

UNIVERSITATE TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI  
FACULTATEA DE HIDROTEHNICA  
Departamentul de Hidraulică și Protecția Mediului

# TEZĂ DE DOCTORAT

## *REZUMAT*

# CERCETĂRI PRIVIND ANALIZA ȘI MONITORIZAREA SISTEMELOR DE CANALIZARE

Doctorand

Ing. Mihaela Luiza DUMBRAVĂ

Conducător de doctorat

Prof. Univ. Dr. Ing. Gabriel TATU

BUCUREȘTI

2014

## CUPRINS

### CUVÂNT ÎNAINTE

Cap. 1. Aspecte tehnice privind alcătuirea și exploatarea sistemelor de canalizare	4
1.1. Generalități	4
1.1.1. Elemente componente ale sistemului de canalizare și rolul acestora	4
1.1.2. Procedee de canalizare	5
1.1.3. Clasificarea rețelelor de canalizare	5
1.1.4. Clasificarea mișcărilor din rețelele de canalizare	6
1.2. Analiza, întreținerea și monitorizarea sistemelor de canalizare	7
1.2.1. Hidrometrie	7
1.2.2. Aparatura și tehnologii de curățare și întreținere a canalelor	23
1.2.3. SCADA	49
Cap. 2. Bazele calculului hidraulic al rețelelor de canalizare	64
2.1. Generalități	64
2.2. Studiul energetic al curenților cu nivel liber	66
2.3. Mișcarea uniformă	71
2.4. Mișcarea neuniformă gradual variată	74
2.5. Mișcarea neuniformă rapid variată	78
2.5.1. Saltul hidraulic	78
2.5.2. Racordarea curgerii prin salt hidraulic. Disipatoare de energie	81
2.6. Calculul mișcării nepermanente cu suprafață liberă	85
2.6.1. Generalități	85
2.6.2. Valul solitar (saltul hidraulic călător)	88
2.6.3. Calculul mișcării gradual variate (Ecuatiile Saint-Venant)	95
2.7. Reglementări ale standardelor românești	103
2.7.1. STAS 3051-91 – <i>Canale ale rețelelor exterioare de canalizare. Prescripții fundamentale de proiectare</i>	103
2.7.2. SR 1846-2:2007– <i>Canalizări exterioare. Determinarea debitelor de ape meteorice</i>	103
2.7.3. SR EN 752 – <i>Rețele de canalizare în exteriorul clădirilor</i>	104
Cap. 3. Studiul complex al curgerii în rețelele de canalizare	106
Cap. 4. Studiul efectului apariției saltului hidraulic	118
Cap. 5. Studiul efectului unui calcul în regim nepermanent și ne-uniform	124
5.1. Date de bază, ipoteze și variante	124
5.2. Rezultatele calculelor	127
5.3. Sinteza rezultatelor și concluzii	160
Cap. 6. Sinteza concluziilor și a contribuțiilor personale	172
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	179

## CUVÂNT ÎNAINTE

Teza de doctorat intitulată ”*Cercetări privind analiza și monitorizarea sistemelor de canalizare*” a fost elaborată în cadrul Departamentului de Hidraulică și Protecția Mediului a Facultății de Hidrotehnică, Universitatea Tehnică de Construcții București.

Pe această cale, doresc să mulțumesc călduros și să îmi exprim întreaga mea recunoștință și deplina considerație domnului profesor universitar doctor inginer Gabriel TATU, conducătorul științific, pentru sprijinul deosebit, înțelegerea și suportul moral oferit atât pe parcursul pregătirii și susținerii examenelor și rapoartelor de cercetare, cât și în perioada elaborării tezei de doctorat.

Mulțumesc membrilor Departamentului de Hidraulică și Protecția Mediului din cadrul Universității Tehnice de Construcții București pentru observațiile, sugestiile și aprecierile făcute cu ocazia prezentărilor referatelor și examenelor de doctorat, pentru încrederea și sprijinul moral pe care mi-au insuflat-o în tot acest timp.

Mulțumiri speciale aș dori să aduc domnului profesor universitar doctor inginer Gabriel RACOVITEANU pentru sprijinul deosebit și înțelegerea acordată.

Mulțumesc distinșilor membri ai Comisiei de Doctorat pentru bunăvoința și răbdarea cu care mi-au analizat teza, pentru acceptul de participare în Comisia de susținere a tezei și pentru observațiile și sugestiile acordate.

Nu în ultimul rând doresc să mulțumesc tuturor colegilor de serviciu în mijlocul cărora am activat, în anii scurși de la înscrierea în programul doctoral, care au manifestat înțelegere și sprijin pentru activitatea mea de studiu.

În final doresc să mulțumesc familiei mele pentru sprijinul constant, înțelegerea și răbdarea de care a dat dovadă în toată această perioadă pentru realizarea acestei lucrări și o dedic în totalitate fiicei mele, Andrada Nicole.

În mod special, doresc să-mi exprim profunda mea recunoștință față de mama mea, care întotdeauna a subliniat importanța unei bune educații, pentru răbdarea, sprijinul permanent și încurajarea ei.

## INTRODUCERE

Conform standardelor în vigoare, dimensionarea hidraulică a rețelei de canalizare se face în condiții simplificate; procedura de calcul prevede utilizarea ipotezei de mișcare uniformă pe toată lungimea unui colector. Acest mod de calcul are desigur avantajul simplității dar, pe de altă parte, el nu corespunde realității și, așa cum se arată în prezenta teză de doctorat, implicațiile economice privind valoarea investițiilor care derivă din calculul respectiv sunt extreme de mari, de cele mai multe ori conducând la un calcul mult prea acoperitor.

Această ipoteză conduce la concluzia ne-realistă că, pe toată lungimea tubului de canalizare, parametrii curgerii (adâncimea și viteza) păstrează valori constante și că, dacă la un moment dat tubul își schimbă fie secțiunea, fie panta, fie rugozitatea, acești parametri suferă o modificare bruscă.

Bazele teoretice hidraulice (Cioc, 1983; Tatu, 1998) arată clar că ipoteza mișcării uniforme este corectă doar pentru cazul tuburilor cu lungime foarte mare și că la schimbarea condițiilor de curgere (secțiune, pantă, rugozitate), mișcarea devine ne-uniformă, fie gradual variată, fie rapid variată prin apariția saltului hidraulic.

Teza este structurată în șase capitole, după cum urmează:

### **CAP. 1. ASPECTE TEHNICE PRIVIND ALCATUIREA SI EXPLOATAREA SISTEMELOR DE CANALIZARE**

În capitolul 1, se prezintă documentarea efectuată pentru cunoașterea problemelor cu care se confruntă rețelele de canalizare și cuprinde:

- noțiuni generale cu privire la elementele componente ale sistemului de canalizare, rolul acestora, procedee de canalizare, clasificarea rețelelor de canalizare precum și clasificarea mișcărilor din rețelele de canalizare;
- metode și criterii de analiză, întreținere și monitorizare a rețelelor de canalizare în care sunt menționate și descrise noțiuni de hidrometrie, aparate pentru măsurarea debitelor sistemelor cu nivel liber, aparatură și tehnologii de curățare, reabilitare și întreținere a canalelor precum și noțiuni în ceea ce privește componența, cerințele de baza, implementarea sistemelor SCADA.

### **CAP. 2. BAZELE CALCULULUI HIDRAULIC AL REȚELELOR DE CANALIZARE**

În capitolul 2, se prezintă documentarea efectuată în ce privește calculul hidraulic al rețelelor de canalizare (menționând, inclusiv, reglementările standardelor românești în vigoare) și anume:

- pentru regimul permanent:
  - mișcarea uniformă
  - mișcarea gradual variată (curbe de remu)
  - saltul hidraulic
- pentru regimul nepermanent: mișcarea gradual variată – ecuațiile Saint-Venant (pentru undele de viitură)
- studiul energetic – regimurile de mișcare, necesar în toate calculele de mai sus

### **CAP. 3. STUDIUL COMPLEX AL CURGERII ÎN REȚELELE DE CANALIZARE**

În capitolul 3, se prezintă premisele de la care s-a pornit în studiile efectuate în cadrul tezei.

Ideea de bază este aceea că actualele prevederi din standardele în vigoare, care admit ipoteza cea mai simplă a mișcării uniforme, nu corespunde realității și conduce fie la dimensionări mult acoperitoare

(mult mai scumpe decât ar fi necesar), fie dimpotrivă la erori mari, când dimensiunea tuburilor de canalizare ar trebui să fie cu mult mai mare și, în realitate, ele se pun sub presiune.

Primul caz studiat: **Mișcarea permanentă și uniformă** (Figura 3.1)

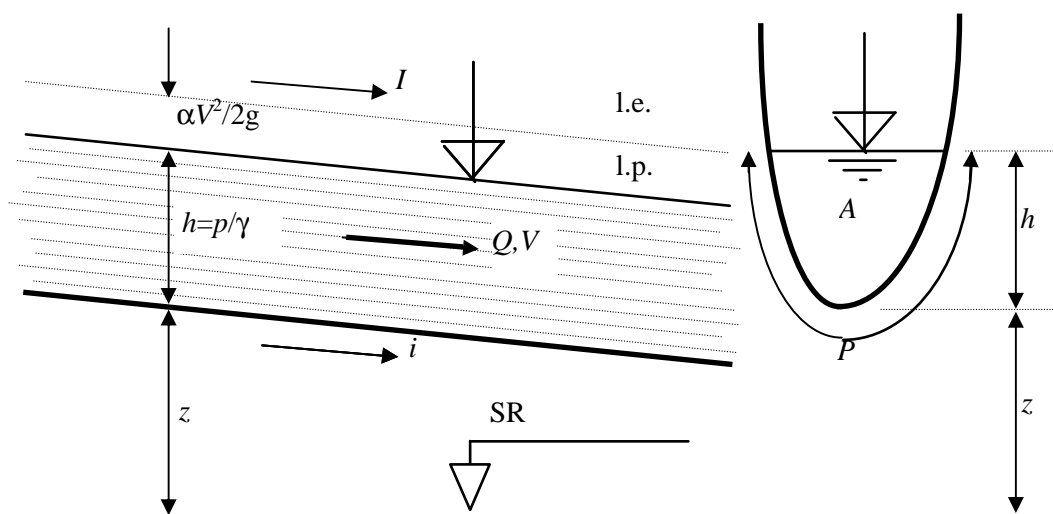


Fig. 3.1. Schema de calcul a mișcării uniforme

Conform STAS calculul se face la debitul maxim iar în teză se studiază cazul debitelor foarte mari, de ape pluviale.

Al 2-lea caz studiat: **Mișcarea neuniformă și gradual variată, racordare canal lent – canal rapid** (Figura 3.10)

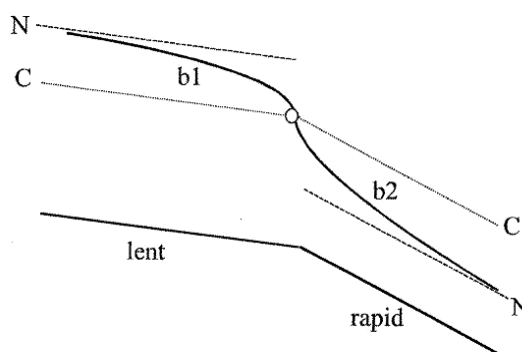


Fig. 3.10. Cazul racordării prin curba de tip b1

Diferența apare mai ales pe canalul lent din amonte, curba b1, unde adâncimile sunt mai mici decât cele din mișcarea uniformă.

O diferență apare și pe canalul rapid din aval, curba b2, unde adâncimile sunt mai mari decât cele din mișcarea uniformă dar în acest caz racordarea se face mult mai rapid și efectul este mai redus.

Calculul se face tot la debitul maxim.

**Racordarea canal rapid – canal lent** (Figura 3.11) și anume cazul când saltul hidraulic se produce pe canalul rapid din amonte și când, așa cum se vede, adâncimile sunt cu mult mai mari decât cele din mișcarea uniformă.

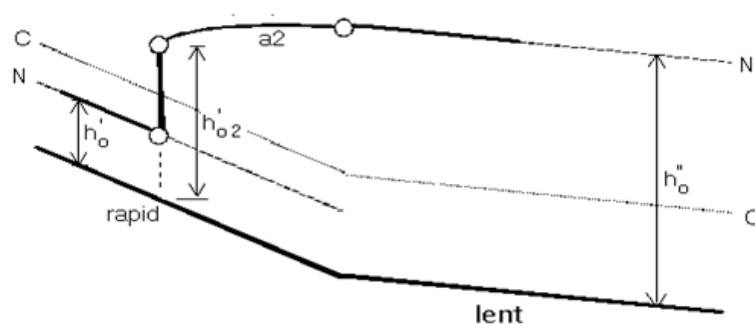


Fig. 3.11. Cazul racordării prin salt hidraulic pe canalul rapid (amonte)

Al 3lea caz studiat: **Mișcarea nepermanentă** (Figura 3.12) așa cum se produce ea în realitate pentru tranzitarea debitelor mari de ape pluviale și când avem de-a face în fapt cu o undă de viitură creată în urma unor hidrografe de debit cu o perioadă de creștere și apoi una de descreștere.

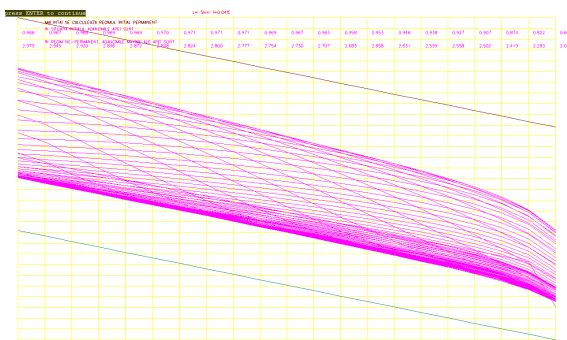


Fig. 3.12. Propagarea undei de viitură pe un canal cu lungimea de 5 km

În acest caz, debitul maxim apare doar în „vârful” viiturii și, ca urmare, înfășurătoarea nivelelor maxime se află mai jos decât curba de remu b1 și cu mult mai jos decât cea din mișcarea uniformă.

Odată remarcate aceste efecte, autoarea și-a propus în teză să facă o evaluare cantitativă științifică și cât mai exactă a diferențelor care se produc între calculul standardizat al mișcării uniforme și un calcul exact, în regim neuniform și în regim nepermanent.

#### CAP. 4. STUDIUL EFECTULUI APARIȚIEI SALTULUI HIDRAULIC.

În capitolul 4, se evaluează efectul apariției saltului hidraulic pe canalul rapid (amonte), conform schemei din Figura 3.11.

La racordarea unui canal „rapid” cu unul „lent” apare fenomenul de mișcare rapid variată denumit „salt hidraulic” care modifică brusc adâncimile în sensul creșterii acestora de la adâncimea mai mică „de intrare în salt” la cea mai mare „de ieșire din salt”. Cele două adâncimi poartă numele de adâncimi „conjugate” în saltul hidraulic.

În teză se analizează cazul când un salt hidraulic se produce pe un canal rapid, având ca adâncime de intrare adâncimea normală pe acest canal (Figura 3.11).

Se urmărește evaluarea creșterii procentuale a adâncimii apei ca urmare a apariției saltului în raport cu adâncimea normală, respectiv sub-dimensionarea care rezultă din aplicarea procedurii standardizate.

Pentru simplificarea calculelor, s-a considerat un tub de canalizare în forma de casetă, având secțiunea rectangulară cu lățimea  $b$ , coeficientul de rugozitate  $n$  și panta longitudinală  $i$ , pentru care formulele de calcul se dau mai jos.

Adâncimea critică se calculează cu formula:

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \left(\frac{\alpha}{g}\right)^{\frac{1}{3}} q^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

în care

$$q = \frac{Q}{b} \quad \text{iar} \quad Q = AC\sqrt{R^3 i}$$

Făcând analiza pe o „fâșie” unitară cu  $b=1$ , rezultă:

$$A=h; P=1; R=h; \quad V = \frac{Q}{A} = \frac{q}{h}; \quad C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n} = \frac{h^{\frac{1}{6}}}{n}; \quad q = \frac{1}{n} h^{\frac{5}{3}} i^{\frac{1}{2}}; \quad h = \frac{(nq)^{\frac{3}{5}}}{i^{\frac{3}{10}}};$$

$$Fr = \frac{V}{V_{cr}} = \frac{h_{cr}}{h} = \left(\frac{\alpha}{g}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{1}{n^{\frac{3}{5}}} i^{\frac{3}{10}} q^{\frac{1}{15}};$$

Și, apoi,

$$h = \frac{h_{cr}}{Fr}; \quad (2)$$

și

$$q = \frac{n^9 Fr^{15}}{\left(\frac{\alpha}{g}\right)^{\frac{5}{3}} i^{\frac{9}{2}}}; \quad (3)$$

Cu aceste formule, s-a făcut o analiză cantitativă a efectului prezenței saltului hidraulic. S-au dat valori pentru  $Fr$  și  $i$ , din (3) s-a calculat  $q$  iar din (1) s-a calculat  $h_{cr}$ . Din (2) s-a calculat, în final,  $h$  care reprezintă adâncimea apei în mișcare uniformă. Pentru  $Fr$  s-au ales în mod special valori supraunitare ( $Fr > 1$ ), astfel încât regimul de mișcare să fie rapid și să se producă saltul hidraulic având la intrare adâncimea  $h_1 = h$  și  $Fr_1 = Fr$ ; în acest caz, adâncimea de ieșire din salt este

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left( \sqrt{1 + 8Fr_1^3} - 1 \right); \quad (4)$$

iar creșterea adâncimii, exprimată în procente este:

$$\Delta(\%) = \frac{h_2 - h_1}{h_1} = \frac{h_2}{h_1} - 1 = \left[ \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8Fr_1^3} - 1 \right) - 1 \right] \cdot 100 \quad (5)$$

unde adâncimea de intrare în salt s-a notat cu  $h_1$  iar cea de ieșire cu  $h_2$ .

Rezultatele semnificative ale acestor formule sunt reprezentate grafic în figurile 4.1 ... 4.8. Ele arată, calitativ și, cu aproximație, și cantitativ, în ce fel depinde creșterea adâncimii (respectiv, adâncimea de ieșire din salt) de cei doi parametri principali, adică numărul Froude ( $Fr$ ) și panta longitudinală ( $i$ ).

Din punct de vedere practic, cel mai important este rezultatul privitor la creșterea adâncimii  $\Delta$ , care este funcție doar de numărul Froude ( $Fr$ ), fiind, așa cum se vede din figura 4.8, proporțională cu acesta. În cazul secțiunii rectangulare analizată aici, această dependență este chiar de directă proporționalitate.

În ceea ce privește evaluarea cantitativă, se constată că pentru valori uzuale ale numărului Froude adâncimea în canal poate depăși și cu 200% adâncimea normală la care se dimensionează acesta, conform cu metodologia actuală.

Dimensionarea tubului de canalizare folosind metoda standard de calcul bazată pe mișcarea uniformă poate conduce astfel la diametre semnificativ mai mici decât cele care ar fi necesare în realitate datorită apariției saltului hidraulic. De aceea, pentru dimensionarea corectă a colectoarelor aflate în această situație se impune efectuarea unui calcul exact, folosind programe de calcul moderne care să țină seama de ne-uniformitatea curgerii, inclusiv prin apariția saltului hidraulic.

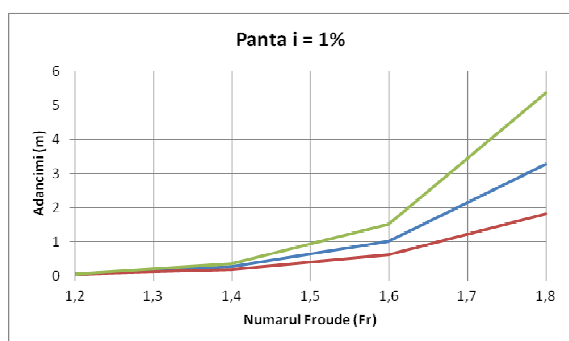


Fig. 4.1. Variația adâncimilor ( $h_1$ ,  $h_{cr}$  și  $h_2$ ) în funcție de numărul Froude, la pantă constantă (1%)

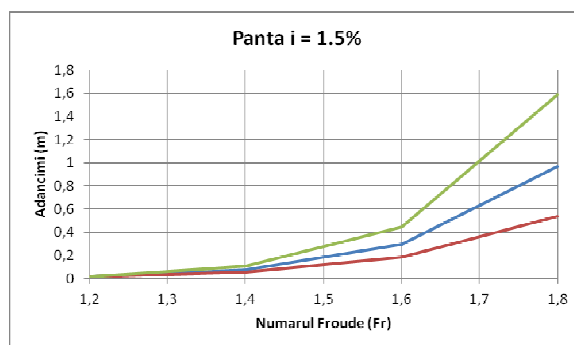


Fig. 4.2. Variația adâncimilor ( $h_1$ ,  $h_{cr}$  și  $h_2$ ) în funcție de numărul Froude, la pantă constantă (1.5%)

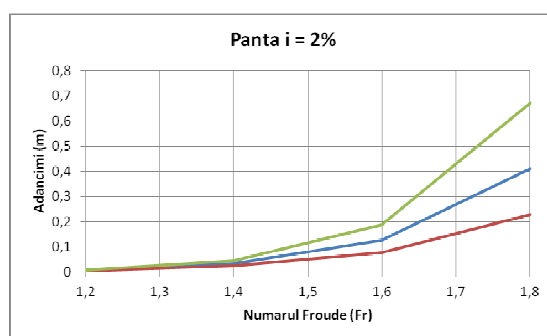


Fig. 4.3. Variația adâncimilor ( $h_1$ ,  $h_{cr}$  și  $h_2$ ) în funcție de numărul Froude, la pantă constantă (2%)

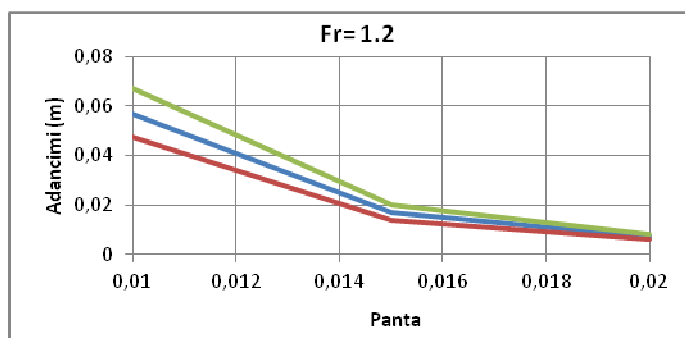


Fig. 4.4. Variația adâncimilor ( $h_1$ ,  $h_{cr}$  și  $h_2$ ) în funcție de panta longitudinală, la un număr Froude constant (1.2)



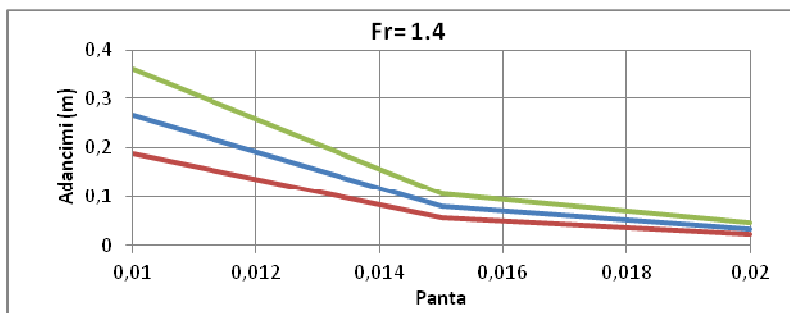


Fig. 4.5. Variația adâncimilor ( $h_1$ ,  $h_{cr}$  și  $h_2$ ) în funcție de panta longitudinală, la un număr Froude constant (1.4)

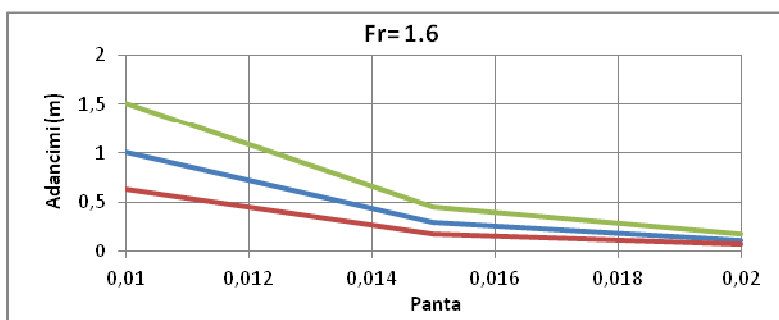


Fig. 4.6. Variația adâncimilor ( $h_1$ ,  $h_{cr}$  și  $h_2$ ) în funcție de panta longitudinală, la un număr Froude constant (1.6)

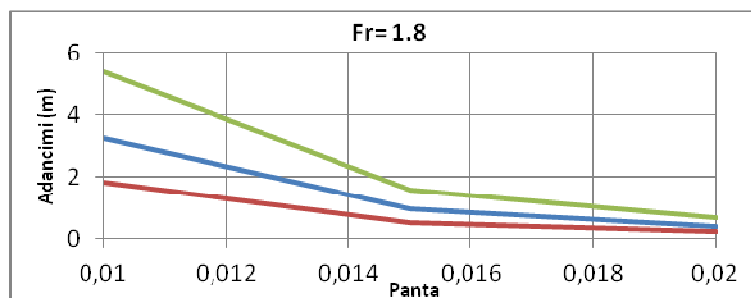


Fig. 4.7. Variația adâncimilor ( $h_1$ ,  $h_{cr}$  și  $h_2$ ) în funcție de panta longitudinală, la un număr Froude constant (1.8)

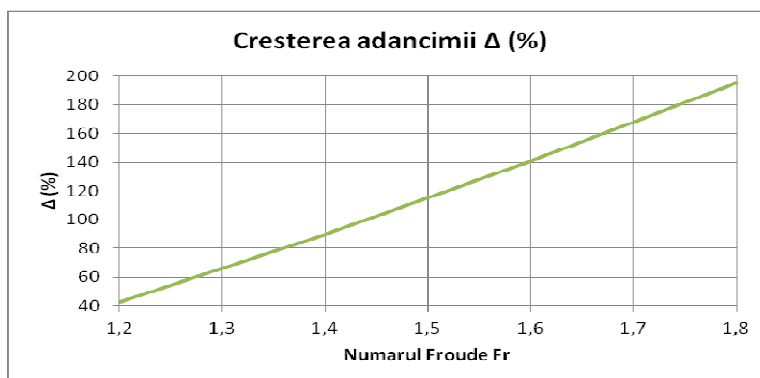


Fig. 4.8. Variația creșterii adâncimii  $\Delta$  (%) în funcție de numărul Froude

## CAP. 5. STUDIUL EFECTULUI UNUI CALCUL IN REGIM NEPERMANENT ȘI NE-UNIFORM

În capitolul 5 se evaluează efectul unei mișcări gradual variate și permanente, pe schema din Figura 3.10. și, concomitent cu efectul mișcării nepermanente, comparativ cu mișcarea uniformă prevăzută de standard. Normele actuale prevăd ca dimensionarea tubului (diametrul său) să se facă la debitul maxim pe baza ipotezei mișcării uniforme, adică urmând linia adâncimii normale care în figură este notată cu N (linie întreruptă). În curgerea reală, pe canalul lent suprafața liberă ia forma *curbei bl*, aflată sub linia adâncimii normale N ceea ce înseamnă că diametrul tubului ar putea să fie mai mic. Aceasta reprezintă o sursă de reducere a cheltuielilor de investiție care este analizată în detaliu mai jos și unde

se arată că ea nu este deloc de neglijat, justificând folosirea unui calcul mai complicat în locul celui standardizat.

Tot actualele prevederi admit ipoteza mișcării permanente, care în cazul debitelor de ape pluviale de asemenea nu corespunde realității și conduce la dimensionări mult acoperitoare (mai scumpe decât ar fi necesar).

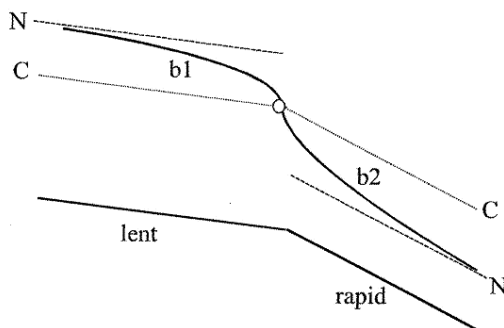


Fig. 3.10. Racordarea unui canal „lent” cu un canal „rapid”

La tranzitarea debitelor mari de ape pluviale avem de-a face în fapt cu o undă de viitură creată în urma unor hidrografe de debit cu o perioadă de creștere și apoi una de descreștere, adică cu o mișcare nepermanentă. În acest caz, debitul maxim apare doar în „vârful” viiturii și, ca urmare, înfășurătoarea nivelelor maxime se află mai jos decât curba de remu *b1* și cu mult mai jos decât cea din mișcarea uniformă (Figura 3.12), reprezentând, de asemenea, o sursă de reducere a cheltuielilor de investiție care este analizată în detaliu mai jos.

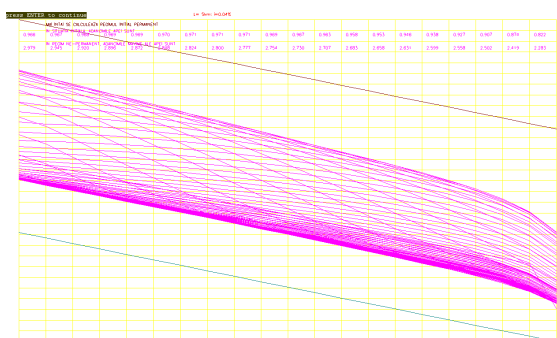


Fig. 3.12 Propagarea undei de viitură pe un canal cu lungimea de 5 km

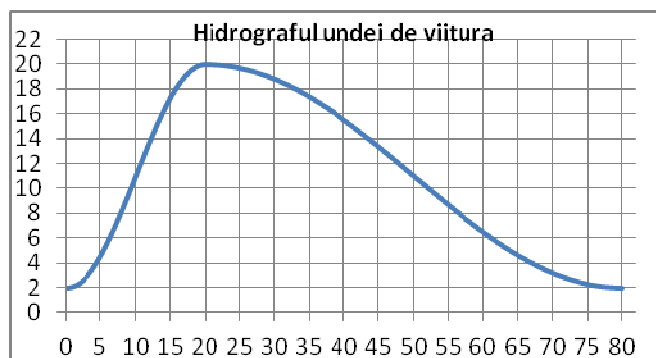


Fig. 5.1. Forma hidrografului de debit

Pentru calculele în regim nepermanent s-a utilizat programul „NEPER” al Departamentului de Hidraulică și Protecția Mediului din cadrul U.T.C.B iar pentru cele de regim permanent dar în mișcare ne-uniformă, tot programul „NEPER”, punând condiția unui debit constant.

Studiul a vizat analiza cantitativă a efectelor favorabile ale celor două noi ipoteze de calcul. Mai precis, pentru regimul nepermanent s-a studiat influența pe care o au principalii parametri determinanți ai fenomenului și anume:

- Volumul undei de viitură;
- Panta longitudinală a canalului;
- Durata undei de viitură.

Pentru regimul permanent și ne-uniform, calculul s-a efectuat la debitul maxim al undei de viitură, așa cum prevede și normativul actual pentru ipoteza mișcării uniforme, principalul parametru determinant fiind panta longitudinală a canalului.

S-a considerat un canal prismatic (formă și dimensiuni constante ale secțiunii transversale), cu panta constantă, cu coeficientul de rugozitate  $n = 0,015$  și cu lungimea de 2.000 m. Pentru secțiunea

transversală, din motive de ordin practic, pentru a ușura efectuarea calculelor și a comparațiilor între variantele analizate, s-a ales forma pătrată în care lățimea  $b$  este egală cu înălțimea  $h$  iar aceasta din urmă, la rândul ei, este egală cu adâncimea maximă din mișcarea uniformă, corespunzătoare debitului maxim  $Q_{max}$ , notată cu  $h-max$ . Adâncimea minimă din mișcarea uniformă, corespunzătoare debitului minim  $Q_{min}$ , s-a notat cu  $h-min$ . Ariile secțiunii transversale, corespunzătoare celor două adâncimi, minimă și maximă, s-au notat respectiv cu  $A-min$  și  $A-max$ , iar vitezele de curgere, cu  $Vmin$  și  $Vmax$ .

S-a lucrat cu un **hidrograf al debitelor** cu forma din figura 5.1, în care durata fazei descrescătoare este de trei ori mai mare decât cea a fazei crescătoare și caracterizat prin:

- Debitul minim inițial (de la care pornește viitura, pentru exemplul din figură, 2 mc/s); în continuare acesta s-a notat cu  $Q_{min}$ ;
- Debitul maxim (pentru exemplul din figură, 20 mc/s); în continuare acesta s-a notat cu  $Q_{max}$ ;
- Durata totală (în figură 80, în valori relative); în continuare, în valori reale (secunde) acesta s-a notat cu  $T$ ;

Pentru volumul undei de viitură s-a lucrat cu trei valori și anume:  $W = 2.500, 5.000, 10.000$  mc.

Pentru panta canalului s-a lucrat cu valori care să asigure un regim de curgere lent (pante mai mici decât panta critică) și care să conducă la o suprafață liberă de forma curbei  $bl$ , excluzând în același timp apariția saltului hidraulic. Aceste valori au fost:  $i = 0,2 \text{ ‰}, 0,4 \text{ ‰}, 0,6 \text{ ‰}, 0,8 \text{ ‰}, 1 \text{ ‰}, 2 \text{ ‰}, 4 \text{ ‰}, 6 \text{ ‰}$ .

În același scop, condiția la limită pentru capătul aval al canalului a fost ca adâncimea să fie egală cu adâncimea critică (a se vedea și figura 3.10).

În plus, calculele și apoi comparațiile s-au efectuat în **două variante** conceptual diferite.

În prima variantă, denumită „**Debit constant**”, s-a considerat că pentru toate valorile celorlalți parametri (volum, panta), întotdeauna debitul maxim ajunge la aceeași valoare și anume  $Q_{max} = 20$  mc/s. Debitul inițial s-a considerat în toate cazurile același și anume  $Q_{min} = 2$  mc/s. Astfel, în acest caz creșterea de debit a fost, în toate cazurile,  $Del-Q = 18$  mc/s iar durata  $T$  a undei a depins doar de volumul  $W$  al undei, valorile numerice fiind date în tabelul nr.5.1.

Tabelul 5.1. Durata undei funcție de volumul acesteia în ipoteza „Debit constant”

W (mc)	2.500	5.000	10.000
T (secunde)	277,78	555,56	1111,11

În sinteza, restul datelor de bază cu care s-a operat programul de calcul, „NEPER” se dau în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2. Date de bază în varianta „Debit constant”

Panta	h-min	A-min	Vmin	b= h-max	A-max	Vmax
0,2 ‰	0.759	3.14	0.636	4.137	17.12	1.168
0,4 ‰	0.666	2.421	0.825	3.633	13.2	1.514
...	...	...	...	...	...	...
4 ‰	0.4327	1.02091	1.95872	2.3594	5.56677	3.59253
6 ‰	0.4011	0.87709	2.28042	2.1867	4.78166	4.18249

În a doua variantă, denumită „**Secțiune constantă**”, s-a considerat că toate viiturile, cu forma și volumele impuse (indicate mai sus), trebuie să poată fi tranzitate fără punere sub presiune și indiferent de pantă, prin aceeași secțiune transversală având lățimea și înălțimea egale cu  $2\text{ m}$ :

$$b = h\text{-max} = 2\text{ m}$$

S-a mai impus, de asemenea, ca adâncimea minimă în canal să fie  $h\text{-min} = 0,35\text{ m}$ .

În mod corespunzător, au rezultat valorile fixe:  $A\text{-min} = 0,7\text{ mp}$  și  $A\text{-max} = 4\text{ mp}$  iar restul datelor de bază cu care s-a operat programul de calcul, „NEPER” se dau în *tabelul 5.3*. În tabel, notațiile din ultimele trei coloane, T-2500, T-5000 și T-10000, reprezintă duratele T (secunde) ale undei, corespunzătoare respectiv volumelor de 2.500, 5.000 și 10.000 mc.

*Tabelul 5.3. Date de bază în varianta „Secțiune constantă”*

Panta	Qmin	Vmin	Qmax	Vmax	Del-Q	T-2500	T-5000	T-10000
0,2 ‰	0.268	0.383	2.878	0.719	2.61	1915.709	3831.418	7662.835
0,4 ‰	0.379	0.542	4.07	1.018	3.691	1354.646	2709.293	5418.586
...	...	...	...	...	...	...	...	...
4 ‰	1.2	1.714	12.871	3.218	11.671	428.41	856.82	1713.6
6 ‰	1.47	2.1	15.763	3.941	14.293	349.822	699.643	1399.29

Pentru calculele efectuate cu ajutorul programului „NEPER”, canalul în lungime totală de  $2.000\text{ m}$  a fost împărțit în  $20$  de tronsoane de calcul cu lungimea de  $100\text{ m}$  fiecare, rezultând un număr de  $21$  noduri de calcul.

Rezultatele obținute precum și o parte din prelucrările efectuate în scopul interpretării lor și a deducerii unor concluzii, s-au sintetizat în tabele de forma *tabelului 5.4*.

Toate coloanele prezintă valori corespunzătoare celor  $21$  noduri de calcul. Astfel:

- coloana **Z** reprezintă cota fundului canalului ( $m$ );
- coloanele **h** reprezintă adâncimea apei ( $m$ ); cele 5 coloane dau valorile **h** în ipotezele de calcul considerate: mișcarea uniformă, mișcarea permanentă și ne-uniformă (*curba b1*), mișcarea nepermanentă cu volumele undei de  $2.500$ ,  $5.000$  și respectiv  $10.000\text{ mc}$  ( $W=2500$ ,  $W=5000$  și  $W=10000$ );
- coloanele **H=Z+h** reprezintă cotele suprafeței libere ( $m$ ); cele 5 coloane dau valorile **H=Z+h** în ipotezele de calcul considerate: mișcarea uniformă, mișcarea permanentă și ne-uniformă (*curba b1*), mișcarea nepermanentă cu volumele undei de  $2.500$ ,  $5.000$  și respectiv  $10.000\text{ mc}$  ( $W=2500$ ,  $W=5000$  și  $W=10000$ ).

Se reamintește că, pentru regimul nepermanent, prin „suprafață liberă” se înțelege de fapt înfășurătoarea nivelelor maxime atinse prin propagarea undei (a se vedea *figura 3*).

Rezultatele „primare” ale calculelor sunt adâncimile **h** ale apei în canal, date numeric în tabele de forma *tabelului 4* și reprezentate grafic în figuri de forma *figurii 5*. În figură, notațiile din legende reprezintă:

- **Z**, fundul canalului;
- **ho**, suprafața liberă în ipoteza mișcării uniforme;
- **b1**, suprafața liberă în ipoteza mișcării permanente ne-uniforme;
- **2.5**, suprafața liberă în ipoteza mișcării nepermanente la un volum al undei de viitură de  $W=2.500\text{ mc}$ ;

- **5**, suprafața liberă în ipoteza mișcării nepermanente la un volum al undei de viitură de  $W=5.000$  mc;
- **10**, suprafața liberă în ipoteza mișcării nepermanente la un volum al undei de viitură de  $W=10.000$  mc;

Coloanele  $\Delta h$  și  $\Delta W$  reprezintă prelucrări ale datelor primare.

În acest sens, spațiul cuprins între „suprafața liberă” și adâncimea maximă  $h$ -max (care, așa cum s-a arătat, corespunde regimului de mișcare uniform) s-a considerat ca un spațiu încă disponibil pentru acumulare. În coloanele  $\Delta h$  s-a calculat diferența dintre adâncimea maximă și adâncimea din ipoteza considerată iar în coloanele  $\Delta W$ , volumele corespunzătoare, disponibile pentru o acumulare suplimentară, luând în considerare dimensiunile secțiunii transversale.

**Diferențele  $\Delta h$  pentru adâncimi și  $\Delta W$  pentru volume reprezintă o „măsură” a reducerii posibile a diametrului tuburilor de canalizare și, implicit, a cheltuielilor investiționale la construcția rețelelor respective, reduceri care se pot obține printr-un calcul exact al curgerii.**

Aceste reduceri sunt evidente ca fiind importante și numai privind reprezentările grafice de forma celei din *figura 5.2*. Cantitativ ele vor fi evaluate în paragraful următor, în funcție de parametrii determinanți (panta și volumul undei).