu influențeze în măsură apreciabilă panta suprafeței libere, diferențele între vitezele secțiunilor vecine rezultă foarte mici, la fel ca și variațiile pe care viteza le suferă din moment în moment în aceeași secțiune.

Aceste considerații ne permit neglijarea termenilor inerțiali din ecuația de mișcare a sistemului Saint-Venant pentru mișcarea nepermanentă și considerarea curgerii la ape mari, ca mișcare permanentă gradual variată.

Dacă se procedează la calculul mișcării gradual variate prin diferențe finite, valorile parametrilor de care depinde mișcarea, pot fi evaluate cu ajutorul "unor modele" în fiecare secțiune, funcție de caracteristicile proprii ale secțiunii.

Pornind de la aceste considerente s-au studiat din literatura de specialitate diferite modele de determinare a valorilor parametrilor, pentru diferite tipuri de secțiuni și diferite tipuri de rugozități, precum și modele de evaluare a parametrilor funcție de tipul vegetației din curent.

Lucrarea a încercat o sistematizare a materialului documentar studiat.

Pentru cazul curgerii la ape mari în albiile naturale cu albia majoră obturată de vegetație și albia minoră cu rugozitate diferențiată, informațiile au fost "organizate" în scopul creării unui model de calcul îmbunătățit, prin care să se evalueze valorile coeficienților de rezistență hidraulică în funcție de parametrii de curgere independenți, direct

măsurabili (geometria secțiunii, dispunerea elementelor de vegetație, diametrul vegetației), precum și evaluarea ca mărime a interacțiunii dintre albia minoră și albia majoră.

Modelul hidraulic realizat și experimentele efectuate completează baza de date privind curgerea în albiile fracționate, cu vegetație de “tip pom” pe de o parte și a permis verificarea valabilității relațiilor teoretice pe de altă parte.

Concluziile experimentelor stabilesc câteva repere, care trebuie avute în vedere la calculul curgerii la ape marii în albiile naturale:

1. în cazul calculului unidimensional al curgerii în albiile fracționate din punct de vedere al geometriei și rugozității este indicat a se proceda la o împărțire a întregii albiei în subdomenii;
2. suprafața de separație dintre albia majoră și cea minoră nu este lipsită de tensiuni de frecare, atât în cazul albiei majore hidraulic netede, cât și a celei extrem rugoase. Acestea trebuie să i se atașeze o tensiune de frecare aparentă, calculată după o lege specifică;
3. rezistența hidraulică în peretele fictiv de separație în cazul albiei majore netede poate fi evaluată corespunzător cu cea a fundului albiei minore, pentru adâncimi relative ale apei: $h_m/h_M \leq 3$;
4. rezistența hidraulică în peretele fictiv de separație, în cazul albiei majore, cu vegetație, poate fi specificată printr-o nouă lege de rezistență de forma: $\lambda_l = \alpha_1 \cdot \lambda_{l,\max}$ (conform program “C”);
5. în domeniul albiei majore, cu vegetație, rezistența hidraulică poate fi calculată satisfăcător cu ajutorul relațiilor Lindner modificate, (conform program “A”);
6. pentru evaluarea rezistenței hidraulice în albia minoră se va face deosebirea între porțiunea fundului albiei și peretele fictiv de separație (conform program “D”);
7. rezistența hidraulică aferentă rugozității fundului albiei minore poate fi calculată cu relațiile care rezultă din “teoria rugozității”, (conform program “B”);
8. cu relațiile stabilite pentru calculul coeficienților de rezistență hidraulică conform programelor “A”, “B”, “C”, “D” poate fi calculată capacitatea de transport a albiei fracționate, cu vegetație în albia majoră.

Modelele propuse pentru calculul capacității de transport și a nivelurilor de apă, asigură față de cele existente o determinare mai exactă a raporturilor de curgere în cazul curgerii la ape marii în albiile fracționate, precum și un mod de calcul mai rapid.

Lucrarea conține 116 pagini și este structurată pe 9 capitole.

Pe lângă cele 6 programe de calcul, 6 scheme logice, 38 de grafice, 10 tabele, 18 figuri, 94 relații matematice, lucrarea mai conține lista celor 38 titluri bibliografice consultate la redactare.

Contribuția personală la această lucrare constă în:

- completarea bazelor de date existente și evidențierea pe model hidraulic a efectelor geometrie și rugozitate;
- elaborarea de modele de calcul pentru determinarea capacității de transport și a nivelurilor de apă în albiile fracționate, cu vegetație “tip pom” în albia majoră, în cazul apelor mari;
- elaborarea a 4 programe de calcul pentru determinarea coeficienților de rezistență hidraulică în domeniile:
 - curgerea în albia majoră, cu vegetație “tip pom”, neinfluențată de curgerea în albia minoră - program “A”;
 - curgerea în albia minoră, cu rugozitate diferențiată, neinfluențată de curgerea din albia majoră, cu vegetație – program “B”;
 - interacțiunea dintre albia minoră și albia majoră, cu vegetație – program “C”;
 - curgerea în albia minoră, influențată de curgerea din albia majoră, cu vegetație – program “D”;
- elaborarea programului de calcul pentru determinarea pantei energetice în cazul curgerii la ape mari din albiile fracționate – program “I”;
- elaborarea programului de calcul pentru determinarea nivelului de apă în cazul albiilor fracționate la ape mari – program “Y”.

Bibliografie

1. *Bălă P.* - Aspecte privind studiul parametrilor hidraulici de influență asupra curgerii în albiile naturale – Timișoara, Tom 40(54)/1995
2. *Bălă P.* - Considerații asupra factorilor de influență ai propagării undelor de viitură în albiile naturale – Timișoara, Tom 42(56)/1997
3. *Blidaru E.* – Hidraulică - Ed. Didactică și Pedagogică, București 1965
4. *Certousov M.* – Hidraulică Curs special - Ed. Tehnică, București 1966
5. *Chiriac V., Filotti A., Manoliu I.A.* – Prevenirea și combaterea inundațiilor, Ed. Ceres București 1985
6. *Crețu I., Soare Al., David V., Osnea Al.* – Probleme de hidraulică Ed. Tehnică, București 1973
7. *David I.* - Hidraulică, Timișoara 1984
8. *Einstein H.A., Banks R.B.* - Fluid resistance of composite roughness – Trans., Am. Geophys. Union 31(4), 1950
9. *Einstein H.A.* - Der hydraulische oder Profil-Radius – Schweiz. Bauztg 103(8) 1934
10. *Evers P., Pasche E.* - Untersuchungen zur Problematik der hydralischen Berechnung natürlicher Fließgewässer – Wasser und Boden 3(8) 1983
11. *Evers P.* – Untersuchung der Strömungsvorgänge in gegliederten Gerinnen mit extremen Rauheitsunterschieden – Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TH Aachen 1983
12. *Haber B.* – Über den Erosionsbeginn bei der Überströmung von flexiblen Rauheitselementen - Institut für Wasserbau der TU Braunschweig 1982
13. *Hâncu S., Popescu M., Zaharescu E., Duma D., Dan P., Rus E., Danchiv A., Constantinescu A.* - Simularea numerică a mișcării nepermanente a fluidelor - Ed. Tehnică București 1985
14. *Hâncu S.* – Regularizarea albiilor râurilor - Ed. Ceres, București 1976
15. *Horton R.E.* – Separate roughness coefficients for channel bottom and sides – Eng. News-Rec 1933

16. *Idelcik I.E.* - Îndrumător pentru calculul rezistențelor hidraulice - Ed. Tehnică, București 1984
17. *Indleköfer H.* - Hydralische Aspekte beim naturnahen Ausbau von Gewässern - DVWK Fortbildungslehrgang "Gewässerausbau" in Goslar, DVWK Bonn 1980
18. *Indleköfer H., Rouve G.* - On hydraulic capacity of rivers with vegetation banks and flood-plains - Symposium on river engineering, Belgrad 1980
19. *Indleköfer H.* - Zur Frage des Formbeiwertes und der Überlagerung von Rauigkeits-einflüssen - Aachen 1981
20. *Indleköfer H.* - Überlagerung von Rauigkeitseinflüssen beim Afflub in offenen Gerinnen - Aachen 1981
21. *Ionescu Dan Gh.* - Introducere în hidraulică - Ed. Tehnică București 1977
22. *Journal of Hydraulic Research* - nr.34/1996
23. *Kiselev G.* - Îndreptar pentru calcule hidraulice - Ed. Energetică de Stat, București 1953
24. *Knight D.W., Demetriou J.D.* - Flood plain and main channel flow interaction - ASCE, J. Hydraul. Eng. 1983
25. *Kohane Roberto* - Berechnungsmethoden für Hochwasserabflub in Fleißgewässern mit überstromten Vorlanden - Berlin 1980
26. *Kongeter J.* - ESNA - Computer program for one-dimensional water surface modelling - Aachen 1993
27. *Könemann N.* - Der wechselseitige Einflub von Vorland und Flußbet auf das Widerstandsverhalten offener Gerinne mit gegliederten Querschnitten - TH Darmstadt 1980
28. *Lateş M., Zaharescu E.* - Apărarea malurilor și protejarea taluzurilor - Ed. Cercș, București 1971
29. *Lindner K.* - Der Strömungswiderstand von Pflanzenbeständen - Mitteilungen aus dem Leichtweiss-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig 1982
30. *Lötter G.* - Considerations on hydraulic design of channels with different roughness of walls - ASCE J. Hidraul. Div., HY7 1974
31. *Mateescu Cr.* - Hidraulică, Ed. Didactică și Pedagogică București 1963
32. *Myers W.R.* - Flow resistance in wide rectangular channel - ASCE J. Hydraul Div 108, 1982
33. *Myers W.R.* - Frictional resistance in channel with floodplain - Conference of channel and channel structures, Springer session 1984

34. *Pasche E., Arnold G., Rouve G., Schroder W.* - Hydraulische Probleme beim naturnahen Gewasserausbau – Diss. RWTH Aachen 1984
35. *Pasche E., Arnold G., Rouve G.* – A review of overbank flow models Precedings International Conference on Advancements in Aerodynamics. Fluid Mechanics and Hydraulics. ASCE Minncapolis, USA 1986
36. *Pavlovski N.* - Handbook of hydraulics – 1977
37. *Petryk S., Bosmajian G.* – Analysis of flow through vegetation – ASCE, J. Hydraul. Div.,HY 7, 1975
38. *Ven-Te Chow* – Open Channel Hydraulics – Mc.Graw-Hill Book Company Inc., New York/Toronto/London; Kogakusha Company Ltd., Tokyo 1959