

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VULIA"
TIMISOARA
Facultatea de Hidrotehnică

Ing. Bîcov Alexandru

TEZA DE DOCTORAT

CONTRIBUTII PRIVIND HIDRAULICA ECLUZELOR CU FUNCTIONARE
IN REGIM NECONVENTIONAL

Conducător științific

Prof.emerit ing. Victor Gheorghiu

Prof. dr. ing. Ioan David

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

- 1990 -

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA

Volumul nr. 557/150
Dulap 3 H

"Intuiția se dezvoltă treptat și îngăduie inginerului hidraulician să simtă, să prevadă mișcarea apei. Inginerul hidraulician este logic în formularea ideilor sale numai după ce a fost intuitiv în descoperirile sale. Logica pură singură, fără intuiție și imaginație, poate fi doar eronată"

Bernard Le Méhauté

INTODUCERE

Dacă în anul 1885, domnul Ferdinand de Lesseps ilustrul creator al canalului de Suez era admonestat cu ocazia primirii sale în prodigioasa instituție care este Academia franceză *, și prin aceasta se contesta opera vieții sale, iată că după mai bine de un secol, un alt canal, de proporții mai restrânse sufcită aprecieri în general negative din partea chiar a unor specialiști în materie.

Desigur, este foarte adevărat, canalul Dunăre - Marea Neagră fiind realizat în perioada regimului de opresiune poate fi asimilat în totalitate cu acest regim, mai ales că dacă în anii '50 acesta a servit la reprimarea fizică și morală a opozanților dictaturii respective, finalizarea lui din ultimile două decenii, a impus o perioadă de deosebită austeritate uneori degradantă poporului român.

Dar, privind această lucrare cu ochiul specialistului în hidrotehnică, chiar dacă ea este destinată mai mult ca sigur secolului următor, nu putem să nu recunoaștem că din punct de vedere strict tehnic reprezintă o realizare de vîrf cu care se pot mîndrii toți cei care într-un fel sau altul și-au încorporat în această lucrare o parte din năzuințele, tinerețea sau chiar viața lor.

* În mesajul de răspuns rostit de domnul Renan, președintele de atunci al Academiei franceze, acesta refuza felicitările convenite sărbătoritului Ferdinand de Lesseps, motivînd acest refuz prin faptul că acest canal ce leagă mările mari ale lumii va marca locul viitoarelor conflicte ale omenirii.

Faptele care au urmat, aveau să confere bătrînului savant sceptic valoarea unor profeții, toate marile conflagrații ale secolului nostru avînd drept scenă și această zonă a globului.

Colectivul de specialiști din actuala Facultate de Hidrotehnică din Timișoara a participat la toate fazele de studii, cercetări hidraulice necesare proiectării canalului, aducându-și în felul acesta o modestă contribuție, contribuție pentru care i s-a decernat în anul 1983 premiul "Aurel Vlaicu" al Academiei române.

x

x x

Lucrarea de doctorat prezentată, intitulată "Contribuții privind hidraulica ecluzelor cu funcționare în regim neconvențional", tratează o problemă ecologică, și anume "protecția antisalină a canalelor navigabile cu ieșire la mare", și este o consecință firească a activității autorului în acest domeniu, bazată pe concluziile rezultate în urma cercetărilor efectuate pe parcursul a cca 10 ani, și care urmărește printr-o abordare teoretică generalizarea rezultatelor experimentale obținute anterior.

Lucrarea de doctorat a fost elaborată în perioada 1976 - 1984, unele rezultate parțiale din această perioadă fiind prezentate prin publicarea unor lucrări în diferite reviste de specialitate/5,46,47,48/. Lucrarea cuprinde 6 capitole, dezvoltate în 200 de pagini, 102 figuri și diagrame, 30 tabele, 11 fotografii, peste 200 relații de calcul și 153 de semnalări bibliografice. Cu această ocazie s-au elaborat un număr de 10 programe de calcul prezentate în anexe.

x

x x

Cu această ocazie, autorul mulțumește tuturor celor care l-au ajutat în elaborarea acestei lucrări, în deosebi prof.dr.ing. David Ioan care a avut amabilitatea să accepte susținerea lucrării sub conducerea științifică a domniei sale.

Un omagiu postum celor care au fost regretații prof. emerit ing. Victor Gheorghiu, prof.dr.ing. Bălă Mihai și prof. dr.ing. Dan Eugen alături de care autorul s-a format ca cercetător și cadru didactic.

x

x x

Cu excepția introducerii care a fost reformulată, lucrarea în ansamblu se prezintă în redactarea anului 1984.

C U P R I N S

INTRODUCERE	Pg.
Cap.1. CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND SALINIZAREA CANALELOR DE NAVIGAȚIE CU LESIRE LA MARE	
1.1. Considerații teoretice	7
1.2. Analiza procesului de salinizare	9
1.3. Mecanismul salinizării canalelor ecluzate	10
1.3.1. Canale situate sub cota nivelului mării	11
1.3.2. Canale situate mai sus decât nivelul mării	12
1.4. Măsuri de prevenire și combatere a salinizării canalelor de navigație	12
1.4.1. Salinitatea apei de mare. Limite admisibile ale salinității apei utilizate în anumite folosințe	13
1.4.2. Măsuri de apărare antisalină la canalele navigabile aflate sub cota nivelului mării	14
1.4.2.1. Funcționarea hidraulică a ecluzelor neconvenționale de tip Mardycyk	15
1.4.3. Măsuri de apărare antisalină la canalele navigabile situate deasupra cotei nivelului mării	19
1.4.3.1. Combaterea antisalină a canalului Dunăre-Marea Neagră	19
1.5. Concluzii	25
1.6. Necesitatea studiilor și cercetărilor asupra ecluzelor neconvenționale	26
Cap.2. STUDIUL PROTECȚIEI ANTISALINE A CANALELOR DE NAVIGAȚIE REALIZATA PRIN ECLUZE DE TIP NECONVENTIONAL	
2.1. Considerații inițiale	28
2.2. Studiul variației concentrației saline inițiale din sasul ecluzei în perioada operațiilor de ecluzare	29
2.3. Criterii de evaluare a concentrației saline admisibile în sasul ecluzei în urma evacuării apei sărate în bieful aval printr-un procedeu oarecare	31
2.3.1. O metodă expeditivă de evaluare a salinității admise în sasul ecluzei neconvenționale	34
2.4. Studiul variației salinității apei unui canal navigabil protejat antisalin prin ecluze de tip neconvențional	35
2.4.1. Dependența concentrației saline a apei canalului navigabil de numărul ecluzărilor	35
2.4.1.1. Ipoteza unui canal navigabil care nu este alimentat permanent cu un debit de apă dulce	36
2.4.1.2. Ipoteza unui canal navigabil alimentat permanent cu un debit de apă dulce	38
2.5. Distribuția concentrației saline în profilul longitudinal al unui canal navigabil	44
2.5.1. Ipoteza $\Delta V = 0$	45
2.5.1.1. O relație de calcul directă a distribuției salinității în ipoteza $\Delta V = 0$	47

2.5.2. Ipoteza $\Delta V \neq 0$	49
2.5.2.1. Relația directă de calcul a distribuției salinității în ipoteza $\Delta V \neq 0$	50
2.6. Aportul unei ecluze convenționale în protecția anti-salină a unui canal navigabil	52
2.7. Aplicație numerică	54
2.7.1. Canalul Dunăre-Marea Neagră protejat anti-salin prin ecluza neconvențională Agigea	54
2.7.2. Canalul Poarta Albă-Năvodari-Midia protejat anti-salin prin ecluza neconvențională Năvodari	64
2.7.3. Interpretarea rezultatelor obținute	69
2.7.3.1. Pentru canalul Dunăre - Marea Neagră	69
2.7.3.2. Pentru canalul Poarta Albă - Năvodari - Midia pe sectorul cuprins între ecluzele Ovidiu - Năvodari	71
2.8. Concluzii	72
Cap.3.ECLUZE NECONVENȚIONALE CU DUBLU CIRCUIT HIDRAULIC	
3.1. Analiza hidraulică a funcționării ecluzei cu dublu circuit hidraulic la canale situate deasupra nivelului mării	75
3.1.1. Umplere-golire concomitentă în bieful aval	75
3.1.2. Umplere-golire concomitentă în bazin subteran situat sub nivelul biefului aval	81
3.2. Sistemul hidraulic de umplere-golire al ecluzelor de tip neconvențional	83
3.2.1. Studiul mișcării nepermanente a apei prin orificiile sistemelor de umplere respectiv golire	84
3.3. Condițiile de staționare a navelor (convoaielor de nave) în porturile de așteptare și în sasul ecluzei	92
3.3.1. Aprecierea condițiilor de staționare a navelor în porturile de așteptare ale ecluzei neconvenționale	92
3.3.2. Aprecierea condițiilor de staționare a navelor în sasul ecluzei neconvenționale	94
3.4. Condiții rezultate în urma funcționării în regim tranzitoriu a ecluzelor neconvenționale cu umplere-golire concomitentă	96
3.5. Determinarea volumului de apă salmastră evacuat în bieful aval în perioada umplerii-golirii concomitente a ecluzelor neconvenționale	99
3.6. Aplicație numerică	103
3.6.1. Calculul hidraulic al ecluzei Agigea	103
3.6.2. Determinarea prin calcul a influenței numărului orificiilor sistemului de alimentare asupra reducerii neuniformității debitelor de acces în ecluză	108
3.6.3. Stabilirea regimului de funcționare hidraulică al ecluzei Agigea cu umplere-golire concomitentă	109

3.6.4. Determinarea volumului total de apă evacuat în perioada umplerii-golirii concomitente	110
3.6.5. Interpretarea rezultatelor obținute	111
3.7. Concluzii	112
Cap.4.ECLUZE NECONVENTIONALE CU UN SINGUR CIRCUIT HIDRAULIC	
4.1. Un criteriu determinant de stabilire a tipului de ecluză neconvențională utilizat în combaterea antisalină a canalelor navigabile	116
4.2. Analiza hidraulică a funcționării ecluzei neconvenționale cu un singur circuit hidraulic	119
4.2.1. Asupra mișcării nepermanente a apei prin orificiile sistemului de golire	122
4.3. Condițiile de staționare a navelor (convoaielor de nave) în perioada funcționării ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic	124
4.4. Determinarea volumului de apă salmastră evacuat în bieful aval în procesul funcționării ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic	126
4.5. Aplicație numerică	129
4.5.1. Calculul hidraulic al ecluzei Năvodari	129
4.5.2. Determinarea distribuției debitelor prin fantele sistemului longitudinal de golire în perioada evacuării apei sărate în bieful aval	130
4.5.3. Stabilirea regimului de funcționare a ecluzei Năvodari în varianta cu un singur circuit hidraulic în funcție de asigurarea condițiilor de staționare	131
4.5.4. Calculul volumului de apă salmastră evacuat în bieful aval în perioada de funcționare hidraulică a ecluzei Năvodari	132
4.5.5. Interpretarea rezultatelor obținute	133
4.6. Concluzii	134
Cap.5.CERCETARI EXPERIMENTALE ASUPRA ECLUZELOR NECONVENTIONALE	
5.1. Metode de modelare hidraulică	137
5.2. Cercetări experimentale efectuate asupra ecluzelor neconvenționale cu dublu circuit hidraulic	139
5.2.1. Scări de modelare hidraulică	139
5.2.2. Dimensiunile geometrice principale din natură și pe de modele	139
5.2.3. Descrierea modelelor	141
5.2.3.1. Modelul plan scara 1:50	141
5.2.3.2. Modelul plan scara 1:40	142
5.2.3.3. Modelul plan scara 1:25	143
5.2.3.4. Modelul spațial scara 1:25	145
5.2.4. Metodologii de măsură a concentrației saline	145
5.2.5. Rezultatele cercetărilor pe modele	148
5.2.5.1. Rezultatele experimentale obținute pe modelul plan 1	149

5.2.5.2. Rezultatele experimentale obținute pe modelul plan 2,3 și 4	150
5.2.5.3. Rezultatele experimentale obținute pe modelul spațial 1	153
5.2.6. Prelucrarea datelor experimentale	154
5.2.7. Interpretarea rezultatelor experimentale. Concluzii	157
5.3. Cercetări experimentale efectuate asupra ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic	161
5.3.1. Scări de modelare hidraulică	161
5.3.2. Dimensiunile geometrice din natură și de pe model	161
5.3.3. Descrierea modelului	162
5.3.4. Rezultatele cercetărilor experimentale pe model	165
5.3.4.1. Rezultate experimentale obținute în regim convențional	165
5.3.4.2. Rezultate experimentale obținute în regim de funcționare prin umplere-golire concomitentă	166
5.3.4.3. Rezultate experimentale obținute în regim de funcționare prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval	167
5.3.5. Interpretarea rezultatelor experimentale. Concluzii	172
5.4. Cercetări experimentale asupra condițiilor de staționare a navelor (convoaielor de nave) în perioada de funcționare a unei ecluze neconvenționale	175
5.4.1. Procedee de măsurare a forței hidrodinamice în laborator	176
5.4.2. Rezultate experimentale obținute	177
5.4.3. Interpretarea rezultatelor obținute. Concluzii	179
Cap.6. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUTII	
6.1. Asupra modalităților de salinizare a canalelor navigabile cu ieșire la mare	181
6.2. Procedee de prevenire și combatere a salinizării canalelor navigabile	181
6.3. Protecția antisalină a canalelor navigabile prin ecluze neconvenționale	182
6.4. Asupra ecluzelor neconvenționale cu dublu circuit hidraulic	183
6.5. Asupra ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic	186
6.6. Contribuții	189
NOTATII	191
BIBLIOGRAFIE	193
ANEXE DE CALCUL	1a-38a

C a p i t o l u l 1

CONSIDERATIILE GENERALE PRIVIND SALINIZAREA CANALELOR
DE NAVIGATIE CU IESIRE LA MARE1.1. Considerații teoretice

Două lichide de densități diferite aflate în repaus față de un sistem inerțial de referință, în momentul punerii lor în contact direct, diferența de densitate $\Delta\rho$ determină formarea unor curenți interiori longitudinali de viteză \bar{c} și debit specific \bar{q} (fig.1.1) /1,30,114/. Astfel, lichidul de densitate mai mare $\rho + \Delta\rho$ va pătrun-

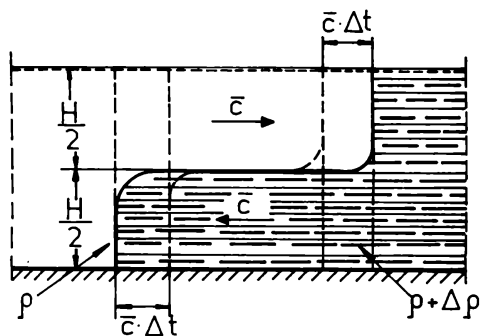


Fig.1.1 Stratificare în regim laminar a două lichide de densități diferite.

de pe la fund sub forma unei pene iar cel de densitate mai mică se va deplasa la suprafață, viteza relativă a acestuia fiind egală cu $2\bar{c}$. În această situație se poate accepta că cele două lichide sînt perfect stratificate la adîncimea $H/2$, chiar dacă la interfața de separație există o zonă de amestec care fiind extrem de redusă se poate neglija. Un astfel de regim îl vom defini ca regim laminar de mișcare relativă a două lichide de densități diferite.

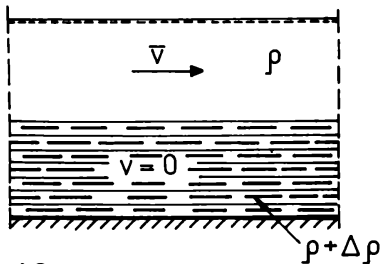


Fig.1.2 Deplasarea în regim laminar a lichidului de densitate ρ .

Un același regim se obține și în cazul în care unul din lichide se deplasează cu o anumită viteză inițială relativă față de celălalt lichid (de exemplu lichidul de densitate mai mică se deplasează la suprafață cu viteza \bar{v} iar lichidul de densitate mai mare se găsește la fund în repaus), care nu depășește o anumită viteză limită (fig.1.2) :

$$\bar{v} \leq \bar{v}_1 \text{ limită} \quad (1,1)$$

Dacă condiția (1.1) nu va fi satisfăcută, zona de amestec se va extinde și nu vom putea conta pe o stratificare perfectă, ci pe o stratificare parțială a celor două lichide; iar regimul de curgere se va defini prin analogie ca un regim tranzitoriu de mișcare relativă a două lichide de densități diferite.

Si în sfîrșit, dacă peste această mișcare se suprapun și alte mișcări produse de diferite cauze extreme (de exemplu: jeturi turbulente ale unui lichid introdus în celălalt; mișcări de întoarcere a curențului; etc.) zona de amestec se va extinde practic pe toată a-

dîncimea H , nu vom putea admite stratificarea celor două lichide, și vom defini în acest caz regimul turbulent de mișcare caracterizat printr-un amestec total a celor două lichide.

În cazul regimului laminar cînd stratificarea se consideră perfectă se poate determina viteza de mișcare relativă \bar{c} pe care o putem considera egală cu \bar{v} , respectiv debitul specific \bar{q} (fig.1.1)/1/.

Admițînd valabilitatea legii conservării energiei la momentul inițial respectiv după un interval de timp Δt de la începerea mișcării de viteză $\bar{c} \equiv \bar{v}$, rezultă :

$$E_0 = E_{\Delta t} \quad (1.2)$$

unde :

$E_0 = E_p$ - energia totală (potențială) la momentul inițial ;
 $E_{\Delta t} = E_c$ - energia totală (cinetică) după un interval de timp Δt .

Si explicitînd se va obține :

$$\bar{v} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}} \cdot \sqrt{2gH} \quad (1.3)$$

iar debitul specific :

$$\bar{q} = \frac{1}{4\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}} \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2} \quad (1.4)$$

unde \bar{q} este în unități de debit pe unități de lungime.

Expresia 1.3 dedusă pe cale teoretică poate servi la exprimarea vitezei limită definită prin relația 1.1. Această afirmație este confirmată de rezultatele experimentale obținute la ecluza Mardyck din portul Dunkerque-Franța /117,118/. Măsurătorile efectuate în laboratoarele de la Grenoble pe model - scara 1:12,5, au arătat că o anumită stratificare se menține pînă la viteze \bar{v} (definită ca o viteză ascensională ; lichidul de densitate ρ aflîndu-se la suprafața celui de densitate $\rho + \Delta\rho$, fig.1.11) de :

$$\bar{v}^2 < 0,81 \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho} \cdot g \cdot H \quad (1.5)$$

care scrisă sub forma relației 1.3 :

$$\bar{v} < \frac{0,9}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}} \sqrt{2gH} \quad (1.5')$$

cu coeficient numeric de $\frac{0,9}{\sqrt{2}} = 0,636$ față de coeficientul numeric din relația 1.3 care rezultă de $\frac{1}{2\sqrt{2}} = 0,353$. Valoarea aproape dublă a coeficientului numeric dedusă din măsurătorile efectuate /118/ se poate explica prin aceea că la această viteză există și o zonă de tranziție pusă în evidență cu ocazia măsurătorilor menționate. Deci

admițind o anumită siguranță putem defini viteza limită prin relația 1.3 :

$$\bar{v}_1 \text{ limită} \leq 0,353 \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}} \cdot \sqrt{2gH} \quad (1.6)$$

și deci delimita analitic regimul laminar corespunzător unei stratificări perfecte. Relația 1.5' de asemenea poate servi la aprecierea cantitativă a regimului tranzitoriu de mișcare :

$$\bar{v}_2 \text{ limită} \leq 0,636 \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}} \cdot \sqrt{2gH} \quad (1.5'')$$

Totodată măsurătorile efectuate asupra ecluzei Mardyck permit și o apreciere cantitativă asupra unei limite superioare a regimului tranzitoriu de mișcare în ipoteza limitării vitezei \bar{u} de pătrundere a jeturilor de lichid de densitate $\rho + \Delta\rho$ (fig.1.11). Astfel s-a menținut stratificarea celor două lichide de densități diferite pînă la viteze de :

$$\bar{u}^2 < 0,16 \frac{\Delta\rho}{\rho} gH \quad (1.7)$$

care retranscrisă sub forma relației (1.6) va fi :

$$\bar{u} \text{ limită} < 0,283 \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}} \cdot \sqrt{2gH} \quad (1.7')$$

Relația 1.7' poate servi deci ca o limită superioară a vitezei de introducere a unor jeturi de lichid de densitate mai mare în ipoteza menținerii regimului tranzitoriu de mișcare.

1.2. Analiza procesului de salinizare

Considerațiile teoretice expuse în paragraful 1.1 își au aplicație în analiza fenomenului de salinizare al apelor litorale. Pătrunderea apei sărate* provenite din mări sau oceane în apele dulci litorale (cursuri naturale de apă care se varsă în mări sau

* în cele ce urmează vom utiliza următoarea terminologie : apa în care încă n-au pătruns săruri din apa de mare o vom denumi dulce, iar apa de mare indiferent de concentrația de săruri conținută va fi apă sărată sau apă salină. Din momentul în care referirile se vor face asupra unor concentrații bine definite, se va păstra terminologia utilizată curent : "cînd concentrația în săruri este mai mică de 1 gram la litrul de apă, atunci apa se numește dulce. Dacă cantitatea de săruri la 1 litru de apă este între 1 gram și 24,7 grame apa este salmăstră, iar dacă trece de 24,7 grame, ea se numește sărată. Această valoare de 24,7 g/l de apă este limita între apele salmastre și cele sărate, întrucît la acest grad de salinitate temperatura de îngheț a apei și temperatura densității maxime sînt egale".

ocean, canale sau canale de navigație cu ieșire la mare, lacuri naturale sau artificiale existente în apropierea mărilor sau oceanelor) sub o formă sau alta, și care are drept rezultat sporirea concentrației de săruri a apei dulci inițiale îl vom denumi ca proces de salinizare al apelor.

Desfășurarea procesului de salinizare se poate produce sub forma regimurilor descrise în paragraful 1.1 (vom nota prin analogie densitatea apei dulci cu ρ iar a celei sărate cu $\rho + \Delta\rho$). În funcție de particularitățile factorilor care intervin în desfășurarea procesului de salinizare, aceasta se poate desfășura la o scară redusă (exemplu cursurile naturale de apă care se varsă în mări fără marea sau cu marea redusă, și unde se înregistrează totuși pătrunderea apei de mare sub forma unei pene saline, îndeosebi în perioadele unui an hidrologic sărac în precipitații) sau de o intensitate deosebit de mare (cazul terenurilor litorale aflate sub nivelul general al mărilor - așa numitele "poldere").

Acest din urmă caz, semnalat în literatura de specialitate /1,45,47,48,65,117,124/, devine deosebit de nefavorabil în ceea ce privește utilizarea apelor în vederea satisfacerii unor folosințe.

La aceste terenuri apa sărată aflată în canale și lacuri, poluează prin infiltrații apa freatică și acumulându-se în stratul fertil de sol determină și salinizarea acestuia.

Cu aceste probleme se confruntă actualmente o serie de țări vest-europene cum ar fi Olanda, Belgia, Franța /1,117,124/ și chiar din S.U.A. /85/. Între acestea Olanda este cel mai mult afectată de invazia salină avându-se în vedere suprafețele mari de "poldere" aflate în vecinătatea Mării Nordului. De altfel un studiu /1/ publicat în 1973 arată gradul mare de salinizare al canalelor și lacurilor litorale Mării Nordului (fig.1.3).







Dacă amintim că în aceste zone apa dulce este în deficit impunându-se deci economisirea ei, apărarea împotriva procesului de salinizare a devenit o preocupare permanentă și deosebit de importantă. În vestul Europei s-au întreprins primele cercetări asupra procesului de salinizare și s-au luat pentru prima dată unele măsuri împotriva acestui fenomen începând din anii 1950-1960 /1/. În țara noastră studiile și cercetările efectuate asupra procesului de salinizare a canalelor de navigație sînt de dată mai recentă /22,23,28,75/.

1.3. Mecanismul salinizării canalelor ecluzate

Ieșirea la mare a unei căi navigabile face posibilă desfășurarea nestînjinită a procesului de salinizare a căii /47,48,82/.

Mecanismul pătrunderii apei sărate diferă după cum canalele sînt

LEGENDA SALINITĂȚILOR

	< 0,3 ‰
	0,3 - 0,5 ‰
	0,5 - 1 ‰
	1 - 2 ‰
	2 - 5 ‰
	> 5 ‰

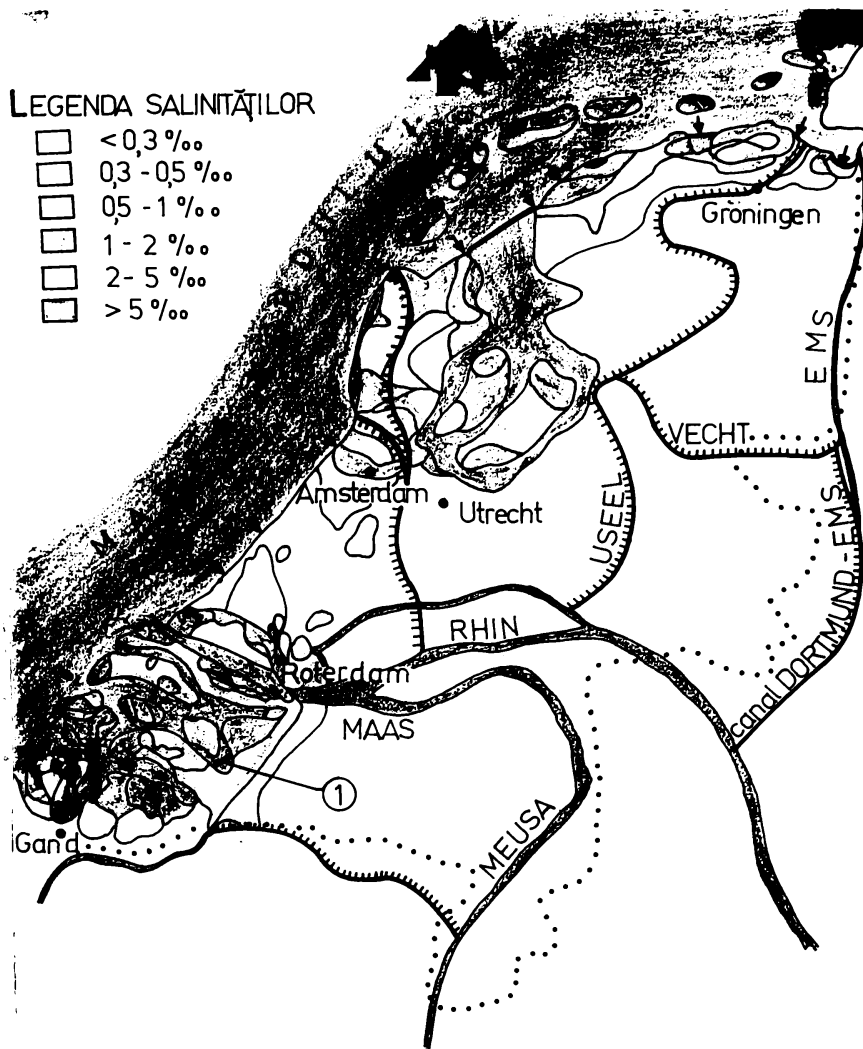


Fig.13 Poluarea salină a litoralului olandez.

1-ecluza KREEKRAK

→ zonă de acces a apei sărate (ecluze, stavile, etc.)

situate sub cota nivelului mării /1,124,151/ respectiv mai sus decît nivelul mării /22,23,46,47,48,75,137/.

1.3.1. Canale situate sub cota nivelului mării

În acest caz salinizarea poate avea loc în următoarele moduri :

a) prin neetanșeitarea închiderilor din frontul de apărare (stavile, vane, porți de ecluză) datorită tendinței de stratificare a apei de mare sărate la fund. Mișcarea relativă a celor două lichide de densități diferite se va produce în

regim laminar ;

b) prin refularea apei sărate din sas rezultată în urma ecluzării în canal, la fiecare intrare a navei în sas (fig.1.4,a), fenomenul desfășurîndu-se în regim turbulent;

c) prin descărcarea apei sărate din sas în canal în perioada golirii sasului, care reprezintă cel mai intens proces de salinizare (fig.1.4,b) ; fenomenul de asemenea se desfășoară în regim turbulent;

d) avansarea apei sărate sub formă de pană din mare în sas respectiv din sas în canal în perioada în care porțile ecluzei sînt deschise (fig.1.4,c). Regimul de mișcare poate fi laminar sau tranzitoriu.

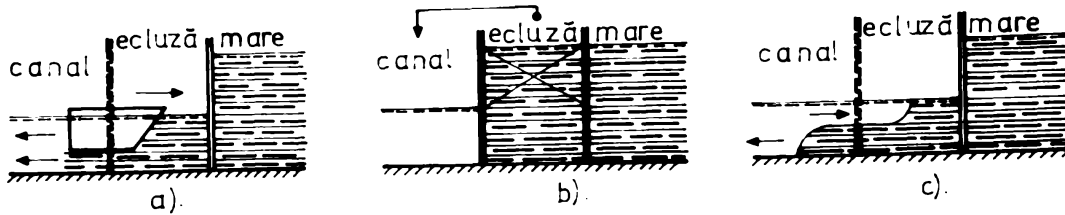


Fig.1.4. Mecanismul salinizării canalelor situate sub cota nivelului mării.

1.3:2. Canale situate mai sus decât nivelul mării

În acest caz care corespunde situației terenurilor litorale românești este necesar să subliniem că apa sărată nu poate intra în canale decât dacă este ridicată la nivelul apei dulci în procesul umplerii sasului ecluzei, când apa dulce se amestecă cu apa sărată și devine astfel unica sursă de poluare salină a canalelor. De aici apa sărată poate pătrunde în canal pe două căi :

a) prin refulare periodică a apei sărate rezultate în sas în urma procesului de umplere, la fiecare intrare a navei în sas (fig. 1.5, a). Aceasta va constitui principala formă de salinizare a canalului.

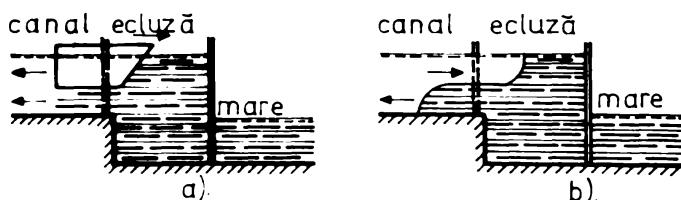


Fig.1.5. Mecanismul salinizării canalelor situate deasupra nivelului mării

Procesul de salinizare se va desfășura în regim turbulent ;

b) prin avansarea apei sărate din sas sub formă de pană salină în perioada porților amonte deschise (fig. 1.5, b). Fenomenul se va desfășura într-un regim laminar sau tranzitoriu.

După cum se observă, fenomenele de salinizare sînt mai reduse (2 modalități față de 4 în cazul anterior). Deci situația canalelor aflate mai sus decât nivelul mării devine mai favorabilă în ceea ce privește procesul de salinizare decât cazul canalelor aflate sub cota nivelului mării. De asemenea este necesar de subliniat că dispare sursa principală poluantă determinată de descărcarea apei sărate în procesul de golire a ecluzei, aceasta evacuîndu-se în mare. La ecluzele canalelor situate deasupra cotei nivelului mării un rol important îi revine treptei de cădere (fig. 1.5) în diminuarea procesului de pătrundere a apei sărate aflate pe fundul ecluzei în canal.

1.4. Măsuri de prevenire și combatere a salinizării canalelor de navigație

1.4.1. Salinitatea apei de mare.Limite admisibile ale salinității apei utilizate în anumite folosințe

Salinitatea apei de mare se definește prin cantitatea de săruri pe care o conține.Dintre acestea (tab.1.1),cel mai mult în-

Tabelul 1.1

Săruri	Simbol chimic	în %
Clorură de sodiu	NaCl	77,76
Clorură de magneziu	MgCl ₂	10,88
Sulfat de magneziu	MgSO ₄	4,74
Sulfat de calciu	CaSO ₄	3,60
Sulfat de potasiu	K ₂ SO ₄	2,46
Carbonat de calciu	CaCO ₃	0,34
Bromură de magneziu	MgBr ₂	0,22
TOTAL		100

tîlnite sînt clorura de sodiu și de magneziu,sulfatul de magneziu,de calciu și de potasiu. Este de remarcat faptul că indiferent de cantitatea totală de săruri existente în apă proporția diferitelor săruri rămîne aceeași (tab.1.1).Aceasta face posibilă măsurarea foarte exactă a salinității prin procedee chimice /73/.Salinitatea

medie de suprafață variază de la o mare la alta respectiv de la un ocean la altul în funcție de condițiile climatice și hidrologice. Salinitatea medie se consideră (cu excepția mărilor închise) de 35 %. dar ea poate ajunge chiar la 40 %. în cazul Mării Roșii.

Salinitatea Mării Negre este mult influențată de aportul masei considerabile de apă dulce al fluviilor și al precipitațiilor atmosferice.Astfel pe litoralul românesc salinitatea la suprafață crește dinspre nord de la Sulina,în spre sud,de la 10 %. și chiar mai puțin,la 16 %. .Au fost perioade cînd în dreptul gurilor Dunării salinitatea nu a depășit 1 %. .De asemenea salinitățile medii lunare sînt variabile,mai mici în lunile iunie-septembrie între 9 și 11 %. și peste 15 %. în lunile de iarnă.

După cum se observă salinitatea Mării Negre nu depășește 16...17 %. ,deci apa Mării Negre va fi o apă salmastră.

În general limitele admisibile ale salinizării apelor utilizate pentru diferitele folosințe sînt discutabile și greu de precizat /48/.

Astfel pentru apa utilizată în industrie se consideră că o salinitate care depășește 1 %. este inacceptabilă /117/ deoarece prin recirculare duce la depunerea în exces a sărurilor pe suprafețele destinate schimbului de căldură,reducînd randamentul instalației de răcire.

Pentru apa de irigații,limita salinității este stabilită în general la 0,5...1 %. /137/,dar se consideră că poate ajunge și la 1,5 %. /124/.

În cazul apei potabile limita maximă admisă a salinității

este de 0,5 %. Avându-se în vedere satisfacerea acestor folosințe pentru canalul Dunăre-Marea Neagră valoarea admisibilă a salinității s-a fixat la 0,5 ‰ .

1.4.2. Măsuri de apărare antisalină la canalele navigabile aflate sub cota nivelului mării

Din analiza modurilor de salinizare expuse în paragraful 1.3.1., rezultă ca o primă modalitate de prevenire a salinizării (modul a) eliminarea sau limitarea pierderilor de apă la stavile, vane, porți de ecluză /22,28,48/ care poate fi obținută prin măsuri riguroase de control a sistemelor de etansare.

Modalitățile b și c de salinizare a canalelor nu pot fi evitate prin mijloace obișnuite deoarece ele se desfășoară în regim turbulent și sînt inerente în procesul ecluzării navelor.

Există în schimb diferite procedee de combatere a salinizării prin propagarea penei saline (modul d) și anume : /1,85,139/:

- generarea unui curent continuu sau intermitent de apă dulce, de sens invers curentului salin, prin care se poate respinge înaintarea apei sărate și concomitent spălarea canalului ;
- instalarea unor bariere de aer comprimat în fața penei saline (fig.1.6,a) ;

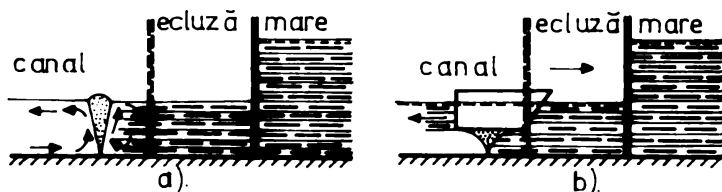


Fig. 16 Funcționarea barierelor de aer comprimat.

- captarea apei sărate în fosse sau bazine construite pe fundul canalului și refularea ei în bieful amonte prin pompare (fig.1.7)

acest procedeu fiind denumit extracție selectivă a apei sărate, toate aceste procedee prezentînd mari inconveniente de ordin economic. Astfel primul procedeu este un mare consumator de apă dulce care așa cum s-a aratat în paragraful 1.2., mai întotdeauna în aceste zone este în deficit ; cel de-al doilea procedeu este un mare consumator de energie dar în același timp devine inefficient la circulația navelor peste barieră (fig.1.6,b) ; și, în sfîrșit ultimul procedeu pe lîngă energia consumată prin pompare nu este pe deplin eficient.

O preocupare permanentă a constituit-o combaterea salinizării datorată procesului ecluzării (modul b și c). Astfel la ecluzele existente pe aceste canale pentru oprirea patrunderii apei sărate s-au experimentat toate procedeele descrise anterior (bariere de aer comprimat, extracția selectivă a apei sărate, sisteme de spălare

a canalelor). Aceste metode aplicate îndeosebi în Olanda /1,124/ nu au dat rezultate scontate, deoarece circulația navelor determi-

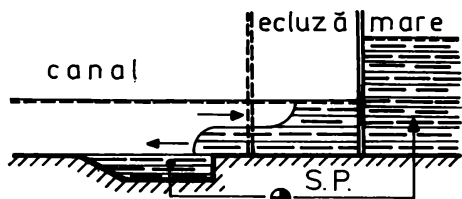


Fig.17 Captarea apei sărate în bazine (fose) și repompare în mare

na apariția regimului turbulent de mișcare și deci amestecul total al apei sărate cu cele dulci. De asemenea nu era rezolvată descărcarea apei sărate în canal la golirea sasului ecluzei (modul

de salinizare c). Ulterior pentru a combate acest mod de pătrundere a apei sărate în canal s-au prevăzut stații de pompare de evacuare a apei sărate provenite din golirea sasului ecluzei, direct în mare. În funcție de volumul de apă necesar de a fi pompat se poate prevedea un bazin intermediar (sau un bief intermediar) în care apa sărată se evacuează gravitațional, urmînd ca apoi să fie repompată în mare. Această soluție însă nu rezolvă modalitatea de salinizare a canalelor descrisă la punctul b.

Pentru evacuarea completă a apei sărate din sas și înlocuirea ei cu apă dulce a fost necesară elaborarea unor ecluze cu dublu circuit hidraulic pe care le vom denumi de tip neconvențional. Prima ecluză de acest tip a fost realizată în Franța /117,118,124/ pe canalul Bourbourg-Dunkerque la Mardyck.

1.4.2.1. Funcționarea hidraulică a ecluzelor neconvenționale de tip Mardyck /65,117,118,124/

Canalul navigabil Bourbourg-Dunkerque traversează în apropierea litoralului o zonă de poldere de suprafață de cca.40.000 de ha aflată la un nivel inferior nivelului Mării Nordului (fig.1.8). Canalul era prevăzut, la conexiunea cu portul Dunkerque cu două ecluze despărțite de un bief intermediar care comunică cu marea în perioada mareelor joase și permite astfel evacuarea gravitațională a apei sărate (fig.1.9). Acest sistem însă s-a dovedit ineficace și neeconomic. Astfel în perioada ecluzării între canal și bief intermediar, la pătrunderea navelor, întotdeauna o parte din apa sărată este refulată în canal; sistemul necesită pompări în perioada mareelor înalte; este un mare consumator de apă dulce, deoarece toată apa dulce care a servit ecluzării este pierdută; și în sfîrșit se prelungeste foarte mult durata de ecluzare fiind necesare de fapt două ecluzări.

A fost necesară o altă soluție care să satisfacă cerințelor impuse de apărarea antisalină a canalului, economisirea apei dulci

și satisfacerea traficului tot mai intens al portului Dunkerque. Astfel s-a elaborat în 1964 ecluza neconvențională de la Mardyck cu dublu circuit hidraulic și care îndeplinește concomitent atât funcția de ecluzare cât și cea de separare a apei sărate (fig.1.10). Ea a

fost realizată în perioada 1964-1966.

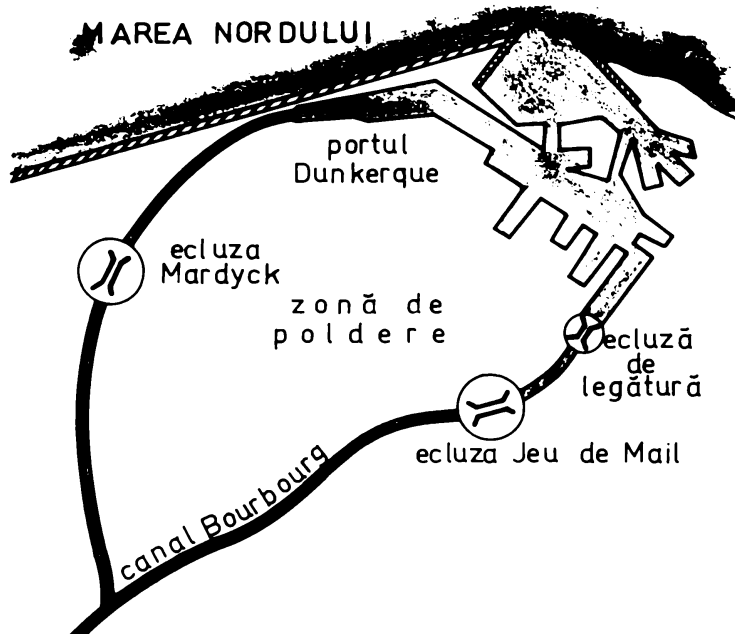


Fig.1.8 Portul Dunkerque și ecluza Mardyck.

hidraulice, un circuit hidraulic de apă dulce gravitațional practi-

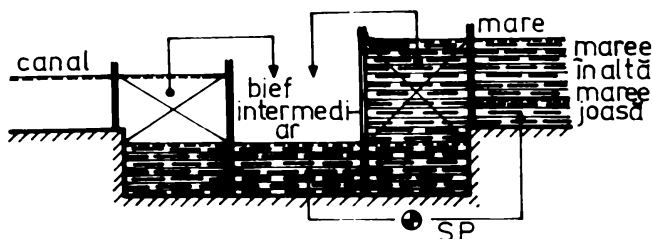


Fig.1.9 Varianta cu bief intermediar

cat în bazoaiere și un al doilea circuit de apă sărată gravitațional sau comandat de pompe care este practicat în radiator, permite prevenirea salinizării canalului.

Principiul de funcționare al ecluzei Mardyck constă în înlocuirea apei sărate cu apă dulce din canal care poate avea loc și în prezența vasului în procesul ecluzării (fig.1.11,b). Volumul de apă sărată astfel evacuat este retransmis prin pompare în mare. De asemenea în perioada umplerii sasului prin circuitul de apă sărată, practicat în radiator, apa dulce este evacuată gravitațional în canal prin circuitul hidraulic de apă dulce, realizându-se astfel și economisirea unei cantități importante de apă dulce (fig.1.11,a). Desigur că această funcționare comportă o coordonare perfectă între operațiile de manevră a vanelor cât și a stației de pompare.

În funcționarea hidraulică a acestei ecluze principiul de bază este menținerea regimurilor de mișcare laminare sau cel puțin tranzitoriu (definite în paragraful 1.1).

Sasul ecluzei are următoarele dimensiuni :

- lungimea $L_s = 145$ m ;
- lățimea $B_s = 12$ m ;
- adâncimea de apă $H_s = 4$ m ;

căderea fiind $H_0 = 1 ; 2,5$ m. Existența celor două circuite

Astfel timpul de ecluzare crește cu 5' față de o ecluzare

clasică, iar investiția pentru realizarea ecluzei depășește cu cca. 50 % valoarea unei ecluze convenționale de același gabarit, dar acestea sînt incomparabil mai reduse decît varianta cu două ecluze și bief de creastă.

Este de semnalat faptul că regimul de mișcare laminar a celor două lichide de densități diferite determină majorarea timpului de ecluzare. Astfel la ecluza Mardyck, admitînd viteze de mișcare la limita relațiilor 1.5' respectiv 1.7' regimul îl putem considera tranzitoriu. De fapt experiențele pe

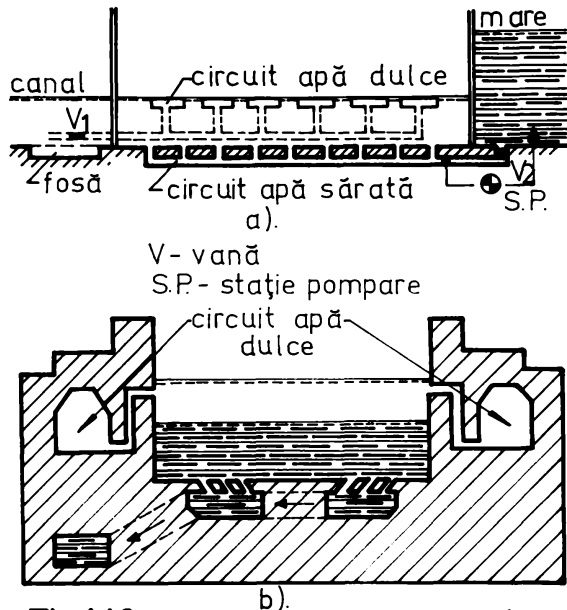


Fig.1.10 Schema hidraulică a ecluzei cu dublu circuit Mardyck
a). profil longitudinal
b). secțiune transversală

model scara 1:12,5 efectuate în Laboratorul din Grenoble /117/ confirmă acest lucru, punînd în

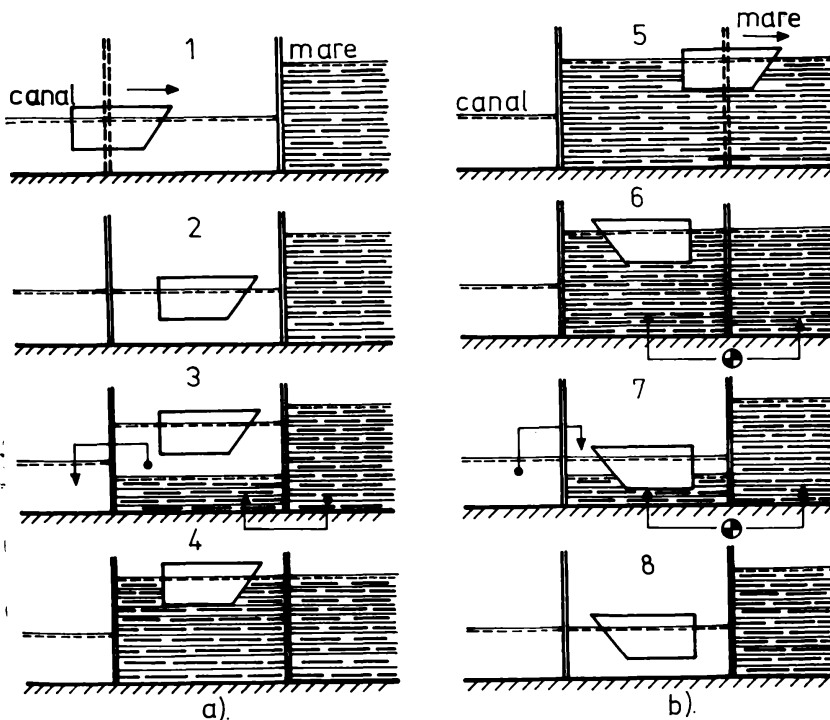


Fig.1.11 Principiul de funcționare al ecluzei Mardyck.
a) evacuarea apei dulci în canal și înlocuirea ei cu apă sărată (1,2,3,4) în procesul umplerii sasului.
b) înlocuirea apei sărate cu apă dulce (5,6,7,8) în procesul golirii sasului.

firmă acest lucru, punînd în evidență o zonă de amestec care face ca la sfîrșitul operațiilor, pe fundul sasului să rămîna apă sărată, care în lipsa trepte de cădere s-ar putea propaga în canal în perioada porții amonte deschise. Pentru a preîntîmpina acest fenomen (mod de salinizare d) imediat în spatele porții amonte s-a

prevăzut o fosă de colectare a penei saline (fig.1.10) comandată de o stație de pompare.

Acceptînd acest regim tranzitoriu și recuperarea apei dulci nu va fi totală.

Ecluza Mardyck a constituit o premieră mondială și o soluție extrem de ingenioasă de utilizare a mișcării relative a două lichide de densități diferite. Totodată funcționarea ecluzei prezintă pentru prima dată punerea în legătură directă a celor două biefuri prin intermediul ecluzei, fenomen asupra căruia specialiștii prezentau rețineri inexplicabile pînă în acel moment.

După principiul ecluzei Mardyck a fost proiectată în 1968 și realizată în 1975 în Olanda /8,51,156/ pe canalul Schelde-Rin, ecluza Kreekrak (fig.1.3 ; 1.12).

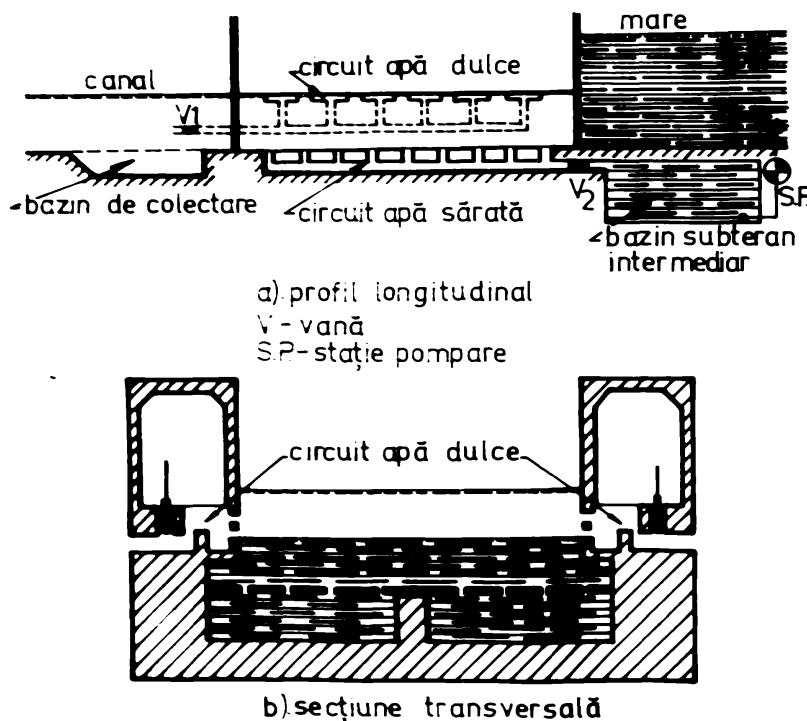


Fig.1.12 Schema hidraulică a ecluzei Kreekrak

Modul de funcționare este asemănător cu al ecluzei Mardyck, dar din cauza volumului mult mai mare de apă sărată care trebuie evacuat, (dimensiunile sasului ecluzei gemene Kreekrak fiind : $L_s = 320$ m; $B_s = 24$ m, $H_s = 5$ m; $H_o = 3$ m) acesta este evacuat indirect (gravitațional) într-un bazin subteran, de unde se retransmite în bieful aval/mare) prin pompare (fig. 1.12). Desigur că

în acest fel capacitatea stației de pompare se reduce substanțial, evacuarea apei din bazinul subteran putîndu-se desfășura un timp mai îndelungat. De asemenea, adoptîndu-se regimul tranzitoriu de mișcare, pentru colectarea penei saline care se propagă în canal în perioada cînd porțile sînt deschise, la Kreekrak s-a prevăzut un bazin de colectare prevăzut cu o stație de pompare (fig.1.12).

În concluzie, funcționarea hidraulică a ecluzelor de tip ne-

convențional permit prevenirea și combaterea salinizării canalelor de navigație și reprezintă unicul mijloc posibil de rezolvare concomitentă a necesităților impuse de procesul de ecluzare și de protecția antisalină.

Ecluzele cu dublu circuit hidraulic vor fi folosite în cele ce urmează și la prevenirea și combaterea salinizării canalelor de navigație situate deasupra cotei nivelului mării /22,23,28,47,48/.

Este de amintit faptul că în practica străină nu sînt cunoscute ecluze care realizează protecția antisalină în acest caz.

1.4.3. Măsuri de apărare antisalină la canalele navigabile situate deasupra cotei nivelului mării

În cazul canalelor navigabile situate deasupra cotei nivelului mării, neexistînd posibilitatea poluării directe a canalului, măsurile de apărare se rezumă în acest caz la combaterea formelor de salinizare indirectă (paragraful 1.3.2) a căror intensitate depinde (fig.1.5) de concentrația în săruri a apei rezultată în urma procesului de umplere a sasului ecluzei.

Rezultă că măsura cea mai indicată de prevenire a propagării apei sărate în canal, este reducerea salinizării apei la terminarea umplerii sasului, în anumite limite. Aceste limite vor rezulta desigur în funcție de salinitatea admisă a canalului care la rîndul ei va depinde de complexul de folosințe preconizate.

Realizarea acestui deziderat este posibilă doar cu ecluze neconvenționale de tip Mardyck adaptate însă noilor condiții.

Și în acest caz, o ecluză convențională se dovedește ineficientă cu toate măsurile antisaline descrise la paragraful 1.4.2.

Este de subliniat un avantaj deosebit și anume că apa dulce aflată în bieful amonte se găsește întotdeauna deasupra cotei nivelului mării.

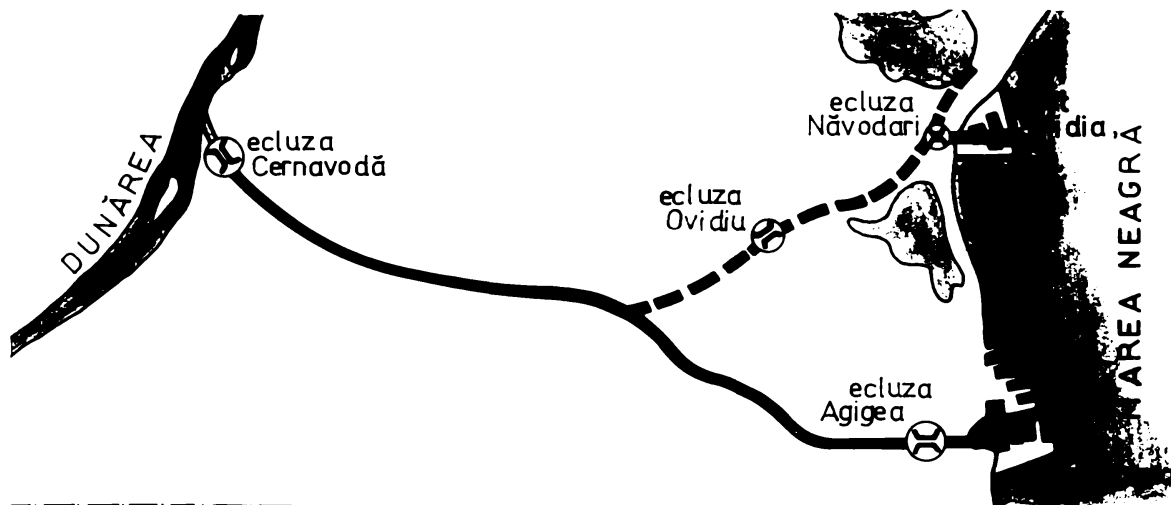
Soluțiile hidraulice ale ecluzelor neconvenționale adoptate în acest caz reprezintă soluții originale care și-au găsit aplicația în cazul canalului Dunăre - Marea Neagră /22,23,28,46,47,48/.

1.4.3.1. Combaterea antisalină a canalului Dunăre-Marea Neagră

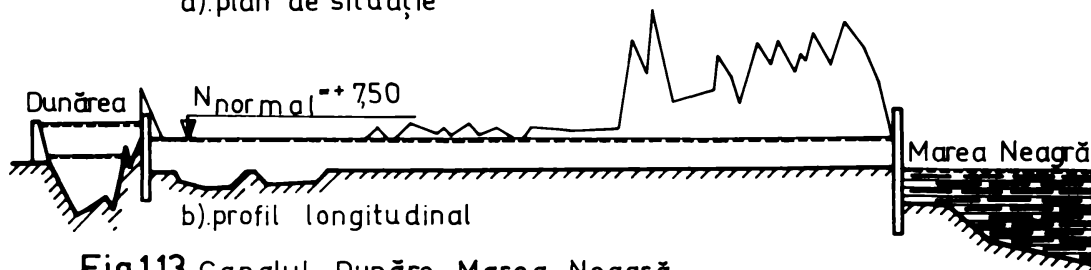
Canalul Dunăre - Marea Neagră realizat în două etape, a fost dat în folosință în anul 1984 și reprezintă de fapt o lucrare pentru mileniul viitor, traficul actual pe acest canal fiind extrem de redus.

Realizat în perioada 1976-1984, canalul scurtează accesul Dunării la Marea Neagră cu aproape 400 km (fig.1.13). Catedra de con-

strucții hidrotehnice și îmbunătățiri funciare a participat prin colectivul de specialiști la activitatea de cercetare legată de acest obiectiv /17,...,28/ în perioada 1974-1984, una din problemele rezolvate fiind și combaterea antisalină /22,23,28/ a canalului.



a). plan de situație



b). profil longitudinal

Fig.1.13 Canalul Dunăre- Marea Neagră

Canalul Dunăre-M. Neagră debușează în mare la Agigea și la Năvodari prin ramificația Poarta Albă-Năvodari aflată în curs de execuție. Cele două ecluze, Agigea și Năvodari constituie prin funcționarea lor hidraulică măsuri constructive de prevenire și combatere a salinizării canalului.

Pentru aceste ecluze, colectivul de specialiști al Catedrei de CHIF a propus două soluții originale care pe lângă atributele impuse de necesitățile de ecluzare și de combatere antisalină, satisfac pe deplin și condițiile referitoare la obținerea unor soluții eficiente din punct de vedere economic.

• Soluția adoptată pentru ecluza Agigea /46,47,48/

Metoda eliminării apei sărate pătrunse în sasul ecluzei, utilizând un dublu circuit hidraulic nu a fost aplicată până în prezent la canale care au nivelul apei mai sus decât nivelul mării. Acest mod de combatere antisalină a unui canal navigabil a fost propus pentru prima dată de către colectivul de specialiști de la Catedra de construcții hidrotehnice și îmbunătățiri funciare din Timișoara, în anul 1977, cu ocazia cercetărilor efectuate asupra e-

cluzei Agigea /22/. Ea a fost studiată din punct de vedere hidraulic în laboratoarele Catedrei de CHIF. Ulterior, testarea metodei a fost făcută și de unele institute specializate din țară /74,137/.

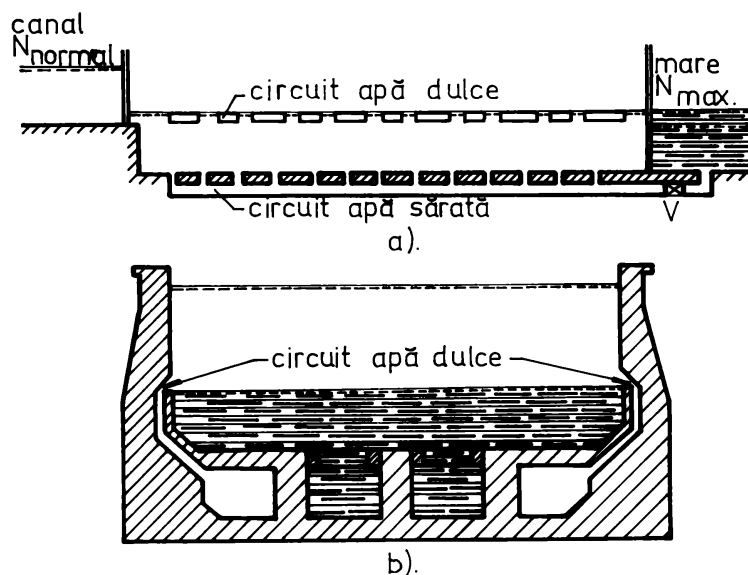


Fig.14. Schema hidraulică a ecluzei Agigea
a). - profil longitudinal
b). - secțiune transversală

Soluția propusă, are în vedere faptul amintit anterior că în acest caz apa dulce aflată în bieful amonte se găsește deasupra cotei nivelului mării din bieful aval. Deci, utilizând o ecluză de tip neconvențional cu dublu circuit hidraulic, există posibilitatea eliminării unui volum convenabil de apă sărată în bieful aval direct-gravitational, - folosind

astfel sarcina existentă între cele două biefuri. Acest mod de funcționare al unei ecluze neconvenționale elimină sistemele de pompare și bazinele subterane intermediare ale ecluzelor Mardyck respectiv Kreekrak (paragraful 1.4.2.1) și constituie unica soluție economică care utilizează avantajul existenței nivelului apei dulci deasupra nivelului celei sărate.

Ecluza Agigea (fig.1.14) constituie astfel un exemplu de aplicare a principiului de funcționare hidraulică descris anterior. Ecluza geamănă Agigea are următoarele dimensiuni : $L_s = 315$ m , $B_s = 25$ m , $H_s = 6,4 \dots 8$ m , și $H_0 = 6,5 \dots 9,6$ m.

Modul de funcționare hidraulică este descris în fig.1.15.

La o asemenea ecluză conexiunile biefurilor la galerii vor fi : bieful amonte (de apă dulce) se pune în legătură cu galeriile din bazoaiere care deșează în sas la nivelul cotei aval, iar bieful aval (de apă sărată) se racordează la galeriile din radier.

Vom denumi acest mod de funcționare ca o umplere-golire concomitentă. Trebuie menționat faptul că acest sistem impune punerea în legătură a celor două biefuri prin intermediul circuitelor ecluzei (fig.1.15), care constituie de altfel elementul esențial în funcțio-

narea unei ecluze de tip neconvențional. De asemenea, este necesară o anumită coordonare în modurile de manevră a celor două sisteme de vane existente pe cele două circuite hidraulice, care impune o automatizare corespunzătoare.

• Soluția adoptată pentru ecluza Năvodari /28/

Ecluza Năvodari este amplasată pe Canalul Poarta Albă - Midia - Năvodari și reprezintă o ramificație a Canalului Dunăre - Marea Neagră (fig.1.13,1.16). Si în acest caz nivelul apei dulci din

canal se găsește mai sus ca nivelul apei sărate din mare (fig.1.16). Deci, formele de salinizare posibile sînt cele prezentate în paragraful 1.3.2., iar măsurile de apărare antisalină în paragraful 1.4.3. Rezultă și în acest caz necesitatea reducerii concentrației saline în sas la sfîrșitul perioadei de umplere, în anumite limite. Acest deziderat, în condițiile favorizante ale apei dulci situate de-asupra apei sărate, se poate obține foarte economic - fără soluțiile descrise în paragraful 1.4.2., extrem de costisitoare - prin evacuarea apei sărate din sas gravitațional, direct în bieful aval.

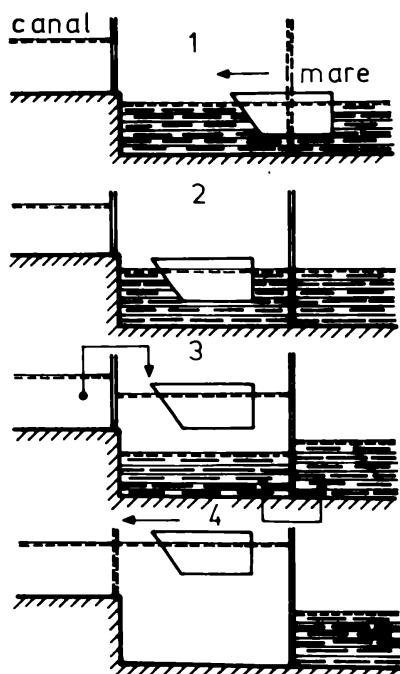


Fig.1.15 Principiul de funcționare al ecluzei Agigea

Ecluza Năvodari are următoarele dimensiuni : $L_s = 150 \text{ m}$, $B_s = 12,5 \text{ m}$, $H_s = 4,9 \dots 6,5 \text{ m}$ și $H_0 = 0,5 \dots 3,1 \text{ m}$ (fig. 1.17).

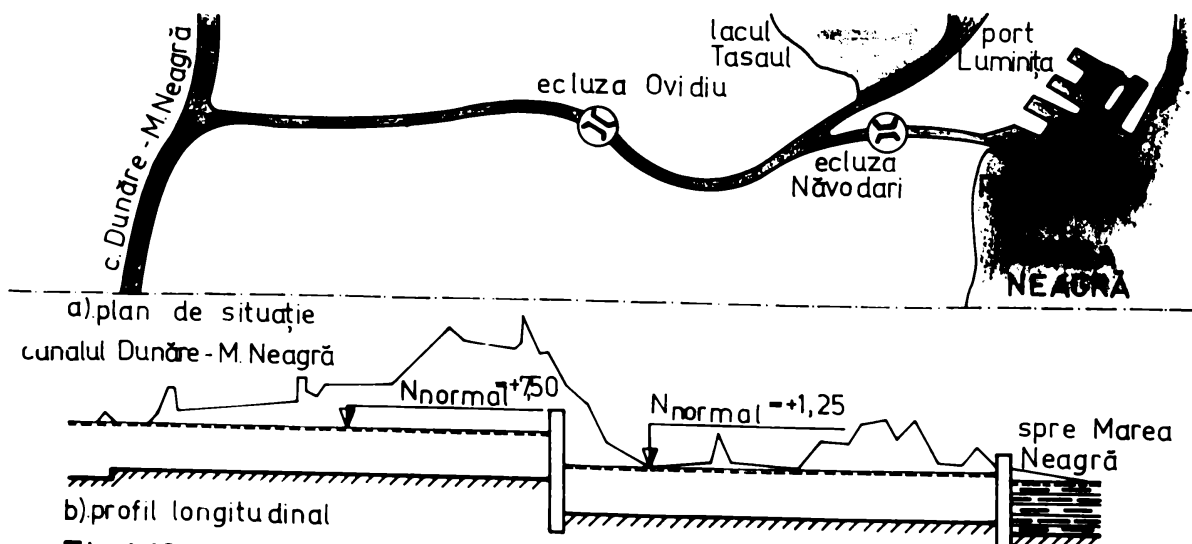


Fig.1.16 Canalul Poarta Albă - Midia - Năvodari.

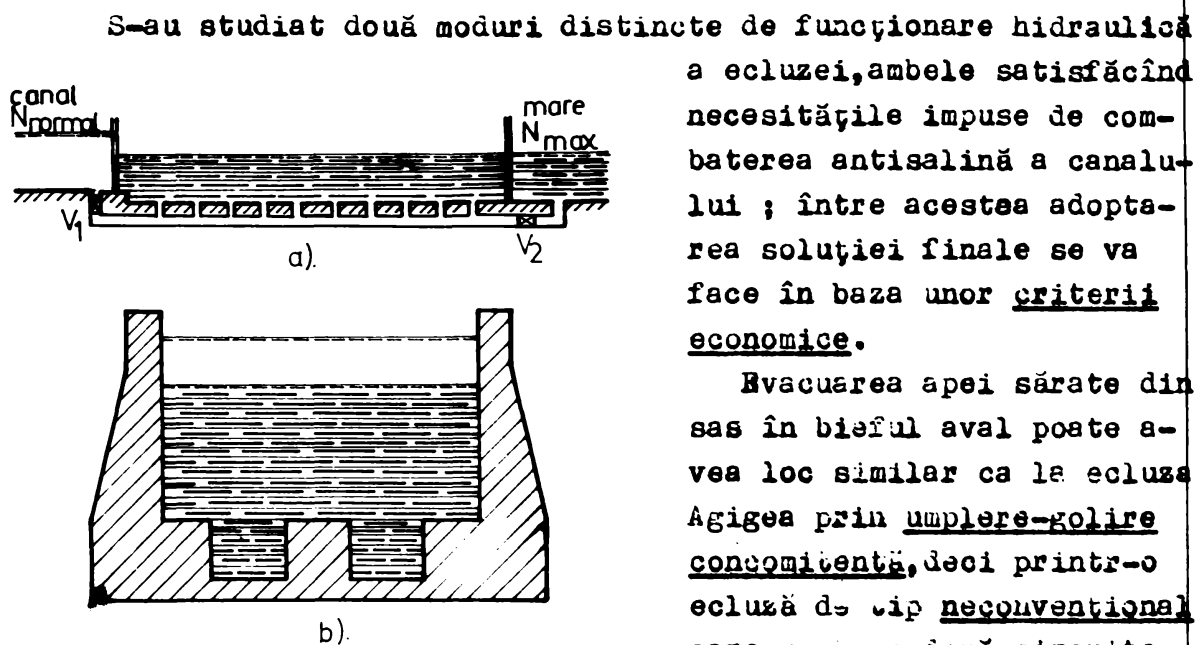


Fig.117 Schema hidraulică a ecluzei Năvodari.

- a). - profil longitudinal
b). - secțiune transversală

Evacuarea apei sărate din sas în bieful aval poate avea loc similar ca la ecluză Agigea prin umplere-golire concomitentă, deci printr-o ecluză de tip neconvențional care recreează două circuite hidraulice distincte, unul de apă dulce, respectiv celălalt de apă sărată. Modul de funcționare este identic (fig. 1.15).

Dar, față de situația analizată în cazul ecluzei Agigea, unde raportul dintre adâncimea de apă sărată din sas și adâncimea totală din ecluză era relativ mic, sub 0,5, în cazul ecluzei Năvodari acesta se amajorează la 0,8 și reclamă un timp de umplere relativ mare comparativ cu timpul de umplere realizat în cazul unei ecluze de tip clasic.

Desigur oă reducerea timpului total de umplere, nu poate avea loc, avînd în vedere necesitatea realizării în sas a unei salinități impuse de condițiile de apărare antisalină a canalului.

Pornind de la acest fapt, colectivul Catedrei de CHIF a propus o schemă originală de eliminare a apei sărate din sasul ecluzei, care nu va mai necesita un dublu circuit hidraulic /28/.

Această metodă, care așa cum am amintit este o metodă inedită, propune (fig. 1.18) următoarea schemă hidraulică de evacuare a apei sărate :

- umplerea normală a sasului care poate avea loc prin circuitul hidraulic din radier, sau chiar frontal avînd în vedere căderea mică a ecluzei. Deci în mod deliberat se acceptă un regim turbulent de mișcare, a cărui rezultat va fi un amestec total al apei sărate de înălțime H_2 cu un volum de apă dulce de înălțime H_0 (fig. 1.18 oper. 1.2) ;

- după terminarea umplerii sasului, se va deschide poarta a-

monte concomitent cu vana circuitului de golire (fig.1.18,3) ;

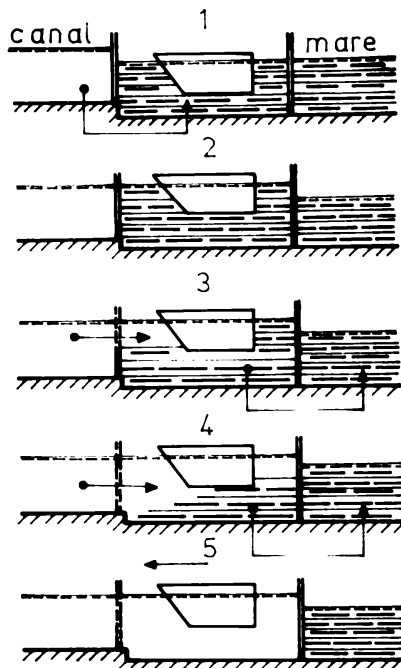


Fig.1.18 Principiul de funcționare al ecluzei Năvodari.

- după evacuarea volumului total rezultat în urma operației anterioare (fig. 1.18,4), se închide vana sistemului de golire, în sas rămânând apă dulce, și continuă operațiile obișnuite de ecluzare (fig.1.18,5).

Desigur că datorită regimului de mișcare turbulent, evacuarea unui volum de apă egal cu volumul sasului nu înseamnă evacuarea totală a volumului inițial de apă sărată. În funcție de necesitățile impuse de combaterea antisaliniă a canalului acest volum total evacuat poate fi majorat.

Metoda a fost denumită - umplere și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval /28/.

Este necesar de menționat că deși volumul de apă evacuat este mai mare ca în metoda umplerii-golirii concomitente, faptul că golirea se produce la o sarcină constantă, egală cu căderea H_0 (la umplerea-golirea concomitentă sarcina la care lucrează sistemul de golire fiind mai mică ca sarcina inițială) determină un timp total de umplere sensibil comparabil. Deci timpul de umplere total nu va constitui un criteriu de alegere a schemei hidraulice de funcționare în cazul ecluzelor neconvenționale de cădere mică. În această situație unicul criteriu va fi cel economic.

Din acest punct de vedere schema umplerii și evacuării ulterioară a apei sărate în bieful aval necesitând un singur circuit hidraulic se detașează net, realizând economii privind costul ecluzei între 15 % pînă la 40 % în funcție de anumite caracteristici constructive /95,99/.

Trebuie amintit că sistemul de umplere și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval, presupune punerea în legătură directă prin intermediul porții amonte deschise, a celor două biefuli cu lichide de densități diferite. Pentru a preveni pătrunderea apei sărate din sas în bieful amonte cu apă dulce (mod de salinizare b, paragraful 1.3.2), concomitent cu deschiderea porții amonte s-a prevăzut și deschiderea vanei care comandă sistemul de golire, realizând astfel un curent continuu de apă dulce din

bieful amonte înspre sas (fig.1.18,c).

1.5. Concluzii

Cele expuse în paragrafele anterioare permit următoarele concluzii :

- în mișcarea relativă a două lichide de densități diferite se pot defini, în funcție de mărimea zonei de amestec aflată la interfața de separație, trei regimuri caracteristice de mișcare care prin analogie se pot denumi : regimul laminar, tranzitoriu și turbulent de mișcare ;

- pentru delimitarea acestor regimuri se poate introduce criteriul vitezei limite relative (rel.1.5" și 1.6) ;

- fenomenul de salinizare al apelor se produce cu diferite intensități în dreptul zonelor litorale mărilor și oceanelor ;

- mecanismul salinizării canalelor ecluzate diferă ; mai pregnant în cazul canalelor situate sub cota nivelului mării și de o intensitate mai redusă în cazul canalelor aflate deasupra nivelului mării (cazul litoralului românesc) ;

- există preocupări deosebite (mai ales în ultimele decenii) de combatere și prevenire a salinizării apelor litorale în țările vest - europene ;

- nu există în prezent păreri unitare în ceea ce privește fixarea limitelor admisibile ale salinității unui canal în funcție de folosințele preconizate ale apei canalului ;

- măsurile preconizate pentru ecluzele vechi de tip convențional, deși costisitoare, nu au dat rezultate și din această cauză au apărut pentru prima dată ecluze de tip neconvențional cu dublu circuit hidraulic, Mardyck și Kreekrak ;

- toate ecluzele de tip neconvențional elaborate în vestul Europei, rezolvă apărarea antisalină a unui canal situat sub cota nivelului mării ;

- ecluzele de tip neconvențional constituie unicul mijloc de apărare antisalină și în cazul canalelor aflate deasupra nivelului mării, dar ele trebuie adaptate situației favorabile create de acest fapt ;

- adoptarea unei ecluze neconvenționale cu evacuare gravitațională directă a apei sărate în bieful aval, pentru ecluza Agigea de pe canalul Dunăre - Marea Neagră, reprezintă o soluție originală. Până în prezent această soluție nu a fost aplicată la canalele situate deasupra nivelului mării ;

- se elimină astfel stațiile de pompare și bazinele subterane

intermediare de înmagazinare a apei sărate evacuate din sasul ecluzei ;

- s-a definit schema de funcționare a unei ecluze de acest tip sub denumirea de umplere-golire concomitentă ;

- s-a propus, o nouă schemă originală de evacuare a apei sărate în bieful aval în cazul ecluzelor de cădere mică (cu aplicație la ecluza Năvodari de pe canalul Poarta Albă - Midia - Năvodari). Modul de funcționare propus satisface criteriile de ordin economic, fiind necesar un singur circuit hidraulic ;

- s-a definit această schemă de funcționare, ca umplere și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval.

1.6. Necesitatea studiilor și cercetărilor asupra ecluzelor neconvenționale

Dacă pentru ecluzele neconvenționale de tip Mardyck, aplicate pe litoralul vest-european, unde canalele navigabile se află sub cota generală a nivelului mării, s-au întreprins o serie de studii și cercetări atât în laboratoare cât și la scară naturală /8,51,65, 117,124/, aplicarea acestora în situația favorabilă din țara noastră, unde canalele navigabile sînt situate deasupra nivelului mării, implică o serie de studii și cercetări necesare bunei lor funcționări avîndu-se în vedere originalitatea metodei de combatere antisalină a acestor canale.

Astfel se impune elaborarea unei metodologii de investigare a mecanismului protecției antisaline realizată prin ecluzele de tip neconvențional care să satisfacă condiția ca salinitatea maximă atinsă în canal să nu depășească valoarea limită determinată de folosințele complexe ale canalului. În cadrul metodologiei va fi necesară precizarea unor metode de evaluare a concentrației saline atinsă în canalul navigabil funcție de timp prin numărul ecluzărilor, dependentă de concentrația salină realizabilă în sasul ecluzei neconvenționale după operațiile de ecluzare. De asemenea va fi necesară studierea distribuției salinității în profilul longitudinal al canalului cu implicații probabile asupra salinității limite admise în canal. Salinitatea realizată în sasul ecluzei la sfîrșitul operațiilor de ecluzare, va trebui să constituie un criteriu de definire a regimului hidraulic de funcționare al ecluzelor neconvenționale.

În cazul ecluzelor neconvenționale cu dublu circuit hidraulic care funcționează după principiul umplerii-golirii concomitente vor fi necesare studii privind calculul hidraulic al acestora care va fi diferit de calculul unei ecluze clasice. Sînt de asemenea necesare definirea unor condiții determinate atât de obținerea unei

anumite salinități în sas cât și cele impuse de operațiile obișnuite ale ecluzării, și influența lor asupra regimului hidraulic al ecluzei neconvenționale. Realizarea condițiilor de staționare a navelor atât în sasul ecluzei cât și în porturile de așteptare în procesul ecluzării, constituie un alt criteriu care poate fi determinant asupra regimului hidraulic al ecluzei neconvenționale. Va fi necesară și precizarea regimului de mișcare (laminar sau tranzitoriu) relativă a celor două lichide de densități diferite luând în considerare condiții economice impuse de realizarea unei anumite capacități de trafic al ecluzei în funcție de traficul preconizat al canalului.

Pentru ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic care funcționează după principiul umplerii și evacuării ulterioare a apei sărate în bieful aval vor fi necesare : elaborarea unei metode de calcul hidraulic a unor asemenea ecluze, stabilirea unor condiții impuse de necesitatea realizării unei anumite salinități în sas, verificarea condițiilor de staționare a navelor și precizarea regimului de mișcare relativă a lichidelor de densități diferite. Deoarece acest tip de ecluză neconvențională elimină complet circuitul independent de apă dulce, dar evacuează un volum de apă mai mare ca ecluzele cu dublu circuit hidraulic, va fi necesară stabilirea unui criteriu de alegere a tipului de ecluză neconvențională (eventual căderea poate constitui un astfel de criteriu) pe baze economice.

Pentru ambele tipuri de ecluze neconvenționale sînt necesare studii și cercetări experimentale de laborator pe modele hidraulice avînd drept scop : verificarea mărimilor hidraulice corespunzătoare regimurilor hidraulice precizate ; examinarea funcționării sistemului de alimentare cu apă dulce și a sistemului de evacuare a apei sărate, pentru realizarea regimului de mișcare relativă a lichidelor cu densități diferite, participante în procesul umplerii-golirii concomitente a ecluzelor cu dublu circuit hidraulic ; determinarea concentrației saline realizate în sas în urma proceselor de ecluzare la diferite regimuri hidraulice de funcționare ; verificarea condițiilor de staționare ale navelor în sas ; concordanța dintre rezultatele obținute pe cale teoretică și cele experimentale.

C a p i t o l u l 2

STUDIUL PROTECȚIEI ANTISALINE A CANALELOR DE NAVIGAȚIE
REALIZATA PRIN ECLUZE DE TIP NECONVENTIONAL2.1. Considerații inițiale

Așa cum s-a arătat (paragraful 1.4), măsura cea mai indicată de protecție antisalină a canalelor de navigație este reducerea salinității apei din sasul ecluzei /22,28,46,48,117,124/ cu ajutorul unor ecluze neconvenționale. Acestea pot avea dublu circuit hidraulic (fig.1.15) sau un singur circuit hidraulic (fig.1.18). În ambele situații, apa sărată aflată în sas este evacuată în bieful aval^{*} fie prin pompare (cu sau fără bazin intermediar subteran de golire, paragraful 1.4.2) cazul canalelor de navigație aflate sub cota nivelului mării, fie direct gravitațional (paragraful 1.4.3) la cele situate deasupra cotei nivelului mării. Deci, singura modalitate de pătrundere a apei salmastre în canal (fig.1.4, a și 1.5, a), va avea loc în procesul operațiilor de ecluzare la intrarea navei (respectiv a convoiului de nave) din bieful amonte în sasul ecluzei. Astfel periodic, vor fi refulate în canal cantități de apă salmastră de volum egal cu deplasamentul navei D și de o anumită concentrație salină medie c_s (unde indicele "s" se referă la sasul ecluzei), care vor determina majorarea concentrației saline a canalului de navigație.

Dacă (din considerente legate de folosințele complexe preconizate), se impune ca în canal salinitatea să nu depășească o anumită valoare admisă (paragraful 1.4.1) :

$$c_{c.max} \leq c_{c.admis} \quad (2.1)$$

(indicele "c" se referă la canal), atunci este necesară introducerea unor restricții și pentru concentrația salină realizată în sasul ecluzei în urma operațiilor de umplere și evacuare a apei sărate în bieful aval :

$$c_{s.max} \leq c_{s.admis} \quad (2.2)$$

* vom denumi bieful de apă sărată - bief aval iar cel cu apă dulce - bief amonte, indiferent de poziția relativă a nivelurilor din canal, respectiv din mare. În cele ce urmează figurile explicative se vor referi la canalele de navigație situate deasupra nivelului mării (cazul litoralului românesc) dar, rezultatele obținute, relațiile de calcul deduse și concluziile sînt valabile și pentru canalele situate sub cota nivelului mării (situația litoralului vest - european).

Se introduce astfel noțiunea de salinitate medie admisă în sasul ecluzei care de fapt definește regimul hidraulic de funcționare al unei ecluze neconvenționale. Mărimea salinității medii realizabile în sas, va depinde prin regimul hidraulic de funcționare de concentrația salină inițială în canal c_c respectiv în sas \bar{c}_s și de-

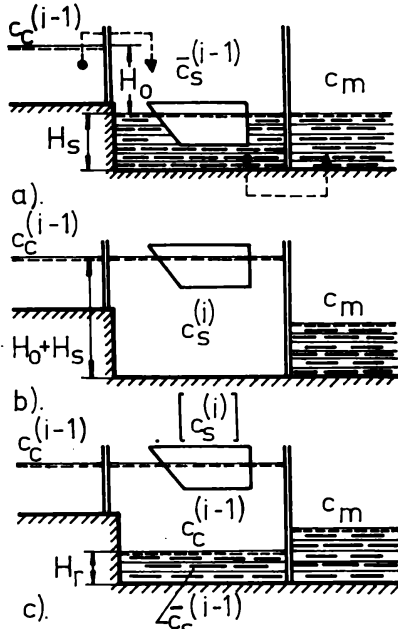


Fig. 2.1 Umplerea sasului în ecluzarea „i”
 a) situația inițială
 b) situația finală
 c) schema de calcul

sigur va fi o funcție de timp (fig. 2.1). Astfel după fiecare ecluzare toate aceste mărimi vor suferi transformări succesive care vor determina modificări corespunzătoare ale salinității din canal.

Pentru a analiza variația concentrației saline din canal, care va trebui să satisfacă permanent condiția 2.1, va fi necesar un studiu asupra dependenței mărimilor \bar{c}_s și c_s de numărul ecluzărilor. Este evident faptul că relația 2.2 va fi o funcție implicită a condiției 2.1.

2.2. Studiul variației concentrației saline inițiale din sasul ecluzei în perioada operațiilor de ecluzare

Concentrația salină inițială a apei aflate în sasul ecluzei (notată cu \bar{c}_s) la începutul operației de umplere-golire respectiv umplere-evacuare va fi mereu alta în funcție de „i” numărul ecluzărilor. Astfel pentru $i = 0$, deci la începutul ecluzării de ordinul 1, ea va fi $\bar{c}_s^0 = c_m$ (unde prin c_m s-a notat concentrația salină a apei de mare) (fig. 2.2 operația 1). În continuare ea va înregistra o valoare minimă, urmînd ca pentru ecluzarea de ordinul n cînd în canal se atinge o anumită valoare limită de exemplu $c_{c.admis}$, să tindă asimptotic spre o valoare maximă $\bar{c}_s^{(n)} = \bar{c}_{s.max}$.

Este evident faptul că :

$$\bar{c}_{s.max} < c_m \quad (2.3)$$

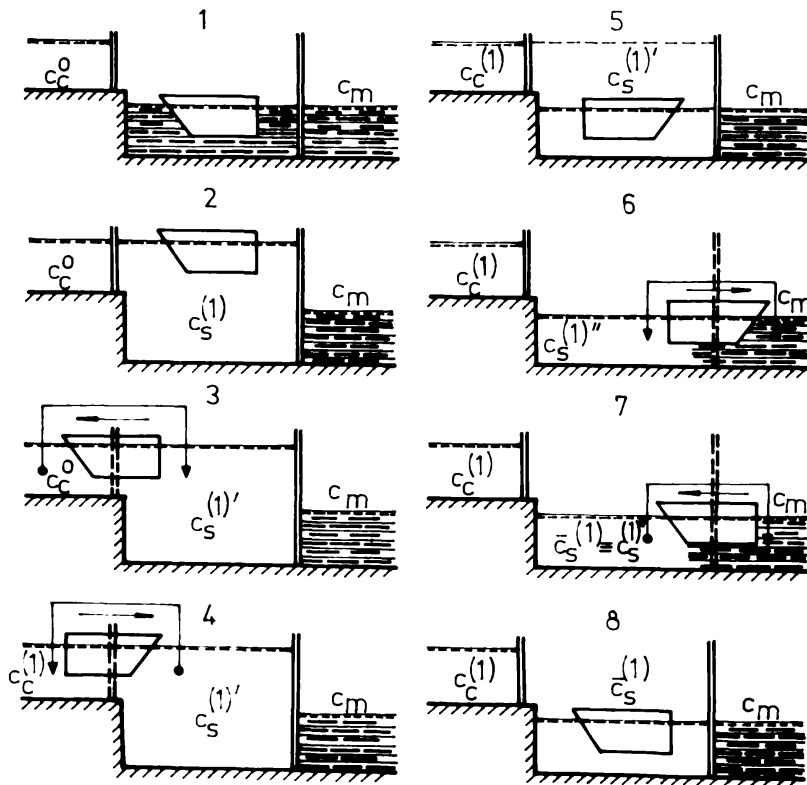
Pentru a determina variația salinității inițiale din sasul ecluzei în procesul operațiilor de ecluzare utilizăm schema din fig. 2.2. Se observă că datorită manevrelor efectuate de nave la ieșirea din sas (operațiile 3 respectiv 5) aceasta suferă transformări succesive de la $c_s^{(i)}$ la $\bar{c}_s^{(i)}$, astfel :

- în urma operației 3 (fig. 2.2) salinitatea din sas va fi :

$$c_S^{(1)'} = \frac{[A(H_S + H_O) - D] c_S^{(1)} + D c_C^0}{A(H_S + H_O)} \quad (2.4)$$

unde : A - secțiunea orizontală a ecluzei ;
 c_C^0 - salinitatea inițială a apei canalului ;
 $c_S^{(1)}$ - salinitatea rezultată în sasul ecluzei în urma primei operații de umplere-golire (care satisface condiția 2.2) ;

dacă notăm :



$$\frac{D}{A(H_S + H_O)} = d_0 \quad (2.5)$$

relația 2.4 se transformă în :

$$c_S^{(1)'} = (1 - d_0) c_S^{(1)} + d_0 c_C^0 \quad (2.4')$$

- iar în urma operației 5 (fig.2.2) va rezulta :

Fig. 2.2 Transformările succesive ale salinității inițiale din sas pe perioada unei ecluzări complete $i=1$

$$c_S^{(1)''} = \bar{c}_S^{(1)} = \frac{(A \cdot H_S - D) c_S^{(1)'} + D c_m}{A \cdot H_S} \quad (2.6)$$

și cu :

$$\frac{D}{A \cdot H_S} = d_S \quad (2.7)$$

obținem :

$$\bar{c}_S^{(1)} = (1 - d_S) c_S^{(1)'} + d_S c_m \quad (2.6')$$

sau folosind relația (2.4') :

$$\bar{c}_S^{(1)} = d_S \cdot c_m - d_0(1 - d_S)(c_S^{(1)} - c_C^0) + c_S^{(1)}(1 - d_S) \quad (2.8)$$

iar în general pentru o ecluzare de ordinul "i" :

$$\bar{c}_s^{(i)} = d_s \cdot c_m - d_o(1 - d_s)(c_s^{(i)} - c_c^{i-1}) + c_s^{(i)}(1 - d_s) \quad (2.9)$$

relație care permite evaluarea salinității inițiale din sasul ecluzei la începutul fiecărui ciclu de umplere-golire și ecluzare (fig. 2.2, faza 8).

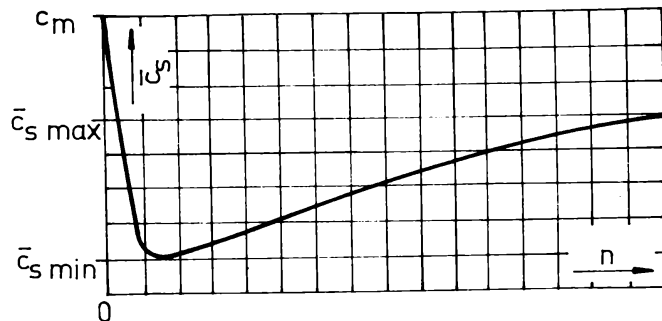


Fig. 2.3 Variația salinității inițiale în sasul ecluzei în funcție de numărul ecluzărilor.

Variația salinității inițiale din sasul ecluzei va fi ca în fig. 2.3. Se poate aprecia valoarea maximă posibilă a acesteia, dacă considerăm că la ecluzarea de ordinul "n", salinitățile din canal și ecluză ating mărimile limită impuse de rel. 2.1 respectiv 2.2 :

$$c_c^{(n)} = c_{c.admis} \quad \text{și} \quad c_s^{(n)} = c_{s.admis}$$

se obține :

$$\bar{c}_{s.max} = \bar{c}_s^{(n)} = d_s c_m - d_o(1 - d_s)(c_{s.admis} - c_{c.admis}) + c_{s.admis}(1 - d_s) \quad (2.10)$$

sau :

$$\bar{c}_{s.max} = d_s \cdot c_m + c_{s.admis}(1 - d_s)(1 - d_o) + d_o(1 - d_s)c_{c.admis} \quad (2.10')$$

care satisface condiția 2.3.

2.3. Criterii de evaluare a concentrației saline admisibile în sasul ecluzei în urma evacuării apei sărate în bieful aval printr-un procedeu oarecare

Realizarea unei anumite salinități c_s în procesul funcționării hidraulice a unei ecluze neconvenționale are implicații directe asupra timpului total de umplere-golire realizat, respectiv asupra capacității de trafic a ecluzei. Este de remarcat faptul că regimul laminar de acces al apei dulci în procesul umplerii-golirii concomitente și evacuarea întregului volum de apă sărată din sas în bieful aval, care ar elimina cel puțin teoretic posibilitatea existenței unui volum cât de mic de apă sărată în sas după încheierea procesului, devine inacceptabil prin prelungirea exagerată a timpului total de umplere respectiv reducerea substanțială a capacității de trafic al ecluzei. Jum însuși principiul de funcționare a unei astfel de ecluze neconvenționale exclude regimul turbulent sîntem nevoiți să acceptăm

soluția regimului tranzitoriu.

Această situație se constată și în varianta de umplere și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval, unde s-a impus ca unic regim posibil de funcționare, regimul turbulent; evacuarea completă a apei salmastre impune evacuarea unui volum total de apă exagerat de mare cu aceleași implicații asupra timpului total de umplere.

Aceste considerente, impun admiterea unei anumite salinități a apei din sasul ecluzei la terminarea ciclului de umplere-golire respectiv umplere- evacuare, salinitate care conform celor expuse mai înainte se va propaga în canal.

Considerăm o ecluzare de ordinul "i". În urma procesului de evacuare a apei sărate în bieful aval și umplere a sasului se realizează o concentrație salină $c_s^{(i)}$ (fig.2.1,b). La realizarea acesteia, la începutul procesului de umplere-golire salinitățile vor fi: în canal $c_c^{(i-1)}$ iar în sas $\bar{c}_s^{(i-1)}$ (fig.2.1,a). Schema echivalentă a procesului de realizare a salinității $c_s^{(i)}$ (fig.2.1,c) presupune existența în sasul ecluzei a unui volum de apă remanent de salinitate $\bar{c}_s^{(i-1)}$ și adâncime H_r . Vom defini această adâncime ca adâncime remanentă.

Se poate evalua mărimea $c_s^{(i)}$:

$$c_s^{(i)} [A(H_s + H_o) - D] = \bar{c}_s^{(i-1)} \cdot A \cdot H_r + c_c^{(i-1)} [A(H_s + H_o - H_r) - D] \quad (2.11)$$

cu notațiile anterioare, și cu:

$$\frac{H_r}{H_s + H_o} = h_r \quad (2.12)$$

unde: h_r - adâncimea remanentă relativă, se obține:

$$c_s^{(i)} = \frac{h_r (\bar{c}_s^{(i-1)} - c_c^{(i-1)})}{1 - d_o} + c_c^{(i-1)} \quad (2.13)$$

Pentru $i = 1$ (fig.2.2) $\bar{c}_s^0 \equiv c_m$ și c_c^0 salinitatea inițială a apei canalului, relația 2.13 se transformă în:

$$c_s^{(1)} = \frac{h_r (c_m - c_c^0)}{1 - d_o} + c_c^0 \quad (2.13')$$

iar pentru $i = n$ când în canal se atinge $c_{c.admis}$ iar salinitatea inițială în sas atinge valoarea maximă definită prin relația (2.10') obținem:

$$c_s^{(n)} = \frac{h_r(\bar{c}_{s,max} - c_{c,admis})}{1 - d_0} + c_{c,admis} \quad (2.13'')$$

Toate valorile rezultate de la $i = 1, 2, \dots, n$, trebuie să satisfacă condiția 2.2.

Observație : dacă în procesul de umplere-golire de ordinul i (ecluzarea i), prin regimul de funcționare hidraulică a ecluzei neconvenționale, participă o anumită cantitate de apă din canal de salinitate c_c^0 , împreună cu cantitatea de apă aflată în sas la nivelul biefului aval de salinitate inițială egală cu cea a mării c_m , rezultatul fiind $c_s^{(1)} \leq c_{s,admis}$, atunci la un proces oarecare de umplere-golire de ordinul " i ", vor participa aceleași cantități de apă dar de salinități diferite. Astfel în canal salinitatea va fi $c_c^{(i-1)} > c_c^0$ iar salinitatea inițială a apei din sas $\bar{c}_s^{i-1} < c_m$, rezultatul fiind $c_s^{(i)} \leq c_{s,admis}$. Ipoteza utilizării unor aceleași cantități de apă din canal în fiecare din procesele de umplere-golire este absolut obligatorie fiind impusă de cerințele funcționării automatizate a echipamentelor ecluzei în condiții de securitate. În concluzie, deducem că pentru toate procesele de umplere-golire, adâncimea remanentă va fi mereu aceeași, deși volumul de apă corespunzător va fi de salinități diferite. Deci :

$$H_r = \text{constant}, \text{ respectiv } h_r = \text{constant} \quad (2.14)$$

Presupunând ca operație de referință prima ecluzare, când salinitatea inițială în sas este c_m , și $c_s^{(1)} = c_{s,admis}$, va rezulta :

$$h_r = \frac{c_{s,admis} - c_c^0}{c_m - c_c^0} (1 - d_0) = \text{constant} \quad (2.15)$$

Admițînd condiția 2.14, cu adâncimea remanentă relativă definită prin relația 2.15, și utilizînd cele deduse anterior, se poate determina mărimea salinității admise, realizată în sasul ecluzei în procesul evacuării apei sărate în bieful aval.

Considerăm ecluzarea de ordinul " n " (rel. 2.13''). Admitem satisfacerea condiției 2.2 la limită, rezultă :

$$c_s^{(n)} = c_{s,admis} = \frac{h_r(\bar{c}_{s,max} - c_{c,admis})}{1 - d_0} + c_{c,admis}$$

Înlocuind h_r din relația 2.15 și $\bar{c}_{s,max}$ din relația (2.10') se obține o ecuație de gradul doi în $c_{s,admis}$ de forma :

$$c_{s,admis}^2 - A c_{s,admis} + B = 0 \quad (2.16)$$

cu coeficienții A și B definiți prin :

$$A = c_c^0 \left[1 + \frac{1}{(1-d_o)(1-d_s)} \right] + \frac{c_m}{1-d_o} + c_{c.admis} \frac{1-d_o(1-d_s)}{(1-d_o)(1-d_s)} \quad (2.17)$$

$$B = \frac{c_{c.admis} \cdot c_m - c_c^0 [d_s c_m + d_o(1-d_s) c_{c.admis}]}{(1-d_o)(1-d_s)} \quad (2.18)$$

Rezolvînd ecuația 2.16 se obține mărimea $c_{s.admis}$ în funcție de condițiile inițiale impuse (c_c^0 , c_m și $c_{c.admis}$) și de caracteristicile geometrice ale ecluzei respectiv deplasamentul convoiului de calcul. Adoptînd această mărime, de fapt se definește regimul hidraulic de funcționare al ecluzei neconvenționale. Aplicînd regimul hidraulic rezultat, salinitatea realizabilă în sasul ecluzei nu va fi constantă în toate procesele de ecluzare, începînd cu $i = 1$ și sfîrșind cu $i = n$ cînd în canal se atinge $c_{c.admis}$. Valorile acestei salinități se pot determina cu relația generală 2.13 ; maximele $c_s = c_{s.admis}$ atingîndu-se pentru procesele de ecluzare limită $i=1$ respectiv $i = n$. Distribuția $c_s = f(i)$ va fi ca în figura 2.12.

2.3.1. O metodă expeditivă de evaluare a salinității admise în sasul ecluzei neconvenționale

Relația 2.16 nu permite o rezolvare directă din cauza complexității coeficienților conținuți. Salinitatea admisă nu poate fi determinată decît numeric pentru cazuri concrete de calcul. Pentru a stabili o formulă de calcul care să permită și o interpretare generală, admitem cîteva simplificări care nu vor afecta exactitatea calculului decît în proporție de 3 - 5 %.

Astfel, dacă în relația 2.16 admitem ipoteza că termenul cu semnul minus (fiind foarte mic) se poate neglija, de fapt se supra-evaluează valoarea maximă a salinității inițiale din sas (favorabil din punct de vedere al siguranței calculului) :

$$d_o(1-d_s)(c_{s.admis} - c_{c.admis}) \approx 0 \quad (2.19)$$

obținem :

$$\bar{c}_{s.max} = d_s \cdot c_m + (1-d_s) c_{s.admis} \quad (2.10'')$$

și înlocuind relația 2.10'' în 2.13, ecuația 2.16 se transformă :

$$(1-d_s)c_{s.admis}^2 - [c_m(1-d_s) + c_{c.admis} - d_s c_c^0] c_{s.admis} + c_m(c_{c.admis} - c_c^0 \cdot d_s) = 0 \quad (2.16')$$

În continuare neglijînd termenul $d_s \cdot c_c^0$ ca fiind foarte mic comparativ cu ceilalți, se obține o ecuație simplă :

$$(1 - d_s)c_{s.admis}^2 - [c_m(1 - d_s) + c_{c.admis}]c_{s.admis} + c_m c_{c.admis} = 0 \quad (2.16'')$$

cu soluția convenabilă :

$$c_{s.admis} = \frac{c_{c.admis}}{1 - d_s} \quad (2.20)$$

rezultă o relație deosebit de simplă pentru evaluarea expeditivă a salinității admise.

Deoarece : $1 - d_s < 1$ se observă că :

$$c_{s.admis} > c_{c.admis} \quad (2.21)$$

Se deduce astfel posibilitatea aditerii în sas a unei concentrații saline realizabilă la sfârșitul operației de umplere, mai mari ca și concentrația admisibilă în canal. Acest rezultat va avea o influență favorabilă asupra regimului hidraulic de funcționare al ecluzei, respectiv asupra timpului total de ecluzare.

2.4. Studiul variației salinității apei unui canal navigabil protejat antisalin prin ecluze de tip neconvențional

Funcționarea hidraulică a unei ecluze neconvenționale permite reducerea salinității apei din sasul ecluzei la valori care satisfac condiția 2.2. Valoarea salinității admise în sasul ecluzei este definită prin relația 2.16 sau prin relația aproximativă 2.20.

Așa cum s-a arătat, singura modalitate de salinizare a canalului rămâne cea indirectă /5,22,28,48/. Aceasta va avea loc în momentul pătrunderii navei (convoifului de vase), din bieful amonte în ecluză (fig.1.4, a și 1.5, a), când în canal va refula un volum de apă egal cu deplasamentul navei (provenit din sasul ecluzei) de salinitate c_s . Deci periodic, în procesul ecluzărilor, vor fi refulate în canal cantități de apă salmastră, care contribuie la majorarea concentrației saline a apei canalului. Există posibilitatea ca după un număr "n" de ecluzări, în canal într-o anumită secțiune să se depășească limita admisibilă a salinității apei impuse de existența anumitor folosințe /28,48,124,137/ (relația 2.1). În acel moment va fi nevoie de o spălare generală a canalului, de exemplu printr-un curent continuu de apă dulce.

2.4.1. Dependența concentrației saline a apei canalului navigabil de numărul ecluzărilor

Pot fi enumerate următoarele condiții inițiale :

- canalul navigabil este de lungime finită egală cu L_c ;

• limita admisibilă a salinității canalului va fi $c_{c.admis}$ determinată de folosințele de apă preconizate ;

• regimul hidraulic de funcționare al ecluzei neconvenționale permite reducerea salinității apei din sas la valori care satisfac condiția 2.2 ;

• pătrunderea apei salmastre din sasul ecluzei în canal se va produce în exclusivitate prin modalitatea "a" (paragraful 1.3.2) ;

• în procesul funcționării hidraulice a ecluzei va participa un volum de apă din canal de concentrație salină determinată de ecluzările precedente. Acest volum de apă este constant (paragraful 2.3) ;

• ecluzarea se produce în dublu sens.

Față de aceste considerente inițiale se enunță următoarele două ipoteze :

1° - regimul de propagare a apei salmastre în canal, se va desfășura în regim turbulent datorită circulației permanente a navelor în lungul canalului, care determină viteze de întoarcere apreciabile /18/ față de limitele impuse (relațiile 1.6 și 1.5"). Amestecul de apă dulce cu apă salmastră va fi total și va afecta canalul navigabil în totalitate, sau o anumită lungime de canal bine determinată ;

2° - canalul navigabil nu este (este) alimentat permanent cu apă dulce provenită dintr-o sursă oarecare.

2.4.1.1. Ipoteza unui canal navigabil care nu este alimentat permanent cu un debit de apă dulce

Admitem situația ecluzării de ordinul "i" (fig.2.4). La sfârșitul operațiilor de umplere a sasului (și evacuare a apei sărate

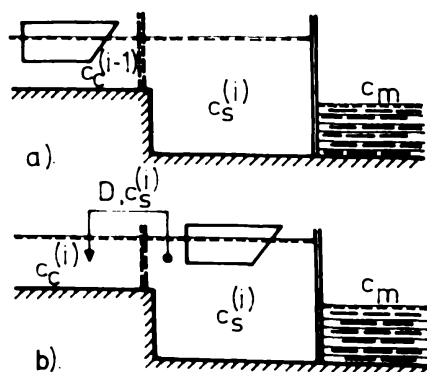


Fig. 2.4 Refularea apei salmastre din ecluză în canal

în bieful aval), în sas se înregistrează o salinitate egală cu $c_s^{(i)}$, iar în canal apa va avea o concentrație salină egală cu $c_c^{(i-1)}$ (fig.2.4,a). După pătrunderea unei nave de deplasament D din bieful amonte în sasul ecluzei (fig.2.4,b) prin refularea din sas în canal a volumului de apă (egal cu deplasamentul vasului) de salinitate $c_s^{(i)}$ în canal se va atinge o concentrație salină egală cu $c_c^{(i)}$.

Pentru a determina salinitatea $c_c^{(i)}$ admitem că în procesul salinizării

participă un volum de apă din canal egal cu V :

$$c_c^{(i)} = \frac{(V - D) c_c^{(i-1)} + D \cdot c_s^{(i)}}{V} \quad (2.22)$$

și dacă notăm :

$$\frac{D}{V} = d \quad (2.23)$$

se obține :

$$c_c^{(i)} = d c_s^{(i)} + (1 - d) c_c^{i-1} \quad (2.24)$$

relație care permite evaluarea salinității medii a canalului după ecluzarea de ordinul "i" în funcție de elementele cunoscute determinate de ecluzarea precedentă.

Pornind de la relația 2.24, se poate stabili o formulă de calcul general valabilă de determinare a salinității medii a canalului, după un anumit număr de ecluzări.

Astfel dacă $i = 1$, deci pentru prima ecluzare (fig. 2.2) relația 2.24 devine :

$$c_c^{(1)} = d c_s^{(1)} + (1 - d) c_c^0 \quad (2.24')$$

cu c_c^0 - salinitatea inițială a apei canalului, iar pentru $i = 2$, se obține :

$$c_c^{(2)} = d c_s^{(2)} + (1 - d) c_c^{(1)} \quad (2.24'')$$

sau înlocuind pe $c_c^{(1)}$ cu relația 2.24' rezultă :

$$c_c^{(2)} = d c_s^{(2)} + (1 - d) d c_s^{(1)} + (1 - d)^2 c_c^0 \quad (2.25)$$

cum în sas se realizează o salinitate care satisface condiția 2.2, unde $c_{s.admis}$ este definită prin ecuația 2.16 sau relația 2.20, putem adopta ipoteza acoperitoare :

$$c_s^{(i)} \equiv c_{s.admis} \quad (2.26)$$

pentru $i = 1, 2, \dots, n$.

Atunci relația 2.25 se transformă în :

$$c_c^{(2)} = d [1 + (1 - d)] c_{s.admis} + (1 - d)^2 c_c^0 \quad (2.25')$$

și în general :

$$c_c^{(i)} = d [1 + (1 - d) + (1 - d)^2 + \dots + (1 - d)^{i-1}] c_{s.admis} + (1 - d)^i c_c^0 \quad (2.27)$$

iar pentru o ecluzare de ordinul "n" :

$$c_c^{(n)} = d c_{s.admis} \sum_{i=1}^n (1 - d)^{i-1} + (1 - d)^n c_c^0$$

unde :

$$\sum_{i=1}^n (1 - d)^{i-1} = 1 + (1 - d) + (1 - d)^2 + \dots + (1 - d)^{n-1}$$

reprezinta suma primilor "n" termeni a unei progresii geometrice de rație $(1-d) < 1$ /144/.

$$\sum_{i=1}^n (1-d)^{i-1} = \frac{1 - (1-d)^n}{d} \quad (2.29)$$

și relația 2.28 se transformă în :

$$c_c^{(n)} = c_{s.admis} - (c_{s.admis} - c_c^0)(1-d)^n \quad (2.30)$$

relație care dă posibilitatea evaluării concentrației saline medii a unui canal navigabil în funcție de numărul ecluzărilor în cadrul ipotezelor acceptate.

Relația 2.30 satisface următoarele condiții limită :

- dacă $n = 0$, rezultă :

$$c_c^{(n=0)} = c_c^0$$

adică în canal se înregistrează salinitatea inițială ;

- dacă $n \rightarrow \infty$ se obține :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} c_c^{(n)} = c_{s.admis} \quad (2.31)$$

Deoarece am admis valabilitatea condiției 2.21 înseamnă că există posibilitatea ca în canal, după un anumit număr de ecluzări notat $n_{limită}$ să se atingă o salinitate egală cu $c_{c.admis}$ (fig.2.5)

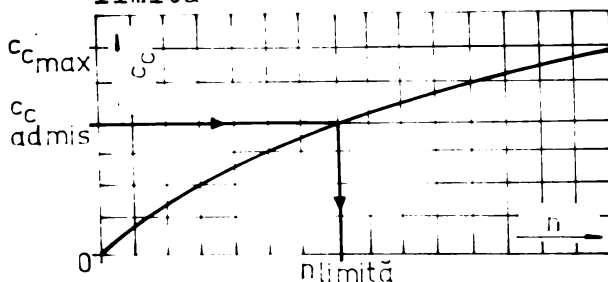


Fig.2.5 Dependența salinității medii din canal în funcție de numărul ecluzărilor în cadrul ipotezelor 2.4.1.1

Dacă în relația 2.30 admitem ca după un număr de ecluzări egal cu $n_{limită}$ se atinge :

$$c_c^{(n)} = c_{c.admis}$$

se obține :

$$n_{limită} = \frac{1}{\ln(1-d)} \cdot \ln \left[\frac{c_{s.admis} - c_{c.admis}}{c_{s.admis} - c_c^0} \right] \quad (2.32)$$

expresia 2.32 stabilește momentul când în canal se atinge concentrația salină admisă și deci în continuare va fi necesară o spălare generală a canalului.

2.4.1.2. ipoteza unui canal navigabil alimentat permanent cu un debit de apă dulce

De regulă, toate canalele navigabile tranzitează debite de

apă care provin din diferite surse. La canalele ecluzate, alimentarea permanentă cu apă devine obligatorie prin evacuarea periodică în bieful aval a unui volum de apă ΔV necesar procesului de ecluzare. În cazul ecluzelor neconvenționale acest volum de apă va fi mai mare ca la ecluzele clasice, avînd în vedere necesitatea evacuării unui anumit volum de apă sărată din sasul ecluzei în bieful aval.

Dacă la canalele situate sub cota nivelului mării unde se impune economisirea apei dulci aflată în deficit /56,117,118/, acest consum devine restrictiv dar totuși va fi absolut necesar ; la canalele situate deasupra nivelului mării există unele restricții dar în limite mult mai largi. Dacă luăm în considerare și faptul că un astfel de canal are folosințe multiple (de exemplu : hidroenergetică, irigații, alimentări cu apă industrială sau potabilă etc.), tranziția unui debit de apă în lungul canalului devine inerentă.

Astfel în canalul Dunăre - Marea Neagră, debitul mediu anual tranzitat este de $25 \text{ m}^3/\text{s}$ /22/. De asemenea canalul servește și la evacuarea viiturilor provenite prin descărcare din văile conexe canalului /26/. Din aceleași considerente pe tronsonul Ovidiu-Năvodari al canalului Poarta Albă - Mișia - Năvodari debitul mediu tranzitat se preconizează să fie de $67 \text{ m}^3/\text{s}$ /28/.

În concluzie, pentru studiul variației salinității unui canal navigabil, ipoteza existenței unui debit permanent de apă dulce tranzitat este reală ; aceasta va avea influențe deosebit de favorabile asupra reducerii intensității salinizării canalului și concomitent asupra regimurilor de funcționare hidraulică al ecluzei de tip neconvențional.

Pentru a analiza influența aportului de apă dulce a canalului asupra procesului de salinizare, vom lua în considerare doar un volum ΔV egal cu volumul evacuat în procesul funcționării ecluzei neconvenționale. Admiterea funcționării identice a ecluzei în toate procesele de ecluzare (paragraful 2.3) impune :

$$\Delta V_i = \Delta V = \text{constant} \quad (2.33)$$

pentru $i = 1, 2, \dots, n$.

Desigur că existența unor folosințe consumatoare de apă care determină volume tranzitate mai mari ca mărimea impusă ΔV , va fi și mai favorabilă.

Considerăm momentul final al ecluzării de ordinul "i". Așa cum s-a arătat mai sus, în acest moment în canal se înregistrează o concentrație salină medie notată cu $c_0^{(i)}$ (fig. 2.3, b). În procesul ecluzării următoare se va consuma un volum de apă din canal egal cu ΔV

și de salinitate $c_c^{(i)}$. În canal va pătrunde astfel o cantitate egală de apă dar, de salinitate corespunzătoare salinității inițiale a apei canalului c_c^0 . Aportul volumului de apă dulce va determina reducerea corespunzătoare a salinității medii a canalului $\bar{c}_c^{(i)}$ la mărimea $\bar{c}_c^{(i)}$ (fig.2.6).

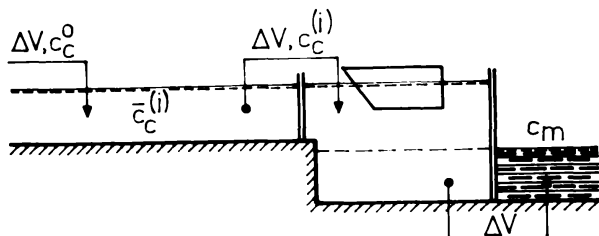


Fig. 2.6 Consumurile de apă în ecluzarea „i+1”

Deci :

$$\bar{c}_c^{(i)} = \frac{(V - \Delta V)c_c^{(i)} + \Delta V c_c^0}{V} \quad (2.34)$$

și dacă notăm :

$$\frac{\Delta V}{V} = v \quad (2.35)$$

relația 2.34 se transformă în :

$$\bar{c}_c^{(i)} = (1 - v) c_c^{(i)} + v c_c^0 \quad (2.36)$$

Se obține astfel relația de calcul a salinității medii a canalului corectată prin aportul volumului de apă dulce tranzitat. În relația 2.36, salinitatea medie $\bar{c}_c^{(i)}$ se determină cu relația 2.24 cu observația că față de considerentele anterioare va fi necesară înlocuirea concentrației $c_c^{(i-1)}$ prin valoarea corectată $\bar{c}_c^{(i-1)}$:

$$c_c^{(i)} = d c_s^{(i)} + (1 - d) \bar{c}_c^{(i-1)} \quad (2.24''')$$

sau înlocuind în 2.36, obținem :

$$\bar{c}_c^{(i)} = (1 - v)d c_s^{(i)} + (1 - v)(1 - d) \bar{c}_c^{(i-1)} + v c_c^0 \quad (2.37)$$

relație care permite calculul salinității medii a canalului în ipotezele enunțate, în funcție de salinitatea precedentă.

Relația 2.37 permite deducerea unei formule de calcul în funcție de numărul ecluzărilor.

Acceptînd ipoteza definită de relația 2.26 se obține :

$$\bar{c}_c^{(i)} = (1 - v)d c_{s.admis} + (1 - v)(1 - d) \bar{c}_c^{(i-1)} + v c_c^0 \quad (2.37')$$

Urmărim același raționament (paragraful 2.4.1.1) :

- pentru $i = 1$, prima ecluzare :

$$\bar{c}_c^{(1)} = (1 - v)d c_{s.admis} + (1 - v)(1 - d) c_c^0 + v c_c^0 \quad (2.37'')$$

sau :

$$\bar{c}_c^{(1)} = (1 - v)d c_{s.admis} + [v + (1 - v)(1 - d)] c_c^0 \quad (2.37''')$$

- similar, dacă $i = 2$:

$$\bar{c}_c^{(2)} = (1-v)d c_{s.admis} + (1-v)(1-d) \bar{c}_c^{(1)} + v c_c^o \quad (2.38)$$

(unde înlocuim relația 2.37'' și obținem :

$$\begin{aligned} \bar{c}_c^{(2)} = & \left[(1-v) + (1-v)^2(1-d) \right] d c_{s.admis} + \\ & + \left[v + v(1-v)(1-d) + (1-v)^2(1-d)^2 \right] c_c^o \end{aligned} \quad (2.38')$$

- iar în general :

$$\begin{aligned} \bar{c}_c^{(i)} = & \left[(1-v) + (1-v)^2(1-d) + \dots + (1-v)^i(1-d)^{i-1} \right] d c_{s.admis} + \\ & + \left[v + v(1-v)(1-d) + \dots + v(1-v)^{i-1}(1-d)^{i-1} + (1-v)^i(1-d)^i \right] c_c^o \end{aligned} \quad (2.39)$$

- pentru o ecluzare de ordinul "n" :

$$\begin{aligned} \bar{c}_c^{(n)} = & d(1-v) c_{s.admis} \sum_{i=1}^n (1-v)^{i-1}(1-d)^{i-1} + \\ & + c_c^o \left[v \sum_{i=1}^n (1-v)^{i-1}(1-d)^{i-1} + (1-v)^n(1-d)^n \right] \end{aligned} \quad (2.40)$$

unde :

$$\sum_{i=1}^n (1-v)^{i-1}(1-d)^{i-1} = 1 + (1-v)(1-d) + \dots + (1-v)^{n-1}(1-d)^{n-1} \quad (2.41)$$

reprezintă suma primilor n termeni a unei progresii geometrice de rație $(1-v)(1-d) < 1$.

$$\sum_{i=1}^n (1-v)^{i-1}(1-d)^{i-1} = \frac{1 \cdot [1 - (1-v)^n(1-d)^n]}{1 - (1-v)(1-d)} \quad (2.42)$$

iar relația 2.40 se transformă în :

$$\begin{aligned} \bar{c}_c^{(n)} = & d(1-v) c_{s.admis} \frac{1 \cdot [1 - (1-v)^n(1-d)^n]}{1 - (1-v)(1-d)} + \\ & + c_c^o \left[v \cdot \frac{1 \cdot [1 - (1-v)^n(1-d)^n]}{1 - (1-v)(1-d)} + (1-v)^n(1-d)^n \right] \end{aligned} \quad (2.43)$$

sau dacă pentru simplificarea scrierii notăm :

$$(1-v)(1-d) = \delta \quad (2.44)$$

relația 2.43 devine :

$$\bar{c}_c^{(n)} = \frac{1 - \delta^n}{1 - \delta} \left[d(1-v) c_{s.admis} + v c_c^o \right] + \delta^n c_c^o \quad (2.45)$$

Se obține astfel o relație de calcul generală a salinității medii a unui canal navigabil în funcție de numărul ecluzărilor "n" luând în considerare și aportul de apă dulce al canalului (fig.2.7).

Se observă că relația 2.45 este o generalizare a relației 2.30. într-adevăr dacă admitem că $\Delta V = 0$, iar $v = 0$ și $\delta = 1-d$, relația 2.45 se transformă în :

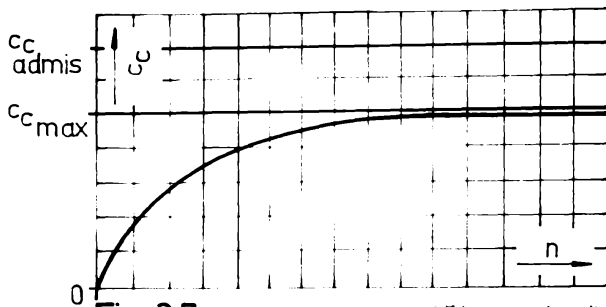


Fig. 2.7 Dependența salinității medii din canal în funcție de numărul ecluzărilor în cadrul ipotezelor 2.4.1.2

$$c_c^{(n)} = c_{s.admis} - (c_{s.admis} - c_c^0)(1-d)^n$$

adică tocmai 2.30.

Relația 2.45 satisface condițiile inițiale. Pentru $n = 0$, se obține :

$$\bar{c}_c^{(n=0)} = c_c^0$$

adică tocmai salinitatea inițială a canalului.

Sau dacă se consideră $\Delta V = V$ și $v = 1$ iar $\delta = 0$ rezultă logic că :

$$\bar{c}_c^{(n)} = c_c^0$$

în ipoteza limită că în procesul unei ecluzări apa canalului este înlocuită în totalitate cu apă dulce.

Limita superioară a mărimii $\bar{c}_c^{(n)}$ rezultă pentru $n \rightarrow \infty$ și $\delta^n \rightarrow 0$, deoarece $\delta < 1$:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \bar{c}_c^{(n)} = \bar{c}_{c.max} = \frac{1}{1-\delta} [d(1-v) c_{s.admis} + v c_c^0] \quad (2.46)$$

Valoarea maximă care se obține pentru concentrația salină a canalului (fig.2.7).

După cum se observă :

$$\bar{c}_{c.max} < c_{c.admis} \quad (2.47)$$

deci practic în canal nu se va atinge concentrația admisă, dacă $c_{s.admis}$ se determină cu 2.16 sau 2.20.

Dacă luăm în considerare alte criterii de evaluare a salinității admise în sasul ecluzei decât cele de la paragraful 2.3., atunci este posibil ca la un moment dat :

$$\bar{c}_{c.max} \geq c_{c.admis} \quad (2.48)$$

Pornind de la condiția 2.1 și 2.48 satisfăcute simultan, se obține o altă expresie de evaluare a salinității admise în sasul ecluzei notată cu $c_{s.admis}$.

Deci se va considera în 2.46 :

$$\bar{c}_{c.max} = c_{c.admis} = \frac{1}{1-\delta} [d(1-v) c_{s.admis} + v c_c^0] \quad (2.46')$$

de unde :

$$c_{s.admis} = \frac{(1-\delta) c_{c.admis} - v c_c^0}{d(1-v)} \quad (2.49)$$

Această relație va permite în cadrul ipotezelor enunțate, determinarea regimului de funcționare hidraulică al ecluzei neconvenționale. Dacă în relația 2.15 înlocuim $c_{s.admis}$ prin expresia 2.49, obținem :

$$h_r = \frac{c_{s.admis} - c_c^0}{c_m - c_c^0} (1 - d_o) \quad (2.15')$$

și,

$$h_r = \frac{(1-\delta)(1-d_o)}{d(1-v)} \cdot \frac{c_{c.admis} - c_c^0}{c_m - c_c^0} \quad (2.50)$$

Observații : existența unui debit de apă tranzitat permanent în lungul canalului, determină pentru o anumită valoare a salinității admise în sasul ecluzei, dedusă din alte considerente decât relația 2.49 (de exemplu $c_{s.admis}$ se calculează cu 2.16), un moment în care afluxul de apă dulce compensează sporul de salinitate provenit din sasul ecluzei și în canal salinitatea medie se stabilizează la valoarea corespunzătoare relației 2.46 (pentru un număr de ecluzări "n" tinzând cel puțin teoretic la infinit). Ipoteza enunțată mai sus fiind perfect valabilă, se deduce că alegând convenabil mărimea $c_{s.admis}$ (relația 2.49) în canal salinitatea medie se stabilizează la o valoare cel mult egală cu $c_{c.admis}$. Aplicarea relațiilor 2.49 și 2.50 determină un regim convenabil de funcționare hidraulică al ecluzei neconvenționale prin reducerea timpului total de umplere și deci sporirea capacității de trafic al ecluzei. Dacă se dorește îmbunătățirea în continuare a acestor parametri, atunci putem adopta o salinitate admisă în sasul ecluzei mai mare ca $c_{s.admis}$ definită de relația 2.49, dar atunci pentru un număr de ecluzări n limită în canal se atinge $c_{c.admis}$ similar ca la paragraful 2.4.1.1 se poate calcula numărul ecluzărilor limită pentru care este necesară o spălare generală a canalului :

$$n_{limită} = \frac{1}{\ln \delta} \ln \frac{d \cdot c_{s.max}(1-v) + v c_c^0 - (1-\delta) c_{c.admis}}{d \cdot c_{s.max}(1-v) + v c_c^0 - (1-\delta) c_c^0} \quad (2.51)$$

unde :

$$c_{s.max} > c_{s.admis} \quad (2.52)$$

și se obține de fapt o generalizare a relației 2.32.

2.5. Distribuția concentrației saline în profilul longitudinal al unui canal navigabil

În paragraful 2.4.1 s-a admis ipoteza privind participarea întregului volum de apă a canalului la amestecul cu apa salmastră provenită din sasul ecluzei. Toate relațiile de calcul stabilite în acest capitol se bazează pe această ipoteză.

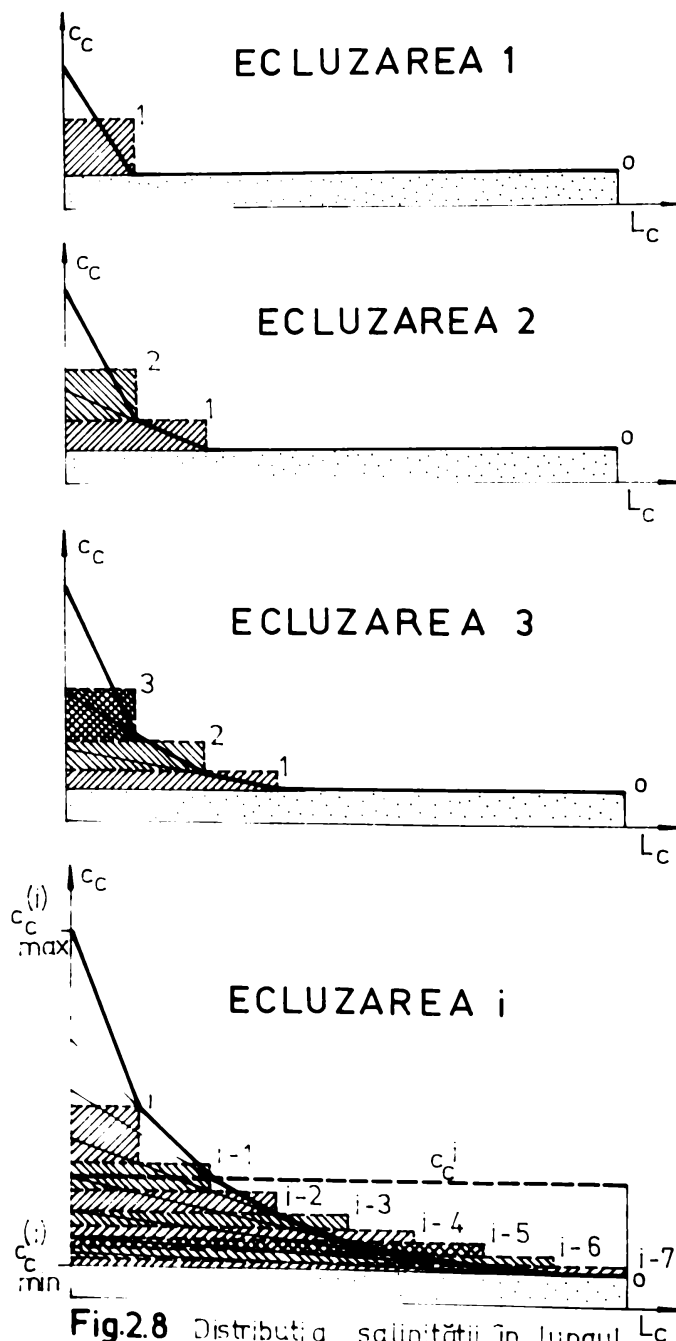


Fig.2.8 Distribuția salinității în lungul canalului navigabil.

Într-un anumit interval de timp amestecul se omogenizează și într-adevăr în canal se va înregistra o salinitate medie, uniformă în lungul canalului, și care poate fi calculată cu una din relațiile deduse anterior.

Pentru folosințele amplasate în lungul ca-

nalului este absolut necesară aflarea acestei distribuții pentru a verifica în orice moment condiția 2.1.

Considerăm ecluzarea de ordinul "i" (fig.2.8). Față de sa-

linitatea medie $c_c^{(i)}$ în canal se va înregistra în dreptul ecluzei $c_c^{(i)}$ iar în capătul amonte al canalului corespunzător lungimii L_c , $c_{c,max}^{(i)}$ și $c_{c,min}^{(i)}$.

Dacă notăm prin t_o , timpul necesar propagării apei saline pe toată lungimea canalului L_c , propagarea desfășurându-se cu viteza \bar{v} , și prin T durata totală a unei ecluzări, atunci salinitatea minimă înregistrată la capătul amonte al canalului va fi :

$$c_{c,min}^{(i)} = c_c^{(i-m)} \quad (2.53)$$

unde $c_c^{(i-m)}$ reprezintă salinitatea medie înregistrată în canal după $i-m$ ecluzări. Iar m se definește prin :

$$m = \frac{t_o}{T} \quad (2.54)$$

și

$$t_o = \frac{L_c}{\bar{v}} \quad (2.55)$$

2.5.1. Ipoteza $\Delta V = 0$

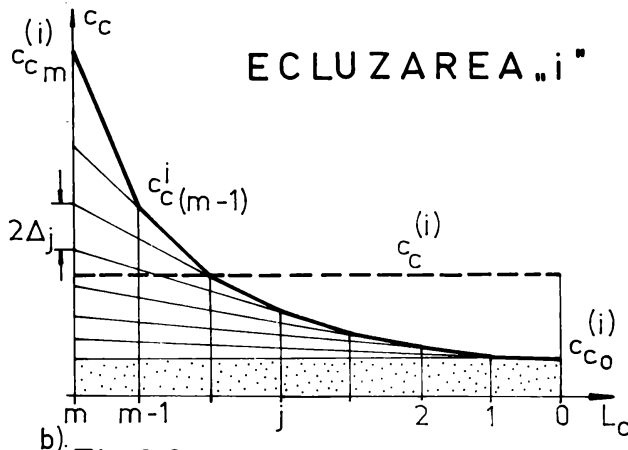
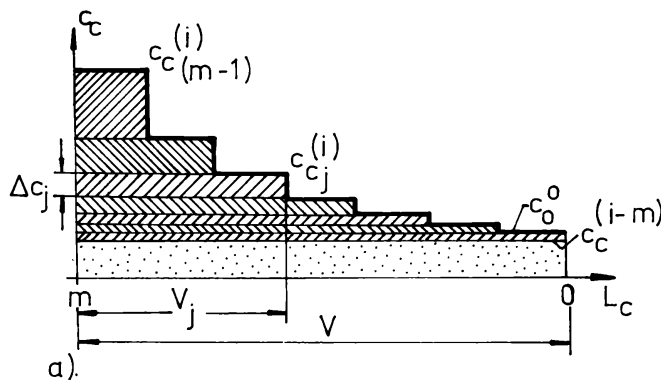


Fig.2.9 Schema de calcul a distribuției salinității în lungul unui canal navigabil.
 a) salinitățile medii în diferitele secțiuni ale canalului.
 b) construirea curbei de distribuție a salinităților.

Pentru a putea determina legea de distribuție a salinității în lungul canalului considerăm următoarea schemă de calcul (fig.2.9). Vom nota secțiunile de calcul ca în fig.2.9, secțiunea "o" pentru capătul amonte al canalului și secțiunea "m" în dreptul ecluzei. De asemenea mărimile salinităților medii din fiecare secțiune (fig.2.9, a) vor fi notate prin indicele secțiunii $c_{c,j}^{(i)}$ pentru $j = 0, 1, 2, \dots, m-1$.

Astfel în secțiunea "o" salinitatea medie va fi :

$$c_{c,0}^{(i)} = c_c^{(i-m)} + \Delta c_o \quad (2.56)$$

unde Δc_o este sporul de salinitate corespunzător secțiunii respective pentru o ecluzare .

Similar :

$$c_{c_1}^{(i)} = c_{c_0}^{(i)} + \Delta c_1 \quad (2.56')$$

și în general :

$$c_{c_j}^{(i)} = c_{c_{j-1}}^{(i)} + \Delta c_j \quad (2.57)$$

pentru $j = 0, 1, \dots, m-1$.

Relația 2.57 permite calculul salinităților medii în cele "m" secțiuni ale canalului.

Pentru a construi curba de distribuție a salinității în lungul canalului este necesar să determinăm sporurile de salinitate notate cu Δc_j (fig.2.9,b). Pentru aceasta calculăm salinitatea c_{c_j} în funcție de salinitatea precedentă $c_{c_{j-1}}$. Conform definițiilor anterioare între aceste două secțiuni are loc o singură ecluzare, iar la preluarea sporului de salinitate va participa un volum de canal corespunzător secțiunii respective, adică V_j :

$$c_{c_j}^{(i)} = \frac{(V_j - D) c_{c_{j-1}}^{(i)} + D c_s^{(i-j)}}{V_j} \quad (2.58)$$

sau dacă admitem satisfacerea condiției 2.2 la limită :

$$c_s^{(i-j)} = c_{s.admis}$$

se obține :

$$c_{c_j}^{(i)} = \frac{(V_j - D) c_{c_{j-1}}^{(i)} + D c_{s.admis}}{V_j} \quad (2.58')$$

și păstrînd aceeași formă a notațiilor :

$$\frac{D}{V_j} = d_j \quad (2.59)$$

rezultă :

$$c_{c_j}^{(i)} = (1 - d_j) c_{c_{j-1}}^{(i)} + d_j c_s^{(i-j)} \quad (2.50'')$$

iar :

$$\Delta c_j = c_{c_j}^{(i)} - c_{c_{j-1}}^{(i)} = d_j (c_s^{(i-j)} - c_{c_{j-1}}^{(i)}) \quad (2.60)$$

sau dacă utilizăm relația 2.58' se obține :

$$\Delta c_j = c_{c_j}^{(i)} - c_{c_{j-1}}^{(i)} = d_j (c_{s.admis} - c_{c_{j-1}}^{(i)}) \quad (2.60')$$

cunoscînd mărimile Δc_j definite prin relația 2.60, (2.60') se poate construi curba de distribuție a salinității ca în figura 2.9,b.

2.5.1.1. O relație de calcul directă a distribuției salinității în ipoteza $\Delta V = 0$

Calculul distribuției salinității prin relațiile deduse (rel.2.57 și 2.60), devin incomode atunci când dorim să calculăm valoarea salinității maxime într-o anumită secțiune, deoarece, necesită un calcul și al salinităților din secțiunile anterioare. Se impune deci necesitatea unei relații de calcul directe. Pentru aceasta explicităm relațiile 2.57 respectiv 2.60 :

- pentru secțiunea "0" se obține :

$$\Delta c_0 = d(c_s^{(i)} - c_c^{(i-m)}) \quad (2.60'')$$

și :

$$c_{c_0}^{(i)} = c_c^{(i-m)} + \Delta c_0$$

pentru secțiunea "1" :

$$c_{c_1}^{(i)} = c_{c_0}^{(i)} + \Delta c_1 = c_c^{(i-m)} + \Delta c_0 + \Delta c_1 \quad (2.61)$$

cu :

$$\Delta c_1 = d_1(c_s^{(i)} - c_{c_0}^{(i)}) \quad (2.60''')$$

și înlocuind rezultă :

$$\Delta c_1 = d_1(1 - d)(c_s^{(i)} - c_c^{(i-m)}) \quad (2.62)$$

- pentru secțiunea "j" :

$$c_{c_j}^{(i)} = c_c^{(i-m)} + \Delta c_0 + \Delta c_1 + \dots + \Delta c_j \quad (2.63)$$

cu :

$$\Delta c_j = d_j(1 - d_{j-1}) \dots (1 - d_1)(1 - d)(c_s^{(i)} - c_c^{(i-m)}) \quad (2.64)$$

iar :

$$\Delta c_0 + \Delta c_1 + \dots + \Delta c_j = [d + d_1(1-d) + \dots + d_j(1-d_{j-1}) \dots (1-d_1)(1-d)] \cdot [c_s^{(i)} - c_c^{(i-m)}] \quad (2.65)$$

În relația 2.65 se pot neglija infiniții mici de forma :

$$d_j \cdot d_{j-1} \cdot d_j \cdot d_{j-1} \cdot d_{j-2} \text{ etc}$$

și rezultă :

$$\Delta c_0 + \Delta c_1 + \dots + \Delta c_j = (d + d_1 + d_2 + \dots + d_j)(c_s^{(i)} - c_c^{(i-m)}) \quad (2.66)$$

Raportul dintre deplasamentul vasului și volumul canalului corespunzător unei secțiuni oarecare "j" s-a definit prin relația 2.59, care se poate explicita sub forma :

$$d_j = \frac{D}{V_j} = \frac{D}{V - \frac{j}{m} V} = \frac{m \cdot d}{m-j} \quad (2.67)$$

iar :

$$\begin{aligned} d + d_1 + d_2 + \dots + d_j &= d + \frac{md}{m-1} + \frac{md}{m-2} + \dots + \frac{md}{m-j} = \\ &= md \cdot \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{m-1} + \frac{1}{m-2} + \dots + \frac{1}{m-j} \right) \end{aligned} \quad (2.68)$$

Ultima parte a relației reprezintă diferența dintre sumele a două șiruri :

$$\frac{1}{m} + \frac{1}{m-1} + \frac{1}{m-2} + \dots + \frac{1}{m-j} = S_m - S_{m-j-1} \quad (2.69)$$

unde :

$$S_m = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{m} \quad (2.70)$$

$$S_{m-j-1} = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{m-j-1}$$

Se poate demonstra că suma șirului de forma 2.70 este /log, 131/ :

$$S_m = \ln m + \gamma \quad (2.71)$$

cu $\gamma = 0,5772156$ constanta lui Euler.

Atunci :

$$S_m - S_{m-j-1} = \ln \frac{m}{m-j-1} \quad (2.72)$$

valabilă pentru $j = 1, 2, 3, \dots, m-2$; pentru $j = m-1$:

$$S_{m-j-1} = 0$$

Va rezulta :

$$c_{c_j}^{(i)} = c_c^{(i-m)} + m \cdot d (c_s^{(i)} - c_c^{(i-m)}) \cdot \ln \frac{m}{m-j-1} \quad (2.73)$$

pentru $j = 1, 2, \dots, m-2$

și :

$$c_{c_{m-1}}^{(i)} = c_c^{(i-m)} + m \cdot d (c_s^{(i)} - c_c^{(i-m)}) (\ln m + \gamma) \quad (2.74)$$

pentru $j = m-1$

Relațiile 2.73 și 2.74 permit un calcul direct al salinităților medii în diferitele secțiuni ale canalului și construirea curbei de distribuție a salinității în lungul canalului. Aceste relații determină valori mai mari ale salinităților, comparativ cu relațiile exacte (rel. 2.57 și 2.60) dar erorile se încadrează în limite acceptabile.

Valoarea maximă a salinității se înregistrează imediat în portul amonte al ecluzei (secțiunea m), și are valoarea (fig.2.8,b):

$$c_{c,max}^{(i)} = c_{cm}^{(i)} = c_c^{(i-m)} + 2 m \cdot d(c_s^{(i)} - c_c^{(i-m)})(\ln m + \gamma) \quad (2.75)$$

2.5.2. Ipoteza $\Delta V \neq 0$

Așa cum s-a arătat, tranzitarea în lungul canalului a unui debit permanent (de apă dulce) devine absolut necesară (paragraful 2.4.1.2). Aceasta va determina o reducere a salinităților din profilul longitudinal al canalului. Deoarece pătrunderea apei dulci va avea loc cu precădere prin capătul amonte al canalului (prin secțiunea notată cu "o" fig.2.9), influența ei asupra salinității se va reduce pe măsură ce ne apropiem de ecluză.

Admitem ipoteza definită prin relația 2.33. În aceste condiții relațiile 2.57 respectiv 2.60 devin :

$$c_{c_j}^{(i)} = \bar{c}_{c_{j-1}}^{(i)} + \Delta \bar{c}_j \quad (2.76)$$

$$\Delta \bar{c}_j = d_j (c_s^{(i-j)} - \bar{c}_{c_{j-1}}^{(i)}) \quad (2.77)$$

unde :

$\bar{c}_{c_{j-1}}^{(i)}$, se calculează cu relația 2.36.

Valorile $c_{c_j}^{(i)}$ definite prin rel.2.76 la rîndul lor se vor reduce în procesul ecluzărilor. Numărul ecluzărilor va fi egal cu "m" numărul secțiunilor de calcul (fig.2.9,b). Mărimea corecției va depinde de amploarea secțiunii de calcul în profilul longitudinal al canalului. Astfel în secțiunea "j" corecția adusă salinității va fi de ordinul m-j.

Corecția de ordinul "1" definită prin relația 2.36 este :

$$c_{c_{j(1)}}^{(i)} = (1-v) c_{c_j}^{(i)} + v c_c^0 \quad (2.78)$$

unde v este definit prin relația 2.35 ;

- corecția de ordinul 2 va fi :

$$c_{c_{j(2)}}^{(i)} = (1-v) c_{c_{j(1)}}^{(i)} + v c_c^0 \quad (2.78')$$

sau :

$$c_{c_{j(2)}}^{(i)} = (1-v)^2 c_{c_j}^{(i)} + v[1 + (1-v)] c_c^0 \quad (2.78'')$$

și pentru o corecție de ordinul m-j, rezultă :

$$c_{c_j(c)}^{(i)} = (1-v)^{m-j} \cdot c_{c_j}^{(i)} + v [1 + (1-v) + (1-v)^2 + \dots + (1-v)^{m-j-1}] c_c^0 \quad (2.79)$$

cu :

$$1 + (1-v) + (1-v)^2 + \dots + (1-v)^{m-j-1} = \frac{1 - (1-v)^{m-j}}{v} \quad (2.80)$$

suma unei progresii geometrice cu $m-j$ termeni și de rație egală cu $1-v$.

Relația 2.79 se transformă în :

$$c_{c_j(c)}^{(i)} = (1-v)^{m-j} \cdot c_{c_j}^{(i)} + [1 - (1-v)^{m-j}] \cdot c_c^0 \quad (2.81)$$

unde prin $c_{c_j}^{(i)}$ s-a notat salinitatea în secțiunea "j" a canalului la momentul $j(c)$ corespunzător unui număr de ecluzări egal cu "i", corectată în ipoteza $\Delta V \neq 0$.

2.5.2.1. Relația directă de calcul a distribuției salinității în ipoteza $\Delta V \neq 0$

Reluăm raționamentul de la paragraful 2.5.1.1 admițind

$\Delta V \neq 0$:

- pentru secțiunea "o" rezultă :

$$c_{c_0}^{(i)} = \bar{c}_c^{(i-m)} + \Delta \bar{c}_0 \quad (2.76')$$

iar :

$$\Delta \bar{c}_0 = d (c_{c_0}^{(i)} - \bar{c}_c^{(i-m)}) \quad (2.77')$$

- pentru secțiunea "1" :

$$c_{c_1}^{(i)} = \bar{c}_c^{(i)} + \Delta \bar{c}_1 \quad (2.76'')$$

unde :

$$c_{c_0}^{(i)} = (1-v) c_{c_0}^{(i)} + v c_c^0 \quad \text{conform relației 2.36}$$

rezultă :

$$c_{c_1}^{(i)} = (1-v) c_{c_0}^{(i)} + v c_c^0 + \Delta \bar{c}_1 \quad (2.82)$$

și :

$$c_{c_1}^{(i)} = (1-v) \bar{c}_c^{(i-m)} + v c_c^0 + (1-v) \Delta \bar{c}_0 + \Delta \bar{c}_1 \quad (2.83)$$

iar :

$$(1-v) \bar{c}_c^{(i-m)} + v c_c^0 = \bar{c}_{c(1)}^{(i-m)} \quad (2.78')$$

reprezintă corecția de ordinul 1 determinată de aportul de apă dulce al canalului ;

- pentru secțiunea "j" se obține :

$$c_{c_j}^{(i)} = \bar{c}_{c(j)}^{(i-m)} + (1-v)^{j+1} \cdot \Delta \bar{c}_0 + (1-v)^j \Delta \bar{c}_1 + \dots + (1-v) \Delta \bar{c}_j \quad (2.84)$$

unde $\bar{c}_{c(j)}^{(i-m)}$ reprezintă salinitatea medie în canal pentru momentul corespunzător unui număr de ecluzări "i-m" corectat de "j" ori, iar :

$$\Delta \bar{c}_j = d_j (c_s^{(i-j)} - \bar{c}_{c_{j-1}}^i)$$

pentru $j = 0, 1, 2, \dots, m-1$

Pentru a putea calcula partea dreaptă a relației 2.84 se admit următoarele simplificări :

- se neglijează infiniții mici de forma produselor $d_j \cdot d_{j-1}$, $d_j \cdot d_{j-1} \cdot d_{j-2}$ etc.;
- de asemenea $v^2 = v^3 = \dots = v^m = 0$;
- iar :

$$\left[c_s^{(i-j)} - c_{c_{j-1}}^{(i)} \right]_{\max} = c_s^{(i)} - c_{c(c)}^{(i-m)} \quad (2.85)$$

Se obține :

$$\begin{aligned} & (1-v)^{j+1} \Delta \bar{c}_0 + (1-v)^j \Delta \bar{c}_1 + \dots + (1-v) \Delta \bar{c}_j = \\ & = \left[c_s^{(i)} - c_{c(c)}^{(i-m)} \right] \left[d(1 - c_{j+1}^1 v) + d_1(1 - c_j^1 v) + \dots + d_j(1 - c_1^1 v) \right] = \\ & = \left[c_s^{(i)} - c_{c(c)}^{(i-m)} \right] \left[d(1-j \cdot v-v) + d_1(1-j \cdot v) + \dots + d_j(1-v) \right] = \\ & = \left[c_s^{(i)} - c_{c(c)}^{(i-m)} \right] \cdot m \cdot d \left[\ln \frac{m}{m-j-1} - (j+1)v \right] \end{aligned} \quad (2.86)$$

unde am utilizat relațiile 2.67 , 2.71 și 2.72 , iar suma :

$$\frac{j+1}{m} + \frac{j}{m-1} + \dots + \frac{1}{m-j} = \text{maxim} = j+1 \quad (2.87)$$

În felul acesta se obține :

$$c_{c_j}^{(i)} = c_{c(c)}^{(i-m)} + m \cdot d \left[c_s^{(i)} - c_{c(c)}^{(i-m)} \right] \cdot \left[\ln \frac{m}{m-j-1} - (j+1)v \right] \quad (2.88)$$

pentru $j = 0, 1, \dots, m-2$

$$c_{c_{m-1}}^{(i)} = c_{c(c)}^{(i-m)} + m d \left[c_s^{(i)} - c_{c(c)}^{(i-m)} \right] \cdot (\ln m + \gamma - mv) \quad (2.89)$$

și :

$$c_{c_m}^{(i)} = c_{c(c)}^{(i-m)} + 2 m d \left[c_s^{(i)} - c_{c(c)}^{(i-m)} \right] (\ln m + \gamma - mv) \quad (2.90)$$

iar :

$$c_{c_m}^{(i)} = c_{c_{\max}}^{(i)} \quad (2.91)$$

unde $c_c^{(i-m)}$ se definește prin relația 2.81, fiind calculată pentru $j=0$.

Pentru a obține valoarea maximă a creșterii salinității în lungul canalului (notată cu Δc_{\max}):

$$c_s^{(i)} = c_{s.admis} \quad \text{și} \quad c_c^{(i-m)} = c_{c.admis}$$

Se obține :

$$\Delta c_{\max} = md(c_{s.admis} - c_{c.admis})(\ln m + \gamma - mv) \quad (2.92)$$

Relația 2.92 permite evaluarea salinității maxime care se înregistrează în profilul longitudinal al unui canal navigabil :

$$c_{c_{\max}}^{(i)} = c_c^{(i)} + \Delta c_{\max} \quad (2.92')$$

S-a obținut astfel o relație care ar putea constitui o condiție suplimentară de stabilire a salinității admise într-un canal navigabil.

2.6. Aportul unei ecluze convenționale în protecția antisalină a unui canal navigabil

in cazul canalelor situate deasupra nivelului mării (litoralul românesc) ecluzele convenționale amplasate la ieșirea în mare a

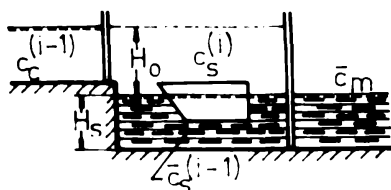


Fig. 2.10 Funcționarea hidraulică a unei ecluze convenționale

sigură o oarecare protecție antisalină a canalului //22//. In procesul de umplere a ecluzei, prin aportul volumului de apă din canal, salinitatea în sas se va reduce proporțional cu raportul dintre adâncimea de apă din sas H_s și adâncimea totală $H_s + H_0$ (fig.2.10). Si în acest caz singura modalitate de pătrundere a apei

salmastre în canal va avea loc la intrarea navei din bieful amonte în sasul ecluzei (fig.1.5,a). Desigur că salinitatea apei din sasul ecluzei va înregistra valori mult mai mari ca în cazul unei ecluze neconvenționale, iar salinizarea canalului se va produce într-un interval de timp mult mai mic.

Considerăm ecluzarea de ordinul "i" care la sfârșitul operației de umplere determină în sas o salinitate egală cu $c_s^{(i)}$ (fig.2.10)

$$c_s^{(i)} = \frac{(A \cdot H_s - D) \bar{c}_s^{i-1} + A \cdot H_0 \cdot c_c^{(i-1)}}{A(H_0 + H_s) - D} \quad (2.93)$$

dacă notăm :

$$\frac{H_S}{H_O + H_S} = h_S \quad (2.94)$$

$$\frac{H_O}{H_O + H_S} = h_O \quad (2.95)$$

păstrînd și notațiile anterioare, se obține :

$$c_S^{(i)} = \frac{(h_S - d_O) \bar{c}_S^{(i-1)} + h_O c_C^{(i-1)}}{1 - d_O} \quad (2.96)$$

relație care permite evaluarea salinității apei în sasul ecluzei convenționale.

Dacă admitem noțiunea de adîncime remanentă definită ca în paragraful 2.3, atunci pentru cazul unei ecluze convenționale aceasta va fi (fig.2.10) :

$$H_R \cdot A = H_S \cdot A - D \quad (2.97)$$

sau :

$$H_R = H_S - \frac{D}{A} \quad (2.97')$$

Iar adîncimea remanentă relativă se definește ca :

$$h_r = h_S - d_O = \text{constant} \quad (2.98)$$

Desigur că în acest caz toate relațiile deduse în paragraful 2.3 relative la ecluzele de tip neconvențional nu mai sînt valabile. Noțiunea de salinitate medie admisă în sasul ecluzei nu va mai avea sens, deoarece regimul de funcționare al ecluzei convenționale este bine definit de mărimea căderii H_O .

Astfel, de exemplu pentru $i = 1$ relația 2.96 determină o salinitate în sasul ecluzei pe care o putem considera maximă în ipoteza satisfacerii condiției 2.1 :

$$c_S^1 = c_{S,\text{max}} = \frac{(h_S - d_O) c_m + h_O c_C^0}{1 - d_O} \quad (2.99)$$

pentru $\bar{c}_S^{(i-1)} = c_m$ și $c_C^{(i-1)} = c_C^0$ mărimi inițiale.

Celelalte relații deduse în paragrafele anterioare își păstrează valabilitatea. Astfel salinitatea inițială din sasul ecluzei la începutul operațiilor de umplere se definește prin relația (2.9):

$$\bar{c}_S^1 = d_S \cdot c_m - d_O (1 - d_S) (c_S^{(1)} - c_C^{(1)}) + c_S^{(1)} (1 - d_S)$$

cu valoarea maximă (exceptînd prima ecluzare cînd $\bar{c}_S = c_m$) în ipoteza

satisfacerii condiției 2.1 de :

$$\bar{c}_{s.\max} = c_m [d_s + (1-d_s)(h_s - d_o)] + d_o(1-d_s)c_{c.\text{admis}} + h_o(1-d_s)c_c^0 \quad (2.100)$$

De asemenea, variația salinității medii în canal se poate determina cu relațiile 2.24 sau 2.30 respectiv 2.37 ; 2.45 ; iar numărul ecluzărilor limită la care este necesară spălarea generală a canalului cu relațiile 2.32 sau 2.51.

Observație : în ipoteza $\Delta V \neq 0$, când ecluza funcționează în regim convențional, relația 2.49 poate servi la evaluarea debitului de apă necesar de a fi tranzitat în lungul canalului, pentru ca să nu se producă salinizarea lui. Într-adevăr, dacă în 2.49 înlocuim $c_{s.\text{admis}}$ prin $c_{s.\max}$ definit prin 2.99 se obține :

$$v_{\text{necesar}} = \frac{d(c_{s.\max} - c_{c.\text{admis}})}{d \cdot c_{s.\max} + (1-d) c_{c.\text{admis}} - c_c^0} \quad (2.101)$$

și cu relația 2.35 rezultă ΔV necesar, respectiv :

$$Q_{\text{necesar}} = \frac{\Delta V_{\text{necesar}}}{T} \quad (2.102)$$

unde T reprezintă durata totală a unei ecluzări.

2.7. Aplicație numerică

Se vor exemplifica relațiile și concluziile deduse pentru cazul litoralului românesc.

2.7.1. Canalul Dunăre-Marea Neagră protejat antisalin prin ecluza neconvențională Agigea

• elementele inițiale de calcul adoptate sînt cele din tabelul 2.1 :

Tabelul 2.1

1. Canalul Dunare - Marea Neagră	
- lungimea canalului între ecluzele Jernavodă-Agigea	$L_c = 60 \text{ km}$
- secțiunea transversală medie a canalului (fig.2.11)	$c = 650 \text{ m}^2$
- nivelul normal de exploatare al canalului (fig.2.12)	$+ 7,50 \text{ m}$
- concentrația salină inițială a apei canalului	$c_c^0 = 0,15 \text{ ‰}$
- concentrația salină admisă a apei canalului	$c_{c.\text{admis}} = 0,5 \text{ ‰}$
- deplasamentul convoiului de calcul	$D = 6 \times 3500 = 21.000 \text{ t}$

2. Ecluza Agigea :

- lungimea sasului ecluzei	$L_s = 320 \text{ m}$
- lățimea sasului ecluzei	$B_s = 25 \text{ m}$
- adâncimea de apă în sas la nivel normal aval	$H_s = 7 \text{ m}$
- secțiunea orizontală a sasului ecluzei	$A = 8000 \text{ m}^2$
- căderea la niveluri normale (fig.2.12)	$H_o = 8 \text{ m}$

3. Marea Neagră :

- nivelul normal în mare (fig.2.12)	- 0,50 m
- concentrația salină a apei de mare	$c_m = 17 \text{ ‰}$

• calculul coeficienților (rel.2.6,2.7,2.23,2.35,2.44)

- volumul de apă al canalului : $V = L_c \cdot \Omega_c = 39 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
- volumul de apă consumat la o ecluzare :
 $\Delta V = V_{\text{sas}} = A \cdot (H_s + H_o) = 12 \cdot 10^4 \text{ m}^3$
- coeficienții : $d_o = 0,175$; $d_s = 0,375$; $d = 0,538 \cdot 10^{-3}$;
 $v = 0,003$; $\delta = 0,9965$.

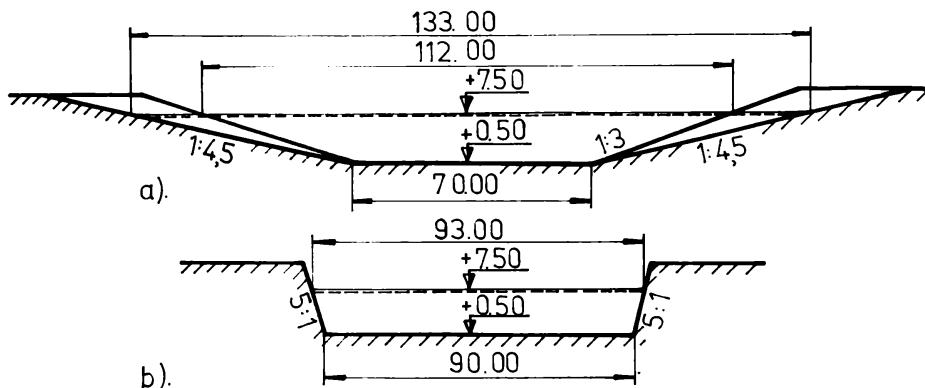


Fig.2.11 Secțiuni transversale ale canalului

Dunăre - Marea Neagră
a). sector Carasu $\Omega_c = 640 - 710 \text{ m}^2$
b). sector de creastă $\Omega_c = 690 \text{ m}^2$

2.7.1.1. Ipoteza $\Delta V = 0$

• calculul variației concentrației salinice în funcție de numărul ecluzărilor cu metoda exactă.

S-au efectuat următoarele calcule :

- variația salinității medii inițiale în sas $\bar{c}_s^{(i)}$ (rel.2.9);
- variația salinității medii în sasul ecluzei în urma procesului de evacuare a apei sărate în bieful aval $c_s^{(i)}$ (relația 2.13);
- variația salinității medii a apei canalului $c_c^{(i)}$ (rel.2.24) în prealabil s-au determinat :
- salinitatea admisă în sas (relația 2.20)

$$c_{s.admis} = 0,8 \text{ ‰}$$

iar prin rezolvarea ecuației 2.16 :

$$c_{s.admis} = 0,71 \%$$

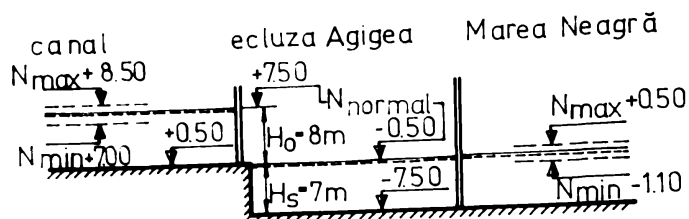


Fig. 2.12 Variația nivelurilor de apă în canalul Dunăre - Marea Neagră

Se adoptă valoarea rezultată după metoda exactă :

$$c_{s.admis} = 0,71 \%$$

- adâncimea remanentă pentru valoarea $c_{s.admis}$ adoptată rezultă (rel.2.15, 2.12) :

$$h_r = 0,027 ; H_r = 0,406 \text{ m}$$

- salinitatea inițială maximă în șesul ecluzei (rel.2.10')

$$\bar{c}_{s,max} = 6,82 \%$$

Calcululele s-au efectuat în baza: unui program de calcul elaborat, prezentat în anexa 1 (PRGRM 1). Rezultatele calcululelor sînt prezentate în tabelul 2.2 și fig.2.13.

• calculul variației concentrației saline în funcție de numărul ecluzărilor utilizînd formula 2.30 :

- pentru aplicarea relației 2.30 s-au adoptat :

$$c_s^{(i)} = c_{s.admis} = 0,71 \% = \text{constant} ;$$

$$\bar{c}_s^{(i)} = \bar{c}_{s,max} = 6,82 \% = \text{constant} ;$$

- numărul limită de ecluzări pentru care în canal se atinge $c_{c.admis}$ (relația 2.32) :

$n_{limită} = 1862$ de ecluzări (adică cca.93 de zile navigabile cu 20 de ecluzări zilnice)

Rezultatele calcululelor, pentru a putea fi comparate, sînt redate în tabelul 2.2 și fig.2.13.

Tabelul 2.2

- concentrația salină este dată în %.

i	- metoda exactă			- formula 2.30		
	$c_s^{(i)}$	$\bar{c}_s^{(i)}$	$c_c^{(i)}$	$c_s^{(i)}$	$\bar{c}_s^{(i)}$	$c_c^{(i)}$
1	2	3	4	5	6	7
1	0,70145	6,88043	0,15042	0,71000	6,82000	0,15030
2	0,36089	6,57752	0,15053			0,15060
3	0,36099	6,57754	0,15064			0,15090
4	1,36111	6,57761	0,15076			0,15120
5	0,36122	6,57768	0,15087			0,15151
6	0,36133	6,57775	0,15098			0,15181
7	0,36145	6,57782	0,15110			0,15211
8	0,36156	6,57789	0,15121			0,15241
9	0,36166	6,57796	0,15132			0,15271

1	2	3	4	5	6	7
10	0,36177	6,57803	0,15143	0,71000	6,82000	0,15301
50	0,36625	6,58082	0,15598			0,16487
100	0,37183	6,58432	0,16161			0,17934
200	0,38299	6,59131	0,17292			0,20714
400	0,40531	6,60545	0,19551			0,25845
600	0,42758	6,61941	0,21806			0,30453
800	0,44982	6,63334	0,24058			0,34590
1000	0,47203	6,64725	0,26308	0,71000	6,82000	0,38306
1200	0,49421	6,66115	0,28554			0,41641
1400	0,51812	6,67502	0,30978			0,44637
1600	0,53848	6,68888	0,33037			0,47327
1800	0,56057	6,70272	0,35274			0,49743
1862	0,56531	6,70614	0,35833	0,71000	6,82000	0,50000
2000	0,58264	6,71654	0,37508			0,51912
2500	0,63467	6,75012	0,40839			0,56415
3000	0,69250	6,78535	0,48633			0,59856
3120	0,71002	6,79901	0,50012			0,60353
3500	0,74715	6,82027	0,54278	0,71000	6,82000	0,62485

2.7.1.2. Ipoteza $\Delta V \neq 0$

• metoda exactă (rel.2.9,2.13,2.24''',2.37)

Față de calculul anterior se determină suplimentar salinitatea medie a canalului cu luarea în considerare a aportului de apă dulce de volum ΔV (rel.2.37)(anexa 2, PROGRAM 2).

S-au determinat inițial :

$c_{s.admis} = 2,42 \%$ cu relația 2.49 , $\bar{c}_{s.max} = 7,67179 \%$ cu rel.2.10'' ;
 $h_r = 0,11c6$; $H_r = 1,66$ m cu relațiile 2.50 și 2.12.

Pentru compararea rezultatelor s-au efectuat și calculele corespunzătoare cu valorile inițiale $c_{s.admis} = 0,71 \%$ și $H_r = 0,406$ m din cazul de calcul prezentat la 2.7.1.1. Rezultatele comparative sînt trecute în tabelul 2.3 și figura 2.14.

Tabelul 2.3

- concentrația salină este dată în %.

i	ptr. $\bar{c}_{s.admis} = 2,42 \%$			$c_{s.admis} = 0,71 \%$		
	$c_s(i)$	$\bar{c}_s(i)$	$c_c(i)$	$c_s(i)$	$\bar{c}_s(i)$	$\bar{c}_c(i)$
1	2	3	4	5	6	7
1	2,40892	7,63351	0,15121	0,70145	6,75308	0,15029
5	1,06252	6,93957	0,15221	0,36696	6,57753	0,15063
10	1,06435	6,94074	0,15509	0,36142	6,57787	0,15118
20	1,06878	6,94354	0,15976	0,36247	6,57854	0,15226

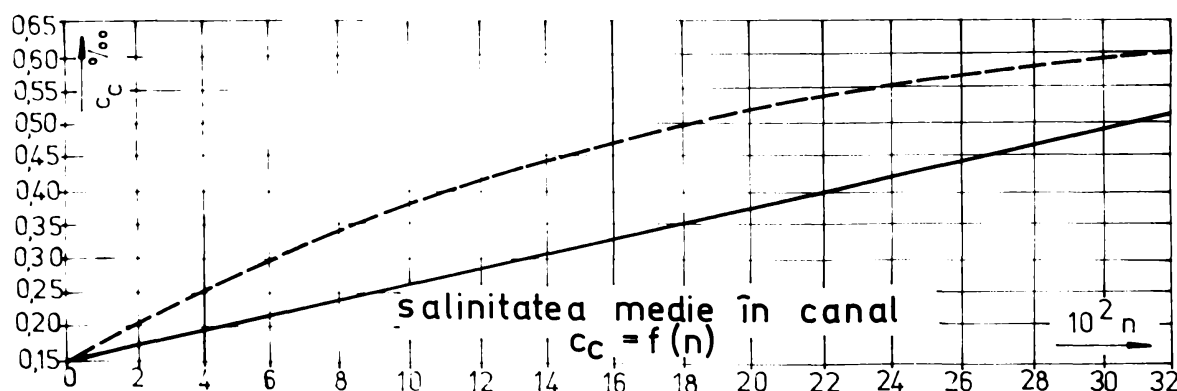
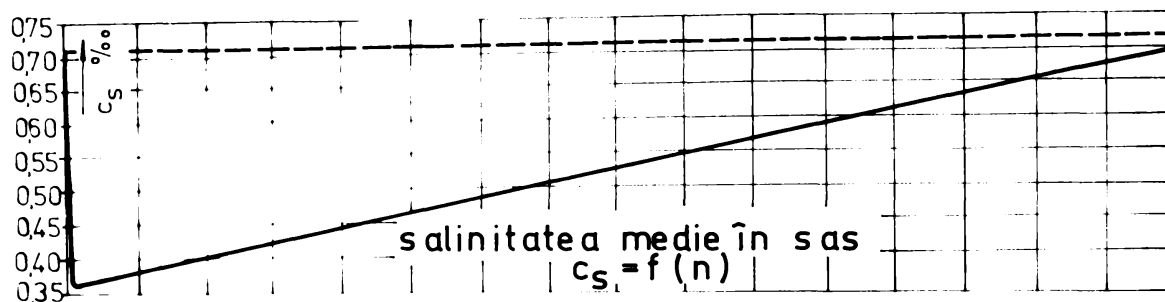
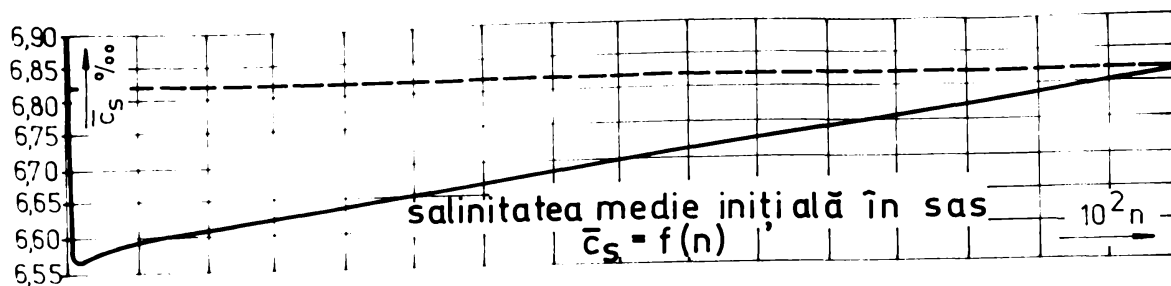


Fig.2.13 Dependența concentrației saline în sasul ecluzei Agigea și în canalul Dunăre - Marea Neagră în funcție de numărul ecluzărilor (ipoteza $\Delta V = 0$)
 — metoda exactă — — metoda bazată pe relația 2.30

1	2	3	4	5	6	7
30	1,07310	6,94623	0,164284	0,36355	6,59919	0,15330
40	1,07727	6,94834	0,16867	0,36451	6,57982	0,15431
50	1,08132	6,95148	0,17293	0,36549	6,58043	0,15530
60	1,08525	6,95396	0,17706	0,36644	6,58102	0,15625
70	1,08907	6,95637	0,18067	0,36736	6,58160	0,15717
80	1,09277	6,95864	0,18495	0,36825	6,58215	0,15807
90	1,09635	6,96097	0,18873	0,369112	6,58270	0,15894
100	1,09984	6,96318	0,19238	0,36995	6,58322	0,15979
200	1,12943	6,98177	0,22347	0,37709	6,58769	0,16697
300	1,15128	6,99556	0,24641	0,38238	6,59100	0,17229
400	1,16741	7,00572	0,26322	0,38628	6,59345	0,17623
500	1,17932	7,01325	0,27577	0,38918	6,59526	0,17914

1	2	3	4	5	6	7
600	1,18812	7,01873	0,28497	0,39132	6,59660	0,18130
700	1,19462	7,02291	0,291953	0,39290	6,59759	0,18289
800	1,19942	7,02593	0,29700	0,39407	6,59832	0,18407
900	1,20297	7,02814	0,30074	0,39494	6,59887	0,18494
1000	1,20558	7,02982	0,30347	0,39558	6,59927	0,18559
2000	1,21312	7,03645	0,31121	0,39876	6,60001	0,20100
3000	1,32146	7,04512	0,33142	0,39991	6,60533	0,21122
4000	1,43312	7,05344	0,35132	0,40010	6,61044	0,21931

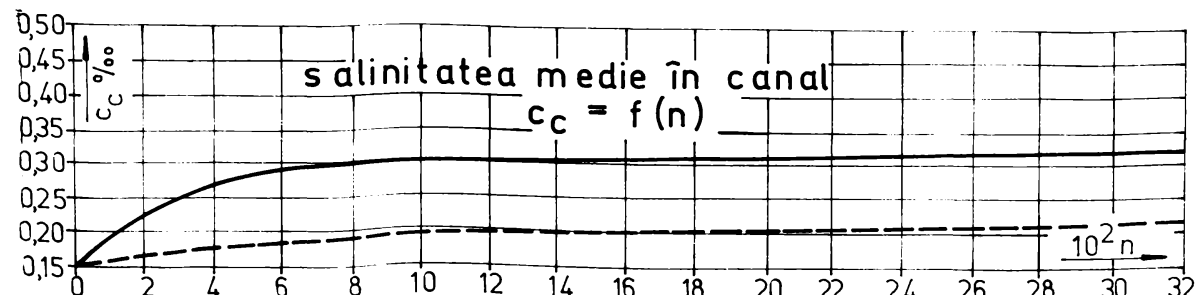
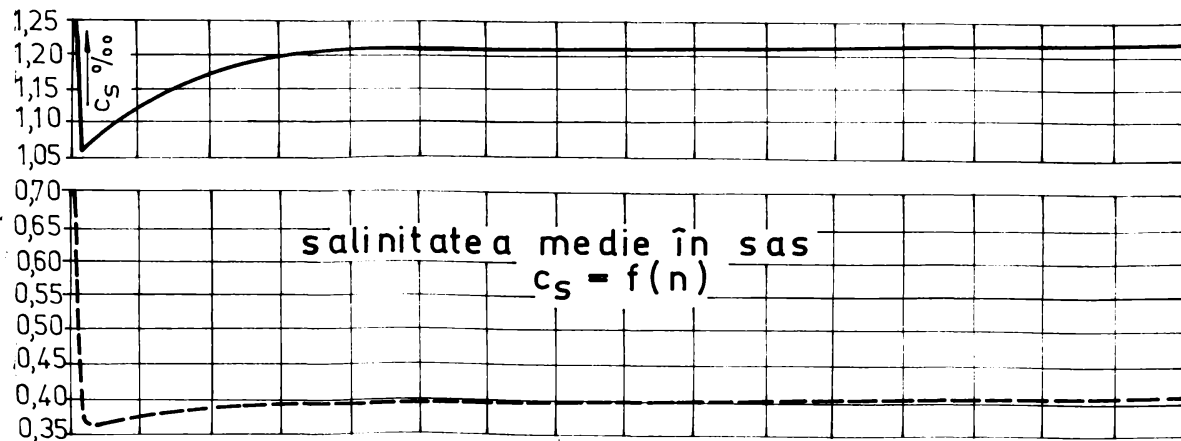
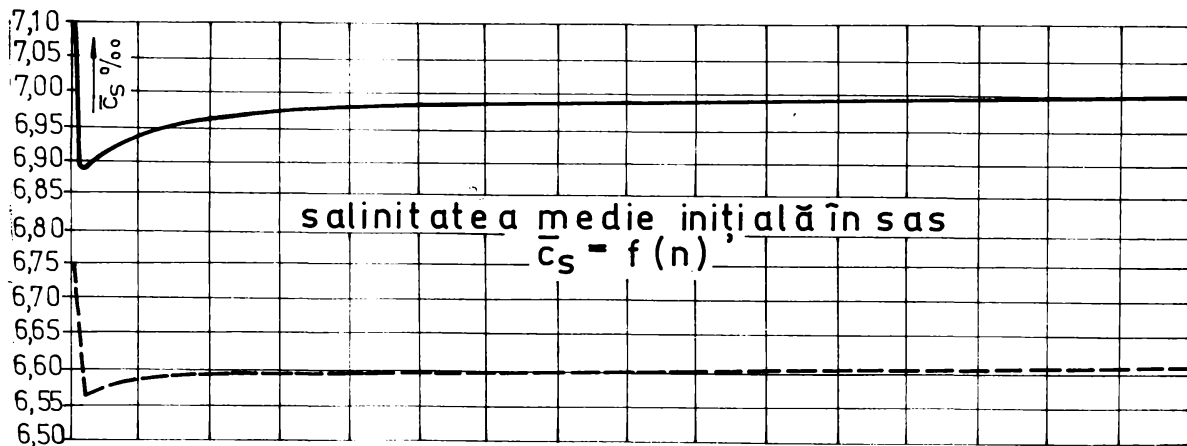


Fig. 2.14 Dependența concentrației saline în sasul ecluzei Agigea și în canalul Dunăre - Marea Neagră în funcție de numărul ecluzărilor.
 Metoda exactă ($\Delta V \neq 0$)
 — pentru $c_{s \text{ admis}} = 2,42 \text{ ‰}$ - - - - pentru $c_{s \text{ admis}} = 0,71 \text{ ‰}$.

TIMISOARA
 BIBLIOTECA CENTRALA

• calculul variației concentrației saline în canal utilizând formula 2.45.

S-au efectuat calculele pentru ambele variante :

- $c_{s.admis} = 2,42 ‰ = c_s = \text{constant}$
pentru care a rezultat $c_{c,max} = 0,5 ‰$ iar $n \xrightarrow{\text{limită}} \infty$
- $c_{s.admis} = 0,71 ‰ = c_s = \text{constant}$
cu : $c_{c,max} = 0,238 ‰$.

Rezultatele calculelor sînt prezentate în tabelul 2.4 și fig.2.15. Pentru comparație în aceeași figură se prezintă și rezultatele obținute cu metoda anterioară.

Tabelul 2.4

- concentrația salină este dată în ‰.

i	c_c		i	c_c		i	c_c	
	$c_s=2,42$	$c_s=0,71$		$c_s=2,42$	$c_s=0,71$		$c_s=2,42$	$c_s=0,71$
1	0,15122	0,15031	400	0,41348	0,21589	1200	0,49424	0,23608
5	0,15607	0,15152	500	0,43891	0,22224	1500	0,49762	0,23693
10	0,16204	0,15301	550	0,44863	0,22468	1700	0,49854	0,23715
30	0,18489	0,15872	600	0,45681	0,22672	2000	0,49913	0,23730
50	0,20619	0,16405	700	0,46941	0,22987	2500	0,49938	0,23737
100	0,25335	0,17584	800	0,47829	0,23209	3000	0,49943	0,23738
200	0,32613	0,19404	900	0,48455	0,23366	3500	0,49944	0,23739
300	0,37739	0,20686	1000	0,48896	0,23476	4000	0,49945	0,23740

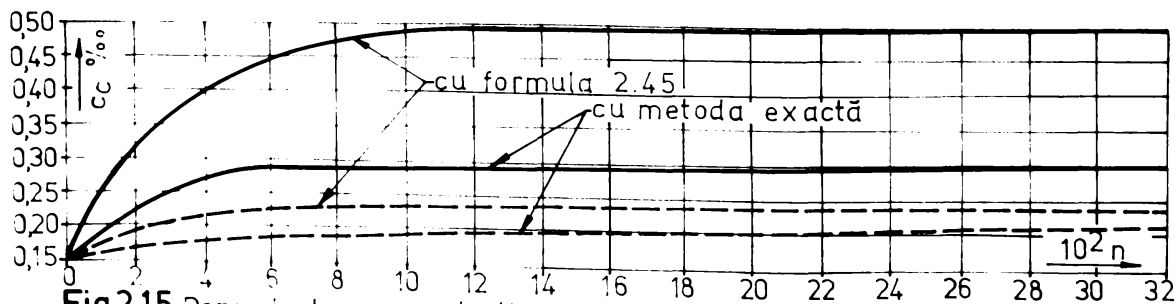


Fig.2.15 Dependența concentrației saline medii în canalul Dunăre-Marea Neagră în ipoteza $\Delta V \neq 0$ în funcție de numărul ecluzărilor.
 — pentru $c_{s.admis} = 2,42 ‰$ — — — pentru $c_{s.admis} = 0,71 ‰$

2.7.1.3. Calculul distribuției salinității în profilul longitudinal al canalului Dunăre-Marea Neagră

Canalul Dunăre - Marea Neagră fiind supus unui trafic intens, înregistrându-se viteze de întoarcere ale curentului relativ mari /18/ adoptăm ca viteză de propagare a apei salinaste în canal valoarea de : $\bar{v} = 1 \text{ m/s}$.

Rezultă (rel.2.54 și 2.55) :

$t_0 \approx 16$ ore și $m=16$ pentru $T=1$ oră (timpul total de ecluzare).

• metoda exactă

- s-au utilizat relațiile de calcul 2.76 , 2.77 , 2.81 ;
- pentru efectuarea calculelor s-a elaborat un program de calcul (PRGRM 4, anexa 4) pentru $\Delta V \neq 0$;
- rezultatele obținute sînt redade în tabelul 2.5 coloanele 3 și 7 pentru momentele corespunzătoare unui număr de 500 de ecluzări, respectiv 1000 de ecluzări.

Tabelul 2.5

- concentrația salină este dată în %.

j	n = 500 $c_c^{(500)} = 0,27589$				n = 1000 $c_c^{(1000)} = 0,30346$			
	i	$c_{cj}^{(500)}$	$c_{cj}^{(500)}$	$c_{cj.real}^{(500)}$	i	$c_{cj}^{(1000)}$	$c_{cj}^{(1000)}$	$c_{cj.real}^{(1000)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	484	0,26851	0,26854	0,26806	984	0,29594	0,29596	0,29548
1	485	0,26901	0,26906	0,26812	985	0,29643	0,29648	0,29564
2	486	0,26954	0,26962	0,26821	986	0,29697	0,29704	0,29571
3	487	0,27013	0,27022	0,26846	987	0,29754	0,29764	0,29611
4	488	0,27075	0,27088	0,26881	988	0,29816	0,29830	0,29634
5	489	0,27143	0,27160	0,26926	989	0,29886	0,29902	0,29666
6	490	0,27218	0,27240	0,26976	990	0,29960	0,29982	0,29725
7	491	0,27303	0,27330	0,27044	991	0,30044	0,30072	0,29800
8	492	0,27397	0,27433	0,27126	992	0,30139	0,30173	0,29861
9	493	0,27506	0,27551	0,27230	993	0,30247	0,30292	0,30003
10	494	0,27633	0,27692	0,27362	994	0,30374	0,30433	0,30117
11	495	0,27785	0,27864	0,27536	995	0,30527	0,30601	0,30291
12	496	0,27977	0,28087	0,27777	996	0,30718	0,30829	0,30521
13	497	0,28230	0,28403	0,28115	997	0,30972	0,31136	0,30841
14	498	0,28616	0,28944	0,28606	998	0,31355	0,31682	0,31344
15	499	0,29382	0,29393	0,29377	999	0,32121	0,32106	0,32111
16	500	0,31958	0,31982	0,31958	1000	0,34694	0,34665	0,34624

- construcția grafică a distribuției salinității în lungul danalului este ca în figura 2.16. Valorile rezultate din grafic sînt trecute în tabelul 2.5 coloana 5 și 9.

• metoda directă aproximativă

- s-au utilizat relațiile de calcul directe 2.89, 2.90 și 2.91;
- rezultatele obținute sînt trecute în tabelul 2.5 coloana 4 și 8.

• calculul distribuției salinității în cazul $\bar{v} = 0,5$ m/s

- pentru comparație s-a adoptat o viteză de propagare a apei salmastre în canal de 0,5 m/s ;
- s-a folosit atît metoda exactă cît și metoda directă ;

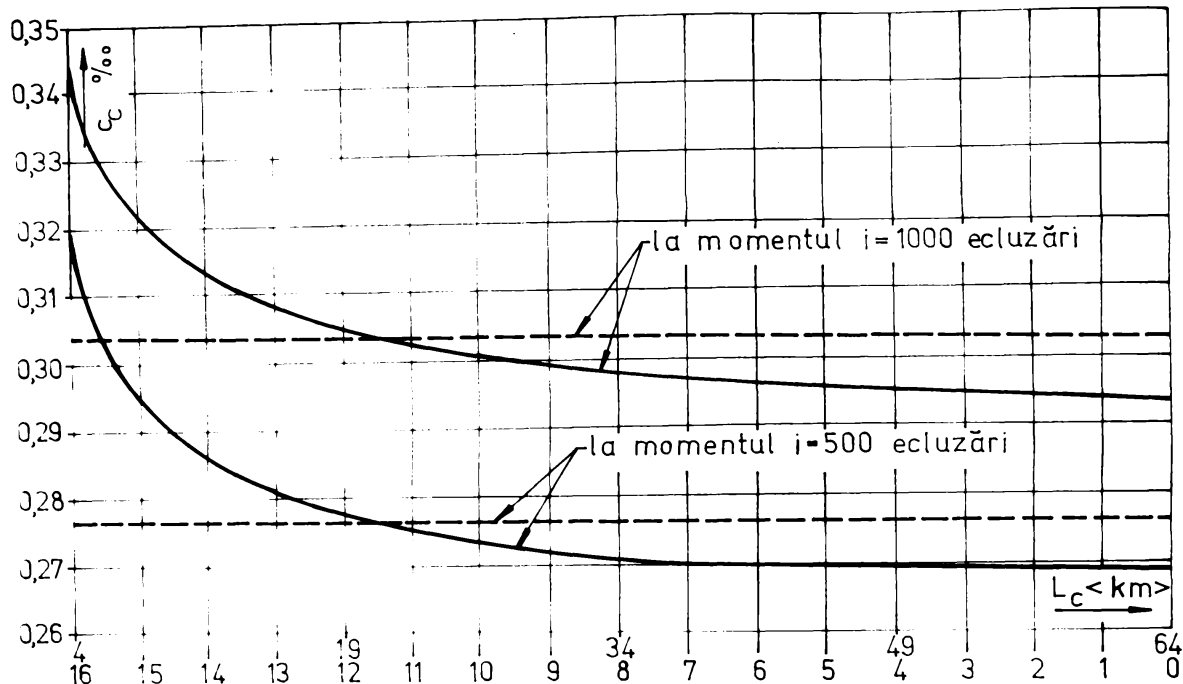


Fig. 2.16 Distribuția salinității în profilul longitudinal al canalului Dunăre - Marea Neagră
 — distribuția salinității — — salinitatea medie

- rezultatele obținute sînt redată în fig.2.17.

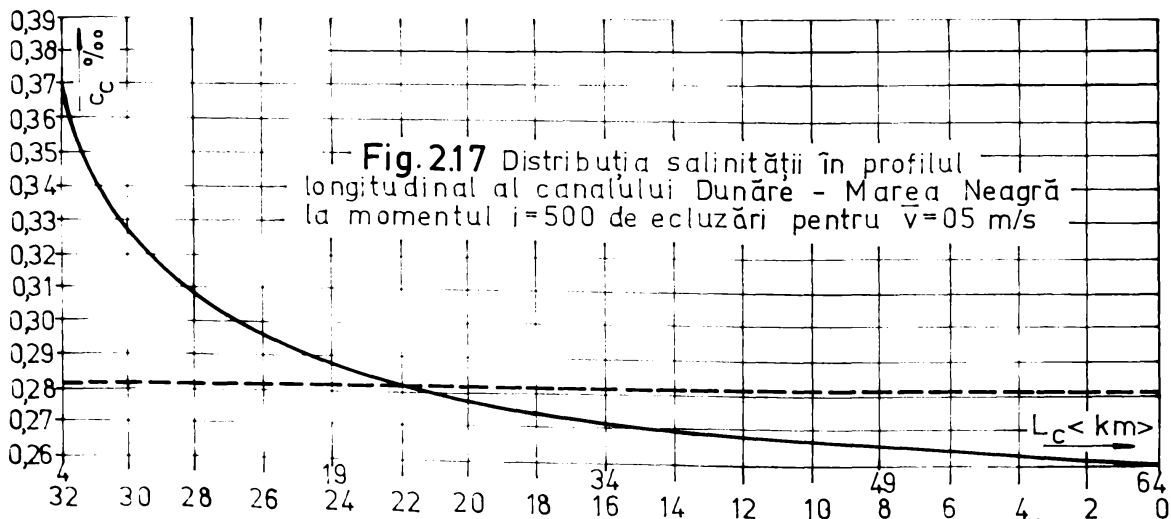


Fig. 2.17 Distribuția salinității în profilul longitudinal al canalului Dunăre - Marea Neagră la momentul $i=500$ de ecluzări pentru $\bar{v}=0.05$ m/s

• determinarea dependenței $\Delta c_{max} = f(\bar{v})$

- pentru evaluarea salinităților maxime care se înregistrează în profilul longitudinal al canalului Dunăre-Marea Neagră s-au determinat valorile maxime ale creșterii salinității (rel.2.92) în funcție de diferitele viteze de propagare ale apei salmastre în canal ;

- în fig.2.18 sînt redată rezultatele obținute.

2.7.1.4. Salinizarea canalului Dunăre-Marea Neagră în ipoteza funcționării în regim convențional al ecluzei Agigea. $\Delta V \neq 0$

• calculul coeficienților

- față de calculele anterioare, datorită funcționării ecluzei în regim convențional, volumul de apă consumat la o ecluzare va fi :

$$\Delta V = A \cdot H_0 = 64 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \implies v = 0,00164 \text{ și } \delta = 0,9978$$

- ceilalți coeficienți rămân cu valorile calculate anterior ;

- $h_s = 0,467$ și $h_0 = 0,533$ cu relațiile 2.94 și 2.95.

• metoda exactă

- s-a utilizat programul de calcul PRGRM 2 ;

- s-au determinat inițial următoarele valori :

$$c_{s,max} = 6,11388 \% \text{ (relația 2.99)}$$

$$\bar{c}_{s,max} = 9,58286 \% \text{ (relația 2.100)}$$

Rezultatele obținute sînt prezentate în fig.2.19.

• metoda aproximativă bazată pe relația 2.45

- rezultatele obținute sînt trecute în tabelul 2.6 și fig.2.19 pentru $c_s = c_{s,max} = 6,11388 \% = \text{constant}$ și $\bar{c}_s = \bar{c}_{s,max} = 9,58216 \% = \text{constant}$;

- a rezultat $n_{limită} = 125$ cu relația 2.51.

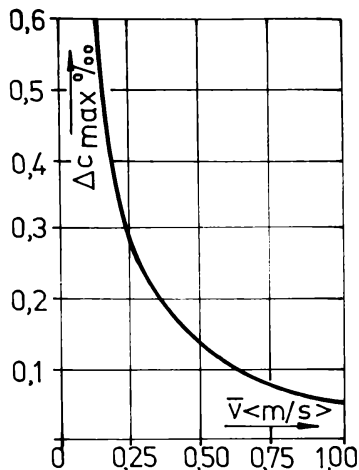


Fig. 2.18 Dependența $\Delta c_{max} = f(\bar{v})$

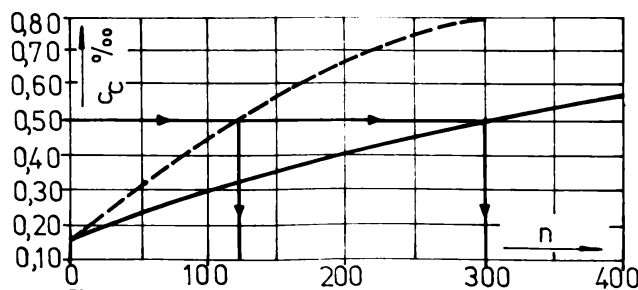
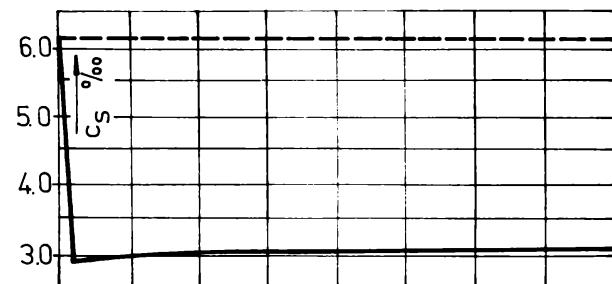
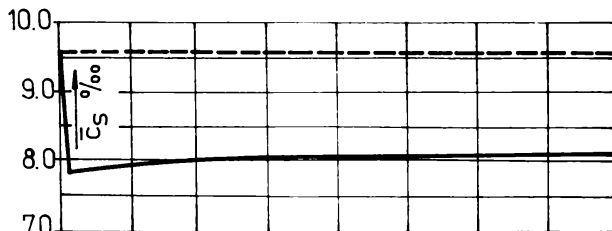


Fig. 2.19 Funcționarea ecluzei Agigea în regim convențional ($\Delta V \neq 0$)
 — metoda exactă — — — cu relația 2.45

Tabelul 2.6

- concentrația salină este dată în %.

i	$c_c^{(i)}$	i	$c_c^{(i)}$	i	$c_c^{(i)}$	i	$c_c^{(i)}$
1	2	1	2	1	2	1	2
1	0,15320	40	0,27265	90	0,41153	140	0,53592
5	0,16609	50	0,30166	100	0,43752	150	0,55920
10	0,18168	60	0,33005	110	0,46294	160	0,58163
20	0,21267	70	0,35781	120	0,48780	200	0,66819
30	0,24299	80	0,38496	130	0,51213	300	0,85328

2.7.2. Canalul Poarta Albă - Năvodari - Midia protejat
antisalin prin ecluza neconvențională Năvodari
• elementele inițiale de calcul (tabelul 2.7)

Tabelul 2.7

1. Canalul Poarta Albă - Midia - Năvodari

- lungimea canalului între ecluzele Ovidiu-Năvodari (fig.1.16) $L_c = 10 \text{ km}$
- secțiunea transversală medie a sectorului de canal (fig.2.20) $\Omega_c = 320 \text{ m}^2$
- nivelul normal de exploatare al canalului (fig.2.21) $+ 1,25 \text{ m}$
- concentrația salină inițială a apei canalului $c_c^0 = 0,15 \%$
- concentrația salină admisă a apei canalului $c_{c.admis} = 0,5 \%$
- deplasamentul convoiului de calcul $D = 1 \times 3.500 = 3.500 \text{ t}$

2. Ecluza Năvodari :

- lungimea sasului ecluzei $L_s = 160 \text{ m}$
- lățimea sasului ecluzei $B_s = 12,5 \text{ m}$
- adâncimea de apă în sas la nivel normal aval $H_s = 5,5 \text{ m}$
- secțiunea orizontală a sasului ecluzei $A = 2000 \text{ m}^2$
- căderea la niveluri normale (fig.2-21) $H_0 = 1,75 \text{ m}$

3. Marea Neagră (idem tabelul 2.1)

- calculul coeficienților (rel.2.5,2.7,2.23,2.35,2.44)
 - volumul de apă al canalului : $V = L_c \cdot \Omega_c = 3,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$;
 - volumul de apă consumat la o ecluzare :

$$\Delta V = V_{sas} + A \cdot H_0 = 1,8 \cdot 10^4 \text{ m}^3$$
 - coeficienții :
 $d_0 = 0,241$; $d_s = 0,318$; $d = 0,0011$;
 $v = 0,0056$; $\delta = 0,9933$;

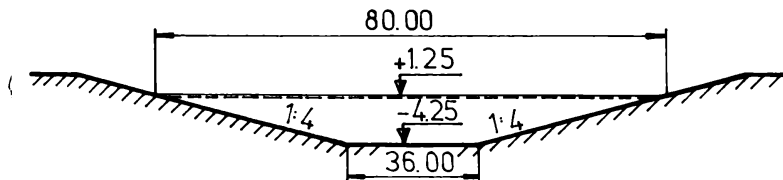


Fig. 2.20 Secțiunea transversală a canalului în sectorul Ovidiu- Năvodari

2.7.2.1. Ipoteza

$\Delta V = 0$

- calculul concentrației saline medii în canal cu metoda exactă
- s-a utilizat programul de calcul

PRGRM 1 (anexa 1) ;

- s-au determinat : salinitatea medie inițială în sasul ecluzei $\bar{c}_s^{(i)}$ (rel.2.9);

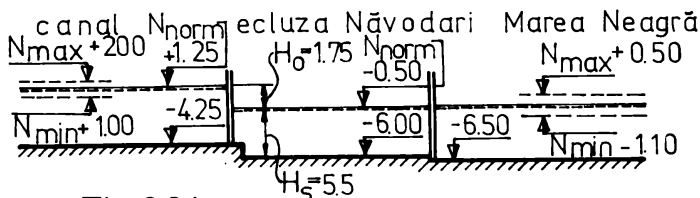


Fig. 2.21 Variația nivelurilor de apă pe sectorul Ovidiu- Năvodari

salinitatea medie în sas urma procesului de evacuare a apei sărate în bieful aval $c_s^{(i)}$ (rel.2.13) și salinitatea medie a

apei canalului $c_c^{(i)}$ (rel.2.24) ;

- elemente inițiale de calcul :

$c_{s.admis} = 0,66 \%$ (din ecuația 2.16) ;

$h_r = 0,023$ și $H_r = 0,17$ m (rel.2.15 și 2.12) ;

$\bar{c}_{s,max} = 5,9 \%$;

- rezultatele calculului sunt prezentate în tabelul 2.8 și

fig.2.22.

• calculul concentrației saline medii cu formula 2.30 (metoda aproximativă)

- s-au adoptat :

$c_s^{(i)} = c_{s.admis} = 0,66 \%$ = constant ;

$\bar{c}_s^i = \bar{c}_{s,max} = 5,9 \%$ = constant ;

- numărul limită de ecluzări pentru care în canal se atinge salinitatea admisă :

$n_{limită} = 1053$ de ecluzări (rel.2.32)

- rezultatele calculului sunt prezentate în tabelul 2.8 și

fig.2.22.

Tabelul 2.8

- concentrația salină este dată în %.

i	- metoda exactă		formula 2.30			
	$c_s^{(i)}$	$c_s^{(i)}$	$c_c^{(i)}$	$c_s^{(i)}$	$c_s^{(i)}$	$c_c^{(i)}$
1	0,66000	5,85612	0,15056	0,66000	5,90000	0,15056
5	0,31583	5,59426	0,15107			0,15279
10	0,31673	5,59488	0,15197			0,15558
20	0,31851	5,59610	0,15379			0,16110
30	0,32031	5,59733	0,15560			0,16656

1	2	3	4	5	6	7
40	0,32210	5,59856	0,15741	0,66000	5,90000	0,17197
50	0,32381	5,59979	0,15923			0,17731
100	0,33288	5,60592	0,16829			0,20315
500	0,40475	5,65504	0,24088			0,36584
1000	0,49391	5,71599	0,33092			0,49034
1500	0,58259	5,77661	0,42048			0,56214
1850	0,64778	5,81324	0,50012			0,59343
2000	0,67100	5,83704	0,50975			0,60356
2500	0,75876	5,89704	0,59839			0,62745
2600	0,77626	5,90900	0,61606	0,66000	5,90000	0,63083

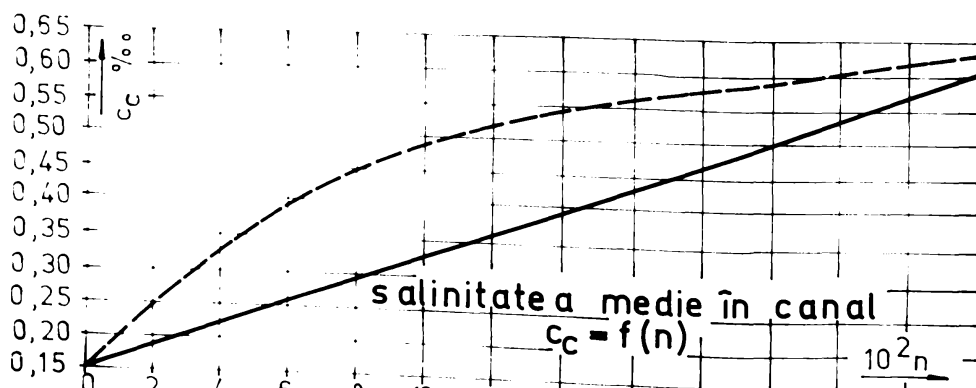
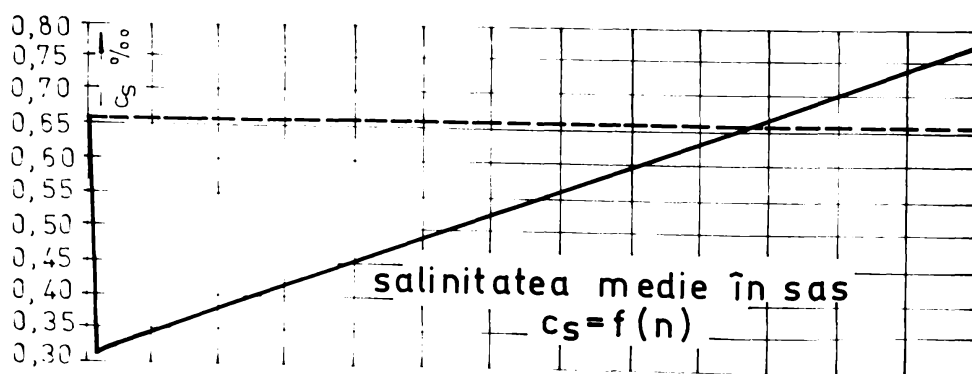
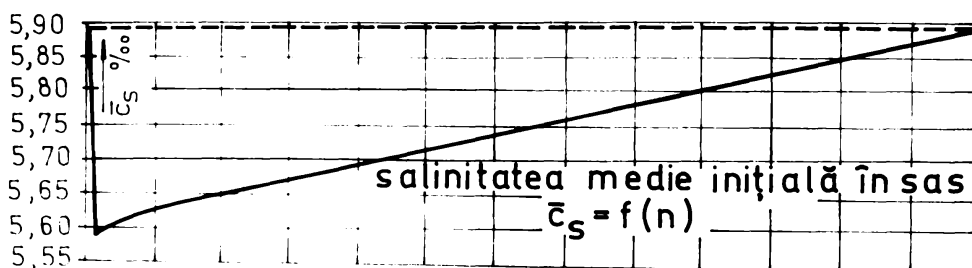


Fig. 2.22 Dependența concentrației saline în sasul ecluzei Năvodari și canalul Poarta Albă - Năvodari în funcție de numărul ecluzărilor (ipoteza $\Delta V = 0$)

— metoda exactă - - - metoda bazată pe relația 230

2.7.2.2. ipoteza $\Delta V \neq 0$ • metoda exactă (rel.2.9, 2.13, 2.24''', 2.37)

Se utilizează programul de calcul automat PRGRM 2 (anexa 2).

S-au determinat în prealabil (rel.2.49, 2.10', 2.50 și 2.12):

$$c_{s.admis} = 2,29 \% , \bar{c}_{s.max} = 6,676 \% , h_r = 0,096 \text{ și } H_r = 0,70 \text{ m}$$

Rezultatele calculelor sînt prezentate în tabelul 2.9 și fig.2.23.

Tabelul 2.9

- concentrația salină este dată în %.

i	- metoda exactă			- cu formula 2.45		
	$c_s^{(i)}$	$\bar{c}_s^{(i)}$	$c_c^{(i)}$	$c_s^{(i)}$	$\bar{c}_s^{(i)}$	$c_c^{(i)}$
1	2	3	4	5	6	7
1	2,28779	6,11489	0,15233	2,29000	6,67600	0,15234
5	2,87936	5,88651	0,15476			0,16156
10	0,88264	5,88880	0,15855			0,17275
20	0,88967	5,89364	0,16582			0,19403
50	0,90853	5,90665	0,18529			0,24991
100	0,93365	5,92394	0,21124			0,32131
200	0,96685	5,94679	0,24553			0,40877
300	0,98571	5,95977	0,26501			0,45342
400	0,99642	5,96714	0,27607			0,47622
500	1,00250	5,97137	0,28235			0,48785
600	1,00596	5,97377	0,28592			0,49380
700	1,00792	5,97504	0,28794			0,49684
800	1,00903	5,97583	0,28910			0,49838
900	1,00967	5,97626	0,28975			0,49917
1000	1,0100	5,97652	0,29013			0,49958
1100	1,01021	5,97664	0,29031			0,49978
1300	1,01041	5,97679	0,29052			0,49994
1500	1,01047	5,97681	0,29059			0,49998
1700	1,01049	5,97683	0,29060			0,49999
2000	1,01050	5,97684	0,29061			0,49999
3000	1,02311	5,98832	0,30122			0,50000
4000	1,03112	6,00123	0,31141	2,29000	6,67600	0,50000

• metoda aproximativă (formula 2.45)

S-au efectuat calculele pentru :

$$c_{s.admis} = 2,29 \% = c_s = \text{constant și ,}$$

$$\bar{c}_{s.max} = 6,676 \% = \text{constant}$$

A rezultat $c_{c.max} = 0,5 \%$ pentru $n \rightarrow \infty$

Pentru comparație rezultatele obținute sînt redade în tabe-

lul 2.9 și figura 2.23.

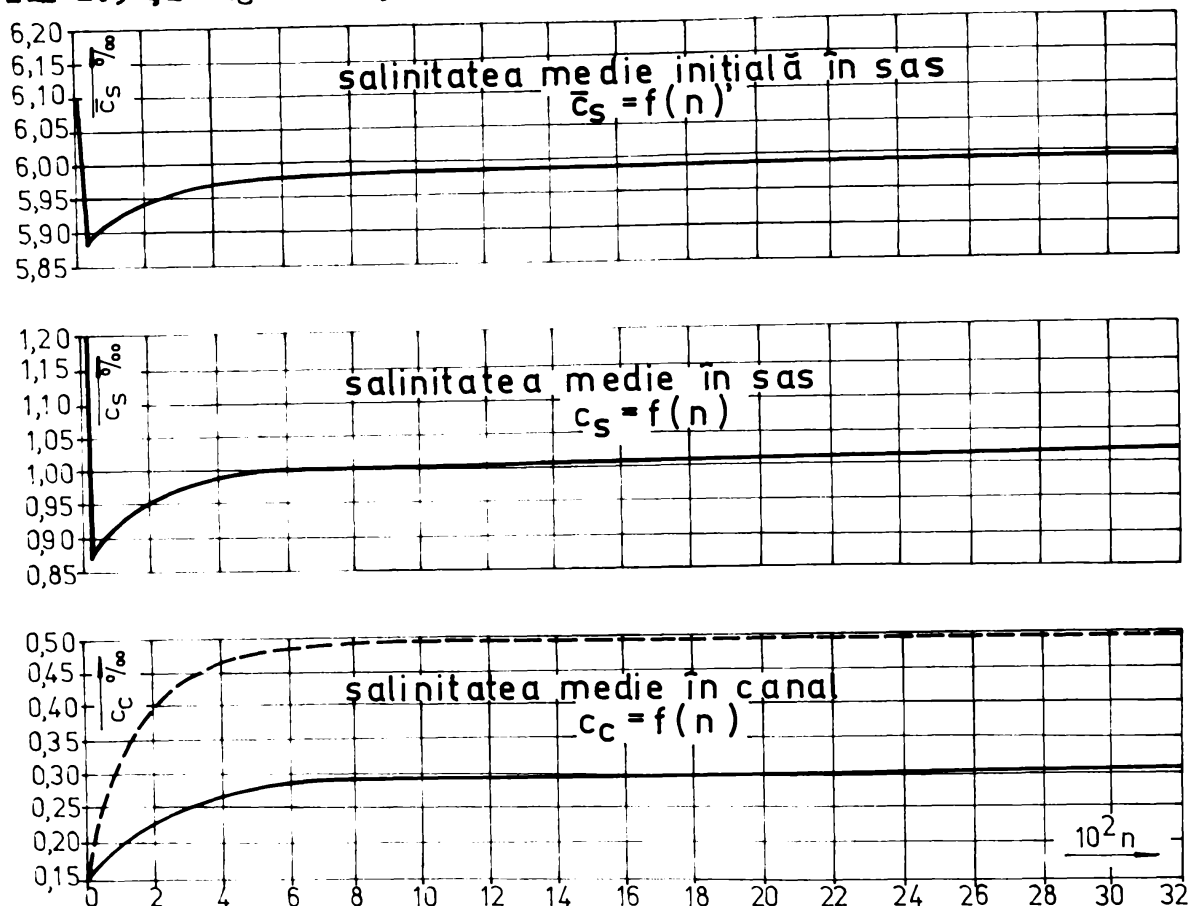


Fig. 2.23 Dependența concentrației saline în sasul ecluzei Năvodari și în canalul Poarta Albă - Năvodari în funcție de numărul ecluzărilor (ipoteza $\Delta V \neq 0$)

— metoda exactă — — metoda bazată pe relația 2.45

2.7.2.3. Distribuția salinității în profilul longitudinal al canalului Poarta Albă - Năvodari pe sectorul Ovidiu - Năvodari

Se adoptă viteza de propagare a apei salmastre în canal : $\bar{v} = 0,5$ m/s (s-a luat în considerare traficul preconizat pentru canalul Poarta Albă - Năvodari - Midia).

Se obține :

$t_0 \approx 6$ ore și $m = 8$ pentru $T \approx 0,7$ ore (rel.2.54 și 2.55).

S-a utilizat programul de calcul PRGRM 4 pentru trei momente caracteristice corespunzătoare unui număr de ecluzări $i = 500$; 1000 ; 1500 . Rezultatele obținute sînt prezentate în fig.2.24. Metoda directă aplicată (rel.2.89 , 2.90 și 2.91) arată o concordanță deplină cu rezultatele obținute cu metoda exactă.

2.7.2.4. Ipoteza funcționării în regim convențional al ecluzei Năvodari. $\Delta V \neq 0$

• calculul coeficienților :

față de paragraful 2.7.2.2, volumul de apă consumat la ecluzare de-

vine :

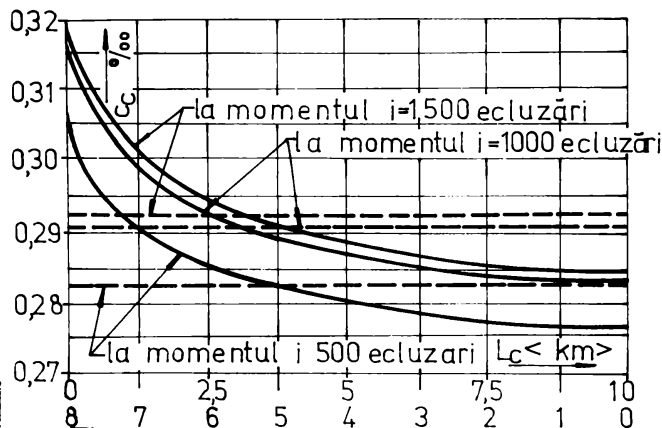


Fig. 2.24 Distribuția salinității în profilul longitudinal al canalului Poarta Albă-Năvodari

— distribuția salinității
 --- salinitatea medie

• metoda aproximativă bazată pe relația 2.45 (fig.2.25)

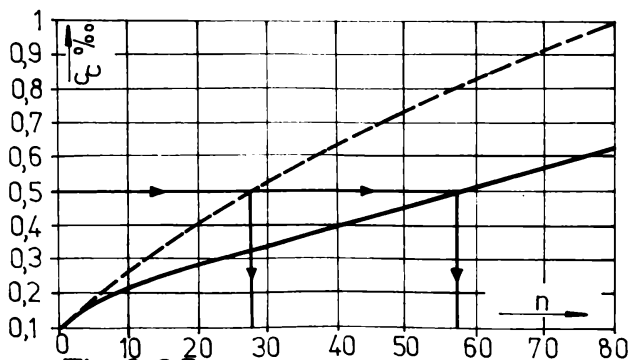
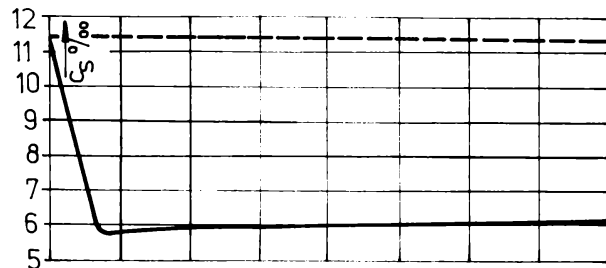
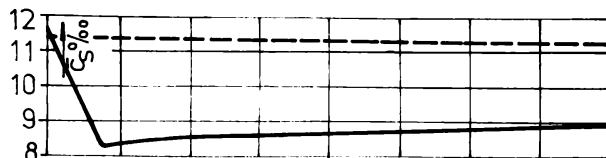


Fig. 2.25 Funcționarea ecluzei Năvodari în regim convențional ($\Delta V \neq 0$)
 — metoda exactă --- cu relația 2.45

$\Delta V = A.H_0 = 3,5 \cdot 10^3 \text{ m}^3$
 cu $v = 0,0011$ și $\delta = 0,9978$
 - și $h_s = 0,759$, $h_0 = 0,241$
 cu relațiile 2.94 și 2.95

• metoda exactă

- s-a utilizat programul de calcul PRGRM 2 ;
 - au rezultat (rel.2.99 și 2.100) :

$c_{s,max} = 11,65 \%$ și

$\bar{c}_{s,max} = 11,518 \%$

Rezultatele obținute sînt prezentate în fig.2.25.

- s-a admis $c_s = c_{s,max} = 11,65 \%$ și $\bar{c}_s = \bar{c}_{s,max} = 11,518 \%$

- a rezultat $n_{limită} = 29$ ecluzări (rel.2.51) ;

- pentru $c_s = 11,65 \%$ ar fi necesar un $v = 0,034$ respectiv $Q = 43 \text{ m}^3/\text{s}$ pentru ca în canal $c_{c,max} \leq c_{c,admis}$ (rel.2.101 ; 2.102).

2.7.3. Interpretarea rezultatelor obținute

2.7.3.1. Pentru canalul Dunăre - Marea Neagră

• S-au admis cele două ipoteze anunțate la paragraful 2.4.1 (ipoteza 2^o)

- cu $\Delta V = 0$ rezultă : salinitatea inițială în sas notată cu \bar{c}_s este cuprinsă între 17 ‰ corespunzător primei ecluzări și tinde spre

o valoare maximă de 6,82 ‰. cînd $n \rightarrow \infty$; valoarea minimă înregistrată este de 6,57752 ‰ ,deci foarte apropiată de $\bar{c}_{s,max}$; salinitatea în sas la sfîrșitul operațiilor de evacuare în bieful aval și de umplere are valoarea maximă de $c_{s,admis} = 0,71 \%$ care corespunde unui

volum remanent de apă sărată în sas $V_r = H_r \cdot A = 0,406 \cdot 8000 = 3248 \text{ m}^3$, se determină de fapt regimul de funcționare al ecluzei Agigea ; salinitatea canalului atinge valoarea limită după cca. 3120 de ecluzări (cu metoda de calcul exactă), respectiv 1852 de ecluzări (cu metoda directă aproximativă) ;

- cu $\Delta V \neq 0$ (ipoteza reală) rezultă : salinitatea inițială din sas înregistrează valori cuprinse între 17 % și 7,67179 % cu valoarea minimă de 6,94074 % ; salinitatea finală din sas are o valoare maximă de $c_{s.admis} = 2,42$ % și una minimă de 1,06252 % care determină un volum remanent al apei sărate de $V_r = 13280 \text{ m}^3$ deci de cca. 4 ori mai mare ca ipoteza anterioară (rezultă o îmbunătățire simțitoare a capacității de trecere a ecluzei Agigea) ; cu $c_{s.admis} = 2,42$ % , salinitatea în canal se stabilizează la valoarea egală cu $c_{c.admis} = 0,5$ % pentru $n \rightarrow \infty$; metoda directă de calcul determină valori ale salinității canalului cu pînă la 50 % mai mari ca metoda de calcul exactă ; dacă s-a adoptat $c_{s.admis} = 0,71$ % (din ipoteza $\Delta V = 0$) atunci în canal se va înregistra $c_{c.max} = 0,238$ % .

• s-au efectuat calcule asupra distribuției salinității în profilul longitudinal al canalului Dunăre-Marea Neagră

- pentru o viteză de propagare a apei salmastre în canal de 1 m/s s-au obținut următoarele rezultate : la momentul corespunzător unui număr de 500 ecluzări (cca. 25 de zile navigabile consecutive) salinitatea înregistrează valori cuprinse între $c_{c.min}^{500} = 0,26806$ % în portul de așteptare aval al ecluzei Cernavodă și $c_{c.max}^{500} = 0,31958$ % în portul de așteptare amonte al ecluzei Agigea, față de valoarea medie $c_c^{500} = 0,27589$ % (cu metoda directă aproximativă $c_c^{500} = 0,43891$ %) rezultă că față de valoarea medie, salinitatea maximă crește cu cca. 15 % ; pentru 1000 de ecluzări valorile obținute sînt de $c_{c.min}^{1000} = 0,29596$ % , $c_{c.max}^{1000} = 0,34694$ % față de $c_c^{1000} = 0,30346$ % deci o creștere cu aceeași valoare de 15 % (cu metoda directă aproximativă $c_c^{1000} = 0,48896$ %) ;

- pentru viteza de propagare de 0,5 m/s s-au efectuat calcule pentru un număr de 500 de ecluzări, rezultatele obținute fiind următoarele : $c_{c.min}^{500} = 0,26085$ % iar $c_{c.max} = 0,36648$ % adică cu cca. 30 % mai mult ca valoarea medie corespunzătoare ; valorile maxime ale creșterii salinității datorită distribuției în lungul canalului depind de viteza de propagare a apei salmastre, și pot ajunge pînă la valori de 0,3 % cînd $\bar{v} = 0,25$ m/s iar în canal se înregistrează o salinitate egală cu salinitatea admisă de 0,5 % .

• s-a analizat situația în care ecluza Agigea funcționează în regim convențional

S-au obținut următoarele rezultate : salinitatea inițială

din sas înregistrează valori maxime de 9,58216 ‰ (exceptînd prima ecluzare cînd are valoarea de 17 ‰) ; salinitatea finală în sas va fi cuprinsă între 2,9 ‰ și 6,11388‰; în canal se va înregistra valoarea limită de 0,5 ‰ după 300 de ecluzări (cca.15 zile) cu metoda exactă și 150 de ecluzări cu metoda directă aproximativă.

2.7.3.2. Pentru canalul Poarta Albă - Năvodari - Midia pe sectorul cuprins între ecluzele Ovidiu - Năvodari

• în general s-au efectuat aceleași calcule ca la paragraful 2.7.3.1

- pentru $\Delta V = 0$: salinitatea inițială în sas înregistrează valori cuprinse între 5,9 ‰ și 5,59426 ‰ (17 ‰ pentru prima ecluzare) ; salinitatea finală este cuprinsă între $c_{s.admis} = 0,66$ ‰ și 0,31583 ‰ pentru un regim de funcționare al ecluzei Năvodari corespunzător unui $V_r = 340 \text{ m}^3$; în canal se înregistrează valoarea limită a salinității admise de 0,5 ‰ după 1850 de ecluzări (metoda exactă de calcul) sau 1053 de ecluzări (metoda directă aproximativă) ;

- cu $\Delta V \neq 0$: salinitatea inițială în sas este cuprinsă între 6,676 ‰ și 5,88651 ‰ (17 ‰ la prima ecluzare) ; salinitatea finală în sas are valoarea maximă de 2,29 ‰ și minimă de 0,87936 ‰ cu un regim de funcționare al ecluzei Năvodari la care $V_r = 1400 \text{ m}^3$ (o creștere de cca.4 ori față de ipoteza anterioară) ; salinitatea în canal tinde spre valoarea limită de 0,5 ‰ ;

• distribuția salinității în profilul longitudinal al sectorului Ovidiu - Năvodari

- pentru determinarea distribuției salinității s-a adoptat o viteză de propagare a apei salmastre în canal de 0,5 m/s.S-au obținut următoarele rezultate : dacă numărul ecluzărilor este de 500 , $c_{c.min}^{500} = 0,27622$ ‰ , $c_{c.max}^{500} = 0,31356$ ‰ iar valoarea medie $c_c^{500} = 0,28235$ ‰ (0,48785 ‰ cu metoda aproximativă) ; pentru 1000 de ecluzări $c_{c.min}^{1000} = 0,28395$ ‰ , $c_{c.max}^{1000} = 0,31688$ ‰ , $c_c^{1000} = 0,29013$ ‰ iar cu metoda aproximativă 0,49958 ‰ ; și dacă numărul ecluzărilor va fi de 1500 se obține $c_{c.min}^{1500} = 0,28440$ ‰ , $c_{c.max}^{1500} = 0,31799$ ‰ , $c_c^{1500} = 0,29058$ ‰ și de 0,49998 ‰ cu metoda aproximativă ; în toate cele trei cazuri diferențele dintre valorile maxime și cele medii (calculate cu metoda exactă) este de cca.10 ‰ .

• ecluză Năvodari funcționează în regim convențional

- salinitatea inițială în sas este cuprinsă între 11,518 ‰ valoare maximă și 8,46695 ‰ valoare minimă (pentru prima ecluzare $c_s = 17$ ‰) ; salinitatea finală în sas înregistrează valoarea maximă de 11,65 ‰ și minimă de 5,84372 ‰ ; în canal se atinge salinitatea limită de 0,5 ‰ după 57 de ecluzări (cu metoda exactă) respectiv 29 de ecluzări (cu metoda directă aproximativă) ;

- pentru a limita salinitatea medie a canalului la valoarea admisă de 0,5 ‰ este necesar ca debitul permanent de apă dulce care alimentează sectorul Ovidiu - Năvodari să fie de $43 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.8. Concluzii

• pentru a defini regimul hidraulic de funcționare al unei ecluze neconvenționale se introduce noțiunea de salinitate medie admisă în sasul ecluzei la sfârșitul operației de evacuare a apei sărate în bieful aval și umplere la nivelul biefului amonte ; această salinitate s-a notat cu $c_{s.admis}$;

• condiția impusă inițial pentru salinitatea apei canalului (rel.2.1) determină o condiție restrictivă și pentru salinitatea finală care se realizează în sasul ecluzei neconvenționale notată cu c_s (rel.2.2) ;

• mărimea salinității c_s este funcție de salinitatea inițială a apei din sas de la începutul operațiilor de funcționare a ecluzei, \bar{c}_s (la nivelul biefului aval), și de salinitatea apei canalului la același moment c_c ; aceste trei mărimi depind prin numărul ecluzărilor de variașila timp ; condițiile inițiale pentru $t = 0$ vor fi $\bar{c}_s = c_m$ (salinitatea apei de mare) și $c_c = c_c^0$ (salinitatea inițială din canal) iar cele finale prin satisfacerea la limită a condițiilor 2.1, 2.2 și 2.10' ;

• s-a elaborat o metodă de evaluare a salinității inițiale \bar{c}_s în funcție de numărul ecluzărilor și de salinitățile corespunzător condițiilor inițiale (rel.2.9) ; în cadrul metodei se evidențiază faptul că \bar{c}_s tinde spre o valoare limită $\bar{c}_{s,max}$ (rel.2.10') în condițiile satisfacerii concomitente a condițiilor 2.1 și 2.2, dar aceasta rămâne mai mică ca salinitatea apei de mare (condiția 2.3) ;

• pentru determinarea salinității admise în sasul ecluzei ($c_{s.admis}$) s-au considerat două ipoteze :

- canalul nu este alimentat permanent cu un debit de apă dulce $\Delta V = 0$; s-a dedus o metodă de calcul (prin rezolvarea ecuației 2.16) care permite evaluarea salinității admise, și o metodă expeditivă (cu oarecare aproximație acceptabilă) care scoate în evidență faptul că $c_{s.admis}$ poate fi mai mare ca $c_{c.admis}$ (rel.2.20) ;

- canalul este alimentat permanent cu un debit de apă dulce $\Delta V \neq 0$; relația dedusă (2.49) permite acceptarea unor valori ale salinității admise de două pînă la de trei ori mai mari ca ipoteza anterioară (paragraful 2.7) ; se deduce concluzia că existența unui debit permanent de apă dulce în canal, oricît de mic (de exemplu este suficient doar debitul care acoperă consumul de apă datorat ecluzării) îmbunătățește substanțial capacitatea de trafic al ecluzei neconvenționale prin reducerea timpului total de umplere ;

- pentru ambele ipoteze a fost necesară definirea noțiunii de adâncime remanentă, corespunzătoare volumului de apă salmastră care rămâne practic în sasul ecluzei la sfârșitul operațiilor de evacuare a apei sărate în bieful aval ; adâncimea remanentă constituie de asemenea un element de apreciere a regimului hidraulic de funcționare al unei ecluze neconvenționale (rel.2.16 , 2.15' , 2.50) ;

- luându-se în considerare cerințele impuse de funcționarea automatizată a echipamentelor ecluzei este absolut obligatoriu ca adâncimea remanentă să fie aceeași în toate procesele de ecluzare (ecluza funcționează identic pentru $i = 1...n$) ;

• s-au dedus metode de calcul ale salinității medii ale apei canalului în funcție de numărul ecluzărilor, în ipoteza că întregul canal sau o lungime bine determinată de canal participă la realizarea acestei salinități ;

- pentru $\Delta V = 0$, relațiile de calcul (metoda exactă) 2.9, 2.13 și 2.24 impun necesitatea calculului automat în mod obligatoriu; se propune programul de calcul PRGRM 1. Pentru calcule expeditiv se dedus relația 2.30 care permite evaluarea salinității medii din canal direct în funcție de numărul ecluzărilor ; rezultatele care se obțin cu 2.30 sînt cu cel mult 50 % mai mari (datorită ipotezelor simplificatoare admise) față de metoda exactă. Relația 2.32 permite limitarea numărului de ecluzări pentru ca în canal să nu se depășească $c_{c.admis}$;

- pentru $\Delta V \neq 0$, metoda de calcul dedusă (rel.2.9,2.13, 2.24'',2.37) necesită de asemenea un calcul automat PRGRM 2. Pentru calcule expeditiv se propune relația 2.45 cu aceleași observații ca în ipoteza anterioară, iar pentru limitarea numărului de ecluzări relația 2.51 ;

• s-a elaborat o metodă de determinare a distribuției salinității în profilul longitudinal al unui canal navigabil în funcție de viteza de propagare a apei salmastre, și de numărul ecluzărilor ; cunoscînd această distribuție se poate verifica condiția 2.1 în orice secțiune de amplasare a folosințelor și deci îmbunătăți parametrii de funcționare ai ecluzei ;

- în ipoteza $\Delta V = 0$, relațiile de calcul 2.57 , 2.60 , 2.60' necesită un calcul automat PRGRM 3, iar pentru calcule directe se poate aplica relația expeditivă 2.74, desigur cu o oarecare aproximație de calcul superioară ; de asemenea cu relația 2.75 se poate aprecia salinitatea maximă care se atinge în canal ;

- în ipoteza $\Delta V \neq 0$, relațiile 2.76 , 2.77 și 2.81 necesită de asemenea un calcul automat PRGRM 4, iar relațiile 2.88,2.89,2.90 permit un calcul direct al distribuției salinității ; dacă se ține

cont de distribuția salinității în lungul canalului relația 2.92' constituie un criteriu suplimentar de stabilire a salinității admise într-un canal navigabil ;

- dependența salinității maxime în funcție de viteza de propagare a apei salmastre în canal se poate determina cu relația 2.92;

• relațiile aproximative de calcul a salinității medii (rel. 2.30 sau 2.45), în general acoperă mărimea salinității maxime din legea de distribuție din profilul longitudinal al canalului ;

• s-a analizat și aportul antisalin al unei ecluze convenționale ; în acest caz noțiunea de salinitate medie admisă în sasul ecluzei nu mai are sens ; pentru ca salinitatea medie în canal să nu depășească $c_{c.admis}$, debitul de apă necesar de a fi tranzitat permanent în lungul canalului se definește prin relația 2.102 ;

• calculele efectuate pentru canalul Dunăre - Marea Neagră și tronsonul Ovidiu-Năvodari confirmă valabilitatea relațiilor deduse:

- utilizarea ecluzelor Agigea respectiv Năvodari în regim convențional determină o salinizare rapidă a canalelor : cca. 300 de ecluzări pentru canalul Dunăre-Marea Neagră și 57 de ecluzări pentru tronsonul Ovidiu-Năvodari de pe canalul Poarta Albă-Năvodari-Midia. După acest număr limită de ecluzări salinitatea medie a apei canalului va depăși salinitatea medie admisă de 0,5 % ;

- se impune deci ca o necesitate utilizarea ambelor ecluze în regim neconvențional. În aceste condiții, adoptând un regim adecvat de funcționare hidraulică a acestor ecluze, se poate evita depășirea salinității medii admise, chiar dacă numărul de ecluzări crește foarte mult (de ordinul miilor) ;

- regimul de funcționare al unei ecluze neconvenționale trebuie stabilit la limita condițiilor impuse de necesitatea protejării antisaline a canalului, pentru a răspunde și cerințelor impuse de realizarea unei anumite capacități de trecere a ecluzei, respectiv a unui anumit trafic al canalului ;

• metodele de calcul deduse sînt general valabile pentru orice tip de ecluză neconvențională (cu dublu circuit hidraulic cu funcționare în regim de umplere-golire concomitentă sau cu un singur circuit hidraulic funcționînd după principiul umplerii normale și evacuării ulterioare a apei sărate în bieful aval). De asemenea relațiile de calcul își păstrează valabilitatea și în cazul canalelor protejate antisalin prin ecluze neconvenționale chiar dacă se situează sub nivelul general al mării (cazul litoralului vest-european).

• evacuarea apei sarate sub sarcină constantă are loc atunci

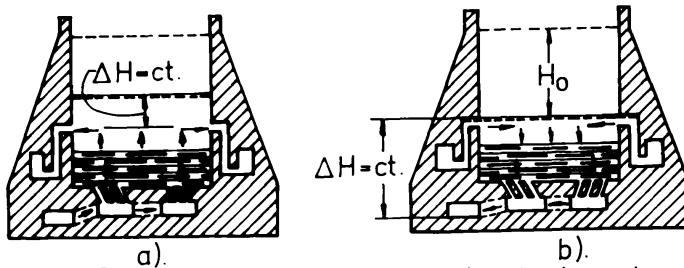


Fig. 3.2 Funcționarea ecluzei Mardyck sub sarcină constantă.

a).evacuarea apei dulci în bieful amonte; b).evacuarea apei sărate în bieful aval prin pompare.

cînd se menține constant gradul de deschidere a vanelor V_1 al sistemului de alimentare și V_2 al sistemului de golire. Rezultă deci :

$\Delta H = \text{constant}$ (3.1)
respectiv egalitatea debitelor de alimentare (afluent) cu cel de golire (efluent) :

$$Q_{\text{afl}} = Q_{\text{efl}} = \text{constant} \quad (3.2)$$

sau :

$$\mu a_0 \sqrt{2g(H_0 - \Delta H)} = \mu' a'_0 \sqrt{2g \Delta H} \quad (3.3)$$

unde : μ, μ' coeficienții de debit ai sistemului de alimentare, respectiv golire ; a_0, a'_0 secțiunea totală a galeriilor în dreptul vanelor V_1 respectiv V_2 ; H_0 = căderea la ecluză.

Adoptînd sarcina constantă ΔH convenabilă, relația 3.3 servește la determinarea secțiunii totale a'_0 atunci cînd din alte considerente se cunoaște mărimea a_0 . Schema de manevră a vanelor va fi ca în fig. 3.3, a iar tabloul hidraulic al umplerii-golirii concomitente ca în fig. 3.3, b. Evacuarea apei sărate sub sarcină constantă are

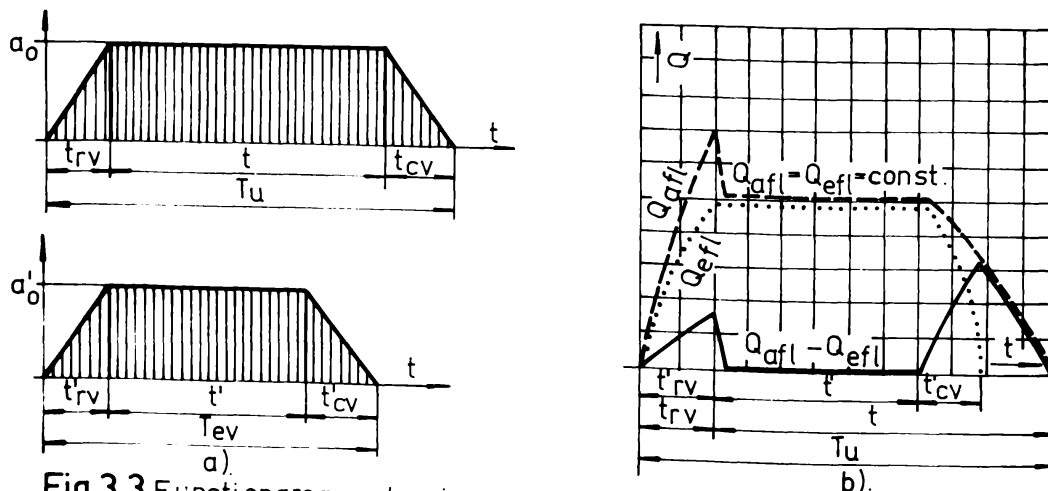


Fig. 3.3 Funcționarea ecluzei neconvenționale sub sarcină constantă.
a).manevra vanelor V_1 și V_2 ; b).tabloul hidraulic al umplerii-golirii.

avantajul că dacă se admite o valoare ΔH redusă, zona de amestec (paragraful 1.1) se micșorează, dar crește timpul total de umplere al ecluzei și se reduce substanțial capacitatea de trafic a ecluzei.

• evacuarea apei sărate sub sarcină variabilă în timp se realizează prin manevra vanelor V_1 respectiv V_2 după anumite legi bine determinate. în acest caz :

$$Q_{af1} > Q_{ef1} \quad (3.4)$$

Realizarea acestei condiții poate avea loc prin combinarea în diverse moduri a legilor de manevră a vanelor V_1 și V_2 . Din considerente practice, aceste legi de acționare pe cât posibil trebuie să fie cât mai simple /22/. în acest sens se recomandă ca vana de alimentare V_1 să fie acționată identic ca la ecluzele clasice de tip convențional iar vana sistemului de golire V_2 după legi de manevră care să corespundă atributelor unei ecluze convenționale, și anume : să asigure evacuarea unui volum de apă sărată corespunzător regimului de funcționare al ecluzei și să satisfacă condițiile impuse de staționarea optimă a navelor (convoaielor de nave) în sasul ecluzei pe perioada umplerii.

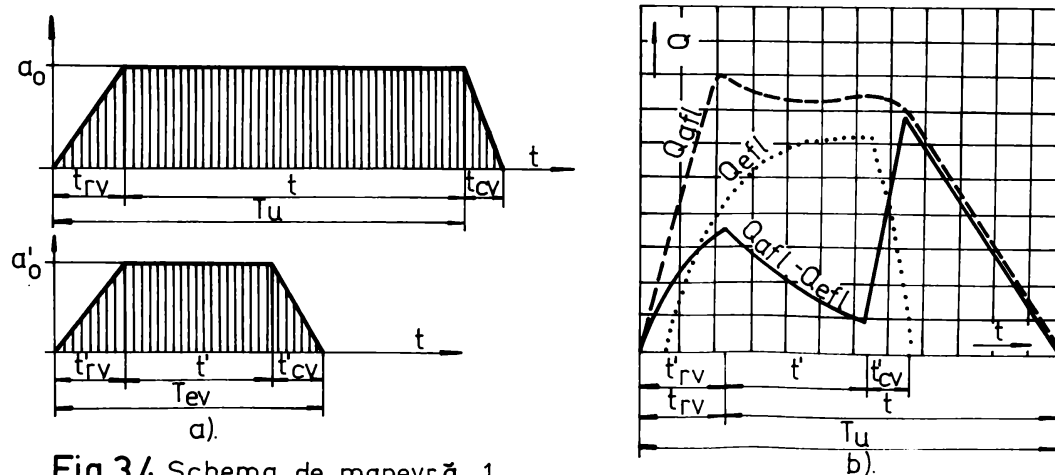


Fig.3.4 Schema de manevră 1.
a).manevra vanelor V_1 și V_2 ; b).tabloul hidraulic al umplerii.

În acest sens se propun trei scheme de manevră a vanelor V_1 și V_2 :

- schema 1 (fig.3.4) : ridicarea vanelor V_1 și V_2 încep în același moment $t = 0$, timpul de ridicare a vanei $V_1 = t_{rv}$ iar a vanei $V_2 = t'_{rv}$; condiția 3.4 este satisfăcută pentru orice :

$$t'_{rv} \geq t_{rv}, \quad (3.5)$$

vana V_2 se menține deschisă un timp t' pînă se evacuează volumul de apă sărată V_{ev} , iar apoi se închide în timpul t'_{cv} ; vana V_1 rămîne deschisă un timp t , pînă se realizează umplerea sasului, iar apoi se închide în timpul t_{cv} (fig.3.4,a) ; tabloul hidraulic al umplerii este ca în figura 3.4,b ;

- schema 2 (fig.3.5) : manevra vanei V_1 rămâne identică ; vana V_2 se află deschisă la momentul inițial $t = 0$, se menține în această situație un timp t' după care se închide uniform pe durata t'_{cv} astfel ca volumul evacuat să fie cel scontat V_{ev} , se observă că

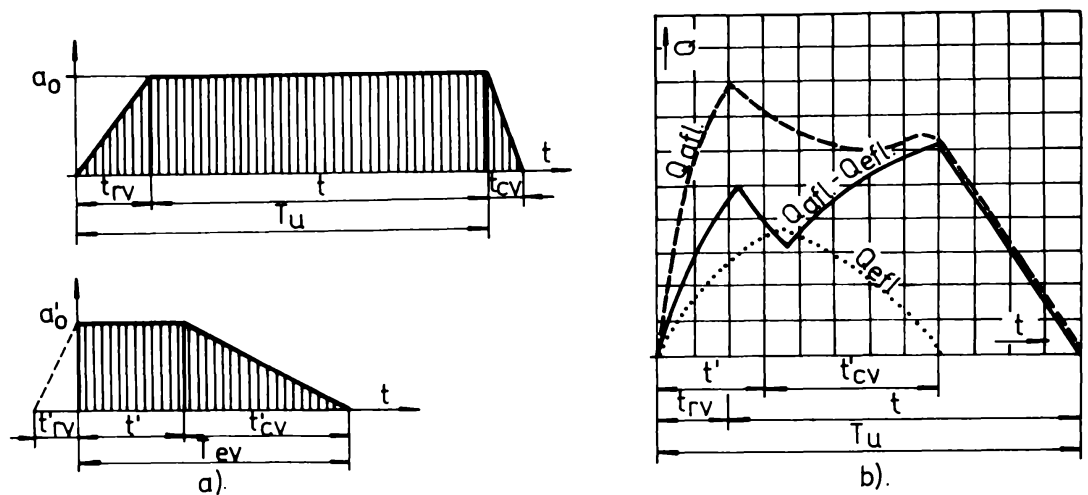
$$t' > t_{rv} \tag{3.6}$$


Fig.3.5 Schema de manevră 2.
a). manevra vanelor V_1 și V_2 ; b). tabloul hidraulic al umplerii.

- schema 3 (fig.3.6) reprezintă o variantă a schemei 2 care rezolvă foarte favorabil condițiile de staționare ale navei în sasul ecluzei prin satisfacerea condiției :

$$Q_{afl} - Q_{epl} = \text{constant} \tag{3.7}$$

în acest caz coborîrea vanei V_2 va avea loc după o lege neliniară (fig.3.6,a) care în practică se poate înlocui prin două sau trei legi liniare.

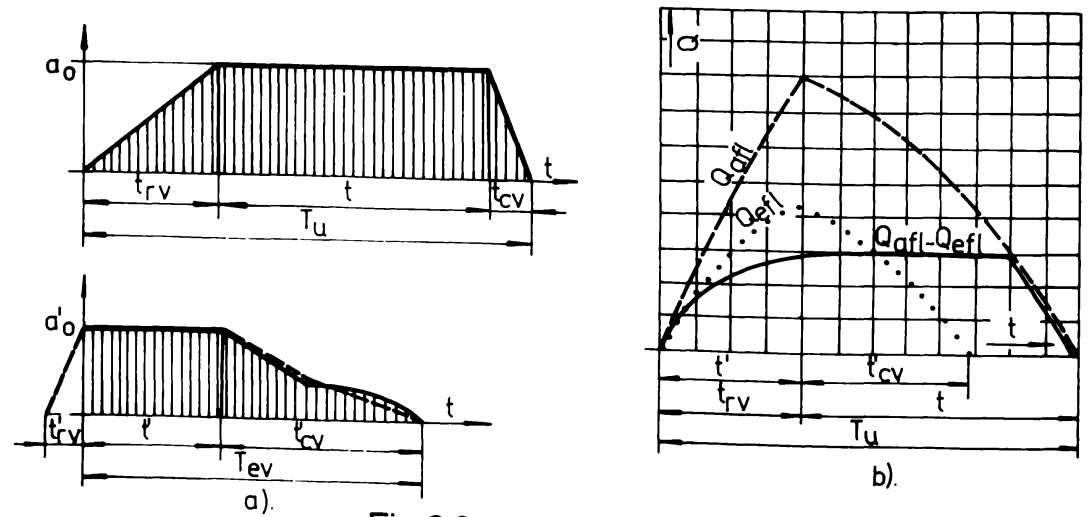


Fig.3.6 Schema de manevră 3.
a). manevra vanelor V_1 și V_2 ; b). tabloul hidraulic al umplerii.

Curbele de debit și variația sarcinii se pot obține în cazul studiat, (sarcină variabilă) din ecuația de continuitate a volumelor elementare care participă în procesul umplerii-golirii concomitente /22/ (fig.3.1) :

$$\boxed{dV_{sas} = dV_{afl} - dV_{efl}} \quad (3.8)$$

unde :

$$dV_{sas} = A \cdot dH \quad (3.9)$$

volumul immagazinat în sas în intervalul de timp elementar dt, iar :

$$dV_{afl} = Q_{afl_t} \cdot dt = \mu_t a_o \sqrt{2gH_t} dt \text{ cu } Q_{afl_t} = \mu_t \cdot a_o \sqrt{2gH_t} \quad (3.10)$$

și :

$$dV_{efl} = Q_{efl_t} \cdot dt = \mu'_t a'_o \sqrt{2g(H_o - H_t)} dt \text{ cu } Q_{efl_t} = \mu'_t a'_o \sqrt{2g(H_o - H_t)} \quad (3.11)$$

Rezultă :

$$A \cdot dH = \mu_t a_o \sqrt{2gH_t} dt - \mu'_t a'_o \sqrt{2g(H_o - H_t)} dt \quad (3.12)$$

Ecuația diferențială obținută (3.12) nu este integrabilă direct chiar dacă coeficienții de debit μ și μ' variază liniar în raport cu variabilă t , astfel că au fost necesare metode numerice de rezolvare cum este metoda diferențelor finite /66,129/.

Relația 3.12 în diferențe finite devine /22/ :

$$\boxed{\Delta H_{i+1} = \left(\frac{a_o}{A} \sqrt{2g} \cdot \Delta t \right) \bar{\mu}_{i,i+1} \sqrt{H_i - \frac{\Delta H_{i+1}}{2}} - \left(\frac{a'_o}{A} \sqrt{2g} \Delta t \right) \bar{\mu}'_{i,i+1} \sqrt{H_o - \left(H_i - \frac{\Delta H_{i+1}}{2} \right)}} \quad (3.13)$$

$$\text{pentru } i = 0 \dots n, \text{ iar } n = \frac{T_{ev}}{\Delta t} \quad (3.14)$$

unde : T_{ev} - timpul în care se evacuează apa sărată în bieful aval egal cu timpul în care vana V_2 rămîne deschisă.

Pentru schema de manevră 1 acest timp va fi :

$$T_{ev} = t'_{rv} + t' + t'_{cv}$$

iar pentru schema 2 și 3 : $T_{ev} = t' + t'_{cv}$

Similar , rezultă :

$$\bar{Q}_{afl_{i,i+1}} = \frac{Q_{afl_i} + Q_{afl_{i+1}}}{2} \quad (3.15)$$

și :

$$\bar{Q}_{efl_{i,i+1}} = \frac{Q_{efl_i} + Q_{efl_{i+1}}}{2} \quad (3.16)$$

unde debitele afluate respectiv efluate sînt definite prin rela-

țiile 3.10 și 3.11.

Coefficienții de debit medii se definesc prin :

$$\bar{\mu}_{i,i+1} = \frac{\mu_i + \mu_{i+1}}{2} \quad (3.17)$$

și :

$$\bar{\mu}'_{i,i+1} = \frac{\mu'_i + \mu'_{i+1}}{2} \quad (3.18)$$

iar :

$$\bar{v}_{ev,i,i+1} = \bar{Q}_{efl,i,i+1} \cdot \Delta t$$

și :

$$v_{ev} = \sum_{i=0}^{i=n} \bar{v}_{ev,i,i+1} \quad (3.19)$$

Pentru $n < i \leq m$ unde $m = \frac{T_u}{\Delta t}$ iar $T_u = t_{rv} + t$ timpul total de umplere al ecluzei, relațiile 3.13 și 3.15 se transformă astfel :

$Q_{efl} = 0$ și ecuația diferențială 3.12 devine :

$$- A \cdot dH_t = \mu \cdot a_o \sqrt{2gH_t} dt \quad (3.12')$$

valabilă pentru $n < i \leq m$. Semnul minus în cazul în care relația este integrabilă este absolut necesar (sarcina H variază în sens invers sensului pozitiv al axei căderii)/38,42,99/.

Pentru un H_i curent dar care este :

$$0 < H_i < H_{i=n}$$

variabilele se vor situa în domeniile :

$$H_t \in (H_n, H_i) \text{ respectiv } t \in (T_{ev}, T_i)$$

Integrînd relația 3.12' se obține :

$$- A \int_{H_n}^{H_i} \frac{dH_t}{\sqrt{H_t}} = \mu a_o \sqrt{2g} \int_{T_{ev}}^{T_i} dt \quad (3.12'')$$

și :

$$\boxed{\sqrt{H_i} = \sqrt{H_n} - \frac{\mu a_o \sqrt{2g}}{2A} (T_i - T_{ev})} \quad (3.12''')$$

ecuația sarcinii similară cu cazul unei ecluze clasice de tip convențional.

Pentru a calcula timpul total de umplere T_u admitem $H_i = 0$ și $T_i = T_u$:

$$\boxed{T_u = T_{ev} + \frac{2 A \sqrt{H_n}}{\mu a_o \sqrt{2g}}} \quad (3.12^{IV})$$

Debitul afluent se va calcula cu relația 2.10 :

$$Q_{af1_i} = \mu a_o \sqrt{2gH_i} \quad (3.10')$$

Pentru rezolvarea ecuației 3.13 în diferențe finite s-a elaborat un program de calcul (PRGRM 5, anexa 5). Pentru momentul inițial de calcul $t = 0, i = 0$, relația 3.13 pentru prima iterație se transformă în :

$$\Delta H_1 = \left(\frac{a_0}{A} \sqrt{2g} \Delta t \right) \frac{\mu_1}{2} \sqrt{H_0} \quad (3.13')$$

Pentru schema 3 de manevră a vanei V_2 se introduce condiția suplimentară 3.7 transcrisă sub forma :

$$\bar{Q}_{afl_{i,i+1}} - \bar{Q}_{efl_{i,i+1}} = \text{constant} \quad (3.7')$$

care explicitată prin relațiile 3.10, 3.11, 3.15 și 3.16 determină legea de închidere a vanei V_2 . Deoarece condiția 3.7' implică un calcul iterativ suplimentar și în acest caz a fost necesară elaborarea unui program de calcul automat (PRGRM 6, anexa 6).

3.1.2. Umplere-golire concomitentă în bazin subteran situat sub nivelul biefului aval

Evacuarea apei sărate într-un bazin subteran situat sub nivelul biefului aval și repomparea ei, constituie așa cum s-a arătat o soluție neeconomică în cazul favorabil al canalelor situate deasupra nivelului mării. Este de remarcat de asemenea, că deși se dispune la golire de o sarcină inițială importantă (mult mai mare ca în cazul anterior), datorită restricțiilor impuse de menținerea în sasul ecluzei al nivelului corespunzător adâncimii H_s , timpul total de umplere rezultă ridicat, apropiat de cel realizat prin evacuarea direcționată-gravitațională a apei sărate în bieful aval.

Condiția 3.2 devine restrictivă în ceea ce privește stabilirea mărimii secțiunii totale a galeriilor în dreptul vanei V_2 . Într-adevăr dacă retranscriem relația 3.4 conform notațiilor din fig. 3.7 se obține pentru momentul inițial :

$$\mu a_0 \sqrt{2gH_0} \geq \mu' a'_0 \sqrt{2g(H_s + z_0)} \quad (3.20)$$

de unde :

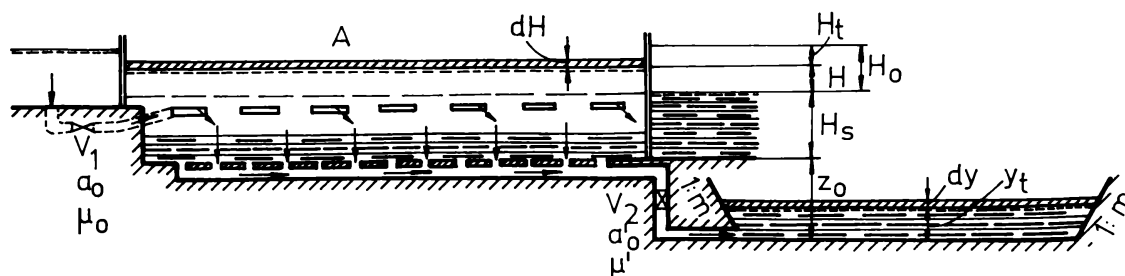


Fig. 3.7 Schema hidraulică de calcul a umplerii-golirii concomitente în bazin subteran.

$$a'_0 \leq \frac{\mu a_0 \sqrt{2gH_0}}{\mu' \sqrt{2g(H_s + z_0)}} \quad (3.21)$$

relație care servește la stabilirea mărimii secțiunii de golire a'_0
Aplicînd ecuația de continuitate 3.8, relația 3.10 și :

$$dV_{\text{efl}} = Q_{\text{efl}_t} \cdot dt = \mu'_t \cdot a'_0 \sqrt{2g[(H_0 + H_s + z_0) - (H_t + Y_t)]} dt \quad (3.11')$$

se obține :

$$\Lambda \cdot dH = \mu_t a_0 \sqrt{2gH_t} \cdot dt - \mu'_t a'_0 \sqrt{2g[(H_0 + H_s + z_0) - (H_t + Y_t)]} dt \quad (3.22)$$

sau în diferențe finite :

$$\Delta H_{i+1} = \left(\frac{a_0}{A} \sqrt{2g} \cdot \Delta t \right) \cdot \bar{\mu}_{i,i+1} \sqrt{H_i - \frac{\Delta H_{i+1}}{2}} - \left(\frac{a'_0}{A} \sqrt{2g} \Delta t \right) \bar{\mu}'_{i,i+1} \sqrt{(H_0 + H_s + z_0) - \left(H_i - \frac{\Delta H_{i+1}}{2} \right) - \left(Y_i + \frac{\Delta Y_{i+1}}{2} \right)} \quad (3.23)$$

semnificația notațiilor fiind identică ca în paragraful anterior.

Pentru a putea determina ΔY_{i+1} , este necesar să egalăm volumul efluent cu volumul de apă care intră în bazinul subteran (fig.3.7) :

$$\begin{aligned} \bar{\mu}'_{i,i+1} a'_0 \sqrt{2g[(H_0 + H_s + z_0) - (H_i - \frac{\Delta H_{i+1}}{2}) - (Y_i + \frac{\Delta Y_{i+1}}{2})]} \cdot \Delta t = \\ = [b + m(2Y_i + \Delta Y_{i+1})] \Delta Y_{i+1} \cdot [L + m(2Y_i + \Delta Y_{i+1})] \end{aligned} \quad (3.24)$$

de unde :

$$\Delta Y_{i+1} = \frac{\bar{\mu}'_{i,i+1} a'_0 \sqrt{2g[(H_0 + H_s + z_0) - (H_i - \frac{\Delta H_{i+1}}{2}) - (Y_i + \frac{\Delta Y_{i+1}}{2})]} \Delta t}{[b + m(2Y_i + \Delta Y_{i+1})] \cdot [L + m(2Y_i + \Delta Y_{i+1})]} \quad (3.25)$$

pentru un bazin subteran de forma unui trunchi de piramidă cu înclinarea taluzelor egal cu m și cu dimensiunile secțiunii la bază b și L .

Dacă bazinul subteran este de formă paralelipipedică cu secțiunea la bază dreptunghiulară de lățime b și lungime L relația 3.25 devine pentru $m = 0$:

$$\Delta Y_{i+1} = \frac{\bar{\mu}'_{i,i+1} a'_0 \sqrt{2g[(H_0 + H_s + z_0) - (H_i - \frac{\Delta H_{i+1}}{2}) - (Y_i + \frac{\Delta Y_{i+1}}{2})]} \Delta t}{b \cdot L} \quad (3.25')$$

Rezolvarea ecuațiilor cu diferențe finite 3.23 și 3.25 implică calcule iterative care au necesitat elaborarea unui program de calcul automat (PRGRM 7, anexa 7).

Pentru prima iterație se acceptă :

$t = 0$, $i = 0$ și rezultă :

$$\Delta H_1 = \frac{a_0}{A} \sqrt{2g} \Delta t \cdot \frac{\mu_1}{2} \cdot \sqrt{H_0} - \frac{a'_0}{A} \sqrt{2g} \Delta t \cdot \frac{\mu'_1}{2} \sqrt{H_s + z_0} \quad (3.23')$$

și :

$$\Delta Y_1 = \frac{\frac{\mu'_1}{2} \cdot a'_0 \sqrt{2g (H_s + z_0)} \cdot \Delta t}{b \cdot L} \quad (3.25'')$$

celelalte relații rămân similare ca în paragraful anterior.

Se remarcă faptul că legile de manevră a vanelor V_1 respectiv V_2 se pot desfășura după schema 1 (fig.3.4) deoarece operația de umplere-golire este necesar să înceapă întotdeauna cu vana V_2 închisă.

După închiderea vanei V_2 relațiile de calcul al tabloului hidraulic al umplerii rămân similare ca la paragraful anterior (rel. 3.12''', 3.12^{IV} și 3.10').

3.2. Sistemul hidraulic de umplere-golire al ecluzelor de tip neconvențional

Pentru ecluzele neconvenționale care funcționează după sistemul umplerii-golirii concomitente, sistemul de alimentare este longitudinal amplasat în radier sau bajoaiier, care asigură alimentarea

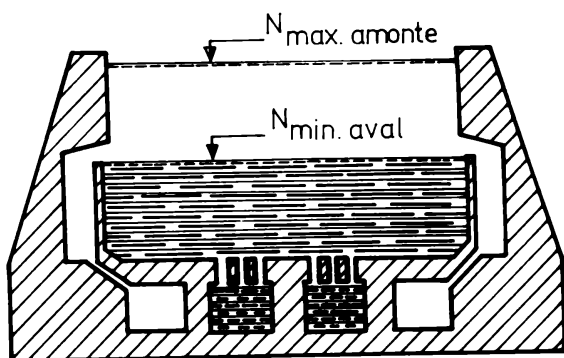


Fig. 3.8 Sistemele longitudinale de alimentare și golire a unei ecluze neconvenționale.

gravitațională a apei sărate în bieful aval /46,47,48/.

Un astfel de sistem de alimentare respectiv golire, crează o distribuție neuniformă a debitelor în lungul ecluzei /38,61,97,124/ din cauza influenței forțelor de inerție a maselor de apă conținute în galeriile sistemului. Astfel la începutul umplerii, vor debita mai mult orificiile amonte, iar la sfârșitul umplerii, acestea vor debita proporțional mai puțin ca orificiile din aval (în ipoteza unor orificii de secțiune egală distribuite uniform în lungul sasului). Între aceste două situații extreme există un singur moment (corespunzător debitului maxim când forțele de inerție nu acționează $\partial v / \partial t = 0$) când repartizarea debitelor devine egală în lungul sasului.

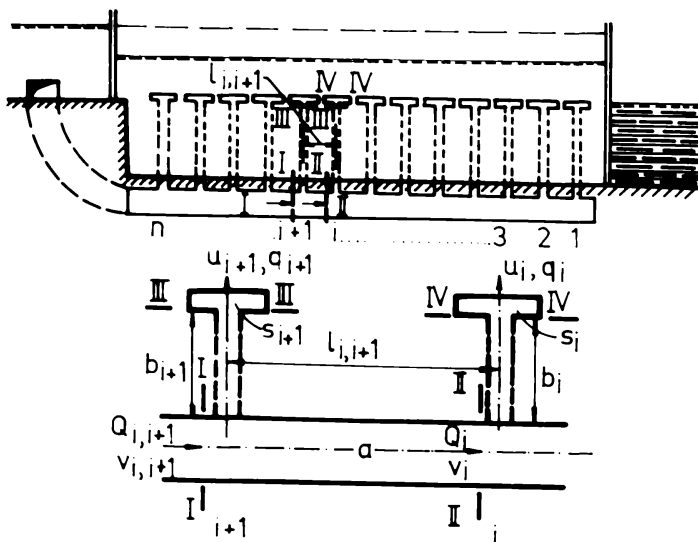
Această distribuție neuniformă a debitelor care pătrund în ecluză se concretizează practic prin apariția mişcării nepermanente în lungul sasului respectiv a unei pante longitudinale care la rîndul ei influențează condițiile de staționare a navei (convoifului de nave) pe perioada umplerii - golirii.

La ecluzele neconvenționale, funcționarea concomitentă a celor două sisteme determină influențarea lor reciprocă care în anumite momente este favorabilă iar în celelalte poate deveni nefavorabilă. De asemenea, neuniformitatea debitelor afluențe cît și efluențe are consecințe asupra extinderii zonei de amestec dintre apa dulce și cea sărată (de exemplu trecerea de la un regim tranzitoriu la cel turbulent de mișcare).

3.2.1. Studiul mișcării nepermanente a apei prin orificiile sistemelor de umplere respectiv golire

Rezolvarea mişcării nepermanente a unui fluid real pentru o schemă de alimentare sau golire distribuită, permite stabilirea variației repartiției debitelor în lungul sasului pentru diferitele momente caracteristice ale funcționării hidraulice a ecluzei /97/.

Pentru aceasta se aplică teorema lui Bernoulli în regim ne-



permanent (fig.3.9)

/22,38/ :

- între două orificii consecutive (secțiunile I și II) :

$$\frac{p_{i+1}}{\gamma} + \frac{v_{i+1}^2}{2g} = \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} + h_r + h_l \quad (3.26)$$

unde :

$$h_r = h_{loc} + h_{long} \quad (3.27)$$

reprezintă pierderile hidraulice locale respective longitudinale:

Fig.3.9 Schema de calcul a mișcării nepermanente prin sistemul de alimentare distribuit. Detaliu

$$h_{loc} = \frac{(v_{i+1} - v_i)^2}{2g} \quad (\text{la ramificare în dreptul orificiului } i+1) \quad (3.28)$$

$$h_{long} = \frac{l_{i,i+1}}{C^2 R} \cdot v_i^2 \quad (3.29)$$

cu C, R - coeficientul lui Chézy și raza hidraulică a galeriei longitudinale.

$$h_i = \frac{l_{i,i+1}}{g} \cdot \frac{dv_i}{dt} \quad (3.30)$$

pierderi de sarcină datorită inerției masei de apă pe tronsonul de galerie considerat. Celelalte notații sînt ca în figura 3.9.

- între secțiunile I și III :

$$\frac{p_{i+1}}{\gamma} + \frac{v_{i+1}^2}{2g} = \zeta_{i+1} \frac{u_{i+1}^2}{2g} + \frac{b_{i+1}}{g} \cdot \frac{du_{i+1}}{dt} \quad (3.31)$$

- între secțiunile II și IV :

$$\frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = \zeta_i \frac{u_i^2}{2g} + \frac{b_i}{g} \cdot \frac{du_i}{dt} \quad (3.32)$$

unde : ζ_i reprezintă coeficientul pierderilor de sarcină pentru orificiul i (ramificație și ieșire) ;

b_i - lungimea orificiului "i" sau lungimea echivalentă dacă secțiunea orificiului "i" nu este constantă pe lungimea respectivă.

Pentru galerii dreptunghiulare cu orificii sub formă de fante /76/ :

$$\zeta_i = 1,45 \left(1 + \frac{v_i}{u_i} \right) \quad (3.33)$$

În locul relațiilor mișcării nepermanente de forma 3.31 respectiv 3.32 unii autori /109/ folosesc relații simplificate :

$$\frac{p_i}{\gamma} = \zeta_i \frac{u_i^2}{2g} \quad (3.32')$$

$$\text{Cu : } Q_i = v_i \cdot a \text{ și } q_i = u_i \cdot s_i \quad (3.34)$$

unde : a - secțiunea totală a galeriilor ;

s_i - secțiunea orificiilor din planul i ;

și utilizînd succesiv relațiile 3.26...3.34 se obține ecuația generală a mișcării nepermanente între două orificii consecutive :

$$\begin{aligned} & \frac{b_{i+1}}{s_{i+1}} \cdot \frac{dq_{i+1}}{dt} - \frac{b_i}{s_i} \cdot \frac{dq_i}{dt} + \frac{\zeta_{i+1}}{2} \cdot \frac{q_{i+1}^2}{s_{i+1}^2} - \frac{\zeta_i}{2} \cdot \frac{q_i^2}{s_i^2} = \\ & = \frac{l_{i,i+1}}{a} \cdot \frac{dq_i}{dt} + \frac{g \cdot l_{i,i+1}}{C^2 R} \cdot \frac{q_i^2}{a^2} + \frac{q_{i+1}^2}{2a^2} \end{aligned} \quad (3.35)$$

pentru $i = 1, \dots, n-1$

unde : primii doi termeni din membrul stîng reprezintă inerția orificiilor, următorii doi rezistențele hidraulice ale orificiilor, primul termen din membrul drept inerția galeriei iar ceilalți rezistența hidraulică a galeriei.

Sistemul de $n-1$ ecuații diferențiale (3.35) completat cu ecuația de continuitate :

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_t = \left(\frac{dq}{dt} \right)_t \quad (3.36)$$

are ca necunoscute creșterile de debit de forma dq_i/dt în număr de n . Sistemul de ecuații astfel obținut se poate rezolva doar prin metode numerice la diferite momente succesive /38/ t_1, \dots, t_j ținând seama că :

$$t_k = t_{k-1} + \Delta t \quad \text{pentru } k = 1 \dots j \text{ și } t_0 = 0 \quad (3.37)$$

și :

$$q_{i,t_k} = q_{i,t_{k-1}} + \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_{t_{k-1}} \cdot \Delta t \quad (3.38)$$

Pentru rezolvarea sistemului (3.35, 3.36) se propune un program de calcul automat (PRGRM 8, anexa 8). Distribuția debitelor în lungul sasului va fi ca în figura 3.10. Se constată :

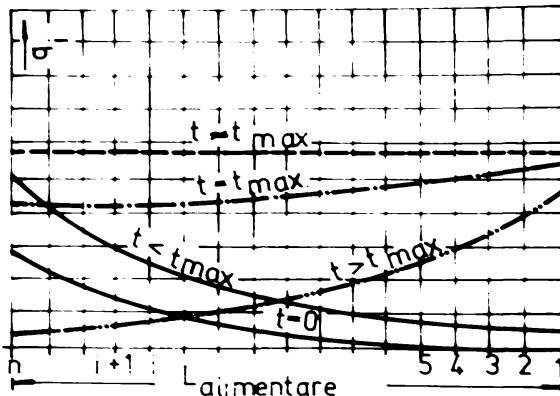


Fig. 3.10 Distribuția debitelor în lungul unei ecluze cu alimentare distribuite la diferitele momente ale umplerii

- în momentele inițiale ale umplerii orificiile din amonte vor debita mai mult decât cele din aval (forțele de inerție fiind preponderente) ;

- pe măsură ce timpul crește, debitul de alimentare cît și vitezele crescînd la rîndul lor, începe să se resimtă și forțele de rezistență hidraulice și are loc reducerea neuniformității debitelor în lungul sasului ;

- la un moment bine determinat (mai mic ca t_{max} corespunzător lui q_{max}) orificiile debitează uniform (influența forțelor de inerție tinzînd spre zero) ;

- de la acest moment pînă la sfîrșitul umplerii pe măsura reducerii debitului de alimentare, distribuția debitelor în lungul sasului se inversează, în sensul că orificiile din aval vor debita mai mult ca cele din amonte (din nou forțele de inerție devin preponderente) ;

- în cazul golirii fenomenul se produce invers în sensul că la început vor debita mai mult orificiile din aval iar la sfîrșitul golirii, cele din amonte ;

- pentru ambele sisteme (alimentare și golire), distribuția debitelor în lungul sasului va fi de tip exponențial, iar funcționarea concomitentă a ambelor sisteme duce la creșterea neuniformității debitelor care participă efectiv la umplerea sasului (q_{af1} -

- q_{efl})(fig.3.11).

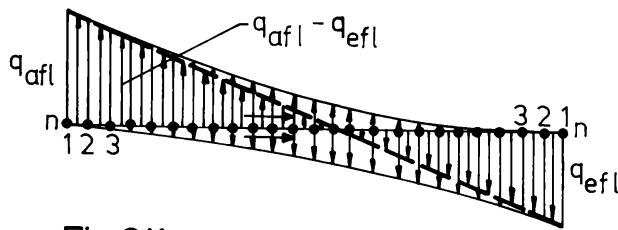


Fig.311 Creșterea neuniformității debitelor la ecluzele neconvenționale cu umplere-golire concomitentă.

Sporirea neuniformității debitelor în cazul ecluzelor neconvenționale care funcționează după principiul umplerii-golirii concomitente, deci va influența negativ atât condițiile de staționare ale navei în sas cât și evacuarea apei sărate în bieful aval.

Uniformizarea debitelor în orice moment al umplerii-golirii în lungul sasului, poate avea loc doar prin complicate măsuri constructive /38,99/ (la ecluzele echinertiale). Dar, la ecluzele neconvenționale la care sistemul de alimentare, cât mai ales cel de golire trebuie extins pe cât posibil pe toată lungimea sasului pentru a asigura evacuarea volumului de apă sărată, aplicarea acestor măsuri devin practic imposibile.

Deci se impune analiza sistemului de ecuații (3.35,3.36), pentru a evidenția mărimile care intervin în procesul neuniformizării debitelor, cu scopul de a ameliora această neuniformitate cu măsuri constructive cât mai economice.

Astfel dacă admitem soluția constructivă cea mai practică : orificiile sînt de lungime egală, de secțiune constantă și egală pentru $i = 1, \dots, n$, iar distanța de amplasare este de asemenea egală, adică :

$$\left. \begin{aligned} b_i &= b \\ s_i &= s \\ l_{i,i+1} &= l \end{aligned} \right\} \text{ pentru } i = 1, 2, \dots, n \quad (3.39)$$

sistemul de ecuații (3.35 și 3.36) devine :

$$\frac{b}{s} \left(\frac{dq_{i+1}}{dt} - \frac{dq_i}{dt} \right) + \frac{1}{2s^2} (\xi_{i+1} \cdot q_{i+1}^2 - \xi_i \cdot q_i^2) = \frac{l}{a} \cdot \frac{dq_i}{dt} + \frac{1}{a^2} \left(\frac{gl}{C_R^2} \cdot q_i^2 + \frac{q_{i+1}^2}{2} \right); \quad \sum_{i=1}^n \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_t = \left(\frac{dq}{dt} \right)_t \quad \text{pentru } i = 1, \dots, n \quad (3.40)$$

Sistemul de ecuații obținut se simplifică și mai mult dacă se analizează distribuția debitelor în primele momente ale umplerii, (situația cea mai defavorabilă pentru staționarea navelor în sas) când influența forțelor de rezistență hidraulică este redusă și în consecință se pot neglija.

Se obține :

$$\frac{b}{s} \left(\frac{dq_{i+1}}{dt} - \frac{dq_i}{dt} \right) = \frac{l}{s} \frac{dq_1}{dt} \quad (3.40')$$

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_t = \left(\frac{dq}{dt} \right)_t$$

Explicitînd relația 3.36 pentru momentul inițial $t_0 = 0$ și $t_1 = dt$ (3.37) rezultă :

$$q_{1,t_1} = q_{1,t_1} + q_{2,t_1} + \dots + q_{1,t_1} \quad (3.38')$$

cu :

$$q_{1,t_1} = \left(\frac{dq_1}{dt} \right)_0 dt$$

$$q_{2,t_1} = \left(\frac{dq_2}{dt} \right)_0 dt \quad (3.38'')$$

$$q_{i,t_1} = \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_0 dt$$

iar :

$$\frac{dq_1}{dt} = \left(\frac{dq_1}{dt} \right)_0 + \left(\frac{dq_2}{dt} \right)_0 + \dots + \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_0 \quad (3.38''')$$

și dacă notăm $\left(\frac{dq_i}{dt} \right)_0 = \Delta q_i$ sistemul (3.40') se transformă în :

$$\frac{b}{s} (\Delta q_{i+1} - \Delta q_i) = \frac{l}{s} (\Delta q_1 + \Delta q_2 + \dots + \Delta q_i) \quad (3.40'')$$

$$\sum_{i=1}^n \Delta q_i = \left(\frac{dq}{dt} \right)_0$$

Dacă împărțim prin Δq_1 și notăm $\frac{\Delta q_i}{\Delta q_1} = X_i \quad (3.41)$

se obține :

$$X_{i+1} = X_i \left(1 + \frac{l \cdot s}{a \cdot b} \right) + \frac{l \cdot s}{a \cdot b} (X_1 + X_2 + \dots + X_{i-1}) \quad (3.40''')$$

pentru $i = 1 \dots n$

și :

$$\sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{\Delta q_1} \cdot \left(\frac{dq}{dt} \right)_0$$

iar cu :

$$\frac{l \cdot s}{a \cdot b} = 1 \quad (3.41')$$

sistemul 3.40''' devine :

$$X_{i+1} = X_i (1 + 1) + 1 \cdot (X_1 + X_2 + \dots + X_{i-1})$$

și :

$$\sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{\Delta q_1} \cdot \left(\frac{dq}{dt} \right)_0 \quad (3.42)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{\Delta q_1} \cdot \left(\frac{dq}{dt} \right)_0$$

Sistemul 3.42 explicitat este de forma :

$$X_1 = 1$$

$$X_2 = 1 + \lambda$$

$$X_3 = (1 + \lambda)^2 + \lambda \quad (3.42')$$

$$X_4 = (1 + \lambda)^3 + 2\lambda(1 + \lambda) + \lambda$$

$$X_5 = (1 + \lambda)^4 + 3\lambda(1 + \lambda)^2 + 3\lambda(1 + \lambda) \\ \text{etc.}$$

Deoarece sistemul 3.42 necesită o rezolvare din aproape în aproape, iar pentru un număr foarte mare de orificii poate depăși ordinul sutelor, rezolvarea este posibilă doar la calculator (PRGRM 9 - anexa 9). Deci este necesară deducerea unei relații directe de calcul.

Se continuă dezvoltarea 3.42' eliminând termenii neconvnenabili.

Rezultă în general :

$$X_i = (1 + \lambda)^{i-1} + (i-2)\lambda \left[(1 + \lambda) + (1 + \lambda)^2 + \dots + (1 + \lambda)^{i-3} \right] \quad (3.42'')$$

valabilă pentru $i = 4 \dots n$, iar pentru $i = 1, 2, 3$ fiind valabile primele relații din sistemul 3.42'.

Relația 3.42'' se poate restrînge, într-adevăr :

$$(1 + \lambda) + (1 + \lambda)^2 + \dots + (1 + \lambda)^{i-3} = \frac{(1 + \lambda) \left[(1 + \lambda)^{i-3} - 1 \right]}{\lambda} \quad (3.43)$$

reprezentînd de fapt suma unei progresii geometrice de rație $(1 + \lambda)$ avînd $i-3$ termeni. În felul acesta se obține :

$$X_i = (1 + \lambda)^{i-1} + (i-2)(1 + \lambda) \left[(1 + \lambda)^{i-3} - 1 \right] \quad (3.44)$$

pentru $i = 4, 5, \dots, 50$ și $\lambda < 0,10$

Relația 3.44 dă posibilitatea unui calcul direct al creșterilor relative ale debitelor de forma $X_i = \Delta q_i / \Delta q_1$. Calculele efectuate cu relația exactă 3.42 (PRGRM 9) și relația aproximativă 3.44 arată o bună concordanță între rezultatele obținute pentru cazul $\lambda < 0,10$ și $n < 50$. Pentru celelalte cazuri s-au elaborat relații directe de calcul în baza distribuției creșterilor de debit. Se propun următoarele relații (fig. 3.12) :

• domeniul I pentru $0 < \lambda < 0,01$ se constată de dependență liniară între X_{i+1}/X_1 și λ . A rezultat următoarea relație :

$$X_{i+1} = (7,52 \lambda + 1,025)^i \quad (3.45)$$

Relația 3.45 dă rezultate foarte bune comparativ cu metoda exactă. Se recomandă utilizarea ei pentru $i > 50$ pentru celelalte cazuri se va folosi relația 3.44 ($i < 50$) ;

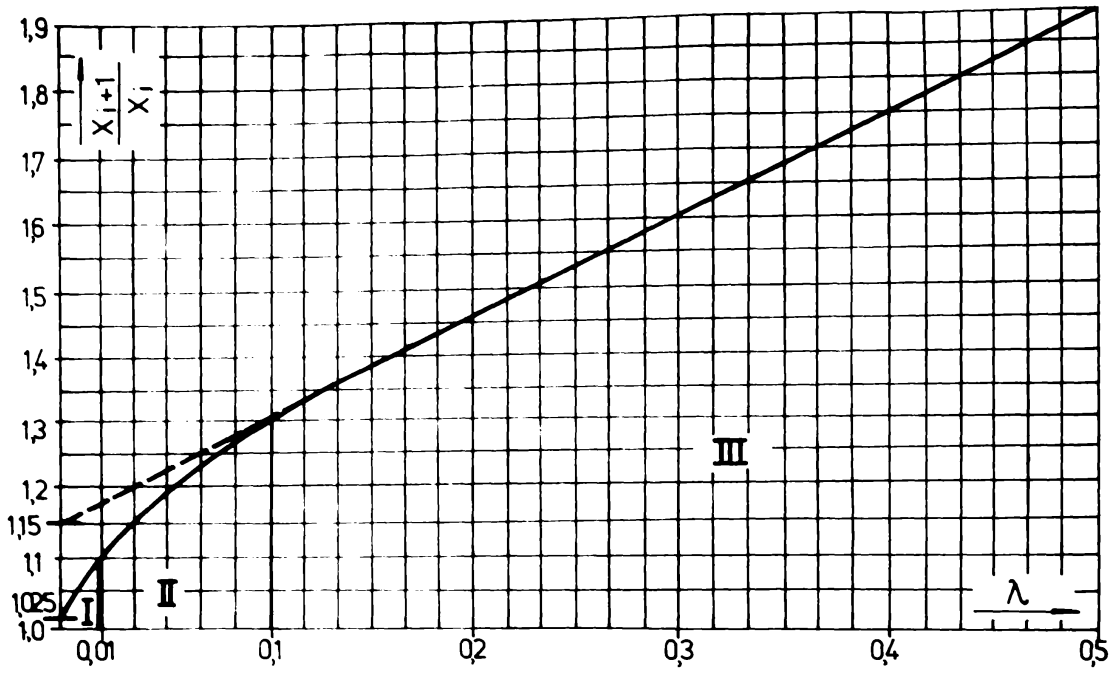


Fig. 312 Variația creșterilor consecutive de debit funcție de parametrul λ .

• domeniul II $0,01 < \lambda < 0,1$, dependența nu mai este liniară devenind exponențială. Prelucrarea rezultatelor a dus la următoarea relație :

$$x_{i+1} = (1,60 \cdot \lambda^{0,087})^i \quad (3.46)$$

Relația 3.46 se va utiliza în aceleași condiții ca și 3.45,

• domeniul III $\lambda > 0,1$, dependența revine liniară și rezultă

$$x_{i+1} = (1,55 \lambda + 1,15)^i \quad (3.47)$$

relația 3.47 fiind valabilă pentru $i = 1, 2, \dots, n$.

Relațiile propuse (3.44...3.47) permit un calcul expeditiv al creșterilor de debit fără a mai fi necesar calculul cu relația 3.42. Ele se pot utiliza pentru calcule preliminare, un calcul exact necesitând programul de calcul PRGRM 9.

Calcululele efectuate cît și formulele propuse arată că neuniformitatea debitelor scade cu cît parametrul λ este mai mic (fig. 3.13), deci este necesar să se analizeze acest parametru.

Pentru aceasta retranscriem relația 3.41, cu următoarele notații :

$$l = \frac{L_{\text{slim}}}{n-1} \quad \text{și} \quad (3.48)$$

$$s = \frac{\sum s}{n} \quad (3.48')$$

unde : L_{alim} - lungimea de distribuție a orificiilor de alimentare (golire) ;

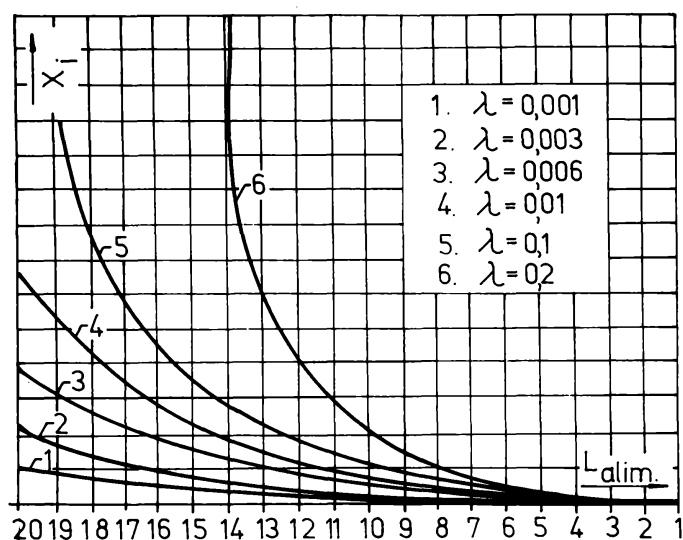


Fig.3.13 Dependența $X_i = f(\lambda)$.

Σs - secțiunea de scurgere a orificiilor pentru întregul sas.

inlocuind 3.48 și 3.48' în 3.41', se obține :

$$\lambda = \frac{L_{alim}}{n(n-1)b \cdot \frac{a}{\Sigma s}} \quad (3.49)$$

in cazul ecluzelor convenționale se propun următoarele căi de reducere a parametrului λ și

împlicit a neuniformității scurgerii :

- adoptarea unei lungimi de distribuție a orificiilor limitată cca.o treime sau maxim jumătate din lungimea utilă a sasului L_u /38/ : $L_{alim} = (0,3...0,5) L_u$;
- numărul orificiilor va fi cât mai mare, utilizând sistemele de alimentare cu orificii multiple sau multiport /61/
- secțiunea totală de scurgere a orificiilor nu poate fi redusă exagerat deoarece determină reducerea coeficientului de debit și majorarea timpului de umplere al ecluzei ; în practică se recomandă a / $\Sigma s = 1/1...1/1,3$, ultima valoare pentru sistemul multiport /61/ ;
- sistemul cu galerii longitudinale și canale transversale în loc de orificii sînt mai avantajoase deoarece calea parcursă de apă este mai mare (crește lungimea b).

Pentru ecluzele neconvenționale situația se prezintă în mod diferit. Astfel :

- lungimea de distribuție a orificiilor îndeosebi la sistemul de golire trebuie să fie cât mai mare pentru a evacua toată apa sărată existentă în sas. Deci $L_{alim}(golire) \geq L_u$. O soluție reprezintă aducțiunea divizată a sistemului de alimentare (golire) ;
- majorarea numărului de orificii nu duce la îmbunătățirea neuniformității scurgerii (fig.3.24) ; nu se poate aplica sistemul multiport deoarece pentru a evita amestecul de apă dulce cu apă sărată orificiile trebuie amplasate pe un singur rînd la nivelul minim din bieful aval ; în felul acesta lungimea sasului poate limita numărul de orificii ;

• pentru a realiza o pătrundere a apei dulci în sas în limitele regimului tranzitoriu de mișcare, secțiunea totală de scurgere a orificiilor nu poate fi redusă în mod exagerat ;

• sistemul cu canale transversale în radier poate fi aplicat doar pentru sistemul de golire.

În concluzie, o ecluză neconvențională prin modul de funcționare majorează neuniformitatea debitelor între orificiile sistemului de alimentare (golire). Aceasta va influența condițiile de staționare a navelor în perioada funcționării ecluzei, și modul de evacuare a apei sărate în bieful aval. Vor fi necesare cercetări de laborator pentru a stabili gradul în care aceste influențe devin periculoase.

3.3. Condițiile de staționare a navelor (convoaielor de nave) în porturile de așteptare și în sasul ecluzei

În cazul ecluzelor convenționale asigurarea condițiilor de staționare a navelor sau a convoaielor de nave, atât în sasul ecluzei (convoiul ecluzat), cât și în porturile de așteptare (convoaielor care așteaptă ecluzarea sau accesul în șenalul navigabil), în perioada de umplere sau golirea sasului, devin limitative în ceea ce privește determinarea regimului de funcționare hidraulică a ecluzei.

Pentru ecluzele neconvenționale cu regim de funcționare prin umplere-golire concomitentă, problemele ridicate de staționarea navelor în porturile de așteptare sînt identice. În sasul ecluzei însă, datorită suprapunerii nefavorabile a regimului de golire peste regimul de umplere aceste condiții pot deveni deosebit de restrictive.

3.3.1. Precierea condițiilor de staționare a navelor în porturile de așteptare ale ecluzei neconvenționale

Problema se tratează identic ca și în cazul ecluzelor convenționale /6, 38, 96, 98/. Mărimea forței hidrodinamice exercitate de curent asupra convoiului staționat în portul de așteptare în perioada funcționării ecluzei este /6, 50/ :

$$P_{\text{long}} = i_{v_{\text{max}}} \cdot D = \varphi_p \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{\text{max}} \cdot \frac{D}{g(\Omega_p - n_v \alpha_c)} \quad (3.50)$$

unde : $i_{v_{\text{max}}}$ - panta longitudinală a vasului care se consideră egală cu panta suprafeței de apă la momentul cînd se atinge valoarea maximă ;

D - deplasamentul convoiului de nave (navei) ;

φ_p - coeficient ce ține cont de configurația în plan a portului de așteptare denumit coeficient de racordare /6/ ;

$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{\text{max}} = \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0}$ - creșterea de debit maximă care se înregistrează la începutul umplerii-golirii deci pentru $t = 0$;

g - accelerația gravitațională ;

Ω_p - secțiunea transversală a portului ;

n_v - numărul de nave care staționează simultan în port de regulă $n_v = 1$ sau $n_v = 2$;

\mathcal{M}_c - cupla maestră a navei (convoifului de nave).

Pentru porturile de așteptare de lățime constantă valoarea coeficientului ψ_p este subunitar $\psi_p \leq 1$ /96/ dar se poate adopta acoperitor $\psi_p = 1$ (de regulă $\psi_p > 0,90$). Pentru porturile de așteptare care prezintă o zonă de racordare în spre ecluză $\psi_p > 1$ /6,19,25,38,110/.

Pentru ca condițiile de staționare să fie asigurate este necesar ca :

$$P_{long} \leq P_{admis} \text{ port} \quad (3.51)$$

unde P_{admis} reprezintă forța admisibilă longitudinală a parîmelor port cu care este fixat convoiul /25,36/ :

$$P_{admis} \text{ port} = \psi \frac{F_{rup}}{c_s} \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot n_p \cdot k_r \quad (3.52)$$

unde : ψ - coeficient în funcție de instalarea forței hidrodinamice. $\psi = 1$ pentru condiții normale de funcționare ;

F_{rup} - forța de rupere a parîmei /126/ ;

c_s - coeficient de siguranță 2,75...3 pentru parîmele de oțel și 3,3...3,6 la parîmele sintetice /126/ ;

α - unghiul în plan orizontal între direcția parîmei și direcția bordului vasului $\alpha_{max} = 40^\circ$;

β - unghiul în plan vertical între direcția parîmei și orizontală $\beta_{max} = 20^\circ$;

n_p - numărul parîmelor active, în cazul porturilor de așteptare $n_p = 1$;

k_r - factor de reducere a forței de întindere în parîmă /36/ datorită încărcării dinamice a parîmei.

Relația 3.52 dedusă în cadrul colectivului de cercetare al catedrei de CHIF ține cont de condițiile reale de funcționare a parîmelor de legare și de caracteristicile geometrice și elastice ale parîmei /25/. În literatura de specialitate din diferite țări P_{admis} se exprimă prin relații convenționale care depind numai de deplasamentul navei și care diferă foarte mult între ele. De exemplu :

- în S.U.A. : $P_{admis} = 5000 \text{ daN}$;

- în Franța : $P_{admis} = \left(\frac{1}{900} \dots \frac{1}{1000} \right) D$;

- în U.R.S.S. : $P_{admis} = 30 \sqrt[3]{D}$ /134,152/ ;

$$- \text{ în R.L.G. : } P_{\text{admis}} = \left(\frac{1}{500} \dots \frac{1}{750} \right) D$$

Doar în literatura sovietică se precizează că în porturile de aşteptare forţa admisibilă longitudinală trebuie redusă cu cca. 50 % din cauza condiţiilor de echilibru specifice ale navei /29/.

Punînd condiţia 3.51 :

$$\psi_p \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0} \cdot \frac{D}{g(\Omega_p - n_v \alpha_c)} \leq P_{\text{admis port}} \quad (3.51')$$

se obţine un regim hidraulic limitativ datorat condiţiilor de staţionare a navelor în porturile de aşteptare :

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0_{\text{admis}_1}} \leq \frac{P_{\text{admis port}} \cdot g(\Omega_p - n_v \alpha_c)}{\psi_p \cdot D} \quad (3.53)$$

caracterizat prin $\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0_{\text{admis}_1}}$ - indicele 1 referindu-se la faptul că reprezintă prima condiţie limitativă a funcţionării hidraulice a ecluzelor neconvenţionale.

3.3.2. Aprecierea condiţiilor de staţionare a navelor în sasul ecluzelor neconvenţionale

Condiţia de staţionare în sasul ecluzei se exprimă printr-o relaţie de forma condiţiei 3.51 :

$$P_{\text{long sas}} \leq P_{\text{admis sas}} \quad (3.51'')$$

unde $P_{\text{admis sas}}$ reprezintă forţa admisibilă longitudinală a parîmelor cu care este fixat convoiul în sasul ecluzei şi se determină cu relaţia 3.52 unde $\beta = 0$ din cauza bolarzilor flotanţi la care se leagă convoiul de nave, iar numărul parîmelor va fi $n_p = 2$; va rezulta:

$$P_{\text{admis sas}} = \varphi \frac{F_{\text{rup}}}{c_s} \cos \alpha \cdot n_p \cdot k_r \quad (3.52')$$

cu aceleaşi semnificaţii ale notaţiilor.

Mărimea forţei hidrodinamice exercitate de curent asupra convoiului staţionat în sasul ecluzei convenţionale se exprimă cu relaţia /38,99/ :

$$P_{\text{long}} = \psi_s \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0} \cdot \frac{D}{g(\Omega_0 - \alpha_c)} \quad (3.54)$$

unde : $\Omega_0 = B_s \cdot H_s$ secţiunea transversală a sasului ecluzei la nivelul minim corespunzător adîncimii H_s ;

ψ_s - factor de reducere a forţei hidrodinamice datorită sistemului de umplere (golire) adoptat ; restul notaţiilor îşi păstrează semnificaţiile.

Factorul de reducere a forței hidrodinamice în sas se poate adopta conform indicațiilor existente în literatura de specialitate /38,99/ sau se poate determina cu relația /97/ :

$$\varphi_s = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} \quad (3.55)$$

unde : X_i se definește cu relația 3.41, iar :

$$M_i = \left[1 - 1,5 \frac{L_i}{L_u} - 1,5 \left(\frac{L_i}{L_u} \right)^2 + \left(\frac{L_i}{L_u} \right)^3 \right] \quad (3.56)$$

cu :

L_u - lungimea utilă a sasului ;

L_i - distanța de la poarta amonte la orificiul "i" ;

n - numărul total de orificii.

Pentru ecluzele neconvenționale care funcționează după principiul umplerii-golirii concomitente unde există posibilitatea suprapunerii nefavorabile a celor două sisteme (fig.3.11), care determină creșterea neuniformității debitelor și deci majorarea forței hidrodinamice exercitată de curentul de apă asupra navei, relația 3.54 trebuie corectată cu un coeficient pe care îl vom denumi coeficient de corecție datorită funcționării concomitente a sistemelor de umplere-golire, notat cu γ_s (indicele "s" se referă la sas). Este evident că $\gamma_s > 1$, se obține :

$$P_{\text{long}} = \gamma_s \varphi_s \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0} \frac{D}{g(\Omega_0 - \alpha_c)} \quad (3.54')$$

Punînd condiția 3.51" se obține :

$$\gamma_s \varphi_s \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0} \frac{D}{g(\Omega_0 - \alpha_c)} \leq P_{\text{admis sas}} \quad (3.51''')$$

care va determina :

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0, \text{admis}_2} \leq \frac{P_{\text{admis sas}} \cdot g(\Omega_0 - \alpha_c)}{\gamma_s \varphi_s \cdot D} \quad (3.57)$$

S-a definit astfel un al doilea regim hidraulic limitativ de funcționare a unei ecluze neconvenționale caracterizate prin

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0, \text{admis}_2}$$

Observație : coeficientul de corecție γ_s datorat funcționării concomitente a sistemelor de umplere-golire în cazul suprapunerii favorabile a funcționării celor două sisteme (fig.3.14) poate

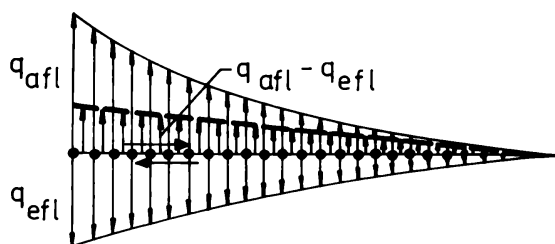


Fig.3.14 Reducerea neuniformității debitelor la ecluzele neconvenționale prin inversarea golirii.

deveni chiar subunitar și deci poate îmbunătăți condițiile de staționare ale convoiului în sas comparativ cu o ecluză convențională. O măsură posibilă (fig. 3.14) ar fi inversarea golirii și compensarea astfel a distribuției neuniforme a debitelor în sasul ecluzei.

3.4. Condiții rezultate în urma funcționării în regim tranzitoriu a ecluzelor neconvenționale cu umplere golire-concomitentă

Așa cum s-a arătat (cap.1, paragraful 1.1) regimurile de mișcare a două lichide cu densități diferite pot fi definite în funcție de mărimea zonei de amestec aflate la interfața de separație a celor două lichide. Astfel regimul laminar și regimul tranzitoriu limitează mărimea zonei de amestec și pot fi luate în considerare ca regimuri de funcționare a unei ecluze neconvenționale cu umplere-golire concomitentă. Desigur că situația ideală se prezintă în cazul regimului laminar când zona de amestec rezultată este extrem de redusă, iar apa sărată poate fi evacuată prin sistemul de golire în întregime cu un volum total de apă golit minim. În acest caz :

$$V_{ev} \cong H_s \cdot A \quad (3.58)$$

în cazul ecluzării fără vas, sau :

$$V_{ev} \cong H_s \cdot A - D \quad (3.58')$$

în cazul existenței convoiului în sasul ecluzei.

Practic acest regim de funcționare devine însă inacceptabil deoarece prelungeste exagerat timpul total de umplere al ecluzei, cu reducerea corespunzătoare a capacității de trafic a canalului.

Admiterea regimului tranzitoriu reprezintă o reducere substanțială a timpului total de umplere chiar dacă volumul total de apă evacuat crește :

$$V_{ev} > H_s \cdot A \quad \text{sau ,} \quad (3.59)$$

$$V_{ev} > H_s \cdot A - D \quad (3.59')$$

Dacă se analizează însă principiul de funcționare a unei ecluze convenționale cu umplere-golire (fig.1.15), se constată că asigurarea regimului tranzitoriu devine importantă doar în primele momente ale umplerii, deoarece în acest caz accesul apei dulci trebuia să fie cât mai liniștit pentru ca zona de amestec cu apa săra-

tă să fie cât mai puțin extinsă. După un anumit interval de timp, când nivelul de apă în sas depășește cota superioară a orificiilor de alimentare, iar limita de separație a apei sărate a coborât suficient prin evacuarea unui anumit volum de apă, asigurarea regimului tranzitoriu nu mai devine necesară și nici chiar posibilă.

Pentru a satisface condițiile regimului tranzitoriu la începutul umplerii-golirii concomitente, va fi necesar ca viteza maximă inițială de pătrundere a apei dulci în sas prin orificiile sistemului de alimentare să nu depășească viteza limită corespunzătoare acestui regim. Pentru un sistem de alimentare cu "n" orificii (paragraful 3.2) distribuția vitezelor în lungul sasului va fi identică cu distribuția neuniformă a debitelor (fig. 3.10). Astfel la începutul umplerii, când forțele de inerție sînt preponderente, orificiile din amonte debitînd mai mult vor avea viteze de acces ale apei dulci în sas mai mari ca orificiile din aval. Acceptînd aceeași numerotare a orificiilor, condiția expusă mai sus se exprimă :

$$u_{n,\text{inițial}} \leq \bar{v}_{\text{limită}} \quad (3.60)$$

unde : $u_{n,\text{inițial}}$ reprezintă viteza inițială de pătrundere a primului jet de apă al orificiului din amonte (viteza maximă inițială care se înregistrează la începutul umplerii) ;

$\bar{v}_{\text{limită}}$ - o viteză limită caracteristică regimului tranzitoriu.

Deci se acceptă că condiția 3.60 este satisfăcută la momentul inițial al umplerii pentru t egal cu unitatea. Prin analogie, vom nota viteza maximă inițială a orificiului "n" :

$$v_{n,\text{inițial}} = v_{n,1} \quad (3.60')$$

Iar debitul orificiului la același moment :

$$q_{n,1} = s \cdot v_{n,1} \quad (3.61)$$

unde s reprezintă secțiunea transversală a orificiului în ipoteza unor orificii de secțiune egală, amplasate la aceeași distanță.

Relația 3.60 de fapt limitează o creștere de viteză pentru un interval de timp egal cu unitatea. Deoarece nu există informații suficiente asupra unei limite corespunzătoare regimului tranzitoriu, convenim ca această creștere de viteză să nu depășească limita inferioară a acestui regim propusă la paragraful 1.1 :

$$\bar{v}_{\text{limită}} \equiv \bar{v}_1 \text{ limită} \quad (3.62)$$

unde $\bar{v}_1 \text{ limită}$ este definit de relația (1.6) :

$$\bar{v}_1 \text{ limită} = 0,353 \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \sqrt{2gH_s} \quad (1.6')$$

în felul acesta :

$$v_{n,1} \leq \bar{v}_1 \text{ limită} \quad (3.63)$$

Dar cu relația 3.38" pentru t egal cu unitatea :

$$q_{n,1} = \left(\frac{dq_n}{dt} \right)_0 \text{ și cu relația 3.61 :}$$

$$v_{n,1} = \frac{1}{s} \cdot \left(\frac{dq_n}{dt} \right)_0 \quad (3.64)$$

dar cu notațiile de la paragraful 3.2.1 : $\left(\frac{dq_n}{dt} \right)_0 = \Delta q_n$ și cu 3.41 $\Delta q_n = X_n \cdot \Delta q_1$ unde Δq_1 se referă la orificiul "1", relația 3.64 devine :

$$v_{n,1} = \frac{1}{s} \cdot X_n \cdot \Delta q_1 \quad (3.65)$$

Iar cu condiția 3.63 :

$$\frac{1}{s} \cdot X_n \cdot \Delta q_1 \leq \bar{v}_1 \text{ limită} \quad (3.66)$$

Ecuația de continuitate din cadrul sistemului de ecuații notat cu 3.42 permite exprimarea :

$$\Delta q_1 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n X_i} \cdot \left(\frac{dQ}{dt} \right)_0 \quad (3.66)$$

și dacă utilizăm 3.66, relația 3.66' se transformă în :

$$\frac{1}{s} \cdot X_n \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n X_i} \cdot \left(\frac{dQ}{dt} \right)_0 \leq \bar{v}_1 \text{ limită} \quad (3.67)$$

Relația astfel obținută, rezolvată în raport cu $\left(\frac{dQ}{dt} \right)_0$ determină un al treilea criteriu limitativ al regimului de funcționare al unei ecluze neconvenționale cu umplere-golire concomitentă :

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0, \text{ admis } 3} \leq \frac{\bar{v}_1 \text{ limită}}{X_n} \cdot s \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.68)$$

Dacă se analizează membrul drept al relației 3.68 se constată că pentru $\sum s = \text{constant}$, stabilită după alte criterii (paragraful 3.2), produsul :

$$\frac{s \sum_{i=1}^n X_i}{X_n} = \text{constant} \quad (3.69)$$

deci nu depinde de numărul orificiilor.

Rezultă necesitatea studierii variației vitezei limită a regimului tranzitoriu. Pentru aceasta retranscriem relația 1.6' în funcție de salinități :

$$\bar{v}_1 \text{ limită} = 0,353 \sqrt{\frac{\bar{c}_s - c_c}{1000 + c_c}} \sqrt{2gH_s} \quad (3.70)$$

unde \bar{c}_s - salinitatea inițială a apei din sas la începutul operației de umplere golire ; c_c - salinitatea apei canalului.

Ambele depind de numărul ecluzărilor.

Se observă că pentru prima ecluzare când $c_s = c_m$ concentrația salină a apei de mare, iar $c_c = c_c^0$ salinitatea inițială a apei canalului, \bar{v}_1 limită atinge valoarea maximă, adică :

$$\bar{v}_1 \text{ limită}_{\text{max.}} = 0,353 \sqrt{\frac{c_m - c_c^0}{1000 + c_c^0}} \cdot \sqrt{2gH_s} \quad (3.70')$$

apoi după un anumit număr de ecluzări se atinge o valoare minimă (fig.3.15) când c_s este minim, și în continuare tinde spre o valoare

constantă determinată de faptul că $\bar{c}_s \rightarrow \bar{c}_{s.\text{max}}$ iar $c_c \rightarrow c_{c.\text{admis}}$ (paragraful 2.2 și 2.4)

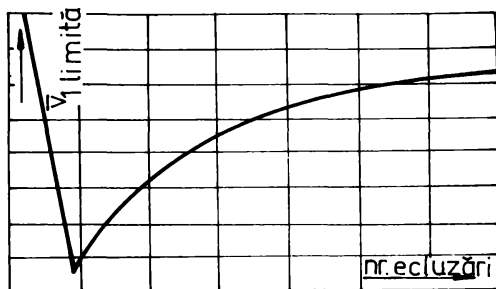


Fig.3.15 Variația limitei inferioare a regimului tranzitoriu în funcție de numărul ecluzărilor.

$$\bar{v}_1 \text{ limită}_{\text{constant}} = 0,353 \sqrt{\frac{c_{s.\text{max}} - c_{c.\text{admis}}}{1000 + c_{c.\text{admis}}}} \cdot \sqrt{2gH_s} \quad (3.70'')$$

Pentru calcule preliminare se poate utiliza relația 3.70'' sau chiar 3.70', dar în cazul unor calcule exacte când se cunosc variațiile \bar{c}_s și c_c în funcție de numărul ecluzărilor, se recomandă determinarea mărimii \bar{v}_1 limită minim și utilizarea ei în condiția 3.68.

3.5. Determinarea volumului de apă salmastră evacuat în bieful aval în perioada umplerii-golirii concomitente a ecluzelor neconvenționale

În paragraful 2.3 s-a introdus noțiunea de adâncime remanentă H_r , definită ca adâncimea corespunzătoare volumului de apă salmastră remanent din sasul ecluzei (de salinitate egală cu salinitatea inițială din sas \bar{c}_s) după o operație de umplere-golire. Acest volum de apă remanent va contribui împreună cu restul volumului de apă din ecluză (de salinitate egală cu cea din canal c_c), la realizarea salinității finale (în urma umplerii-golirii concomitente), notată cu c_s (fig.2.1, c). Dacă toate aceste salinități de apă sus sînt variabile în raport cu numărul ecluzărilor, adâncimea remanentă rămîne invariantă în raport cu acești parametri (cond.2.14). Pentru diferitele ipoteze admise s-au dedus relațiile de calcul corespunzătoare (rel. 2.15 ; 2.15' sau 2.50).

În condițiile în care volumul remanent din sasul ecluzei este bine definit, rămîne ca o necesitate precizarea volumului total de apă salmastră care trebuie evacuat în bieful aval, în procesul umplerii-golirii concomitente, astfel ca la sfîrșitul operației, salinitatea

finală în sas să fie cea scontată.

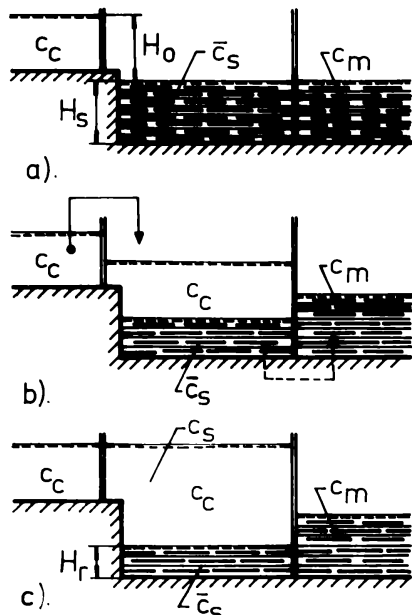


Fig. 3.16 Funcționarea unei ecluze neconvenționale în regim laminar.

a). situația inițială.
b). la un moment oarecare al umplerii-golirii concomitente.
c). situația finală-schemă de calcul.

În acest fel, prin determinarea volumului evacuat V_{ev} , regimul hidraulic de funcționare al unei ecluze neconvenționale va fi în totalitate definit.

Dacă, regimul de funcționare al ecluzei neconvenționale ar fi laminar atunci volumul de apă necesar de a fi evacuat în bieful aval va depinde în exclusivitate de adâncimea remanentă (fig. 3.16) :

$$V_{ev} = A \cdot H_s - A \cdot H_r = A (H_s - H_r) \quad (3.71)$$

sau :

$$V_{ev} = (A \cdot H_s - A) - A \cdot H_r = A \cdot H_s (1 - d_s) - A \cdot H_r \text{ și}$$

$$V_{ev} = A [H_s (1 - d_s) - H_r] \quad (3.72)$$

cînd ecluzarea are loc în prezența vasului în ecluză.

În relația 3.72 s-a utilizat notația 2.7.

Cum însă regimul de mișcare va fi transitoriu (paragraful 3.4) volumul de apă evacuat, pentru a realiza aceeași salinitate finală în sas, va fi mai mare decît cel definit prin relațiile 3.71 și 3.72, din cauza prezenței unei zone de amestec (fig. 3.17, b), a cărei adâncime se va nota cu H_{am} . Admitem că zona de amestec este formată în proporții egale de către apa salmastră din sas de salinitate \bar{c}_s și apa dulce provenită din canal prin sistemul de alimentare, de salinitate c_c . Astfel că la un moment oarecare al umplerii-golirii concomitente, în sas vor exista trei zone distincte de salinități diferite (fig. 3.17, b). Această separație va fi desigur arbitrară și va constitui o schemă de calcul. În realitate nu se poate face o delimitare precisă a acestor zone.

După operația de umplere-golire (fig. 3.17, c) în sas va rămîne un volum al zonei de amestec H_{am_1} de salinitate medie $(\bar{c}_s + c_c)/2$, care împreună cu restul volumului de apă de salinitate c_c , va realiza în sas salinitatea scontată c_s^* . Cum adâncimea remanentă H_r joacă același rol la realizarea salinității finale din sas, se poate scrie:

- fig. 3.17, c :

$$A \left[H_{am_1} \cdot \frac{\bar{c}_s + c_c}{2} + (H_0 + H_s - H_{am_1}) c_c \right] = A (H_0 + H_s) c_s \quad (3.73)$$

* S-a convenit pentru ușurința scrierii, în cele ce urmează să se renunțe la evidențierea numărului ecluzării luînd în considerare așa cum s-a arătat condiția 2.14.

sau :

$$H_{am1} (\bar{c}_s - c_c) + 2 (H_o + H_s) c_c = 2(H_o + H_s) c_s \quad (3.73')$$

- fig.3.16,c :

$$A [H_r \bar{c}_s + (H_o + H_s - H_r) c_c] = A (H_o + H_s) c_s \quad (3.74)$$

sau :

$$H_r (\bar{c}_s - c_c) + (H_o + H_s) c_c = (H_o + H_s) c_s \quad (3.74')$$

iar prin egalarea relațiilor 3.73' și 3.74' rezultă :

$$H_{am1} (\bar{c}_s - c_c) + 2(H_o + H_s) c_c = 2 H_r (\bar{c}_s - c_c) + 2(H_o + H_s) c_c$$

și :

$$\boxed{H_{am1} = 2 H_r} \quad (3.75)$$

Deoarece :

$$H_{am} = H_{am1} + H_{am2} \quad (3.76)$$

unde H_{am2} reprezintă adâncimea volumului zonei de amestec evacuat în bieful aval, condiția 3.75 impune :

$$\boxed{H_{am} > 2 H_r} \quad (3.77)$$

adică schema de calcul din fig.3.17 cît și relațiile deduse vor fi valabile doar în cadrul condiției 3.77.

În aceste condiții volumul necesar de a fi evacuat este :

$$V_{ev} = A(H_s - \frac{H_{am}}{2} + H_{am2}) \quad (3.78)$$

Înlocuind 3.75 în 3.76, rezultă :

$$H_{am2} = H_{am} - 2 H_r \quad (3.79)$$

și în continuare :

$$\boxed{V_{ev} = A(H_s + \frac{H_{am}}{2} - 2 H_r)} \quad (3.80)$$

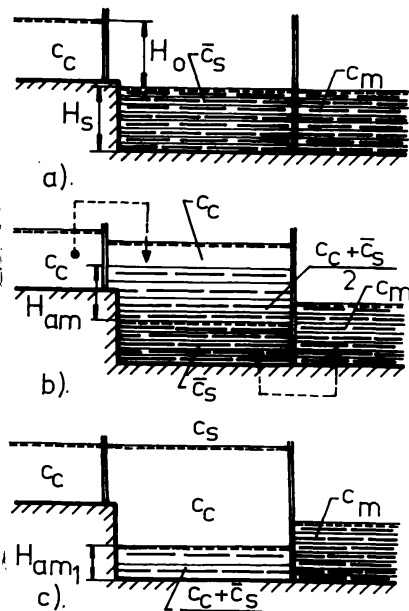


Fig. 3.17 Funcționarea unei ecluze neconvenționale în regim tranzitoriu.
 a) situația inițială
 b) la un moment oarecare al umplerii-golirii concomitente.
 c) situația finală - schema de calcul.

s-a obținut expresia de calcul a volumului necesar de a fi evacuat pentru realizarea unei anumite salinități finale în sas în cadrul condiției 3.77, în ipoteza ecluzării fără vas.

Dacă în 3.80 admitem că $H_{am} = 2 H_r$ la limită, rezultă tocmai relația 3.71 corespunzătoare regimului laminar ; deci putem deduce că pentru orice $H_{am} \leq 2 H_r$, relația de calcul a volumului de apă salmastră evacuat, este identică cu 3.71 cea corespunzătoare regimului laminar.

Intr-adevăr (fig.3.18), dacă $H_{am} \leq 2 H_r$, nu mai este necesar

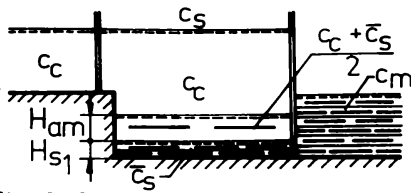


Fig.3.18 Funcționarea unei ecluze neconvenționale cînd $H_{am} < 2H_r$. Schema de calcul.

să evacuăm întregul volum de apă sărată de salinitate \bar{c}_s , și admitem că în sas la sfîrșitul operației de umplere-golire concomitentă, rămîne un volum de apă de salinitate \bar{c}_s de înălțime egală cu H_{s1} . Deci volumul evacuat va fi :

$$V_{ev} = A \left(H_s - \frac{H_{am}}{2} - H_{s1} \right) \quad (3.81)$$

Este necesar să se calculeze mărimea H_{s1} . Pentru aceasta :

$$A \left[H_{s1} \cdot \bar{c}_s + H_{am} \cdot \frac{\bar{c}_s + c_c}{2} + (H_o + H_s - H_{s1} - H_{am})c_c \right] = A c_s \quad (3.82)$$

și dacă egalăm cu 3.74 sau 3.74' rezultă :

$$2H_{s1}(\bar{c}_s - c_c) + H_{am}(\bar{c}_s - c_c) + 2(H_o + H_s)c_c = 2H_r(\bar{c}_s - c_c) + 2(H_o + H_s)c_c$$

de unde :

$$H_{s1} = \frac{2 H_r - H_{am}}{2} \quad (3.83)$$

și înlocuind în 3.81 se obține :

$$V_{ev} = A (H_s - H_r) \quad (3.71)$$

adică afirmația anterioară se confirmă, s-a obținut relația 3.71.

Deci dacă :

$$H_{am} \leq 2 H_r \quad (3.84)$$

volumul necesar de a fi evacuat se calculează cu 3.71.

Considerăm acum că ecluzarea, cum este și firesc, se produce în prezența vasului sau convoiului de vase. În această situație volumul inițial al apei sărate existente în sas la nivelul biefului aval (deci de adîncime H_s) se reduce cu factorul $(1 - d_s)$ definit prin (rel.2.7) :

$$d_s = \frac{D}{A \cdot H_s}$$

Deci relațiile de calcul a volumului necesar de a fi evacuat în procesul umplerii-golirii concomitente, în cazul ecluzării cu vas se va transforma astfel :

Pentru :

$$V_{ev} = A \left[H_s (1 - d_s) + \frac{H_{am}}{2} - 2 H_r \right] \quad (3.85)$$

iar dacă :

$$H_{am} \leq 2 H_r$$

rezultă relația 3.72 :

$$V_{ev} = A [H_S(1 - d_S) - H_r]$$

Observații : în relațiile deduse (3.80 și 3.85), volumul necesar de a fi evacuat depinde de mărimea zonei de amestec. Cu cât aceasta este mai mare, cu atât volumul evacuat crește și corespunzător va crește și timpul total de umplere al ecluzei. Din asupra mărimii zonei de amestec nu există informații, rămânând ca experiențele de laborator să permită evaluarea cantitativă a acestei zone în funcție de regimul de acces al apei canalului prin sistemul de alimentare.

Relațiile deduse permit definirea totală a regimului hidraulic de funcționare al unei ecluze neconvenționale cu umplere-golire concomitentă.

3.6. Aplicație numerică

Relațiile de calcul obținute pentru ecluzele neconvenționale care funcționează după principiul umplerii-golirii concomitente au fost utilizate pentru ecluza Agigea cu dublu circuit hidraulic, de pe canalul Dunăre-Marea Neagră. Rezultatele calculelor sînt prezentate în cele ce urmează ; ele sînt corelate cu rezultatele calculelor efectuate (paragraful 2.71) în capitolul anterior pentru aceeași ecluză.

3.6.1. Calculul hidraulic al ecluzei Agigea

Deoarece cercetările întreprinse asupra ecluzei s-au efectuat în două etape : în anul 1977 /22/ și în anul 1978 /23/, se vor efectua calcule corespunzătoare pentru a avea o corelație deplină cu cercetările experimentale efectuate în acele perioade. Elemente de calcul care diferă, vor fi :

Tabelul 3.1

Ecluza Agigea - variante :	1 (anul 1977)	2 (an 1978)
- căderea, H_0 :	9 m	9,6 m
- secțiunea de control a galeriilor sistemului de alimentare , a_0 :	32 m ²	24 m ²
- coeficientul de debit al sistemului de alimentare , μ :	0,65	0,6
- secțiunea de control a galeriilor sistemului de golire , a'_0 :	32 m ²	24 m ²
- coeficientul de debit al sistemului de golire, μ' :	0,563	0,54

Restul elementelor inițiale de calcul sînt identice cu cele din tabelul 2.1.

3.6.1.1. Calculul hidraulic al ecluzei Agigea cu funcționare în regim convențional

S-au efectuat calcule asupra umplerii normale a ecluzei Agigea pentru a avea o bază de comparație pentru situația funcționării în regim neconvențional. S-au utilizat relațiile : 3.10', 3.12'' și 3.12^{IV} pentru cazul unei ecluze convenționale. Tabloul hidraulic al

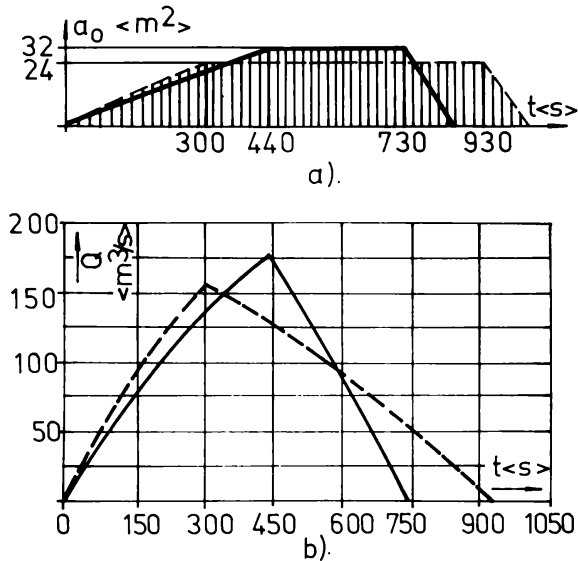


Fig. 3.19 Tabloul hidraulic al umplerii ecluzei Agigea în regim convențional. a). legea de manevră a vanei V_1 ; b). curba de umplere. — varianta 1, --- varianta 2

umplerii pentru cele două variante de calcul este prezentat în figura 3.19. S-au obținut următoarele rezultate : pentru ambele variante creșterea de debit maximă $dQ/dt = 0,628 \text{ m}^3/\text{s}^2$; pentru varianta 1 la $t_{rv} = 7'20''$ a rezultat $T_u = 12'10''$; pentru varianta 2 cu $t_{rv} = 5'$ a rezultat $T_u = 15'30''$.

3.6.1.2. Calculul hidraulic al ecluzei Agigea cu funcționare prin umplere-golire concomitentă

Pentru calculul hidraulic al umplerii-golirii concomitente al ecluzei Agigea funcționând în re-

gim neconvențional s-au propus mai multe regimuri de funcționare care au fost testate apoi în laborator prin cercetări experimentale pe modele la diferite scări de modelare. Pentru a le diferenția, se vor nota aceste regimuri prin cifre romane. S-au utilizat programele de calcul elaborate (PRGRM 5 pentru schemele 1 și 2 de manevră a vanelor și PRGRM 6 pentru schema de manevră 3).

Pentru varianta 1 se propun 5 regimuri de funcționare /22/: regimurile I și II cu schema 3 de manevră a vanelor și regimurile III, IV și V cu manevra vanelor după schema 2. Tabloul hidraulic al umplerii pentru cele 5 regimuri este prezentat în Fig. 3.20, iar caracteristicile principale obținute sînt redată în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2

Caracteristicile hidraulice ale regimului	I	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6
1. timp de ridicare a vanei $V_1; t_{rv} <s>$	200	300	380	440	720
2. timp de coborîre a vanei $V_2; t'_{cv} <s>$	300	420	420	460	440
3. timp total de umplere $T_u <s>$	740	940	1050	1080	1350
4. timp de golire $t'+t'_{cv} <s>$	500	740	880	920	1160
5. creșterea maximă de debit: $(\frac{dQ}{dt})_{max} <\text{m}^3/\text{s}^2>$					

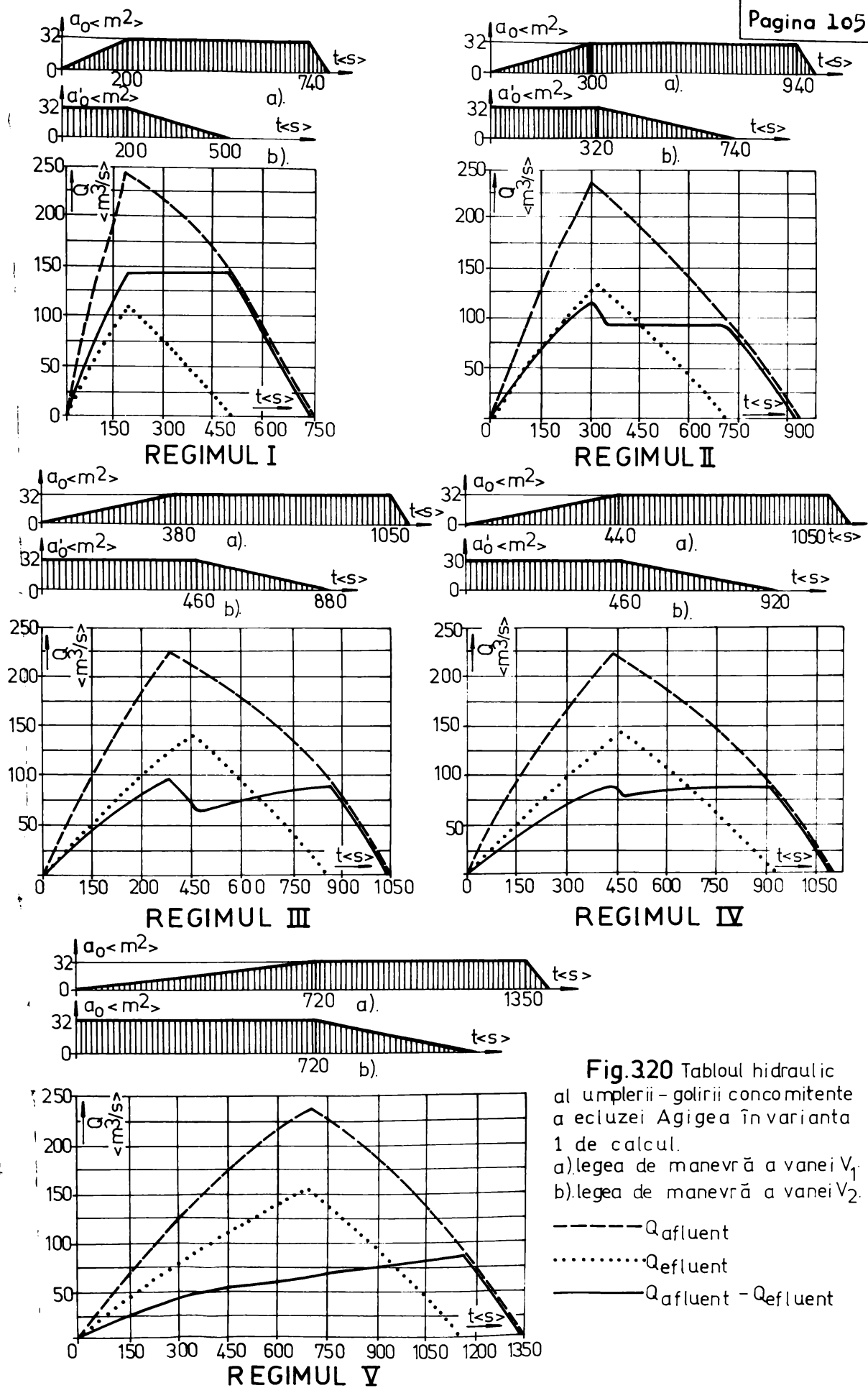


Fig.320 Tabloul hidraulic al umplerii - golirii concomitente a ecluzei Agigea în varianta 1 de calcul.
 a). legea de manevră a vanei V_1
 b). legea de manevră a vanei V_2 .

1	2	3	4	5	6
- a sistemului de alimentare :	1,382	0,921	0,727	0,628	0,384
- a funcționării concomitente :	0,773	0,448	0,312	0,256	0,136
6. volumul de apă evacuat: $V_{ev} < 10^3 m^3 >$	27,9	55,4	72,7	70,9	96,6
- în % față de volumul inițial al apei salmastre din sas	54	107	140	136	186

Pentru varianta 2 de calcul s-au propus 4 regimuri în funcție de legile de manevră a vanelor V_1 și V_2 /23/. Astfel regimul IV este pentru schema de manevră 1 ; regimurile VII și VIII pentru schema 2 și regimul IX pentru schema de manevră a vanelor notată cu 3 (paragraful 3.1.1). În figura 3.21 se prezintă tabloul hidraulic al umplerii-golirii concomitente, iar mărimile caracteristice sînt redată în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3

Caracteristicile hidraulice ale regimului	VI	VII	VIII	IX
1. timp de ridicare a vanei V_1 ; $t_{rv} < s >$	180	180	120	360
2. timp de ridicare a vanei V_2 ; $t'_{rv} < s >$	180	-	-	-
3. timp de coborîre a vanei V_2 ; $t'_{cv} < s >$	90	400	450	480
4. timp total de umplere $T_u < s >$	1100	1040	960	1200
5. timp de golire $t'_{rv} + t' + t'_{cv} < s >$	610	640	600	840
6. creșterea maximă de debit $(\frac{dq}{dt})_{max} < m^3/s^2 >$:				
- a sistemului de alimentare :	0,986	0,986	1,534	0,486
- a funcționării concomitente :	1,196	0,648	1,213	0,334
7. volumul de apă evacuat $V_{ev} < 10^3 m^3 >$	44,3	34,4	30,4	31,6
- în % față de volumul inițial al apei salmastre din sas :	87	67	59	62

3.6.1.3. Calculul hidraulic al ecluzei Agigea prin umplere-golire concomitentă în bazin subteran situat sub nivelul biefului aval

Pentru a servi drept bază de comparație s-a efectuat un calcul hidraulic al umplerii ecluzei Agigea și evacuare concomitentă a apei salmastre într-un bazin subteran amplasat la adîncimea $z_0 = 3$ m (fig. 3.7). Calculele hidraulice s-au condus după PRGRM 7, tabloul hidraulic al umplerii-golirii fiind redat în figura 3.22. Cîteva rezultate mai importante : timpul total de umplere $T_u = 16'$, s-a admis $a_0 = 36 m^2$, $a'_0 = 18 m^2$, $\mu = \mu' = 0,5$ și legile de manevră a vanelor ca în fig. 3.22, a ; timpul de golire a rezultat de $10'40''$ iar volumul total de apă evacuat în bazinul subteran este de $48,7 \cdot 10^3 m^3$. Creșterea de debit maxime au fost : pentru sistemul de alimentare $1,196 m^3/s^2$ și pentru funcționarea concomitentă $0,623 m^3/s^2$. Se ob-

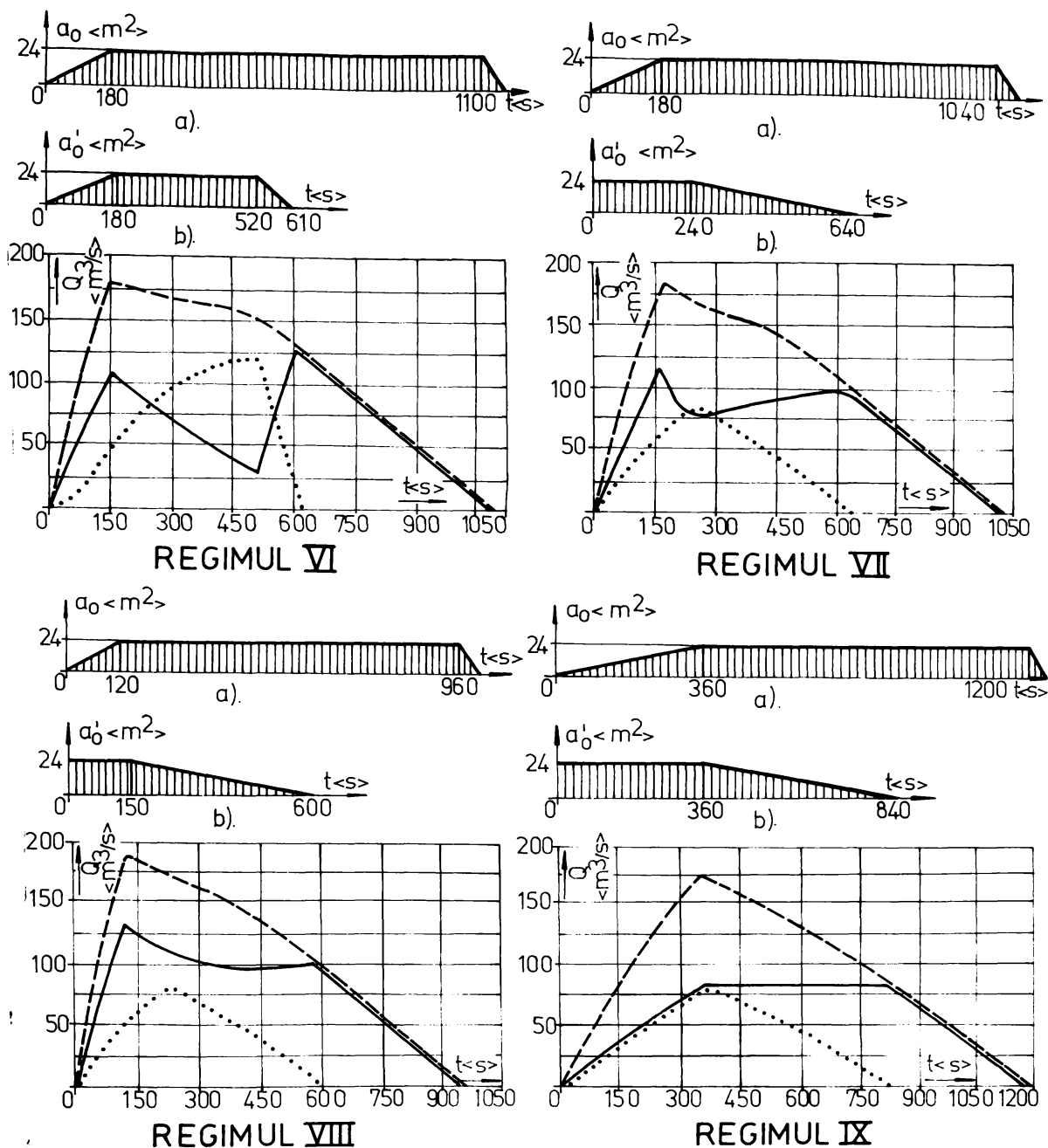


Fig.3.21 Tabloul hidraulic al umplerii - golirii concomitente a ecluzei Agieea în varianta 2 de calcul.
 a) legea de manevră a vanei V_1 ; b) legea de manevră a vanei V_2 .
 - - - - Q_{afluent} ; Q_{efluent} ; — $Q_{\text{afluent}} - Q_{\text{efluent}}$

servă că chiar dacă se dispune de o golire cu sarcină inițială importantă $H_s + z_0 = 10 \text{ m}$, timpul final de umplere este ridicat din cauza restricțiilor impuse de golirea apei salmastre în bazinul subteran; vana V_2 trebuie manevrată după schema de manevră 1, iar secțiunea a'_0 trebuie să satisfacă condiția 3.21.

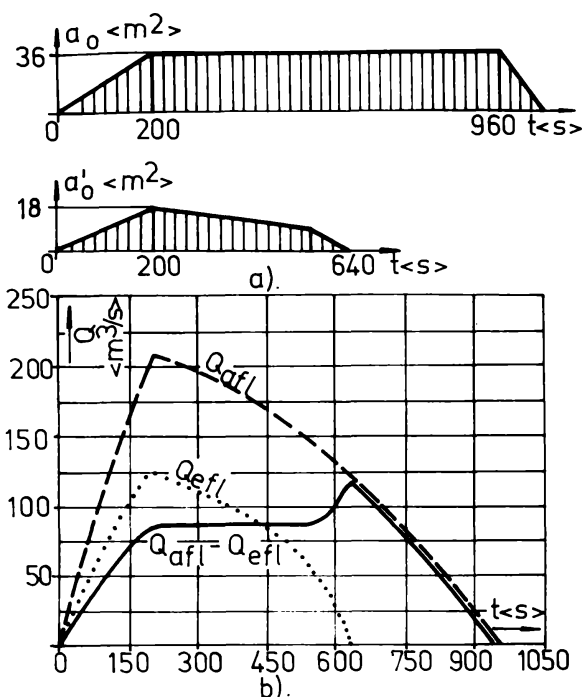


Fig.3.22 Tabloul hidraulic a umplerii-golirii concomitente în bazin subteran a ecluzei Agigea.
 a). schema de manevră a vanelor V_1 și V_2 ;
 b). curbele de umplere - golire.

- lungimea orificiilor $b = 4$ m ;

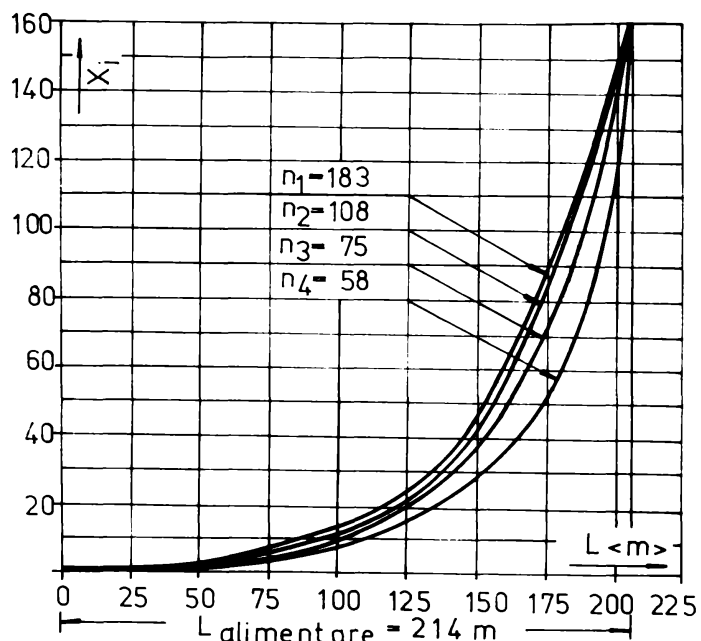


Fig. 3.23 Distribuția creșterilor relative de debit în lungul sasului ecluzei Agigea la momentul $t=0$ în funcție de numărul orificiilor de alimentare.

3.6.2. Determinarea prin calcul a influenței numărului orificiilor sistemului de alimentare asupra reducerii neuniformității debitelor de acces în ecluză

Pentru a determina influența numărului de orificii (al sistemului de alimentare) asupra distribuției debitelor în lungul sasului ecluzei s-a rezolvat sistemul de ecuații 3.42 (PRGRM 9) adoptându-se următoarele valori inițiale de calcul :

- lungimea de distribuție a orificiilor $L_{alim} = 214$ m ;
- raportul dintre secțiunea galeriilor longitudinale și secțiunea totală a orificiilor $a/\Sigma s = 1,6$;

- numărul orificiilor $n = 57...183$ pentru care $\lambda = 0,01...0,001$ (rel.3.49).

Rezultatele calculelor sînt trecute în figura 3.23. Se constată că distribuția creșterilor relative de debit de forma X_1 la momentul inițial $t = 0$ depinde în foarte mică măsură de numărul orificiilor. Relațiile de calcul deduse (3.44... 3.47) arată o bună concordanță cu metoda exactă.

3.6.3. Stabilirea regimului de funcționare hidraulică al ecluzei Agigea cu

umplere-golire concomitentă

Pentru a defini regimul hidraulic de funcționare al ecluzei Agigea se calculează creșterile maxime de debit de forma $(\frac{dQ}{dt})_{admis}$

• din condiția de staționare în porturile de așteptare (fig. 3.24)/45/ : s-au adoptat următoarele valori inițiale de calcul

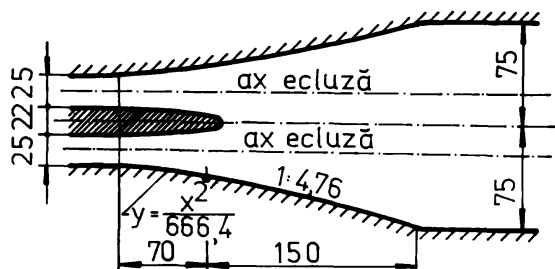


Fig.3.24. Portul de așteptare amonte al ecluzei Agigea.

$\Omega_p = 1050 \text{ m}^2$; $D = 21000 \text{ t}$ -deplasamentul convoiului de calcul,
 $n_v = 2$; $2 \cdot \alpha_c = 2.85,5 = 171 \text{ m}^2$;
 $\psi_p = 1,31$ pentru port de lățime variabilă și contur parabolic /6,42/.

Pentru calculul forței longitudinale admise (relația 3.52)

se consideră $\varphi = 1$; $c_s = 2,75$;

$\alpha = 12^\circ$; $\beta = 12^\circ$; $n_p = 1$, $F_{rup \text{ max}} = 32500 \text{ daN}$ și $k_p = 0,155$ pentru

o parîmă de oțel de 15 m lungime și $\varnothing = 24 \text{ mm}$ avînd o forță inițială de pretensionare egală 30 daN /25,42/.

Cu relația 3.52 $\Rightarrow P_{admis \text{ port}} = 3111 \text{ daN}$ iar cu 3.53 se obține :

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0, \text{admis}_1} \leq 0,975 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

• din condițiile de staționare în sasul ecluzei (rel.3.57).

Se adoptă : $\Omega_o = B_s \cdot H_s = 175 \text{ m}^2$; $P_{admis \text{ sas}} = 6133 \text{ daN}$ pentru condițiile de legare de bolarzii flotanți existenți în sas (relația 3.52'), cu $\alpha = 24^\circ$, lungimea parîmei 7,5 m, $n_p = 2$ restul caracteristicilor rămînd identice.

S-a determinat $\psi_s = 0,61$ pentru sistemul de orificii de alimentare al ecluzei Agigea (rel.3.55 și 3.56). S-a adoptat $\gamma_s = 1$ considerîndu-se remediată suprapunerea nefavorabilă a funcționării concomitente a celor două sisteme, de alimentare respectiv de golire (fig.3.14).

Rezultă, relația 3.57 :

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0, \text{admis}_2} \leq 0,420 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

• din condiția asigurării regimului tranzitoriu la începutul umplerii-golirii (rel.3.68).

Se determină variația vitezei limită (rel.3.70, 3.70' și 3.70''). Cu salinitățile determinate la paragraful 2.7.1.2, tabelul 2.3, acesta va fi ca în figura 3.25 (în funcție de numărul ecluzărilor).

Se adoptă : \bar{v}_1 limită minim = 0,325 m/s.

Pentru un număr de 216 orificii de alimentare, cu secțiunea

$s = 0,118 \text{ m}^2$ astfel că $a/\Sigma s = 1,6 / 22$, rezultă :

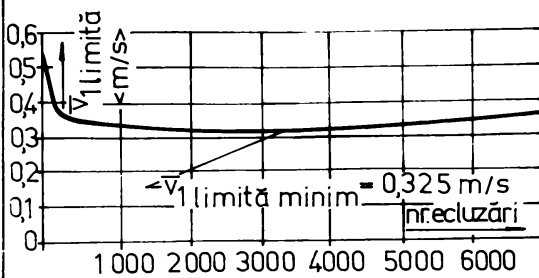


Fig.3.25 Dependența vitezei limită a regimului tranzitoriu în funcție de numărul ecluzărilor pentru ecluza Agigea.

$$\frac{s \Sigma X_1}{X_n} = 3,762 \text{ și, (rel.3.68) :}$$

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0, \text{ admis}_3} \leq 1,222 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

3.6.4. Determinarea volumului total de apă evacuat în perioada umplerii-golirii concomitente

Pentru determinarea prin calcul al volumului total evacuat prin procesul umplerii-golirii concomitente utilizăm calculele efectuate în capitolul 2. Astfel a rezultat pentru regimul de funcționare optim adoptat (paragraful 2.7.1.2) o adâncime remanentă relativă maximă de $h_r \text{ max} = 0,116$.

Pentru calculele care urmează se adoptă pentru siguranță : $h_r = 0,1$ iar adâncimea remanentă va rezulta $H_r = (1,45 \dots 1,6) \text{ m}$, în funcție de nivelul de apă existent în canal (rel.2.120). Se adoptă de sigur $H_r = 1,45 \text{ m}$.

Pentru a putea calcula V_{ev} este necesar să adoptăm mărimea înălțimii de amestec H_{am} . Unele experiențe efectuate /75/ au arătat că $H_{am \text{ minim}} = 1 \text{ m}$. Desigur că mărimea înălțimii de amestec va depinde de regimul de acces a apei dulci prin sistemul de alimentare, urmînd ca precizarea acestei dependențe să se facă după efectuarea unor cercetări în laborator.

Pentru calculele care urmează, prudent este să adoptăm valori mai mari : $H_{am} = 2,3$ și 4 m .

Rezultatele calculelor efectuate (rel.3.71, 3.72, 3.80, 3.85) sînt prezentate în tabelul 3.4.

Tabelul 3.4

volum total evacuat în m^3

H_{am} <m>	varianta 1 de calcul		varianta 2 de calcul		varianta 3 de calcul	
	ecluzare fără vas	ecluzare cu vas	ecluzare fără vas	ecluzare cu vas	ecluzare fără vas	ecluzare cu vas
2	44.000	23.000	39.600	18.600	52.400	31.400
3	44.000	23.000	39.600	18.600	52.400	31.400
4	48.800	27.800	44.000	23.000	56.800	35.800

Observație : situația cea mai nefavorabilă în ceea ce privește cantitatea de apă ce trebuie evacuată în cazul ecluzei Agigea se înregistrează atunci cînd nivelul în Marea Neagră este maxim + 0,5 iar adâncimea în sas la nivelul respectiv devine $H_s = 8 \text{ m}$ (varianta 3 de calcul).

3.6.5. Interpretarea rezultatelor obținute

Calcululele efectuate asupra ecluzei Agigea au urmărit verificarea relațiilor de calcul deduse și precizarea regimurilor hidraulice de funcționare al unei ecluze neconvenționale de acest tip.

Cercetările experimentale s-au efectuat în două variante, privind în principal căderea la ecluză care a fost de 9 m și respectiv 9,6 m, și secțiunea de control a galeriilor în dreptul vanelor sistemelor de umplere respectiv golire. De asemenea s-au modificat și coeficienții de debit (tabelul 3.1). Se remarcă faptul că dacă căderea de 9 m se produce în mod curent în dreptul ecluzei Agigea, cea de 9,6 m reprezintă un caz cu totul întâmplător (fig. 2.12), și nu este cea mai semnificativă, deoarece presupune un volum minim inițial de apă sărată în sasul ecluzei la nivelul biefului aval. Dar, deoarece date experimentale se referă la aceste căderi, calculele s-au efectuat pentru ambele variante.

S-au obținut următoarele rezultate :

- pentru funcționarea ecluzei în regim convențional (umplere obișnuită) s-au obținut $T_u = 12'10''$ și $T_u = 15'10''$. Este de remarcat faptul că în ambele variante de calcul creșterea de debit maximă depășește cea rezultată din condițiile de staționare a convoiului de calcul în sasul ecluzei : $0,628 \text{ m}^3/\text{s}^2$ față de $0,420 \text{ m}^3/\text{s}^2$. Desigur că aceste regimuri se pot utiliza în practică dacă se modifică sistemul de amarare a convoiului (parîme sintetice sau pretensionare mecanică);

- pentru funcționarea ecluzei în regim neconvențional (umplere-golire concomitentă) se propun un număr de 9 regimuri în cele 2 variante de calcul care diferă prin schema de manevră a vanelor (paragraful 3.1.1). Au rezultat durate totale de umplere între $12'20''$ și $22'30''$, iar creșterile de debit între $1,213 \text{ m}^3/\text{s}^2$ și $0,136 \text{ m}^3/\text{s}^2$. De asemenea volumele totale de apă evacuate în perioada funcționării ambelor circuite variază între 96600 m^3 și 27900 m^3 adică 186 % respectiv 54 % din volumul maxim posibil de apă salmastră existent în sas la nivelul biefului aval. Această gamă largă de regimuri de funcționare propuse este absolut necesară pentru testarea lor în laborator. Între regimurile propuse se remarcă regimul IX care a fost determinat din condiția $Q_{af1} - Q_{ef1} = \text{constant}$ și care satisface în totalitate condițiile de staționare a convoiului în sasul ecluzei;

- s-au efectuat și calcule de comparație în varianta evacuării apei salmastre în procesul umplerii-golirii concomitente într-un bazin subteran situat la cota -10,50 m. Din cauza condițiilor restrictive ale golirii, nu se valorifică sarcina inițială maximă al siste-

mului de golire și astfel timpul total de umplere^a rezultat de 16' pentru un volum evacuat de 48.700 m^3 ; rezultatele fiind de același ordin de mărime ca și regimurile propuse prin umplere-golire concomitentă în bieful aval. Rezultă încă odată că soluția cu bazine subterane în cazul canalelor navigabile situate deasupra cotei nivelului mării este neeconomică din toate punctele de vedere ;

- s-a analizat prin calcul neanuniformitatea debitelor de acces prin orificiile sistemului de alimentare. S-a constatat că numărul orificiilor (în soluția constructivă cea mai simplă, orificii de secțiune egală, amplasate la distanțe egale) are influențe reduse asupra creșterilor relative de debit, dar din punct de vedere cantitativ (debitul evacuat prin orificii) un număr sporit de orificii îmbunătățește distribuția debitelor în lungul sasului prin reducerea vitezei de acces în sas și reducerea zonei de amestec al apei dulci cu apa sărată ;

- regimul de funcționare al ecluzei Agigea, definit prin $(dq/dt)_{\text{admis}}$, s-a dovedit restrictiv pentru satisfacerea condițiilor de staționare ale convoiului în sas. Deoarece asigurarea regimului tranzitoriu de acces al apei dulci, în sasul ecluzei în primele momente ale umplerii-golirii concomitente admite o valoare a creșterii de debit mult mai mare, $1,222 \text{ m}^3/\text{s}^2$ față de $0,420 \text{ m}^3/\text{s}^2$, se impune, așa cum s-a arătat, îmbunătățirea condițiilor de staționare a convoiului în sasul ecluzei ;

- pentru ambele variante de calcul s-au calculat volumele totale de apă salmastră care trebuie evacuate în bieful aval, în procesul umplerii-golirii concomitente, astfel ca salinitatea finală rezultată în sas la sfârșitul operației amintite, să corespundă condițiilor impuse de protecția antisalină a canalului Dunare-Marea Neagră. Pentru variantele de calcul propuse a rezultat : $V_{\text{ev}} = (18600... 48800) \text{ m}^3$, în funcție de prezența sau absența convoiului în procesul ecluzării. De asemenea, adâncimea volumului de apă salmastră din sasul ecluzei aflată la nivelul biefului aval, constituie un element definitiv la stabilirea volumului ce trebuie evacuat (tab. 3.4, varianta de calcul 3). Volumele de apă salmastră care sînt necesare de a fi evacuate se înscriu în gama largă propusă prin cele 9 regimuri de funcționare ale ecluzei Agigea.

3.7. Concluzii

• ecluzele neconvenționale cu dublu circuit hidraulic se deosebesc prin modul lor de funcționare după cum ele asigură protecția antisalină a unui canal navigabil, aflat sub sau deasupra nivelului general al mării ;

- la ecluzele neconvenționale de tip Mardyck evacuarea apei dulci în bieful amonte cât și evacuarea apei sărate în bazinul subteran se produce sub sarcină constantă, deoarece condițiile respective (apa dulce se găsește sub nivelul apei sărate) împun acest mod de funcționare al ecluzei ;

- pentru condițiile favorabile ale canalelor navigabile situate deasupra nivelului mării, ecluzele neconvenționale de protecție antisalină pot și trebuie să funcționeze sub sarcină variabilă (sarcina sistemului de golire crește în timp pe măsură ce are loc umplerea ecluzei), în felul acesta se reduce timpul total de umplere al ecluzei ;

- evacuarea apei sărate sub sarcină variabilă poate avea loc prin trei scheme de manevră a vanelor sistemului de alimentare respectiv golire. Din punctul de vedere al staționării navelor în sasul ecluzei în perioada umplerii-golirii concomitente, schema de manevră 3 este cea mai favorabilă, deoarece asigură un debit efectiv de umplere a sasului ecluzei constant : $Q_{\text{afluent}} - Q_{\text{efluent}} = \text{constant}$;

- ecuația diferențială a sarcinii obținută în cazul umplerii-golirii concomitente nefiind integrabilă, necesită o rezolvare numerică și programe de calcul automat ;

- s-a elaborat metoda de calcul hidraulic al unei ecluze neconvenționale funcționând după principiul umplerii-golirii concomitente în bazin subteran sub sarcină variabilă ;

- s-a analizat schema hidraulică longitudinală de alimentare respectiv golire a unei ecluze neconvenționale funcționând după principiul umplerii-golirii concomitente. Prin studiul mișcării nepermanente al apei prin sistemele de alimentare și golire distribuite a rezultat : realizarea unui sistem de umplere respectiv golire, care să satisfacă condițiilor impuse de uniformitatea debitelor de acces sau evacuate la un moment oarecare, determină la un alt moment dat sporirea neuniformității, datorită faptului că forțele care intervin în desfășurarea procesului (forțele inerțiale și de frecare), nu sînt constante și își modifică chiar sensul de acțiune; din acest punct de vedere, se propune adoptarea unor soluții constructive cât mai simple, și care reduc într-o oarecare măsură această neuniformitate, accentuată de funcționarea concomitentă a sistemelor de umplere respectiv golire (o soluție propusă posibilă ar fi inversarea golirii și compensarea astfel a distribuției neuniforme a debitelor în sasul ecluzei). Pentru rezolvarea mișcării nepermanente s-au elaborat programe de calcul automat și se propun și relații expeditiv de calcul necesare calculului preliminar ;

- satisfacerea condițiilor impuse de staționarea în condiții

corespunzătoare a navelor (convoaielor de nave), în sas și în porturile de așteptare, determină și pentru ecluzele neconvenționale un anumit regim de funcționare maximal definit prin creșterea de debit maxim admisă. Pentru satisfacerea condițiilor de staționare în porturile de așteptare regimul de funcționare se definește prin $(dq/dt)_{t=0, \text{admis}_1}$ iar în sasul ecluzei prin $(dq/dt)_{t=0, \text{admis}_2}$;

- din necesitatea asigurării accesului apei dulci prin orificiile sistemului de alimentare în regim tranzitoriu, se definește o a treia condiție, care de asemenea poate defini regimul de funcționare al unei ecluze neconvenționale cu umplere-golire concomitentă. Această condiție este definită prin $(dq/dt)_{t=0, \text{admis}_3}$;

- pentru a defini deplin funcționarea ecluzelor neconvenționale cu umplere-golire concomitentă cele trei condiții descrise anterior trebuie satisfăcute simultan ;

- funcționarea ecluzelor neconvenționale, presupune realizarea în sasul ecluzei în urma operației de umplere-golire, a unei anumite salinități, definită ca o salinitate medie admisă (paragraful 2.3). În funcție de mărimea salinității medii admise în sasul ecluzei este necesar ca în procesul umplerii-golirii ecluzei, să se evacueze un anumit volum de apă salmastră V_{ev} . A rezultat că acest volum depinde de salinitatea amintită prin adâncimea remanentă H_r , adâncimea zonei de amestec a apei dulci cu apa sărată definită prin H_{am} , de prezența sau absența navei (convoifului de nave) în procesul ecluzării și desigur de volumul inițial al apei salmastră existent în sas definit prin adâncimea H_s . S-au elaborat relații de calcul corespunzătoare tuturor situațiilor prezentate mai sus. Asupra evaluării adâncimii de amestec H_{am} nu există informații dar este evident faptul că aceasta depinde de modul de acces al apei dulci prin sistemul orificiilor de alimentare (probabil în funcție de creșterea de debit dq/dt). Urmează ca experiențele de laborator să permită elaborarea unor metodologii de exprimare analitică a acestei mărimi. În felul acesta, cunoscând $(dq/dt)_{\text{admis}}$ și volumul de apă salmastră care trebuie evacuat, regimul de funcționare al unei ecluze cu umplere-golire concomitentă va fi complet definit

- calculele efectuate pentru ecluza Agigea confirmă în totalitate relațiile de calcul deduse. Rămâne ca, confirmarea deplină să rezulte în urma cercetărilor experimentale de laborator.

C a p i t o l u l 4

ECLUZE NECONVENTIONALE CU UN SINGUR CIRCUIT HIDRAULIC

Ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic prezintă o metodă inedită de protecție antisalină a unui canal navigabil situat deasupra nivelului general al mării /28/. Față de ecluzele neconvenționale cu dublu circuit hidraulic, acestea prezintă un avantaj economic deosebit prin suprimarea unuia dintre circuitele hidraulice. De fapt, ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic sînt identice din punct de vedere constructiv cu ecluzele clasice, deosebirea constînd în schema de manevră diferită a vanelor sistemului de umplere-golire și respectiv a porții amonte. Deci față de cele clasice, o astfel de ecluză reclamă eventual un circuit suplimentar al echipamentului hidromecanic de manevră.

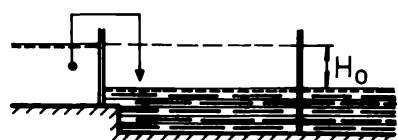
Schema funcțională de eliminare a apei sărate din sasul ecluzei în bieful aval (gravitațional), prin utilizarea ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic, metodă denumită umplere normală și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval, reprezintă o schemă originală. Ea a fost propusă de colectivul de specialiști ai catedrei de CHIF din cadrul Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara cu ocazia cercetărilor întreprinse asupra prevenirii salinizării canalului Poarta Albă-Năvodari-Midia prin ecluza Năvodari /28/. Această metodă a fost descrisă în paragraful 1.4.3.1. Ea se bazează pe faptul că la ecluzele neconvenționale de cădere mică comparativ cu adîncimea inițială existentă în sas, umplerea-golirea concomitentă deși evacuează un volum mai mic de apă salmastă în bieful aval, datorită sarcinii mici la care lucrează sistemul de golire, timpul total de umplere realizat devine comparabil cu cel ce se obține prin umplere și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval. În acest caz primează desigur avantajul economic de necontestat al ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic.

Regimul de mișcare la ecluzele cu un singur circuit hidraulic va fi în mod deliberat turbulent și deci se acceptă amestecul total între apa dulce și apa sărată. Aceasta face ca în procesul evacuării în bieful aval al apei salmastre, consumul de apă dulce din canal să fie mai mare ca și în cazul ecluzelor neconvenționale cu dublu circuit hidraulic care funcționează după principiul umplerii-golirii concomitente. În cazul cînd se impune o economisire a apei dulci din canal, în ipoteza unui deficit de apă al regiunii riverane, sau a existenței unei folosințe care reclamă o anumită cantitate de apă necesară satisfacerii ei, consumul de apă dulce în procesul eclu-

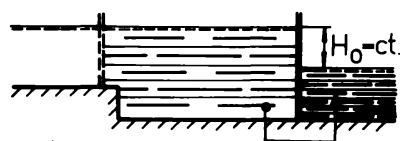
zării poate deveni un criteriu restrictiv în adoptarea soluției privind tipul de ecluză neconvențională utilizată.

4.1. Un criteriu determinant de stabilire a tipului de ecluză neconvențională utilizat în combaterea anti-salină a canalelor navigabile

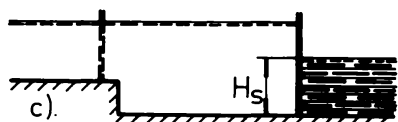
Dacă consumul de apă dulce din perioada funcționării unei ecluze neconvenționale nu devine restrictiv, atunci asigurarea capacității de trafic a canalului, prin adoptarea unui timp total de umplere minim al ecluzei, poate constitui un criteriu de alegere a mo-



a).



b).



c).

Fig.4.1 Funcționarea schematizată a unei ecluze neconvenționale cu un singur circuit hidraulic.

a). umplere normală

b). evacuarea volumului de apă salmastă

c). situația finală

dului de funcționare, respectiv a tipului de ecluză neconvențională. Trebuie precizat, că dacă timpul total de umplere realizat de o ecluză neconvențională cu un singur circuit hidraulic, funcționând după principiul umplerii și evacuării ulterioare a apei sărate în bieful aval, asigură capacitatea de trafic preconizată, atunci avînd avantajul economic de suprimare a unui circuit hidraulic, acest tip de ecluză se va folosi cu precădere.

Admitem ca criteriu de alegere a tipului de ecluză neconvențională timpul total de umplere realizat în procesul unei ecluzări.

În cazul ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic timpul total

de umplere va fi format (fig.4.1) din :

$$T_{u_1} = t_u + T_{ev} \quad (4.1)$$

unde prin t_u s-a notat timpul normal de umplere al ecluzei (fig.4.1, a) iar prin T_{ev} timpul necesar pentru evacuarea apei salmastre în bieful aval (fig.4.1, b).

Pentru a simplifica calculele convenim ca la evaluarea timpilor componenți să facem abstracție de sporul de timp datorat manevrelor vanelor, respectiv manevrei porții amonte.

În acest fel :

$$t_u = \frac{2 A \cdot H_0}{\mu a_0 \sqrt{2gH_0}} \quad (4.2)$$

și

$$T_{ev} = \frac{A(H_0 + H_s)}{\mu' a'_0 \sqrt{2gH_0}} \quad (4.3)$$

la evacuare, sarcina sistemului de golire este constantă și egală cu

căderea H_0 ; se consideră că se evacuează un volum egal cu volumul total al sasului.

Dacă, pentru simplificare admitem că la umplere cât și la golire caracteristicile hidraulice ale sistemului sînt identice adică: $a_0 = a'_0$ și $\mu = \mu'$, relația 4.1 se transformă în :

$$T_{u_1} = \frac{A(3H_0 + H_s)}{\mu a_0 \sqrt{2gH_0}} \quad (4.1')$$

Pentru ecluzele neconvenționale cu dublu circuit hidraulic care funcționează după principiul umplerii-golirii concomitente timpul total de umplere va fi format din (fig.4.2) :

$$T_{u_2} = t_{u_1} + T_{ev} + t_{u_2} \quad (4.4)$$

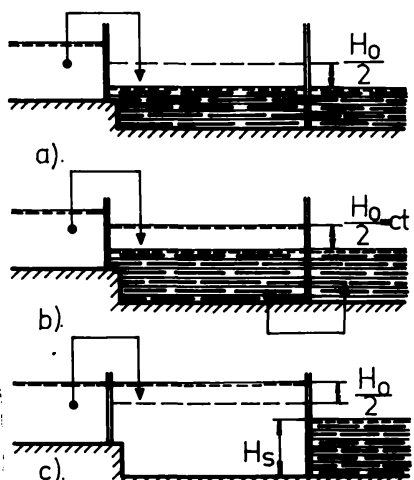


Fig.4.2 Funcționarea schematizată a unei ecluze neconvenționale cu dublu circuit hidraulic.
 a). umplere normală pe $H_0/2$
 b). evacuarea volumului de apă salmastră
 c). umplere normală pe $H_0/2$

unde funcționarea se va schematiza în felul următor : - o umplere normală de sarcină maximă egală cu H_0 pînă la un anumit nivel atins în sas, s-a convenit ca acest nivel să reprezinte $H_0/2$ (fig.4.2,a); timpul necesar în cadrul ipotezei enunțate mai sus va fi :

$$t_{u_1} = \frac{2 \cdot A \cdot \frac{H_0}{2}}{\mu a_0 \sqrt{2gH_0} + \mu a_0 \sqrt{2g \frac{H_0}{2}}} \quad (4.5)$$

- evacuarea unui volum de apă salmastră egal cu volumul sasului la nivelul biefului aval sub sarcină constantă și egală cu $H_0/2$ (fig.4.2,b) :

$$T_{ev} = \frac{A \cdot H_s}{\mu a_0 \sqrt{2g \frac{H_0}{2}}} \quad (4.6)$$

- și umplerea în continuare a sasului pe înălțimea $H_0/2$ sub sarcină maximă egală cu $H_0/2$ (fig.4.2,c) :

$$t_{u_2} = \frac{2 A \frac{H_0}{2}}{\mu a_0 \sqrt{2g \frac{H_0}{2}}} \quad (4.7)$$

Rezultă :

$$T_{u_2} = \frac{A(2H_0 + \sqrt{2}H_s)}{\mu a_0 \sqrt{2gH_0}} \quad (4.4')$$

În continuare se analizează funcția :

$$\frac{T_{u_1}}{T_{u_2}} = \frac{3 H_0 + H_S}{2 H_0 + \sqrt{2} H_S} \quad (4.8)$$

se vor nota rapoartele adimensionale :

$$\frac{T_{u_1}}{T_{u_2}} = \zeta \quad \text{și} \quad \frac{H_0}{H_S} = h \quad (4.9)$$

și se obține următoarea formă a funcției (4.8) :

$$\zeta = \frac{3 h + 1}{2 h + \sqrt{2}} \quad (4.10)$$

cu valorile limită de $\zeta_{\min} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$ pentru $h = 0$ și $\zeta_{\max} = \frac{3}{2} = 1,50$ pentru $h \rightarrow \infty$. Iar dacă $\zeta = 1$ rezultă $h = 0,414$. Funcția $\zeta = f(h)$ a fost reprezentată grafic (fig.4.3) rezultând următoarele domenii caracteristice :

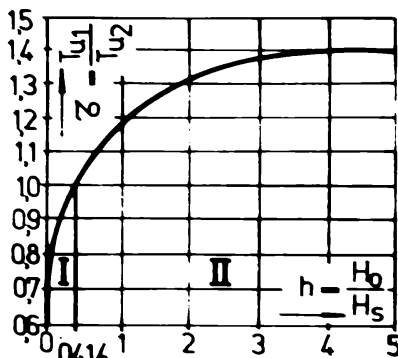


Fig.4.3 Dependența $\zeta = f(h)$

tind următoarele domenii caracteristice :

- domeniul I unde $\zeta \leq 1$ și deci $T_{u_1} \leq T_{u_2}$, pentru valori ale lui $h \leq 0,414$, se vor folosi ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic funcționând după principiul umplerii și evacuării ulterioare a apei salmastre în bieful aval;
- domeniul II unde $\zeta > 1$ și $T_{u_2} < T_{u_1}$

corespunde pentru $h > 0,414$; ecluzele neconvenționale cu dublu circuit hidraulic

funcționând după principiul umplerii-golirii concomitente, sînt în acest caz mai favorabile.

Desigur că metoda propusă mai sus, luînd în considerare ipotezele simplificatoare admise, servește unor calcule preliminare, dar permite totuși păstrarea valorii limită a raportului $H_0/H_S = 0,414$ ca un criteriu inițial privind stabilirea tipului de ecluză neconvențională care poate fi folosită, avînd timpul de umplere cel mai redus.

Observație : în ipotezele acceptate mai sus consumul total de apă dulce V_{tc} la o operație de ecluzare va fi :

- pentru ecluzele cu un singur circuit hidraulic :

$$V_{tc_1} = V_{ev_1} + A \cdot H_0 = A(H_0 + H_S) + A \cdot H_0 = A(2 H_0 + H_S) \quad (4.11)$$

se admite regimul turbulent de pătrundere a apei dulci, care are drept rezultat amestecul complet cu apa sărată aflată în sas ;

- pentru ecluzele cu dublu circuit hidraulic rezultă :

$$V_{tc_2} = V_{ev_2} + a \cdot H_0 = A \cdot H_S + A \cdot H_0 = A(H_0 + H_S) \quad (4.12)$$

Procedînd ca anterior :

$$\gamma = \frac{V_{tc1}}{V_{tc2}} = \frac{2h + 1}{h + 1} \quad (4.13)$$

se deduce cã $\gamma_{\min} = 1,00$ cînd $h = 0$ și $\gamma_{\max} = 2,00$ pentru $h \rightarrow \infty$

Pentru $h = 0,414$ rezultã $\gamma_{\text{limitã}} = 1,29$. Deci dacã ne situãm în domeniul I al ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic consumul suplimentar maxim de apã dulce față de o ecluzã neconvenționalã cu dublu circuit hidraulic este de cca.29 %.

4.2. Analiza hidraulică a funcționării ecluzei neconvenționale cu un singur circuit hidraulic

Principiul de funcționare propus pentru ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic denumit umplere și evacuare

ulterioarã a apei sãrate în bieful aval presupune o umplere normalã a sasului ecluzei, care poate avea loc fie prin sistemul longitudinal distribuit de golire practicat în radierul ecluzei, care poate fi comandat printr-o vanã V_1 (fig.4.4,a), sau direct prin poarta amonte ridicãtoare-coborîtoare (soluția ecluzei Nãvodari)(fig.4.4,b), fie printr-un sistem de umplere frontalã independent de sistemul longitudinal de golire controlat de asemenea de poarta amonte (fig.4.4,c); și evacuarea în bieful aval a volumului de apã salmastrã printr-un sistem longitudinal distribuit practicat pe toatã lungimea radierului sasului ecluzei (fig.4.4).

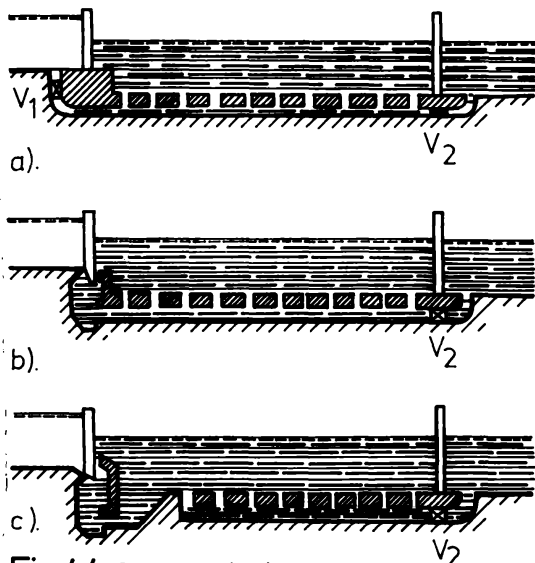


Fig.4.4 Schema hidraulică a unei ecluze neconvenționale cu un singur circuit hidraulic.

- umplere prin sistemul de golire prin vanã V_1 .
- umplere prin sistemul de golire cu ajutorul porții amonte
- umplere frontalã independentã.

Sistemul de golire este comandat de vanã V_2 iar manevra de deschidere a vanei va începe concomitent cu deschiderea porții amonte, realizîndu-se astfel un curent continuu de apã dulce din bieful amonte înspre sas care împiedicã pãtrunderea apei salmastre din sas în bieful amonte (modalitatea de salinizare prezentatã în fig.1.5,b).

În perioada evacuãrii apei salmastre în bieful aval poarta amonte fiind deschisã, cele douã biefuri sînt puse în legãturã directã. Aceastã legãturã directã a celor douã biefuri devine inerentã pentru orice tip de ecluzã neconvenționalã, și constituie însãși esența

modului de funcționare al unei astfel de ecluze.

Dintre modalitățile de umplere normală a unei ecluze neconvenționale descrise mai sus (fig.4.4), cea mai avantajoasă din punct

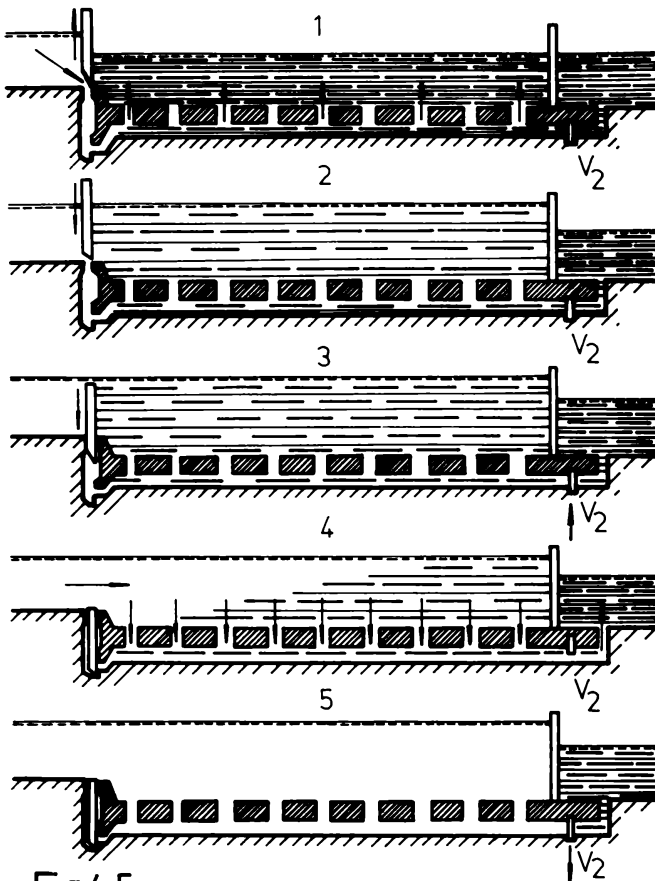


Fig.4.5 Fazele succesive ale funcționării unei ecluze neconvenționale cu un singur circuit hidraulic prin umplere și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval.

de vedere economic se prezintă varianta din fig.4.4, b. Prima variantă necesită vane suplimentare și echipamentele mecanice corespunzătoare, iar cea de a treia reduce lungimea de amplasare a fanțelor sistemului de golire și s-ar putea ca extragerea apei sărate din acea parte a sasului să nu se producă în totalitate. Fazele succesive ale funcționării unei ecluze neconvenționale cu un singur circuit hidraulic (tip Năvodari) sînt prezentate în figura 4.5. După terminarea operației de umplere normală, poarta amonte începe să coboare, în momentul în care ajunge la nivelul apei este acționată vana V_2 care începe să se deschidă (fig.

4.5, faza 3), din acest moment începe evacuarea apei salmastre în bieful aval la nivel constant, iar apa dulce pătrunde în sas. Odată cu coborîrea completă a porții plane amonte și închiderea orificiilor care au servit la umplerea normală a sasului, se întrerupe legătura directă dintre cele două biefuluri, existentă la un moment dat, prin intermediul sistemului longitudinal distribuit (fig.4.5, faza 4). După ce s-a evacuat un anumit volum de apă salmastră odată cu închiderea vanei V_2 continuă operațiile obișnuite de ecluzare. Se remarcă faptul că în momentul în care s-a încheiat operația de evacuare a apei sărate, poarta amonte se găsește în poziție coborîtă și deci rezultă o reducere a timpului total de ecluzare (fig.4.5, faza 5).

Pentru calculul hidraulic al operației de umplere și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval se procedează în felul următor :

- umplere normală; se consideră orificiu permanent înecat; rela-

țiile de calcul sînt identice ca la o ecluză convențională : /38,99/
 - domeniul 1, $0 < t < t_{rp}$ (fig.4.6,a) :

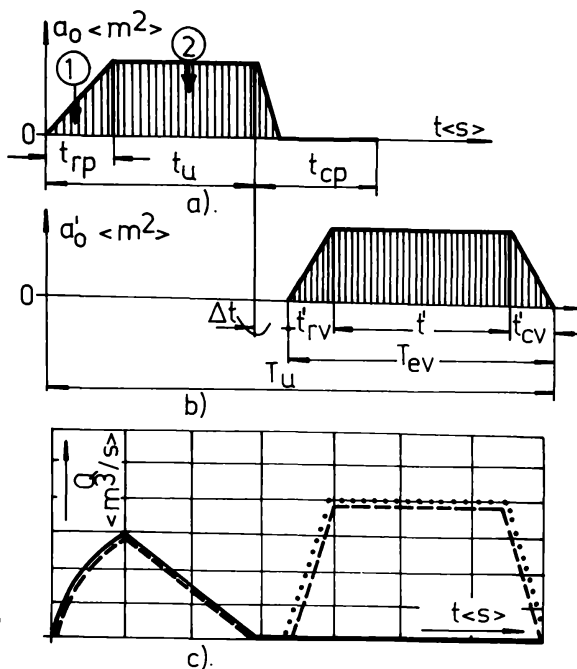


Fig.4.6 Tabloul hidraulic al funcționării unei ecluze neconvenționale cu un singur circuit hidraulic.

- a). schema de manevră a porții amonte
- b). schema de manevră a vanei aval
- c). tabloul hidraulic al umplerii și evacuării ulterioare a apei sărate în bieful aval

— Q_{afl} Q_{efl} — $Q_{afl} - Q_{efl}$

$$\sqrt{H} = \sqrt{H_0} - \frac{1}{4} \frac{\mu a_0 \sqrt{2g}}{A \cdot t_{rp}} \cdot t^2 \quad (4.14)$$

și

$$Q = \mu a_0 \sqrt{2gH} \cdot \frac{t}{t_{rp}} \quad (4.15)$$

- domeniul 2, $t_{rp} < t < t_u$ (fig. 4.6,a) :

unde prin t_u s-a notat timpul de umplere normală a sasului ecluzei :

$$\sqrt{H} = \sqrt{H_0} - \frac{1}{2} \frac{\mu a_0 \sqrt{2g}}{A} \left(t - \frac{t_{rp}}{2} \right) \quad (4.14')$$

$$Q = \mu a_0 \sqrt{2gH} \quad (4.15')$$

iar timpul de umplere :

$$t_u = \frac{t_{rp}}{2} + \frac{2 A H_0}{\mu a_0 \sqrt{2gH_0}} \quad (4.16)$$

t_{rp} reprezintă timpul de ridicare al porții amonte care comandă orificiul sistemului de alimentare de secțiune a_0 ;

• evacuare ulterioară a apei s salmastre în bieful aval sub sar-

cină constantă (fig.4.6,b) /28/ :

$$Q_{efl} = \mu' a'_0 \sqrt{2gH_0} \quad (4.17)$$

iar timpul total de evacuare va rezulta :

$$T_{ev} = t'_{rv} + t' + t'_{cv} \quad (4.18)$$

unde :

$$t'_{rv} \cdot \frac{Q_{efl}}{2} + t' \cdot Q_{efl} + t'_{cv} \cdot \frac{Q_{efl}}{2} = V_{ev} \quad (4.19)$$

și, dacă $t'_{rv} = t'_{cv}$, rezultă :

$$t' = \frac{V_{ev}}{Q_{efl}} - t'_{rv} \quad (4.20)$$

și :

$$T_{ev} = \frac{V_{ev}}{Q_{afl}} + t'_{rv} \quad (4.21)$$

Tabloul hidraulic al umplerii și evacuării ulterioare a apei salmastre în bieful aval este redat în fig.4.6,c.

Timpul total de umplere va rezulta :

$$T_u = t_u + T_{ev} + \Delta t \quad (4.22)$$

unde Δt reprezintă intervalul de timp dintre momentele de coborîre a porții amonte, respectiv ridicare a vanei sistemului de golire (fig.4.6,b).

4.2.1. Asupra mișcării nepermanente a apei prin orificiile sistemului de golire

Deoarece în cazul ecluzelor neconvenționale care funcționează după principiul umplerii normale și evacuării ulterioare a apei sărate în bieful aval trebuie să satisfacă atât condițiilor impuse de asigurarea staționării convoaielor de nave (navelor) în sasul ecluzei pe perioada funcționării cât și evacuarea uniformă a apei sărate din sas, este necesar un studiu al mișcării nepermanente a apei prin orificiile sistemului longitudinal de golire.

Ecuția mișcării nepermanente între două orificii consecutive se deduce identic (paragraful 3.2.1)(relația 3.35) :

$$\begin{aligned} \frac{b_{i+1}}{s_{i+1}} \cdot \frac{dq_{i+1}}{dt} - \frac{b_i}{s_i} \cdot \frac{dq_i}{dt} + \frac{\sum_{i+1}}{2} \cdot \frac{q_{i+1}^2}{s_{i+1}^2} - \frac{\sum_i}{2} \cdot \frac{q_i^2}{s_i^2} = \\ = \frac{l_{i,i+1}}{a} \cdot \frac{dq_i}{dt} + \frac{g l_{i,i+1}}{c^2 R} \cdot \frac{q_i^2}{a^2} + \frac{q_{i+1}^2}{2a^2} \end{aligned} \quad (3.35)$$

valabilă pentru $i = 1 \dots n$, unde n reprezintă numărul orificiilor (fan-telor) practicate în radier dar numerotarea se face de la poarta amonte în spre cea aval (invers ca la sistemul de alimentare); restul notațiilor rămîn aceleași ca la paragraful amintit.

Sistemul de $n-1$ ecuații diferențiale definit prin relația 3.35 se completează cu ecuația de continuitate, care va fi de forma ecuației (3.36) :

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_t = \left(\frac{dQ}{dt} \right)_t = \text{constant pentru } 0 \leq t \leq t'_{rv} \text{ și} \\ t'_{rv} + t' \leq t \leq T_{ev}$$

adică în intervalele de timp în care se manevrează vana sistemului de golire (fig.4.6)

și

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_t = 0 \quad (3.36')$$

pentru $t'_{rv} < t < t'_{rv} + t'$ cînd golirea se produce sub sarcina constantă H_0 , iar regimul devine permanent.

Sistemul de n ecuații astfel definit permite rezolvarea numerică (PRGRM 8). Distribuția debitelor în lungul sasului respectă în general cele constatate în paragraful 3.2.1 cu observația că influența forțelor de rezistență hidraulică este preponderentă un interval de timp mai mare (pe durata $t = t'$ cînd golirea are loc sub

sarcină constantă) când mișcarea devine permanentă.

Pentru verificarea condițiilor de staționare și în acest caz situația cea mai defavorabilă se va înregistra la începutul respectiv sfârșitul golirii când $dQ/dt = \text{maxim}$, și atunci influența forțelor de inerție fiind preponderentă, rezistențele hidraulice se pot neglija, iar sistemul de ecuații diferențiale rezultă mult simplificat (sistemul notat cu 3.40') dacă fantele sînt de secțiune constantă și amplasate la aceeași distanță.

În perioada regimului permanent pentru $t \in [t'_{rv}, t'_{rv} + t']$ influența forțelor de inerție nu se mai resimte iar sistemul de ecuații diferențiale devine :

$$\frac{\zeta_{i+1}}{2} \cdot \frac{q_{i+1}^2}{s_{i+1}^2} - \frac{\zeta_i}{2} \cdot \frac{q_i^2}{s_i^2} = \frac{1}{a^2} \left(\frac{g \cdot l}{c_R^2} \cdot Q_1^2 + \frac{q_{i+1}^2}{2} \right) \quad (4.23)$$

pentru $i = 1, 2, \dots, n$

iar ecuația de continuitate :

$$\sum_{i=1}^n q_i = Q_{\text{efluent}} = \text{constant} \quad (4.24)$$

dacă fantele sistemului de golire au geometrie identică, și sînt amplasate la aceleași distanțe (rel. 3.39) sistemul 4.23 devine :

$$\frac{\zeta_{i+1}}{2} \cdot \frac{q_{i+1}^2}{s^2} - \frac{\zeta_i}{2} \cdot \frac{q_i^2}{s^2} = \left(\frac{g \cdot l}{c_R^2} \cdot Q_1^2 + \frac{q_{i+1}^2}{2} \right) \cdot \frac{1}{a^2} \quad (4.23')$$

unde :

$$Q_1 = q_1 + q_2 + \dots + q_n = \sum_1^n q_i$$

$$Q_{i+1} = Q_i + q_{i+1}$$

iar /76/ :

$$\zeta_i = 1,45 \left(1 + \frac{v_i}{u_i} \right) \text{ sau } \quad (3.33)$$

$$\zeta_i = 1,45 \left(1 + \frac{Q_i \cdot s}{q_i \cdot a} \right) \quad (3.33')$$

Sistemul 4.23' se transformă într-un sistem de ecuații de gradul doi de forma :

$$\boxed{A \cdot q_{i+1}^2 + B \cdot Q_i \cdot q_{i+1} - (C q_i^2 + B \cdot Q_i \cdot q_i + D Q_1^2) = 0} \quad (4.25)$$

$$i = 1 \dots n$$

unde coeficienții sînt definiți prin :

$$A = \frac{1,45 a(a+s) - s^2}{2 a^2 s^2} ; B = \frac{1,45}{2as} ; C = \frac{1,45}{2s^2} ; D = \frac{g \cdot l}{a^2 c_R^2} \quad (4.26)$$

Sistemul de ecuații 4.25 completat cu ecuația de continuitate 4.24 permite evaluarea debitelor orificiilor de golire pe perioada regimului permanent când $Q_{\text{efluent}} = \text{constant}$.

Observație : pentru ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic care funcționează după principiul umplerii normale și evacuării ulterioare a apei sărate în bieful aval, dacă facem abstracție de condițiile de staționare ale navei în perioada evacuării apei sărate, neuniformitatea debitelor evacuate prin fantele sistemului de golire practicate în radier, în prima parte a evacuării pentru $t \in (0, t'_{rv})$ devine avantajoasă pentru extragerea apei sărate din porțiunea de sas din apropierea porții aval, unde în acele momente fantele vor debita mai mult ca cele din amonte. Dar deoarece la ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic accesul apei dulci în perioada evacuării apei sărate are loc prin poarta amonte deci prin

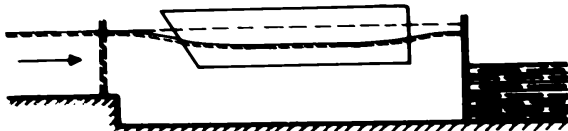


Fig.4.7 Influența vasului asupra reducerii sarcinii orificiilor sistemului distribuit de golire.

capătul celălalt al sasului, această neuniformitate se va reduce în favoarea orificiilor amplasate în amonte. Fenomenul se accentuează odată cu prezența vasului în sas care va reprezenta un obstacol pentru accesul apei înspre

poarta aval (fig.4.7). în momentele următoare când fantele din amonte

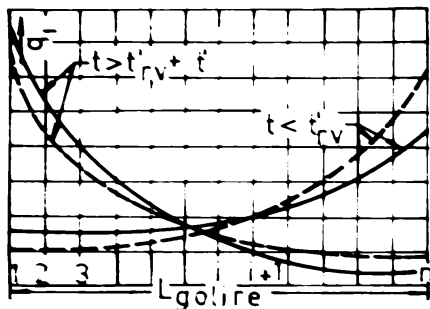


Fig.4.8 Modificarea distribuției debitelor de acces în sistemul longitudinal de golire în favoarea orificiilor din amonte

— distribuția teoretică
— distribuția modificată

vor debita mai mult, accesul apei dulci prin poarta amonte și prezența vasului va accentua neuniformitatea în sensul majorării ei în favoarea fantelor din amonte (fig.4.8). Deci există posibilitatea ca în partea din aval a sasului extragerea apei sărate să nu aibă loc în totalitate. Aceasta sugerează necesitatea majorării debitelor evacuate pe ultima porțiune a sasului, în sensul sporirii neuniformității debitelor în prima

perioadă a evacuării, și reducerea ei în ultima perioadă. Singura măsură constructivă posibilă este fie majorarea secțiunii fantelor din aval, fie reducerea distanței de amplasare a lor. Desigur că aceste măsuri constructive vor înrăutăți condițiile de staționare ale navelor în perioada evacuării apei sărate în bieful aval.

4.3. Condițiile de staționare a navelor (convoaielor de nave) în perioada funcționării ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic

Ca și în cazul ecluzelor neconvenționale cu dublu circuit hidraulic, asigurarea condițiilor de staționare a navelor în sasul ecluzei și porturile de așteptare ale ecluzei, pe perioada de funcțio-

nare prin umplere-golire și golire ulterioară a apei sărate în bieful aval, devin limitative și pentru ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic.

• aprecierea condițiilor de staționare în porturile de așteptare

Problema se tratează identic ca și în cazul ecluzelor cu dublu circuit hidraulic. Se obține un prim regim hidraulic limitativ definit prin relația 3.53 (paragraful 3.3.1) :

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0, \text{admis}_1} \leq \frac{P_{\text{admis port}} \cdot g (\Omega_p - n_v \alpha_c)}{\psi_p \cdot D} \quad (3.53)$$

unde notațiile vor fi identice, adică :

$P_{\text{admis port}}$ - forța admisibilă longitudinală a parîmelor /25,38/ ;

Ω_p - secțiunea transversală a portului de așteptare ;

n_v - numărul de nave care staționează simultan în port ;

α_c - cupla maestră a navei (convoiului de nave) ;

ψ_p - coeficient în funcție de configurația în plan a portului de așteptare (coeficient de racordare) /6/ ;

D - deplasamentul navei (convoiului de nave).

Condiția 3.53 se utilizează atât la limitarea regimului de umplere-golire normală a ecluzei cât și la limitarea regimului de evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval.

• aprecierea condițiilor de staționare în sasul ecluzei

Pentru cazul umplerii normale, respectiv a golirii normale, asigurarea condițiilor de staționare se realizează ca la orice ecluză convențională /38,99/. Rezultă a doua condiție limitativă a regimului hidraulic de funcționare de forma relației 3.57 (paragraful 3.3.2) :

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0, \text{admis}_2} \leq \frac{P_{\text{admis sas}} \cdot g (\Omega_o - \alpha_c)}{\psi_s \cdot D} \quad (4.27)$$

unde : față de relația 3.57 s-a suprimat coeficientul de corecție datorită funcționării concomitente a sistemelor de alimentare respectiv golire pentru ecluzele neconvenționale cu dublu circuit hidraulic.

$P_{\text{admis sas}}$ - forța admisibilă longitudinală a parîmelor în sasul ecluzei ;

Ω_o - secțiunea transversală a sasului (la umplere, condiția 4.27 devine mai restrictivă deoarece $\Omega_o = B_s \cdot H_s = \text{minim}$; la golire $\Omega = B_s (H_s + H_o)$) ;

ψ_s - factor de reducere a forței hidrodinamice datorită sistemului de umplere (golire) adoptat; restul notațiilor își păstrează semnificațiile.

Pentru perioada în care are loc evacuarea apei sărate în bieful aval condiția de staționare a navelor în sasul ecluzei necesită o corecție datorită componentei forței hidrodinamice determinată de viteza longitudinală a curentului de apă care pătrunde prin poarta amonte deschisă a ecluzei. Astfel relația 4.27 corectată va fi :

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0, \text{ admis } 3} \leq \frac{(P_{\text{admis sas}} - P_v) g (\Omega - \alpha_c)}{\psi_s \cdot D} \quad (4.28)$$

se obține un al treilea regim limitativ de funcționare al ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic care se aplică sistemului longitudinal de golire.

În relația 4.28, P_v va reprezenta forța hidrodinamică datorită vitezei longitudinale a curentului care are valoarea maximă :

$$v_0 = \frac{Q_{\text{efluent}}}{\Omega} \quad (4.29)$$

la sfârșitul regimului nepermanent determinat de ridicarea vanei aval V_2 .

Forța hidrodinamică P_v se poate calcula după metoda de calcul a rezistenței la înaintare /50/ :

$$P_v = R_f + R_r \quad (4.30)$$

unde /42/ : R_f - rezistența de frecare iar R_r - rezistența reziduală care se determină în funcție de viteza v_0 pentru cazul limitării atât în lățime cât și în adâncime.

Relațiile de calcul pentru rezistențele de frecare, respectiv reziduale sînt cele generale, cunoscute în literatura de specialitate /38, 42, 51/.

În concluzie, asigurarea condițiilor de staționare în porturile de așteptare și sasul ecluzei neconvenționale cu un singur circuit hidraulic care funcționează după principiul umplerii normale și evacuării ulterioare a apei sărate în bieful aval, limitează regimurile de funcționare după cum urmează : pentru umplere respectiv golire normală prin regimurile admise 1 și 2 ; pentru evacuarea apei sărate în bieful aval regimurile admise 1 și 3.

4.4. Determinarea volumului de apă salmastră evacuat în bieful aval în procesul funcționării ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic

Pentru a defini deplin regimul de funcționare al unei ecluze neconvenționale, este necesară precizarea volumului de apă salmastră ce urmează a fi evacuat în bieful aval, astfel ca la sfârșitul operațiilor, în sas să se realizeze o anumită salinitate medie scontată. Problema se tratează asemănător cu cazul ecluzelor convențio-

nale cu dublu circuit hidraulic (paragraful 3.5).

Și pentru ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic elementul de bază de apreciere a volumului de apă salmastră care trebuie evacuat V_{ev} , va fi adâncimea remanentă H_r definită ca la paragraful 2.3 și avînd relațiile de calcul deduse și notate cu 2.15, 2.15' sau 2.50. În procesul ecluzărilor, adâncimea remanentă rămîne constantă chiar dacă salinitățile variază în raport cu numărul ecluzărilor.

Pentru a putea stabili o relație de calcul a volumului care trebuie evacuat în bieful aval, pentru o ecluză neconvențională funcționînd după principiul umplerii și evacuării ulterioare a apei sărate în bieful aval, adoptăm schema de calcul din figura 4.9.

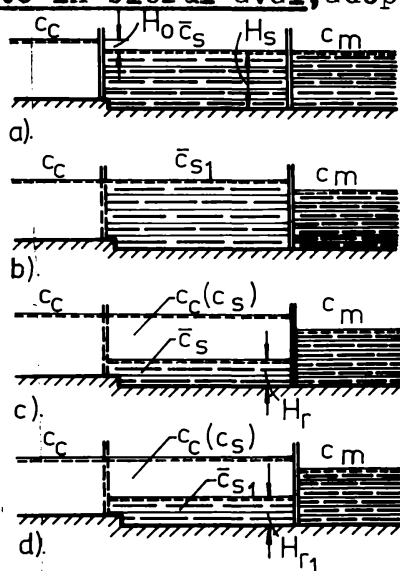


Fig.4.9 Schema de calcul a volumului de apă salmastră care se evacuează în bieful aval.

- a).situația inițială
- b).umplere normală
- c).situația finală - schema de calcul a lui H_r
- d).idem a lui H_{r1}

între schema de calcul a adâncimii remanente (fig.4.9,c) și schema reală care definește o adâncime remanentă corectată notată cu H_{r1} (fig.4.9,d) (indicele 1 se referă la ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic) rezultă :

- salinitatea finală, la sfîrșitul tuturor operațiilor, pentru schema de calcul din fig.4.9,c, va fi :

$$c_s = \frac{H_r \cdot c_s + (H_0 + H_s - H_r) c_c}{H_0 + H_s} \quad (4.31)$$

- pentru a calcula aceeași salinitate pentru schema reală este necesar să stabilim salinitatea obținută în sas după umplerea normală (fig.4.9,b) :

$$c_{s1} = \frac{H_s \cdot c_s + H_0 \cdot c_c}{H_0 + H_s} \quad (4.32)$$

s-a considerat că umplerea normală are loc în regim turbulent, iar salinitatea finală va rezulta (fig.4.9,d) :

$$c_s = \frac{H_{r1} \cdot c_{s1} + (H_0 + H_s - H_{r1}) c_c}{H_0 + H_s} \quad (4.31')$$

și dacă introducem expresia 4.32, relația 4.31' devine :

$$c_s = \frac{H_{r1} \cdot H_s (c_s - c_c)}{(H_0 + H_s)^2} + c_c \quad (4.33)$$

din egalitatea relațiilor 4.31 și 4.33 se deduce adâncimea remanentă corectată corespunzătoare ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic :

$$H_{r1} = \frac{H_r(H_0 + H_s)}{H_s} \quad (4.34)$$

Cunoscînd adîncimea remanentă corectată se poate evalua volumul de apă salmastră care trebuie evacuat în bieful aval urmărind același raționament ca la paragraful 3.5.

În cazul ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic, regimul de pătrundere al apei dulci în sasul ecluzei fiind turbulent, adîncimea de amestec (paragraful 3.5) va fi :

$$H_{am} = 2 H_0 \quad (4.35)$$

Se verifică condiția 3.84 :

$$H_{am} \leq 2 H_{r1} \quad (4.36)$$

sau :

$$H_r \geq \frac{H_0 \cdot H_s}{H_0 + H_s} \quad (4.36')$$

iar volumul necesar de a fi evacuat va rezulta (rel.3.71) :

$$V_{ev} = A \cdot (H_0 + H_s) \left(1 - \frac{H_r}{H_s} \right) \quad (4.37)$$

cînd ecluzarea se produce fără vas, și :

$$V_{ev} = A \left[H_0 + H_s (1 - d_s) \right] \left[1 - \frac{H_r}{H_s(1 - d_s)} \right] \quad (4.38)$$

cînd ecluzarea are loc în prezența vasului .

dacă :

$$H_r < \frac{H_0 \cdot H_s}{H_0 + H_s} \quad (4.39)$$

atunci (rel.3.80) :

$$V_{ev} = A \left[H_s + 2 H_0 - 2 H_r \left(\frac{H_0 + H_s}{H_s} \right) \right] \quad (4.40)$$

Relația 4.40 este valabilă pentru cazul cînd operațiile de umplere și evacuare a apei sărate se produc în absența navei din sas.

În cazurile cele mai frecvente operațiile de ecluzare se desfășoară în prezența vasului, iar în acest caz :

$$V_{ev} = A \left\{ H_s(1 - d_s) + 2 H_0 - 2 H_r \frac{H_0 + H_s(1 - d_s)}{H_s(1 - d_s)} \right\} \quad (4.41)$$

unde :

$$d_s = \frac{D}{A \cdot H_s} \quad (2.7)$$

4.5. Aplicație numerică

Relațiile de calcul deduse în paragrafele capitolului 4 au fost utilizate pentru ecluza Năvodari în ipoteza realizării ei cu un singur circuit hidraulic și funcționării după principiul umplerii normale și evacuării ulterioare a apei sărate în bieful aval. Calculurile efectuate sînt corelate cu calculele efectuate în capitolul 2, paragraful 2.7.2.

Pentru a stabili tipul de ecluză neconvențională se determină mărimea ζ definită prin relația 4.10 la diferite rapoarte posibile $h = H_0/H_g$ (fig.2.21). A rezultat : $h \in (0,077;0,637)$ iar $\zeta \in (0,785;1,08)$ (fig.4.3); valoarea cea mai probabilă se înregistrează pentru niveluri normale cînd $H_g = 5,50$ m, $H_0 = 1,75$ m, rezultă $h = 0,318$ și $\zeta = 0,953$. Cu relația 4.13 rezultă și consumurile relative de apă pentru o ecluzare : $\gamma = 1,24$ pentru cazul nivelurilor normale. Deci rezultă că ecluza neconvențională Năvodari prevăzută cu un singur circuit hidraulic la un timp total de ecluzare aproape egal ($\zeta = 0,963$) cu varianta cu dublu circuit hidraulic, realizează un consum de apă dulce mai mare cu cca.24 %, dar avantajul economic rezultă prin suprimarea celui de-al doilea circuit hidraulic.

4.5.1. Calculul hidraulic al ecluzei Năvodari

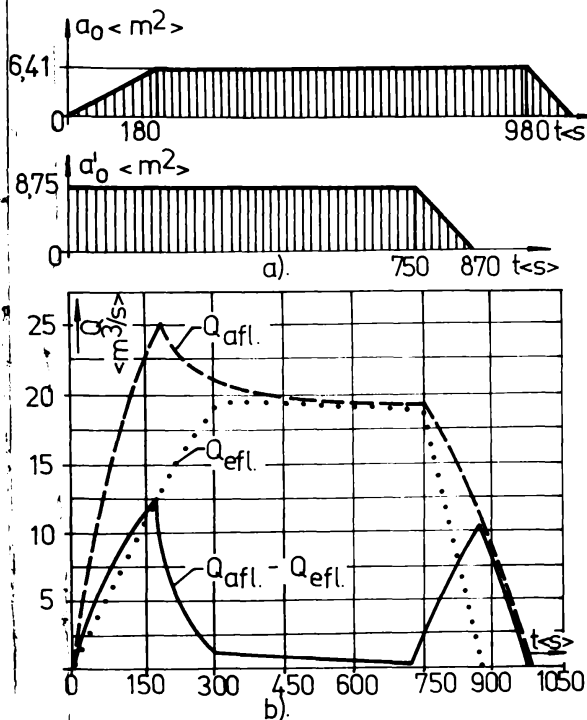


Fig.4.10 Tabloul hidraulic al umplerii-golirii concomitente a ecluzei Năvodari.
a) schema de manevră a vanelor.
b) curbele de umplere - golire.

Pentru a putea compara duratele totale de ecluzare reale s-a efectuat calculul hidraulic în ambele variante : cu două circuite hidraulice cu funcționare prin umplere-golire concomitentă și cu un singur circuit hidraulic cu funcționare prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval.

4.5.1.1. Calculul hidraulic al ecluzei Năvodari în varianta cu dublu circuit hidraulic

S-a adoptat schema de manevră a vanelor notată cu 2 (fig.3.5), calculele efectuându-se cu programul de calcul PRGRM 5. Coeficienții de debit au fost $\mu = 0,67$ și $\mu' = 0,60$. Tabloul hidraulic al umplerii-golirii concomitente este redat în figura 4.10. S-au obținut următoarele rezultate : cre-

șterea maximă de debit pentru sistemul de alimentare a fost de 0,324

m^3/s^2 , față de cea a funcționării concomitente care a rezultat de $0,212 \text{ m}^3/\text{s}^2$; timpul total de umplere $T_u = 16'20''$ la un volum total evacuat $V_{ev} = 13,3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$.

4.5.1.2. Calculul hidraulic al ecluzei Năvodari în varianta cu un singur circuit hidraulic

Calculul hidraulic în ipoteza umplerii normale și evacuării

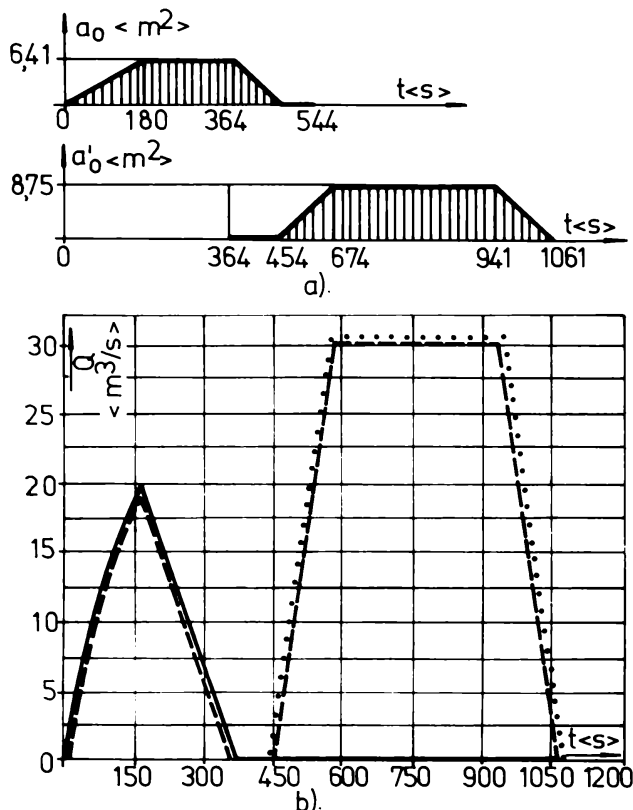


Fig.4.11 Tabloul hidraulic al umplerii normale și evacuării ulterioare a apei sărate în bieful aval al ecluzei Năvodari.

a). schema de manevră a vanelor

b). curbele de umplere și evacuare

--- Q_{afl} Q_{efl} ——— $Q_{afl} - Q_{efl}$

de relația 4.10.

4.5.2. Determinarea distribuției debitelor prin fantele sistemului longitudinal de golire în perioada evacuării apei sărate în bieful aval

S-au adoptat pentru calcul caracteristicile geometrice ale sistemului longitudinal de golire a ecluzei Năvodari propus de proiectare : - două galerii longitudinale de secțiune $a = 2,5 \times 2,5 = 6,25 \text{ m}^2$, prevăzute fiecare cu câte 26 de fante dreptunghiulare de lungime 2,5 m și lățime egală cu 0,15 m, rezultând suprafața fantei de $0,375 \text{ m}^2$, iar raportul $\sum s/a = 1,56$; $b = 1,5 \text{ m}$; s-a considerat lungimea sistemului de golire $L_g = 140 \text{ m}$, iar fantele dispuse la aceeași distanță ; - în calcule s-a neglijat faptul că accesul apei în sas es-

te unilaterală (prin capul amonte) și de asemenea prezența vasului

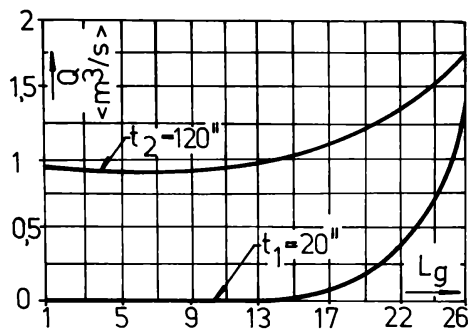


Fig.4.12 Distribuția debitelor evacuate prin fantele sistemului longitudinal de golire la două momente ale evacuării apei sărate în bieful aval.

în sas ; - în perioada regimului ne-permanent s-au neglijat forțele de rezistențe hidraulice (sistemul 3.42, PRGRM 9), iar pentru regimul permanent s-a utilizat relația 4.25 pentru a cărei rezolvare s-a elaborat un program de calcul notat PRGRM 10. Rezultatele obținute sînt prezentate în figura 4.12.

4.5.3. Stabilirea regimului de funcționare hidraulică a ecluzei Năvodari în varianta cu un singur circuit hidraulic în

funcție de asigurarea condițiilor de staționare

Pentru a stabili regimul de funcționare hidraulică a ecluzei Năvodari din condiția de staționare a navelor se calculează creșterile de debit maxim admise :

- din condiția de staționare în porturile de așteptare

S-au adoptat : secțiunea transversală a portului de așteptare aval $\Omega_p = 522 \text{ m}^2$; deplasamentul convoiului de calcul $D = 3500 \text{ t}$, $n_v = 2$, $2 \mathcal{R}_c = 85,5 \text{ m}^2$, $\varphi_p = 1,25$.

Pentru calculul forței longitudinale admise (rel.3.52) se consideră $\varphi = 1$; $c_s = 2,75$; $\alpha = 12^\circ$; $\beta = 12^\circ$; $n_p = 1$, $F_{rup.max} = 23000 \text{ daN}$ și $k_p = 0,142$ pentru o parîmă de oțel de 15 m lungime și $\varnothing = 20 \text{ mm}$, avînd forța inițială de pretensionare egală cu 30 daN /25/.

Cu relația 3.52 $\Rightarrow P_{admis \text{ port}} = 1136 \text{ daN}$, iar cu 3.53 se obține :

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0, \text{admis}_1} \leq 1,096 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

- din condiția de staționare în sasul ecluzei (rel.4.27) pe perioada umplerii-golirii normale

Se adoptă : $\Omega_o = B_s \cdot H_s = 68,75 \text{ m}^2$, $P_{admis \text{ sas}} = 4320 \text{ daN}$ pentru condițiile de legare a parîmelor în sas (rel.3.52') cu $\alpha = 24^\circ$, lungimea parîmei de 7,5 m și $n_p = 2$, iar restul caracteristicilor sînt identice. Pentru sistemul longitudinal de umplere-golire, adoptat pentru ecluza Năvodari rezultă $\varphi_s = 0,71$. Se obține :

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0, \text{admis}_2} \leq 0,358 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

- din condiția de staționare în sasul ecluzei pe perioada evacuării apei salmastre în bieful aval (rel.4.28)

S-a evaluat mărimea forței hidrodinamice datorată vitezei longitudinale a curentului după metoda rezistenței la înaintare (relația 4.30)/42/. Se obține $P_v = 100 \text{ daN}$. Cu relația 4.28', rezultă :

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{t=0, \text{ admis } 3} \leq 0,348 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

4.5.4. Calculul volumului de apă salmastră evacuat în bieful aval în perioada de funcționare hidraulică a ecluzei Năvodari

Pentru a stabili volumul de apă salmastră care trebuie evacuat în bieful aval pe perioada funcționării ecluzei Năvodari, astfel ca în sas să se înregistreze la sfârșitul tuturor operațiilor, o salinitate corespunzătoare, adâncimea remanentă relativă maximă a rezultat de : $h_r \text{ max} = 0,096$ (paragraful 2.7.2.2). Această mărime este invariabilă în raport cu modul de funcționare al ecluzei Năvodari. Pentru a putea compara rezultatele obținute, se va determina volumul necesar de evacuat V_{ev} , în ambele variante de funcționare ale ecluzei. De asemenea se va lua în considerare și variația nivelurilor în canalul Poarta Albă-Năvodari și Marea Neagră (fig.2.21), urmărind identificarea variantelor extreme (tabelul 4.1).

Tabelul 4.1

Variante de calcul	Niveluri		H_0 <m>	H_s <m>	$V_{\text{inițial}}$ apă sărată <m ³ >
	în canal	în mare			
1	maxim +2,00	maxim +0,50	1,50	6,50	13 000
2	normal +1,25	normal -0,50	1,75	5,50	11 000
3	minim +1,00	minim -1,10	2,10	4,90	9 800
4	maxim +2,00	minim -1,10	3,10	4,90	9 800
5	minim +1,00	maxim +0,50	0,50	6,50	13 000

Pentru determinarea volumelor evacuate, în cazul ecluzei cu un singur circuit hidraulic funcționând după principiul umplerii normale și evacuării ulterioare a apei sărate în bieful aval s-au utilizat relațiile de calcul 4.40 respectiv 4.41, iar pentru ecluza Năvodari cu dublu circuit hidraulic funcționând prin umplere-golire concomitentă, relațiile 3.80 și 3.85. Rezultatele obținute sînt redacte în tabelul 4.2.

Observație : pentru varianta cu dublu circuit hidraulic neexistînd informații asupra adîncimii zonei de amestec (paragraful 3.5) s-a convenit să se adopte $H_{am} = 2 \text{ m}$, ținîndu-se cont de căderea relativ mică a ecluzei Năvodari în raport cu adîncimea inițială din sas.

Tabelul 4.2

volumele în 10^3 m^3

Varianta de calcul	$H_0 + H_s$ <m>	H_r <m>	V_{ev} ecluzare) cu rel. 4.13	
			fără vas		cu vas				
			cu un circuit hidraulic	cu dublu circuit hidraulic) ₁	cu un circuit hidraulic	cu dublu circuit hidraulic) ₁	
1	8,00	0,768	14,11	11,93	1,18	10,61	8,43	1,26	1,18
2	7,25	0,696	12,67	10,21	1,24	9,17	6,71	1,36	1,24
3	7,00	0,672	12,08	9,11	1,33	8,58	5,61	1,53	1,30
4	8,00	0,768	13,49	8,73	1,55	9,99	5,23	1,91	1,38
5	7,00	0,672	12,55	12,31	1,02	9,05	8,81	1,03	1,07

4.5.5. Interpretarea rezultatelor obținute

Calcululele preliminare efectuate asupra ecluzei Năvodari (rel.4.10 și 4.13) au scos în evidență avantajul variantei cu un singur circuit hidraulic asupra celei cu două circuite hidraulice. A rezultat un timp de umplere sensibil egal pentru cele două variante ($\zeta = 0,785 \dots 1,08$), deci din acest punct de vedere soluția cu un singur circuit hidraulic se detașează prin economiile realizate, deoarece suprimă un circuit hidraulic. Singurul inconvenient îl reprezintă volumul total de apă dulce consumat la o ecluzare, care depășește cu cca. 25% cel necesar unei ecluze cu dublu circuit hidraulic și care funcționează după principiul umplerii-golirii concomitente.

S-au efectuat calcule comparative pentru ambele variante. S-au obținut următoarele rezultate :

- dacă ecluza Năvodari funcționează în regim convențional, rezultă un timp de umplere $T_u = 6'8''$, cu o creștere de debit care se încadrează în cele admise de condițiile de staționare ale navelor în sasul ecluzei și în porturile de așteptare. Desigur că acest regim nu satisface dezideratului de a proteja antisalin canalul Poarta Albă-Năvodari ;

- în ipoteza cu dublu circuit hidraulic, a rezultat un timp total de umplere $T_u = 16'20''$, pentru un volum total de apă evacuat $V_{ev} = 13,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Creșterile de debit se încadrează de asemenea în limitele stabilite. Pentru a putea face o comparație cu varianta unui singur circuit hidraulic, caracteristicile hidraulice și geometrice ale sistemelor de umplere și golire s-au adoptat identice ;

- în varianta cu un singur circuit hidraulic, timpul total de umplere a rezultat de $17'45''$ cu luarea în considerare a intervalului de timp $\Delta t = 1'30'' = t_p/2$ (rel.4.22). Deoarece la sfârșitul operațiilor, poarta amonte rezultă deschisă, timpul redus de umplere este de

14'45", deci o confirmare a criteriului propus prin relația 4.10. Volumul total evacuat a rezultat de $15 \cdot 10^3 \text{ m}^3$;

- s-a analizat distribuția debitelor prin fantele sistemului longitudinal de golire pe perioada regimului nepermanent cu neglijarea rezistențelor hidraulice (rel. 3.42 PRGRM 9), și în perioada regimului permanent (rel. 4.25 PRGRM 10). Neuniformitatea debitelor evacuate se poate accentua în perioada de scădere a debitului efluent, atât din cauza accesului unilateral al apei, cât și datorită prezenței vasului ;

- condițiile de staționare ale navelor devin restrictive în ceea ce privește limitarea regimului hidraulic de funcționare al ecluzei Năvodari. Asigurarea condițiilor de staționare în sasul ecluzei determină cele mai reduse mărimi ale creșterilor de debit admise : $(dQ/dt)_{t=0, \text{ admis}} \leq 0,358 \text{ m}^3/\text{s}^2$ și de $0,348 \text{ m}^3/\text{s}^2$ pentru sistemul de golire când elimină apa sărată în bieful aval. Toate regimurile studiate respectă aceste limite ;

- volumele evacuate în bieful aval pentru realizarea unei anumite salinități în sas la sfârșitul operațiilor de ecluzare depind de regimul nivelurilor, în canal respectiv mare. S-au determinat aceste volume atât pentru varianta cu un circuit hidraulic cât și în varianta cu dublu circuit hidraulic. Raportul dintre aceste volume notat cu γ_1 variază între 1,02 - 1,55 pentru operațiile de ecluzare efectuate fără vas, și între 1,03 - 1,91 în varianta cu vas. Aceste valori însă reprezintă o combinație mai puțin probabilă între niveluri, deci reprezintă valori extreme. Varianta cea mai probabilă va fi cea corespunzătoare nivelurilor normale când $\gamma_1 = 1,24$ și 1,36. Se constată o concordanță suficient de bună cu relația 4.13, care servește calculelor expeditive de evaluare a raportului dintre volumele totale consumate în perioada unei ecluzări complete, pentru cele două variante de ecluze neconvenționale. La niveluri normale, relația 4.13 determină $\gamma = 1,24$.

4.6. Concluzii

• ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic reprezintă o soluție inedită de combatere antisalină a unui canal navigabil situat deasupra nivelului general al mării ;

• schema originală de funcționare a unei astfel de ecluze a fost denumită umplere normală și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval, și a fost propusă pentru ecluza Năvodari de pe canalul Poarta Albă - Năvodari - Midia ;

• față de o ecluză neconvențională cu dublu circuit hidraulic, soluția cu un singur circuit hidraulic este evident avantajoasă prin

suprimarea unui circuit hidraulic dar prezintă inconvenientul unui consum mai mare de apă dulce necesar operațiilor de ecluzare ;

- se propune un criteriu determinant deosebit de simplu, care poate fi utilizat la alegerea variantei cele mai economice dintre cele două tipuri de ecluză neconvențională. Criteriul a rezultat prin evaluarea timpilor totali de umplere în cele două variante, și va depinde de raportul dintre cădere H_0 și adâncimea de apă din sas la nivelul biefului aval H_S . Dacă timpii de umplere sînt egali, acest raport rezultă de 0,414. Deci pentru $H_0/H_S < 0,414$ avantajul va fi net de partea ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic. S-a efectuat și o evaluare aproximativă a volumelor de apă dulce consumate în procesul unei ecluzări, rezultînd o relație expeditivă dependentă tot de raportul H_0/H_S . Pentru $H_0/H_S = 0,414$, volumul de apă consumat suplimentar de varianta cu un singur circuit hidraulic ajunge la cca. 29 % ;

- relațiile de calcul hidraulic al ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic funcționînd după principiul umplerii normale și evacuării ulterioare a apei salmastre în bieful aval sînt identice cu cele ale unei ecluze clasice ;

- analiza mișcării nepermanente a apei prin fantele sistemului de golire, pe perioada evacuării apei sărate în bieful aval, s-a efectuat cu metoda prezentată în capitolul 3. În perioada regimului permanent se poate utiliza același sistem de ecuații cu neglijarea forțelor de inerție. Spre deosebire de ecluzele neconvenționale cu dublu circuit hidraulic, la ecluzele cu un singur circuit hidraulic, accesul apei dulci în perioada evacuării apei sărate în bieful aval are loc unilateral, prin poarta amonte deschisă. Acest fapt, conjugat cu prezența vasului în sas, care opune o rezistență deplasării apei în spre poarta aval, va determina o creștere, sau o reducere a neuniformității debitelor evacuate în favoarea fantelor din amonte și în detrimentul celor din aval. În felul acesta evacuarea apei sărate, va avea loc cu precădere prin fantele din amonte, și există posibilitatea ca fantele din aval să nu evacueze în totalitate cantitatea de apă sărată necesară. Se sugerează deci, necesitatea ca prin măsuri constructive cât mai simple să se remedieze acest inconvenient. Urmează ca experiențele de laborator să confirme cele prezentate mai sus ;

- condițiile impuse de stationarea navelor în porturile de așteptare și în sasul ecluzei în perioada funcționării unei ecluze prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval, determină pentru ambele faze de funcționare regimuri hidraulice maximele. Astfel, pentru umplere și golire normală acest regim este

definit prin $(dQ/dt)_{t=0, \text{admis}_1}$ și admis_2 , iar pentru evacuarea apei sărate $(dQ/dt)_{t=0, \text{admis}_1}$ și admis_3 !

• se propun relații de calcul necesare evaluării volumelor de apă salmastre evacuate în bieful aval pentru realizarea la sfârșitul operațiilor a unei anumite salinități în sasul ecluzei. La stabilirea relațiilor de calcul s-a luat în considerare regimul turbulent de mișcare (definit ca în capitolul 1), care presupune un amestec total a volumelor de apă dulce respectiv sărată ;

• calculele efectuate pentru cazul concret al ecluzei Năvodari confirmă valabilitatea metodelor și relațiilor de calcul propuse,

- în funcție de conjugarea nivelurilor între cele două biefuli, s-a verificat valabilitatea criteriului determinant (rel.4.10). A rezultat că în cazul ecluzei Năvodari, varianta economică este reprezentată de ecluza neconvențională cu un singur circuit hidraulic cu umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval;

- pentru a putea face o comparație între cele două variante ale unei ecluze neconvenționale, toate calculele efectuate asupra ecluzei Năvodari au fost prezentate atât în varianta cu un singur circuit hidraulic cât și în varianta cu dublu circuit hidraulic ;

- în perioada evacuării apei salmastre în bieful aval, s-au verificat prin calcul condițiile de staționare ale navelor în sasul ecluzei Năvodari, cu luarea în considerare și a forței hidrodinamice suplimentare datorate vitezei longitudinale a curentului. Aceasta a rezultat relativ mică comparativ cu forța hidrodinamică totală ;

- calculul volumelor de apă salmastră evacuate în bieful aval confirmă în mare parte valabilitatea relației 4.13. A rezultat că pentru varianta cu un singur circuit hidraulic volumul total de apă evacuat este cu cca. 25 % mai mare ca în varianta cu dublu circuit hidraulic. Acest consum suplimentar de apă dulce din canal poate fi determinant în alegerea variantei hidraulice a ecluzei Năvodari;

• pentru confirmarea deplină a concluziilor prezentate mai sus sînt necesare cercetări experimentale sistematice de laborator asupra ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic, cu funcționare prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval.

C a p i t o l u l 5

CERCETARI EXPERIMENTALE ASUPRA ECLUZELOR NECONVENTIONALE

Ecluzele neconvenționale de tip Mardyck aplicate pentru prima dată pe litoralul vest-european, pentru combaterea antisalină a canalelor de navigație situate sub nivelul general al mării, au fost temeinic cercetate în laborator pe modele experimentale /117,118/. Astfel, s-au efectuat primele cercetări experimentale asupra ecluzei Mardyck în Laboratorul de la Grenoble pe un model scara 1:12,5. În baza acestor cercetări s-a proiectat și executat ecluza Mardyck.

În țara noastră, primele cercetări experimentale au fost efectuate în cadrul catedrei de CHIF a Facultății de Construcții din cadrul Institutului Politehnic. Cercetările sistematice asupra ecluzelor neconvenționale cu dublu circuit hidraulic, de combatere antisalină a canalelor de navigație situate deasupra nivelului mării s-au efectuat începând din anul 1976 /22,23/, iar ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic au fost cercetate începând din anul 1983 /28/. Ulterior s-au efectuat cercetări experimentale și în cadrul laboratoarelor instituțiilor de specialitate din București, I.S.P.H. și I.C.H. /75/.

Dacă varianta cu dublu circuit hidraulic poate fi considerată ca o premieră fiind aplicată pentru prima dată în cazul canalelor situate deasupra nivelului mării, varianta cu un singur circuit hidraulic reprezintă o soluție originală, datele din literatura de specialitate nu semnalează existența unor astfel de ecluze. Necesitatea cercetărilor experimentale, deci apare ca o necesitate (paragraful 1.6)

5.1. Metode de modelare hidraulică

Fenomenele hidraulice care se desfășoară în timpul funcționării unei ecluze implică o serie de mărimi determinante cum ar fi : lungimi, viteze, presiuni, constante fizice ale fluidului (apa) ρ , ν , un timp caracteristic pentru cazul mișcării nepermanente, constanta forțelor masice (în câmpul gravitațional, accelerația gravitațională g) /35/. Caracteristica principală în timpul umplerii-golirii unei ecluze fiind mișcarea nepermanentă a unui fluid vâscos, condițiile de similitudine hidraulică vor fi /35,93,122/:

$$Sh = \text{idem} ; Fr = \text{idem} ; Re = \text{idem} \quad (5.1)$$

unde :

$$Sh = \frac{l}{v \cdot t} \quad \text{numărul Strouhal}$$

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot l}} \quad \text{numărul Froude} \quad (5.2)$$

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu} \quad \text{numărul Reynolds}$$

Deoarece satisfacerea concomitentă a criteriilor $Fr = idem$ și $Re = idem$ devine incompatibilă prin utilizarea în modelare a aceluiași fluid (apa), este necesară înlocuirea criteriului Reynolds cu o aproximare acceptabilă, prin realizarea unei zone de automodelare în efectuarea cercetărilor, adică zone în care fenomenele hidraulice nu mai depind de acest criteriu.

Într-adevăr, în condițiile similitudinii geometrice definită prin scara geometrică de modelare S_l , satisfacerea concomitentă a criteriilor $Fr = idem$ și $Re = idem$, implică /35/ :

$$S_l = \frac{\nu_N}{\nu_m} = S_l^{3/2} \quad (5.3)$$

unde : ν - coeficient cinematic de vîscozitate ;

"m" - se referă la model, iar "N" la fenomenul din natură.

Deci conform relației 5.3, în cercetările efectuate pe model este necesar să utilizăm un fluid cu un coeficient cinematic $\nu_m = \nu_N / S_l^{3/2}$. Cum, practic pe modele hidraulice se utilizează apă, deci $\nu_N = \nu_m$ rezultă incompatibilitatea $Fr = idem$ și $Re = idem$.

Pentru realizarea condițiilor de automodelare este necesar ca pe model să ne situăm în cadrul regimului turbulent, care impune :

$$Re_m > Re_{cr} \quad (5.4)$$

în condițiile în care:

$$Re_N > Re_{cr} \quad (5.5)$$

Pornind de la aceste condiții, pentru forțele de frecare rezultă o anumită scară de modelare a rugozității :

$$S_n = S_l^{1/6} \quad (5.6)$$

dedusă din exprimarea coeficientului lui Chézy după Manning /122/ și dacă admitem $Fr = idem$, ceea ce înseamnă :

$$S_v = S_l^{1/2} \quad (5.7)$$

rezultă :

$$S_l \leq \sqrt[3]{\left(\frac{\nu_N Re_N}{\nu_m Re_{cr}} \right)^2} \quad (5.8)$$

adică o limitare a scării similitudinii geometrice. Relațiile deduse 5.6 și 5.7 permit evaluarea scării de modelare geometrice și a rugozității modelului.

Pentru valorile uzuale ale caracteristicilor hidraulice ale ecluzelor modelate a rezultat /19/ :

$$S_l \leq 53,5 \quad (5.9)$$

În aceste condiții, pentru $Sh = idem$ și $Fr = idem$, rezultă :

pentru : $S_g = 1$:

$$S_t = S_l^{1/2}, \quad S_v = S_l^{1/2}, \quad S_Q = S_l^{5/2} \quad \text{și} \quad S_F = S_l^3 \quad (5.10)$$

În felul acesta s-au definit principalele scări de modelare hidraulică în funcție de scara similitudinii geometrice adoptate (relația 5.8).

Observații : desigur că în anumite perioade de funcționare hidraulică ale modelului, condiția 5.4 nu va fi satisfăcută, deci nu ne vom situa în zona de automodelare a criteriului $Re = idem$. Pentru aceasta, este necesar ca cercetările experimentale să se efectueze pe modele la diferite scări de modelare și stabilirea efectului de scară asupra fenomenului studiat.

5.2. Cercetări experimentale efectuate asupra ecluzelor neconvenționale cu dublu circuit hidraulic

Cercetările experimentale asupra ecluzelor neconvenționale cu dublu circuit hidraulic funcționând după principiul umplerii-golirii concomitente au fost efectuate în mai multe etape în legătură cu utilizarea ecluzei Agigea în regim neconvențional pentru prevenirea salinizării canalului Dunăre-Marea Neagră /22,23/. Pentru a stabili efectul de scară asupra fenomenelor de salinizare, s-au utilizat trei modele plane și un model spațial la diferite scări de modelare.

5.2.1. Scări de modelare hidraulică

Pentru cercetările experimentale efectuate asupra modelelor plane s-au adoptat trei scări de modelare care satisfac condiția 5.9 : 1:50 ; 1:40 și 1:25. De asemenea pentru modelul spațial s-au utilizat scara de modelare geometrică $S_l = 25$. Scările de modelare ale fenomenelor hidraulice sînt redată în tabelul 5.1 (relațiile 5.10).

Tabelul 5.1

S_l	$S_t = S_l^{1/2}$	$S_v = S_l^{1/2}$	$S_p = S_l^2$	$S_Q = S_l^{5/2}$	$S_F = S_l^3$
50	7,0711	7,0711	2500	17677,7	125000
40	6,3245	6,3245	1600	10119,3	64000
25	5,0000	5,0000	625	3125	15625

5.2.2. Dimensiunile geometrice principale din natură și de pe modele

Conform scărilor de modelare prezentate (tabelul 5.1) s-au determinat principalele dimensiuni geometrice ale modelelor utilizate. Pentru modelul plan, s-a modelat o porțiune de ecluză de 5,00 și 15 m lungime simetrică față de axa ecluzei (fig.5.1), de fapt un semi-model plan. Pentru realizarea modelului spațial s-a modelat o jumătate de ecluză simetrică față de peretele longitudinal median. Mărimile geometrice de bază din natură și model sînt trecute în tabelul 5.2. Elementele de calcul adoptate anterior rămîn valabile (tab.2.1 și tab.3.1).

Tabelul 5.2

Mărimea și unitatea de măsură	în natură (din care modelată)	pe model			
		plan		spțial	
		1:50	1:40	1:25	1:25
1	2	3	4	5	6
1. Sasul ecluzei :					
-lungimea sasului <m>	320(5,10,15)	0,1/0,3	0,250	0,60	12,80
-lățimea sasului <m>	25(12,5)	0,5/0,25	0,3125	0,50	0,500
-adâncimea de apă în sas <m>	7/6,40	0,14/0,08	0,160	0,256	0,280
-căderea <m>	9/9,60	0,18/0,192	0,240	0,384	0,360
2. Sistemul de alimentare					
-lățimea galeriei de alimentare <m>	5/2,50	-/0,05	0,0625	0,100	0,200
-înălțimea galeriei de alimentare <m>	4,5/4,00	-/0,08	0,100	0,160	0,180
-diametrul conductei de distribuție <mm>	387,5	7,75	9,69	15,5	15,5
-numărul orificiilor	2x106	2x3/6	6	12	106
-înălțimea vanei <m>	4/4	-	-	0,160	0,160
-lățimea vanei <m>	4/3	-	-	0,120	0,160
3. Sistemul de golire					
-lățimea galeriei de golire <m>	3,75/3,50	-/0,07	0,0875	0,140	0,150
-înălțimea galeriei de golire <m>	4,60/4	-/0,08	0,100	0,160	0,180
-diametrul orificiilor de golire <mm>	387,5	7,75	9,69	15,50	15,50
-numărul orificiilor de golire	2x206	2x5/12	10	24	206
-înălțimea vanei <m>	4/4	-	-	0,160	0,160
-lățimea vanei <m>	4/3	-	-	0,120	0,160
4. Convoiul de calcul					
-lungimea convoiului <m>	264(5,15)	0,1/0,3	-	0,60	10,56
-lățimea convoiului <m>	22,8(11,4)	0,456/0,228	-	0,456	0,456
-pescajul <m>	3,5	0,07	-	0,14	0,14
deplasamentul <t>	21000	0,0032/ 0,0048	-	0,0383	0,674

Observații : - modelul plan 1:50 a fost utilizat pentru ambele variante (paragraful 3.6.1), pentru varianta 1 s-a modelat o lungime de sas de 5 m, iar pentru varianta 2 o lungime de 15 m (în tabelul 5.1 cifrele de la numărător se referă la varianta 1, iar cele de la numitor la varianta 2) ; - modelul plan 1:40 fiind preluat de la ISM corespunde unei lungimi de sas egală cu 10 m ; - modelul plan scara 1:25, modelează 15 m lungime de sas.

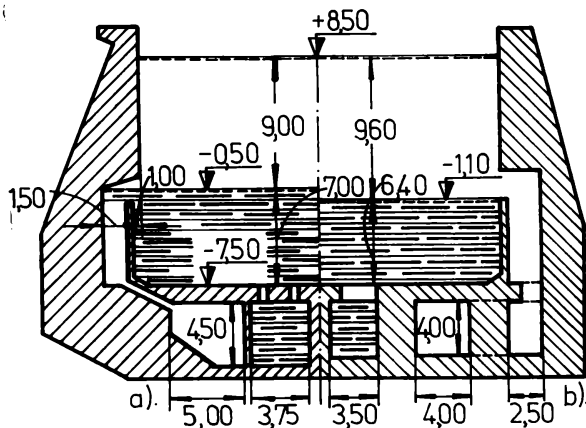


Fig. 5.1 Secțiuni transversale ale sasurilor ecluzelor modelate
a) -varianta 1; b) -varianta 2.

de 2x3 orificii de diametru egal cu 6 mm, care corespunde la :

$$\sum s_m = 2 \times 0,8478 \text{ cm}^2 \text{ față de } \sum s_N = 2 \times 0,1987 \text{ m}^2 \text{ corespunzător scării de modelare } S_g = 2500 \text{ (tab.5.1).}$$

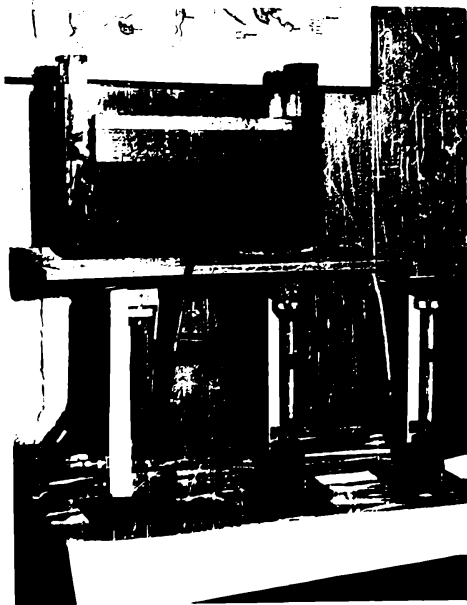


Foto 1. Model plan 1 - scara 1:50
Vedere din perioada de funcționare.

Pentru sistemul de golire a rezultat un număr de 2x5 orificii cu secțiunea totală de 2x1,413 cm². Rezistențele hidraulice longitudinale și locale suprimate prin modelul plan, au fost reintroduse în sistem prin utilizarea rotametrilor ca elemente de control a alimentării respectiv a evacuării (foto 1). Prin utilizarea rotametrilor, regimul hidraulic de funcționare poate fi reprodus cu fidelitate. Pentru transformarea debitelor din natură pe model, ținându-se cont de scara de modelare a debitelor,

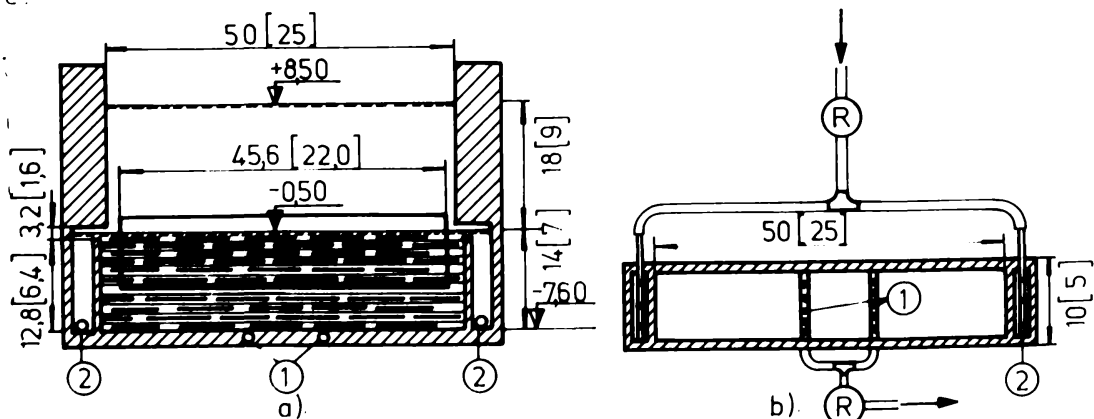


Fig. 5.2 Modelul plan 1 - scara 1:50 a) secțiune transversală, b) secțiune orizontală, (R) - rotametrul, 1 - conducte evacuare $\phi 10$ cu 5 orificii de $\phi 6$; 2 - conducte alimentare $\phi 10$ cu 3 orificii de $\phi 6$. Cotele sînt în cm iar în paranteze sînt cotele din natură în m

a rezultat :

$$q_m = 3,23 \cdot Q_N \quad (5.11)$$

unde : q_m - debitul pe model în l/h (rotametrele fiind gradate în litri pe oră) ;

Q_N - debitul în natură în m³/s.

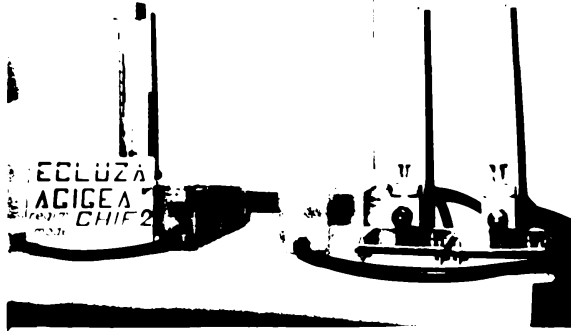


Foto 2 Model plan - scara 1:50
Rotametrele de alimentare și golire.

transformarea debitelor pe model fiind definită prin :

$$q_m = 4,845 Q_N \quad (5.12)$$

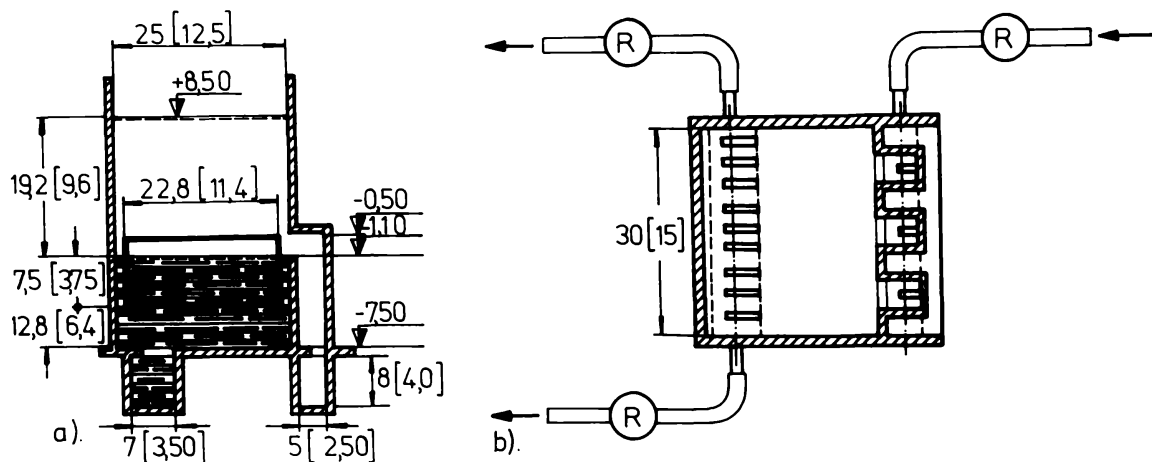


Fig.5.3 Model plan 2 - scara 1:50. a) secțiune transversală ; b) secțiune orizontală ;
Ⓜ - rotametri. Cotele din paranteze sînt din natură și sînt date în m.
Cotele de pe model sînt date în cm.

În dreptul sasului ecluzei s-au modelat toate particularitățile dublului circuit hidraulic, iar celelalte rezistențe hidraulice suprimate fiind controlate prin rotametre, care reproduc regimurile hidraulice studiate. Acest model a fost denumit model plan 2.

5.2.3.2. Modelul plan scara 1:40

Pentru a corela rezultatele obținute, cu cele realizate de I.S.P.H. București, modelul semi-plan realizat de I.S.P.H. scara 1:40 a fost testat în cadrul catedrei de CHIF, după ce în prealabil a fost

modificat pentru a fi alimentat în același mod ca și modelele precedente (fig.5.4). Modelul 1:40 reprezintă în natură o lungime de sas

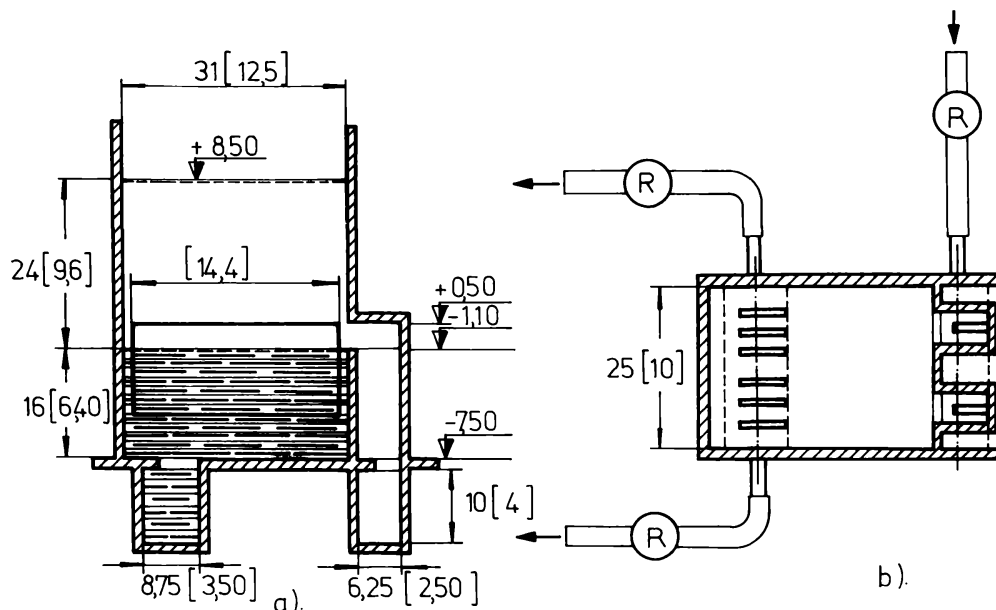


Fig.5.4 Model plan 3 - scara 1:40. a) secțiune transversală; b) secțiune orizontală; (R) - rotametrul. Cotele sînt în cm iar în paranteze sînt cotele din natură în m.

de 10 m /23/. Relația de transformare a debitelor a rezultat :

$$q_m = 5,647 q_N \quad (5.13)$$

cu aceeași semnificație a notațiilor, respectiv a unităților de măsură. Acest semi-model a fost denumit model plan 3.

5.2.3.3. Model plan scara 1:25

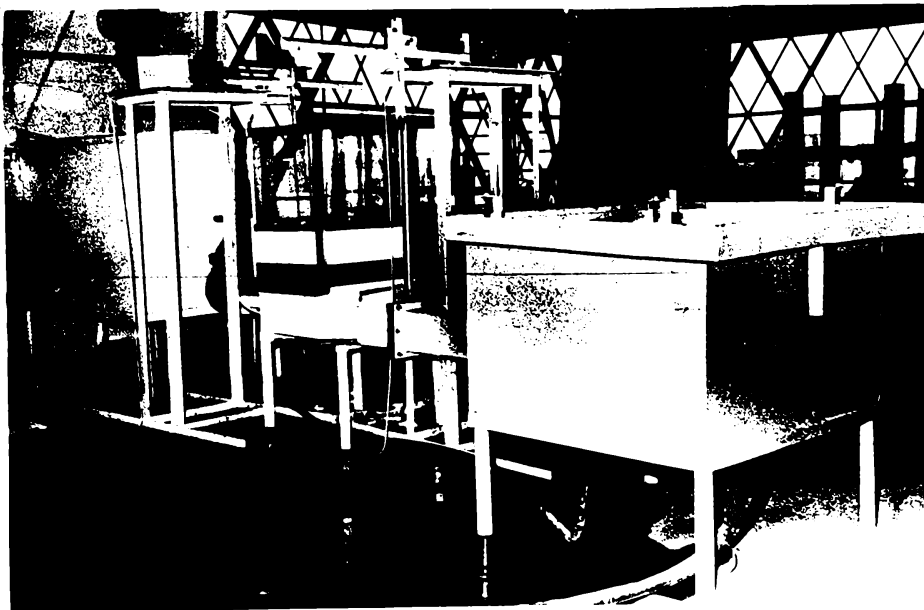


Foto3 Model plan- scara 1:25. Vedere de ansamblu.

tat să reproducă cât mai fidel condițiile de acces și de evacuare al

Modelul plan scara 1:25, denumit model plan 4, realizează o modelare a unei porțiuni de 15 m lungime de sas, simetric față de axa ecluzei, deci va fi tot un semi-model plan (foto 3, fig. fig.5.5)/23/.

Modelul a cău

apei în (din) sas, modelându-se toate particularitățile dublului circuit hidraulic între vanele sistemelor de alimentare respectiv golire. Celelalte rezistențe hidraulice care nu au fost modelate, au fost

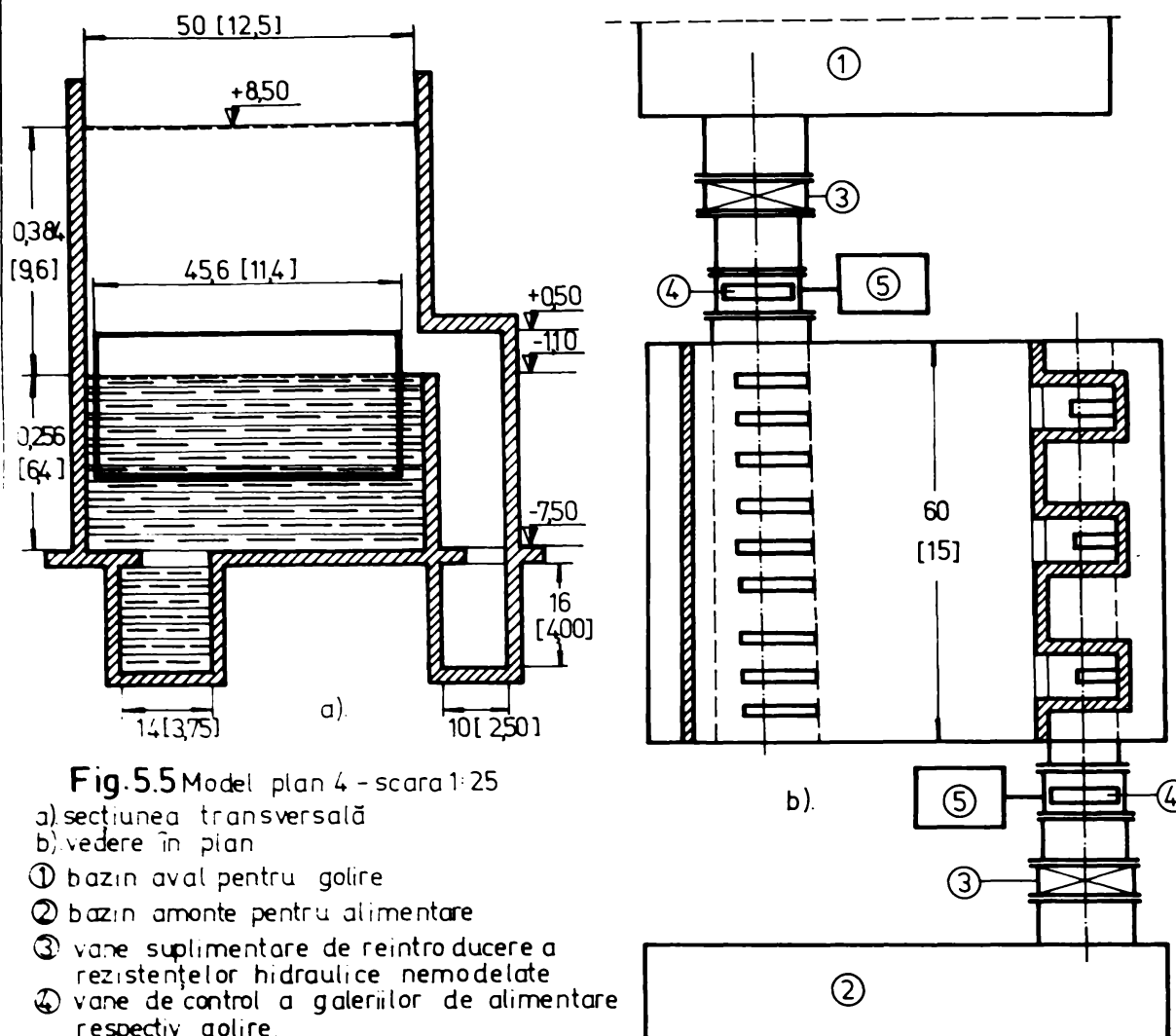


Fig. 5.5 Model plan 4 - scara 1:25

a) secțiunea transversală

b) vedere în plan

- ① bazin aval pentru golire
- ② bazin amonte pentru alimentare
- ③ vane suplimentare de reintroducere a rezistențelor hidraulice nemodelate
- ④ vane de control a galeriilor de alimentare respectiv golire
- ⑤ dispozitive de manevră a vanelor de control.

Cotele din paranteze sînt din natură și sînt date în m. Cotele de pe model sînt date în cm.

reintroduse pe circuitele respective prin două vane suplimentare amplasate în exteriorul modelului (fig. 5.5). Aceste vane s-au tarat prin încercări, urmărindu-se realizarea umplerii, respectiv a golirii, conform curbei nivelurilor. Manevrarea vanelor de control pe cele două circuite se face după schemele de manevră stabilite pe cale mecanică cu electromotoare, prin intermediul reductoarelor care permit o gamă largă de variație a vitezei de manevră a vanelor. Dimensiunile modelului sînt trecute în tabelul 5.2 coloana 5.

Relația de transformare a debitelor din natură în model va fi :

$$q_m = 0,00762 q_N \quad (5.14)$$

unde : debitul pe model este în l/s iar q_N în m³/s.

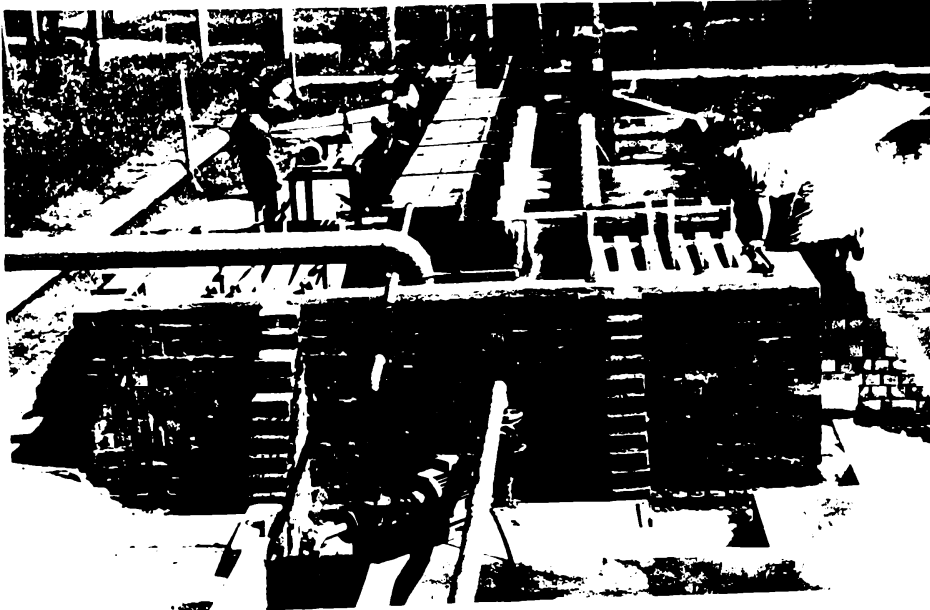
5.2.3.4. Model spațial scara 1:25 (model spațial 1)

Foto 4 Model semispațial 1 - scara 1:25
Fază din timpul execuției

Modelul spațial scara 1:25 reprezintă o jumătate de ecluză simetrică față de peretele longitudinal median (foto 4, fig. 5.6). Biefurile a monte și a val sînt reprezentate prin două bazine pre-

văzute cu deversoare de preaplin pentru a asigura nivelurile corespunzătoare. Modelul este prevăzut cu posibilități de inversare a golirii (paragraful 3.3.1). Dimensiunile modelului sînt cele din tabelul 5.2 coloana 6.

Pe model au fost reproduse în totalitate particularitățile constructive și hidraulice din natură. S-au verificat pe model curbele de umplere-golire ale regimurilor studiate, cît și valoarea coeficienților de debit pentru cele două sisteme hidraulice. Manevra vanelor de control de pe galeriile de alimentare respectiv golire, s-a efectuat cu aceleași dispozitive ca la modelul plan 4.

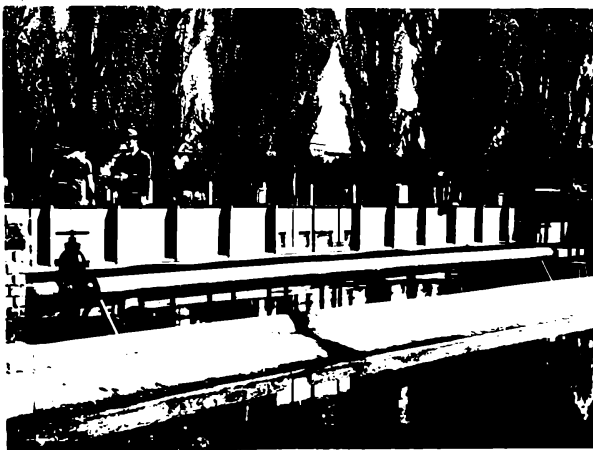


Foto 5 Model semispațial 1. Vedere laterală.
Panouri de vizualizare

Pentru vizualizarea fenomenelor s-a realizat pe model două panouri din sticlă (foto 5).

Relația de transformare a debitelor este :

$$q_m = 0,16 Q_N \quad (5.15)$$

unde : q_m este în l/s iar Q_N în m³/s.

5.2.4. Metodologii de măsură a concentrației saline

S-au testat mai multe metodologii de măsură a concentrației saline : - metoda de determinare a salinității prin măsură-

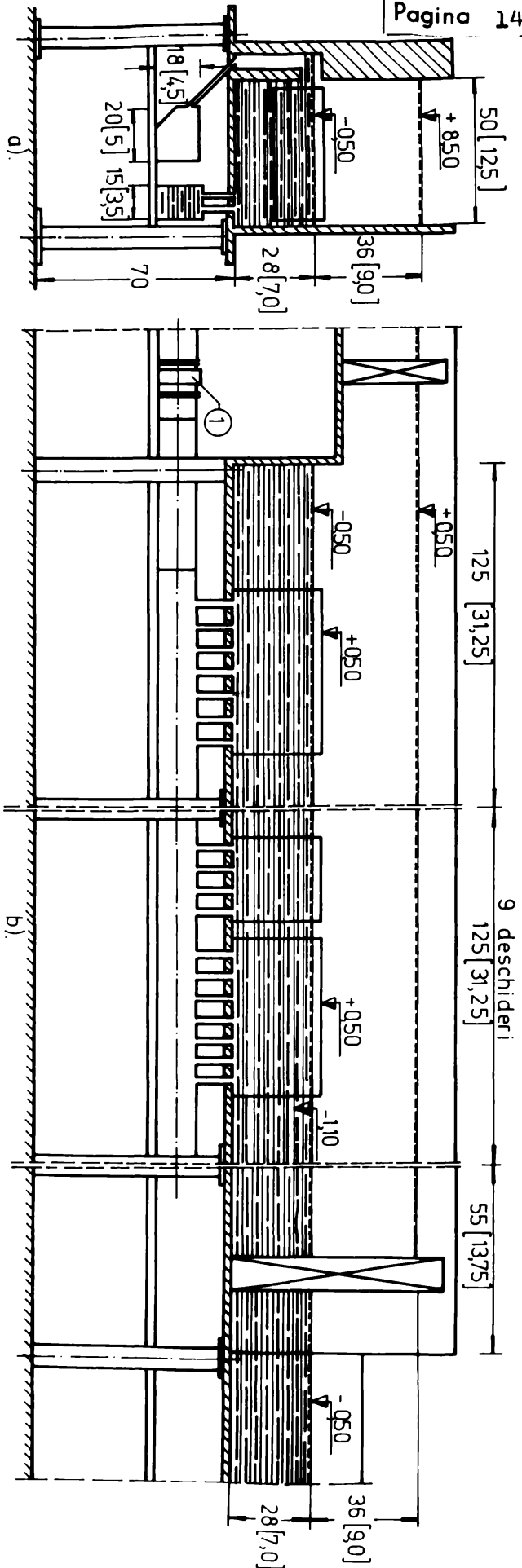
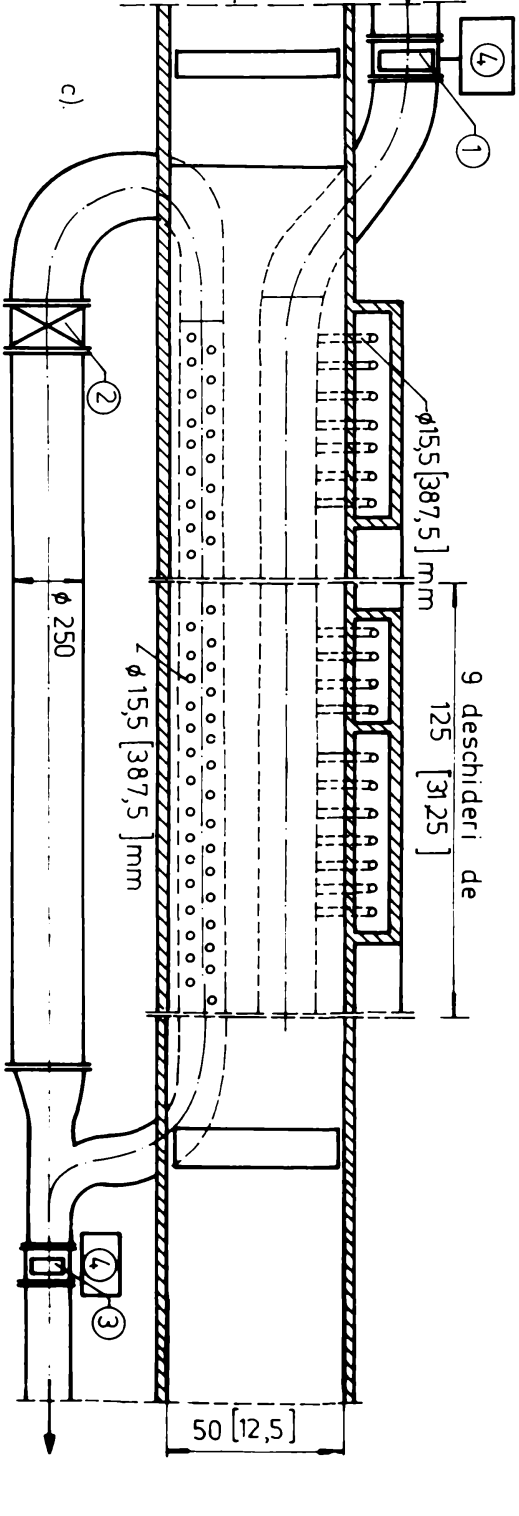


Fig.5.6 Model spațial 1 scara modelului 1:25

- a) secțiune transversală
- b) secțiune longitudinală
- c) secțiune orizontală
- 1 - vană de control a sistemului de alimentare
- 2 - vană de conducție de inversare a evacuării.
- 3 - vană de control a sistemului de golire
- 4 - mecanismul de manevră a vanelor de control

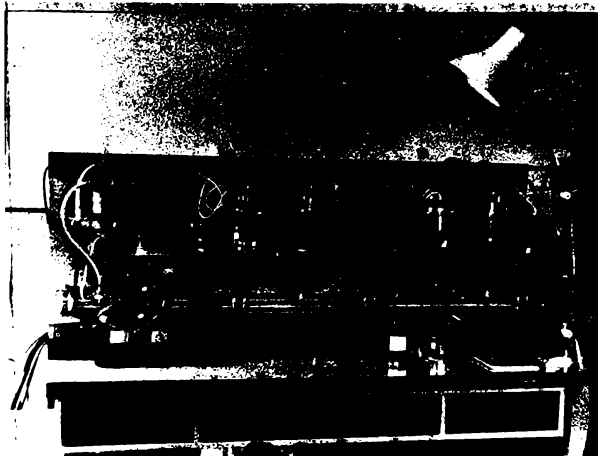
NOTĂ: cotele sînt date în cm, iar în paranteze sînt cotele din natură în metri.

scara desenului 1:20



rea densității apei salmastre. S-a utilizat un densimetru gradat între 0,9950 și 1,030. Măsurătorile efectuate nu au fost satisfăcătoare din cauza dependenței pronunțate față de temperatură, a preciziei relativ reduse la salinități mici ale apei și a faptului că necesită probe de apă relativ mari

- metoda prin conductivitate (utilizând aparatura de import "NALADA" foto 6) este deosebit de precisă punând în evidență salini-

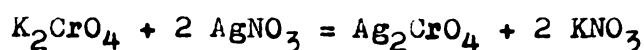
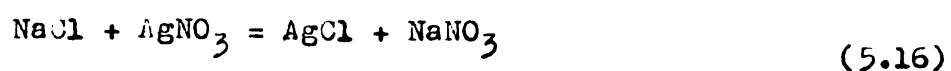


tăți de pînă la 0,1 %. /76/. Dar deoarece necesită probe de apă relativ mari (de cca. 300 g) nu poate fi aplicată în mod curent îndeosebi la modelele plane, și rămîne ca o posibilitate de verificare a altor metode de determinare a salinităților ;

- metoda chimică indirectă Kundsén /83/ este considerată cea mai precisă putînd determina salinități de pînă la 0,06 %.

Foto 6 Aparatura de măsurare a salinității prin conductivitate.

La se bazează pe punerea în evidență a tuturor clorurilor conținute de apă prin precipitarea lor cu azotat de argint. Cum proporția de săruri de clor este dominantă 88,64 % (tab.1.1) și în același timp constantă ca proporție, indiferent de cantitatea totală de săruri existente în apă, determinarea cantitativă a clorului permite stabilirea precisă a salinității. Metoda se bazează pe precipitarea clorurilor prin azotatul de argint. Cum clorura de argint rezultată determină un precipitat de culoare albă care persistă indiferent dacă combinarea clorului cu argintul s-a încheiat sau nu, este necesar să se introducă o altă substanță mai puțin activă, care în momentul cînd întreaga clorură existentă s-a transformat în clorură de argint, combinîndu-se cu azotatul de argint să formeze o substanță a cărei colorit să poată fi pus în evidență. Se utilizează de regulă cromatul de potasiu care în combinație cu azotatul de argint determină un precipitat brun roșcat ușor de evidențiat (cromat de argint). Reacțiile chimice care se produc vor fi :



Practic această metodă necesită o cantitate de apă relativ redusă de exemplu 10 gr și în felul acesta reprezintă metoda cea mai adecvată de determinare a concentrației saline. Se procedează în fe-

lul următor : se ia o probă de apă de 10 ml, se introduce într-un vas Erlenmeyer și se neutralizează dacă este necesar cu hidroxid de potasiu în prezență de roșu neutru; se adaugă 0,2 ml de cromat de potasiu 10 % și se titrează cu azotat de argint pînă la apariția culorii roșietice. Dacă azotatul de argint este în soluție 0,1 n, cantitatea de clor conținută în mg/l va fi /83/ :

$$Cl = 354,6 V \quad (5.17)$$

unde V reprezintă volumul de azotat de argint consumat prin titrare în ml.

Pentru a stabili cantitatea de clorură de sodiu existentă, știind masa molară a sodiului 23 și respectiv a clorului 33,5 se obține :

$$NaCl = \frac{56,5}{33,5} \cdot 354,6 V = 584,34 V \quad (5.18)$$

unde : NaCl va fi în mg/l iar V în ml.

Cum proporția de săruri este constantă indiferent de cantitatea totală de săruri, iar sărurile de clor reprezintă așa cum s-a arătat 88,64 %, cantitatea totală de săruri (salinitatea) va fi :

$$c = \frac{1}{0,8864} \cdot 584,34 \cdot 10^{-3} V$$

sau :

$$c = 0,659 V \quad (5.19)$$

se obține relația de calcul a salinității în ‰. cînd volumul de azotat de argint este dat în ml;

- metoda conductometrică bazată pe măsurarea rezistenței chimice a soluției propusă de ISPH /74/, deși depinde de temperatura soluției, dă rezultate bune pînă la salinități mai mici de 0,5 ‰ și deci nu poate fi utilizată în acest caz.

S-au comparat rezultatele măsurătorilor efectuate cu diferite metode descrise mai sus și a rezultat o foarte bună concordanță.

5.2.5. Rezultatele cercetărilor pe modele

Cercetările efectuate au urmărit : verificarea mărimilor hidraulice corespunzătoare regimului de funcționare considerat, examinarea funcționării sistemului de alimentare în regim tranzitoriu și extinderea cantitativă a zonei de amestec, examinarea funcționării sistemului de golire, determinarea concentrației saline realizate în sas după funcționarea în diferite regimuri și stabilirea dependenței ei de parametrii hidraulici ai umplerii-golirii concomitente.

Pentru vizualizarea zonei de amestec dintre apa dulce introdusă în sas și apa sărată existentă s-a recurs la colorarea apei dulci cu permanganat de potasiu. Experiențele s-au realizat pentru cele două situații extreme : ecluzare în prezența respectiv absența vasului în sas. Pentru toate experiențele s-a considerat situația ini-

țială, în care salinitatea inițială în sas este maximă $\bar{c}_s = c_m \approx 17\%$, iar $c_c^0 \approx 0,15\%$, care de fapt constituie varianta cea mai defavorabilă (paragraful 2.7.1.2, tab.2.3). Pentru a stabili salinitatea medie realizată în sas la sfârșitul operațiilor de umplere-golire s-au determinat salinitățile pe verticală într-un număr de 5 puncte: la suprafața apei, la nivelul pescajului, la nivelul zidului de cădere, la nivelul cotei deversorului din bajoaier și la nivelul

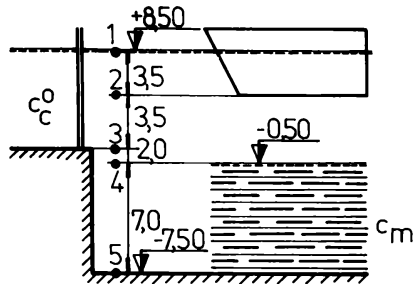


Fig.5.7 Poziția secțiunilor de măsură a salinităților

radierului ecluzei.

5.2.5.1. Rezultate experimentale obținute pe modelul plan 1

Pe modelul plan 1 au fost experimentate primele cinci regimuri hidraulice notate cu I, II, III, IV și V varianta 1 de calcul (paragraful 3.6.1.2). S-au măsurat salinitățile într-un număr de 5 puncte (fig.5.7) și s-au determinat salinitățile medii. S-au respectat în

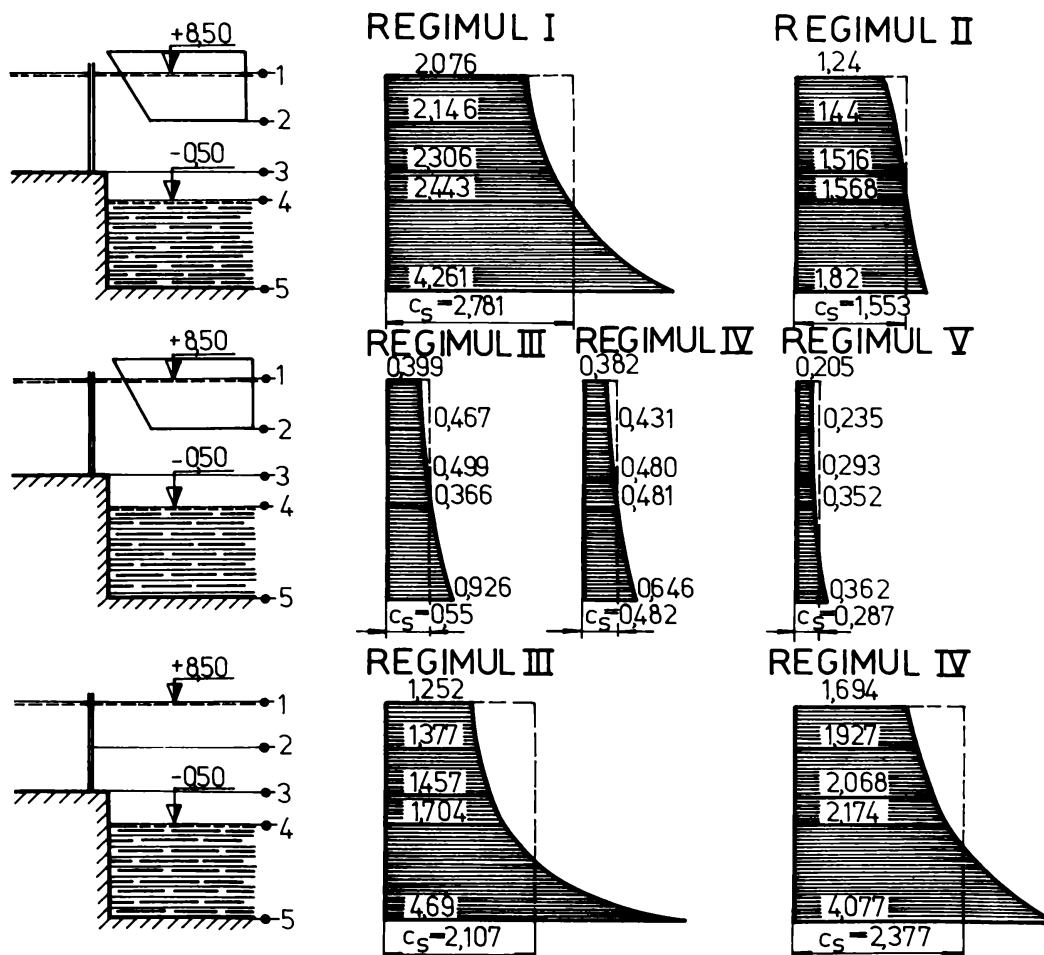


Fig.5.8 Distribuția pe verticală a salinităților și salinitatea medie realizată în funcție de regimurile hidraulice de funcționare pe modelul plan 1. Salinitățile sînt date în ‰.

totalitate caracteristicile hidraulice ale regimurilor probate. Pentru verificarea salinității medii din sas s-a măsurat suplimentar volumul și salinitatea apei salmastre evacuate. Distribuția pe verticală a salinității cât și salinitatea medie este redată pentru diferite regimuri în fig.5.8 iar unele rezultate ale măsurătorilor de salinitate în tabelul 5.3.

Tabelul 5.3

salinitățile sînt date în %.

Re- gim	Nr. expe- riență	sas	\bar{c}_s	Salinități obținute pentru secțiunile				
				1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	1	cu vas	16,5	2,470	2,560	2,700	2,941	3,050/3,531
	2	cu vas	16,5	1,880	1,880	2,060	2,232	5,170/6,353
	3	cu vas	16,5	1,880	2,000	2,161	2,161	4,580/6,930
II	5	cu vas	16,5	1,410	1,530	1,646	1,646	1,880
	10	cu vas	18,2	1,410	1,530	1,530	1,630	2,110/2,230
	12	cu vas	16,7	1,176	1,530	1,646	1,646	2,121/2,353
III	14	cu vas	16,7	0,294	0,353	0,411	0,411	0,470/0,529
	17	cu vas	16,8	0,353	0,353	0,458	0,470	0,529/0,588
	18	fără vas	16,8	0,411	0,528	0,763	0,998	4,759/7,696
	20	fără vas	17,7	1,174	1,409	1,468	1,527	4,817/4,054
	24	fără vas	18,83	1,65	1,88	1,88	2,82	4,935/7,873
	27	cu vas	16,6	0,352	0,47	0,529	0,587	0,705/0,764
IV	29	fără vas	16,7	2,29	2,174	2,409	2,409	6,110/6,404
	31	cu vas	16,5	0,235	0,235	0,294	0,352	0,528/0,528
	33	fără vas	17,5	1,60	1,88	1,997	1,997	4,112/3,642
	34	fără vas	16,75	1,410	1,645	1,645	1,885	3,525/3,290
	35	cu vas	17,4	0,587	0,646	0,649	0,646	0,705/0,705
	36	cu vas	16,2	0,323	0,411	0,499	0,411	0,705/0,705
V	37	cu vas	16,9	0,235	0,235	0,293	0,352	0,352/0,352
	38	cu vas	16	0,176	0,235	0,293	0,352	0,352/0,352
	39	fără vas	16,9	1,290	1,527	1,410	1,410	1,527/2,232
	40	fără vas	16,9	1,233	1,116	1,116	1,233	1,645/1,410

5.2.5.2. Rezultatele experimentale obținute pe modelul plan 2,3 și 4

S-au experimentat regimurile hidraulice VI, VII, VIII și IX din varianta 2 de calcul (paragraful 3.6.1.2). Salinitățile au fost măsurate de asemenea într-un număr de 5 puncte amplasate puțin diferit față de situația anterioară (fig.5.9). Modelul plan 3 a fost utilizat în mai mică măsură ca modelele 2 și 4. Pentru comparație s-a

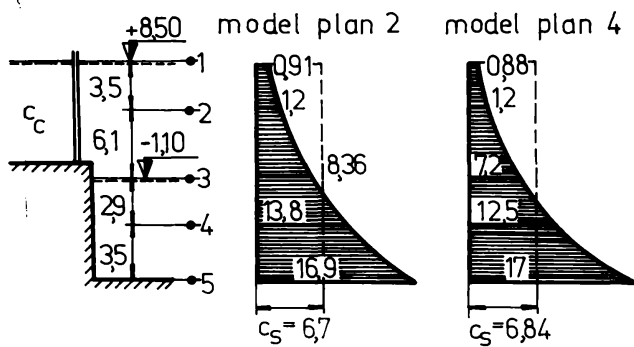


Fig.5.9 Distribuția salinităților în ipoteza funcționării ecluzei Agigea în regim convențional. Salinitățile sînt date în ‰.

experimentat și o funcționare convențională pentru care s-au explorat salinitățile în aceleleași puncte (fig.5.9).

Rezultatele experimentale obținute au permis trasarea distribuției pe verticală a salinităților și determinarea salinității medii c_s (fig.5.10 și 5.11). Unele rezultate experimentale selectate sînt prezentate în ta-

belul 5.4.

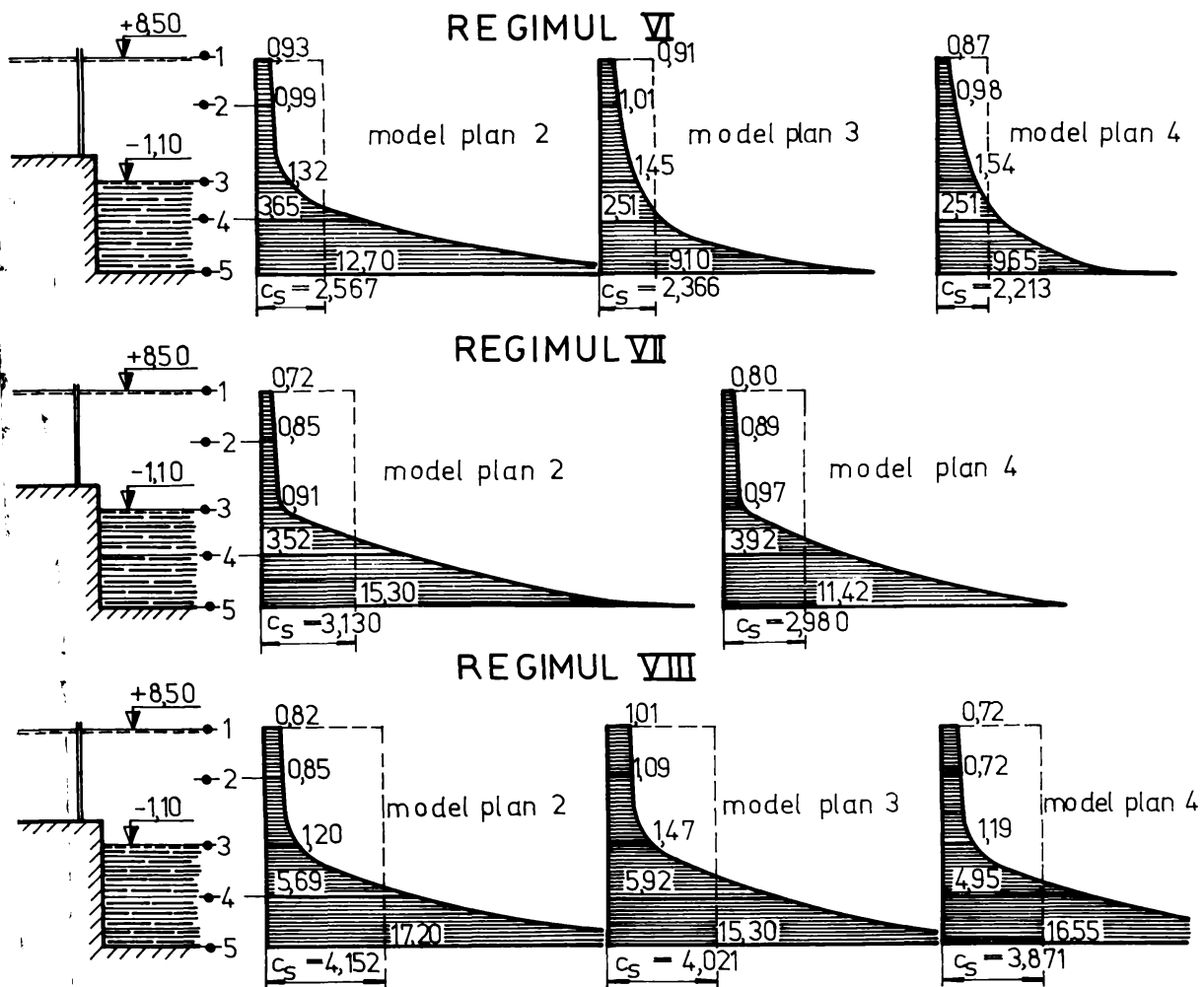


Fig.5.10 Distribuția pe verticală a salinităților și salinitatea medie realizată în funcție de regimurile hidraulice de funcționare-ipoteza fără vas. Salinitățile sînt date în ‰.

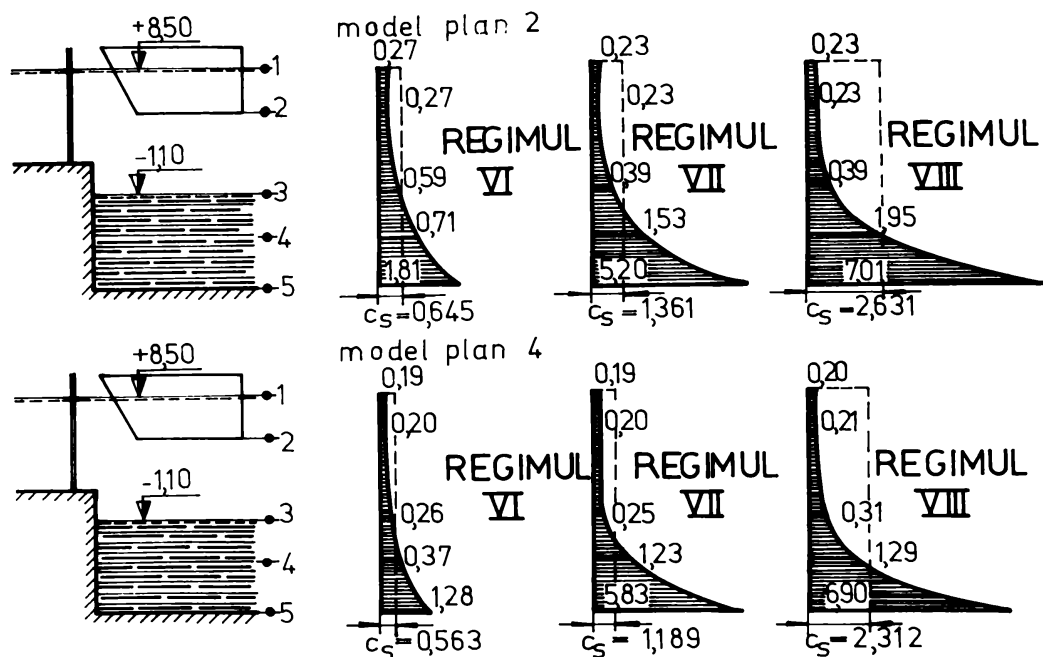


Fig. 5.11 Distribuția pe verticală a salinităților și salinitatea medie realizată în funcție de regimurile hidraulice de funcționare în ipoteza cu vas. Salinitățile sînt date în ‰.

Tabloul 5.4

salinitățile sînt date în ‰.

Regim	Nr. exper	Mo- del	sas	\bar{c}_s	salinități obținute pentru secțiunile				
					1	2	3	4	5
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VI	53	2	cu vas	16,8	0,176	0,235	0,235	0,587	1,233/0,998
	54	2	cu vas	16,5	0,235	0,235	0,235	0,352	1,645/1,233
	57	2	cu vas	17	0,176	0,176	0,176	0,763	1,645/1,233
	61	2	fără vas	16,8	0,294	0,353	0,528	3,290	11,121
	63	2	fără vas	16,5	0,353	0,353	0,528	3,525	11,320
	64	3	fără vas	16,7	0,353	0,528	0,646	1,410	7,873
	66	3	fără vas	17,1	0,528	0,528	0,998	1,645	8,312
	67	4	cu vas	16,9	0,133	0,175	0,176	0,363	0,763/0,998
	68	4	cu vas	16,8	0,176	0,176	0,176	0,235	0,763/0,528
	70	4	fără vas	16,9	0,294	0,353	0,998	2,232	7,873/7,696
72	4	cu vas	16,6	0,933	0,133	0,133	0,235	0,763	
73	4	fără vas	16,7	0,235	0,293	0,763	2,409	7,696	
VII	78	2	cu vas	16,5	0,167	0,167	0,353	0,763	2,409/2,820
	80	2	cu vas	16,5	0,133	0,167	0,167	0,998	1,885/1,645
	81	2	cu vas	16,7	0,133	0,133	0,167	0,763	2,232/1,885
	83	2	fără vas	16,7	0,353	0,528	0,528	2,820	12,450
	88	4	cu vas	16,8	0,133	0,167	0,167	0,528	1,885/1,527

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VII	89	4	cu vas	16,9	0,133	0,133	0,167	0,763	1,410/1,527
	90	4	cu vas	16,9	0,133	0,133	0,167	0,528	1,885/1,885
	94	4	fără vas	17,1	0,353	0,353	0,528	3,290	10,151
	96	4	fără vas	16,5	0,353	0,352	0,353	3,525	11,320
	97	4	fără vas	16,4	0,235	0,235	0,353	4,112	10,151
VIII	101	2	cu vas	17,1	0,167	0,167	0,167	0,998	3,525/3,642
	103	2	cu vas	17,1	0,133	0,167	0,235	0,998	3,525/3,525
	104	2	cu vas	16,6	0,133	0,133	0,167	0,763	2,409/3,525
	106	2	fără vas	16,7	0,353	0,353	0,763	5,110	16,320
	109	2	fără vas	16,8	0,528	0,528	0,998	6,404	15,912
	113	3	fără vas	16,9	0,763	0,763	0,998	4,112	13,211
	114	4	cu vas	16,4	0,133	0,133	0,167	0,528	1,885/1,885
	115	4	cu vas	16,6	0,133	0,133	0,167	0,763	1,885/2,232
	116	4	cu vas	16,7	0,167	0,167	0,235	0,763	2,232/2,409
	117	4	fără vas	16,6	0,353	0,353	0,763	5,110	15,230
118	4	fără vas	16,5	0,628	0,528	0,763	3,525	15,230	
LX	131	4	cu vas	17,1	0,235	0,235	0,235	0,528	1,885/1,885
	133	4	cu vas	16,9	0,167	0,167	0,167	0,763	1,527/1,885
	134	4	fără vas	16,6	0,528	0,528	0,763	4,112	11,320

5.2.5.3. Rezultatele experimentale obținute pe modelul spațial 1

S-au efectuat experiențe asupra funcționării modelului la a-

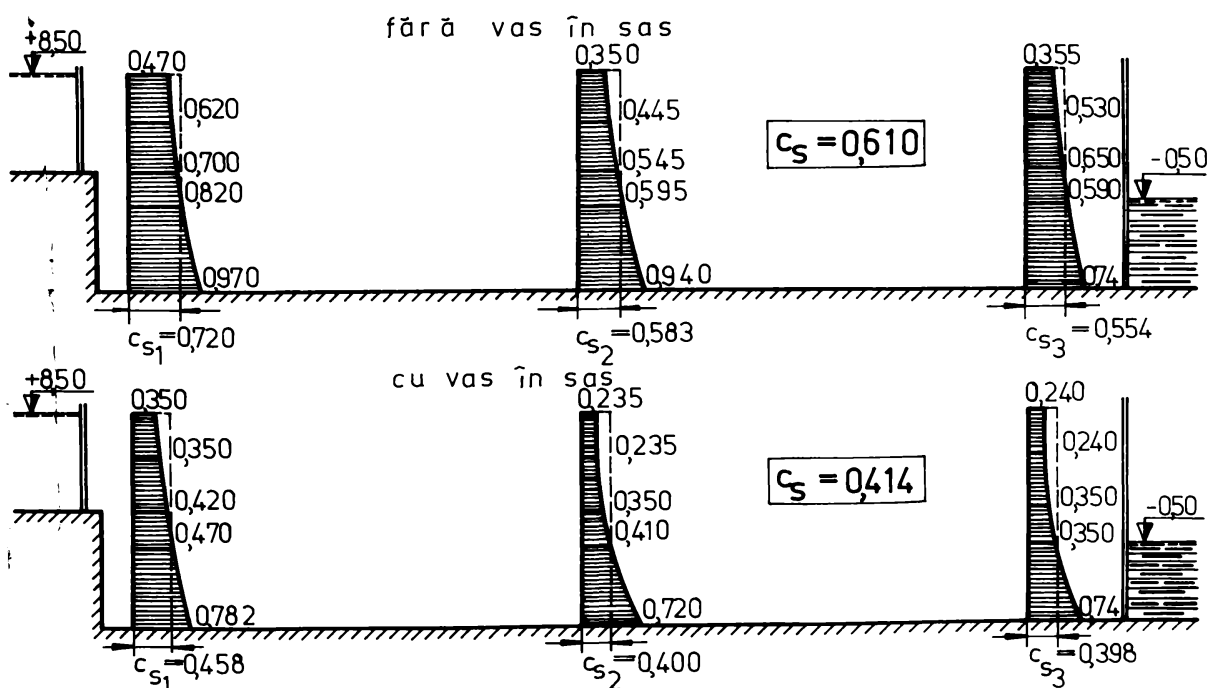


Fig. 5.12 Distribuția salinităților și salinitatea medie realizată pentru modelul spațial 1 în regimul IV de funcționare hidraulică. Salinitățile sînt în ‰.

celeași regimuri ca și modelul plan 1. Experiențele au fost efectuate în ipoteza prezenței, respectiv absenței vasului în sas. După efectuarea operațiilor de umplere-golire s-au determinat salinitățile realizate în aceleași puncte ca și în cazul modelului plan (fig. 5.7). Unele rezultate obținute sînt prezentate în figura 5.12 și tabelul 5.5.

Tabelul 5.5

salinitățile sînt date în %.

Re-gim	Nr. exper	sas	\bar{c}_s	poziția	Salinități obținute pentru secțiunile				
					1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	1	cu vas	16,3	amonte	0,700	2,700	2,940	2,940	3,530
				mijloc	2,560	2,560	2,700	2,700	5,170
				aval	1,880	1,880	2,060	2,230	4,580
	4	cu vas	16,7	amonte	1,880	2,060	2,700	2,940	5,170
				mijloc	1,880	2,060	2,560	2,560	5,170
				aval	1,880	2,060	2,060	2,230	4,580
	5	fără vas	16,5	amonte	3,525	3,525	4,580	5,170	6,930
				mijloc	2,940	3,525	4,580	6,930	7,873
				aval	2,940	3,525	4,580	4,935	6,930
IV	16	cu vas	16,2	amonte	0,350	0,350	0,412	0,470	0,824
				mijloc	0,235	0,235	0,350	0,410	0,680
				aval	0,240	0,240	0,350	0,350	0,720
	17	cu vas	15,9	amonte	0,350	0,350	0,412	0,470	0,740
				mijloc	0,350	0,350	0,412	0,470	0,760
				aval	0,235	0,235	0,350	0,350	0,800
	19	cu vas	16	amonte	0,350	0,350	0,412	0,470	0,782
				mijloc	0,120	0,120	0,412	0,350	0,720
				aval	0,240	0,240	0,350	0,350	0,740
	20	fără vas	16,1	amonte	0,590	0,710	0,820	0,820	0,970
				mijloc	0,290	0,470	0,710	0,710	0,940
				aval	0,470	0,470	0,590	0,590	0,740
21	fără vas	15,1	amonte	0,350	0,530	0,710	0,820	0,970	
			mijloc	0,240	0,590	0,470	0,583	0,940	
			aval	0,590	0,710	0,710	0,820	0,740	

5.2.6. Prelucrarea datelor experimentale

Rezultatele experimentale obținute pentru cele nouă regimuri hidraulice ale ecluzei neconvenționale Agigea, cu dublu circuit hidraulic și cu funcționare după principiul umplerii-golirii concomitente permit verificarea relațiilor de calcul deduse în capitolele precedente.

Astfel, rezultatele experimentale obținute au fost prelucrate statistic și s-a estimat precizia obținută folosind metoda intervalor de încredere /145/. S-au determinat : intervalele de încredere a salinităților măsurate, probabilitatea corespunzătoare luată în calcul fiind $p = 0,90$, dispersia salinităților de pe modelul fizic față de cea determinată prin modelul matematic, eroarea medie pătratică a măsurătorilor experimentale. S-a propus metoda de prelucrare statistică bazată pe intervalele de încredere a măsurătorilor, având în vedere faptul că pentru fiecare regim hidraulic testat numărul total de măsurători experimentale nu depășește cifra 10.

În continuare se prezintă detaliat prelucrarea rezultatelor experimentale pentru modelul plan 1 în ipoteza ecluzării cu vas în regimul hidraulic I (tab.5.6).

Tabelul 5.6

salinitățile sînt date în %.

Nr. exp	c_s	v_1	v_1^2	rezultate obținute
1	2,783	0,0002	0,000004	$c_{s.med} = 2,781$
2	2,691	0,0900	0,008100	$c_{s.calc} = 2,589$
3	2,833	0,0520	0,002704	$m = \pm 0,1213$
4	2,711	0,0700	0,004900	$I(c_s) = (2,545; 3,017)$
7	2,887	0,1060	0,011236	$I(m) = (0,084; 0,232)$
8	2,563	0,2180	0,047524	$p = 0,98$
9	2,989	0,2080	0,043264	$c_{s.prob} = 2,781 \pm 0,046$

$$\sum = 25,029 \quad \sum = 0,117732$$

S-au admis următoarele notații:
 v - abaterile înregistrate asupra măsurătorilor efectuate ;
 m - eroarea medie pătratică ;
 $I(c_s)$ - intervalul de încredere pentru salinitatea medie ;

$I(m)$ - intervalul de încredere a abaterii medii pătratice ;

n - numărul măsurătorilor efectuate ;

$c_{s.med}$ - media aritmetică a măsurătorilor efectuate ;

$c_{s,prob}$ - valoarea cea mai probabilă ;

$c_{s,calc}$ - salinitatea medie calculată conform modelului matematic.

Se utilizează următoarele relații de calcul :

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} ; \quad I(c_s) = (c_s - \gamma \cdot m ; c_s + \gamma \cdot m) ; \quad I(m) = (\gamma_1 \cdot m ; \gamma_2 \cdot m)$$

unde γ , γ_1 și γ_2 valorile funcției de repartiție Student corespunzătoare probabilității $p = 0,90$ și pentru $n - 1 = 6$ grade de libertate /145/.

Pentru determinarea prin calcul a salinității medii s-au utilizat relațiile 3.80 rezolvate în raport cu H_T și 2.15 rezolvată în raport cu $c_s = c_{s.admis}$.

Pentru celelalte regimuri hidraulice testate sinteza calcu-

lelor efectuate este prezentată în tab.5.7.Valorile de la numărător sînt cele corespunzătoare modelului hidraulic scara 1:50,iar cele de la numitor pentru modelul scara 1:25.

Tabelul 5.7

salinitățile sînt date în ‰.

Regim	$c_{s.med}$	c_s probabil	m	$I(c_s)$
I	$\frac{0,781}{2,641}$	$\frac{2,781 \pm 0,046}{2,641 \pm 0,028}$	$\frac{0,1213}{0,0741}$	$\frac{2,545}{2,497} ; \frac{3,017}{2,785}$
II	$\frac{1,553}{1,472}$	$\frac{1,553 \pm 0,036}{1,472 \pm 0,020}$	$\frac{0,0952}{0,0529}$	$\frac{1,368}{1,369} ; \frac{1,738}{1,575}$
III	$\frac{0,550}{0,463}$	$\frac{0,550 \pm 0,019}{0,463 \pm 0,017}$	$\frac{0,0380}{0,0340}$	$\frac{0,476}{0,400} ; \frac{0,624}{0,529}$
IV	$\frac{0,482}{0,401}$	$\frac{0,482 \pm 0,019}{0,401 \pm 0,016}$	$\frac{0,0380}{0,0320}$	$\frac{0,408}{0,339} ; \frac{0,556}{0,463}$
V	$\frac{0,287}{0,230}$	$\frac{0,287 \pm 0,016}{0,287 \pm 0,010}$	$\frac{0,0357}{0,0223}$	$\frac{0,218}{0,192} ; \frac{0,356}{0,278}$
VI	$\frac{0,645}{0,583}$	$\frac{0,645 \pm 0,021}{0,583 \pm 0,019}$	$\frac{0,0420}{0,0380}$	$\frac{0,563}{0,489} ; \frac{0,727}{0,637}$
VII	$\frac{1,361}{1,189}$	$\frac{1,361 \pm 0,031}{1,189 \pm 0,021}$	$\frac{0,0620}{0,0420}$	$\frac{1,241}{1,107} ; \frac{1,402}{1,271}$
VIII	$\frac{2,631}{2,312}$	$\frac{2,631 \pm 0,045}{2,312 \pm 0,030}$	$\frac{0,0900}{0,0600}$	$\frac{2,456}{2,175} ; \frac{2,806}{2,429}$
IX	$\frac{1,401}{1,213}$	$\frac{1,401 \pm 0,031}{1,213 \pm 0,020}$	$\frac{0,0693}{0,0447}$	$\frac{1,266}{1,125} ; \frac{1,536}{1,299}$

continuare tabelul 5.7

Regim	c_s calc	diferențe dintre teorie și experiență		
		max.	med.	rel.
I	2,569	$\frac{-0,236}{-0,000}$	$\frac{-0,192}{-0,022}$	$\frac{-7,4}{-2} \%$
II	1,461	$\frac{-0,126}{-0,031}$	$\frac{-0,092}{-0,011}$	$\frac{-5,3}{-1} \%$
III	0,478	$\frac{-0,031}{0,032}$	$\frac{-0,072}{0,015}$	$\frac{-15}{3} \%$
IV	0,423	$\frac{-0,073}{0,030}$	$\frac{-0,059}{0,022}$	$\frac{-13,9}{5,2} \%$
V	0,241	$\frac{-0,052}{0,025}$	$\frac{-0,046}{0,000}$	$\frac{-19}{2,4} \%$
VI	0,621	$\frac{-0,045}{0,077}$	$\frac{-0,024}{0,020}$	$\frac{-3,9}{5,3} \%$
VII	1,221	$\frac{-0,171}{0,033}$	$\frac{-0,14}{0,032}$	$\frac{-11,5}{2,5} \%$
VIII	2,293	$\frac{-0,383}{-0,047}$	$\frac{-0,332}{-0,027}$	$\frac{-14,7}{-1} \%$
IX	1,213	$\frac{-0,126}{0,028}$	$\frac{-0,104}{0,028}$	$\frac{-8,6}{7,5} \%$

Analizînd elementele definitorii ale regimului hidraulic de funcționare a ecluzei și mărimea salinității medii realizate în saș se constată o dependență evidentă (tab. 5.8).Se consideră următoarea funcție implicită a mărimilor fizice :

$$f(c_s, c_m, \left(\frac{dq}{dt}\right)_{max}, V_{ev},$$

$$P_{ev}, H_s, H_o] = 0$$

(5.20)

Pentru stabilirea re-

lației analitice aplicăm teorema Π , admițând ca mărimi fundamentale T_{ev}, H_0 și c_m fenomenul fiind cinematic, se obține :

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4) = 0 \quad (5.20')$$

unde :

$$\Pi_1 = \frac{c_s}{c_m} = c_{rel}; \quad \Pi_2 = \left(\frac{dQ}{dt}\right)_{max} \cdot \frac{T_{ev}^2}{H_0^3}; \quad \Pi_3 = \frac{V_{ev}}{H_0^2}; \quad \Pi_4 = \frac{H_s}{H_0}$$

și în continuare :

$$c_{rel} = f_1(\Pi) \quad (5.20'')$$

unde se propune prin ipoteză $\Pi = \frac{\Pi_2 \cdot \Pi_1}{\Pi_3}$ din reprezentarea grafică a dependenței 5.20 (fig.5.13).

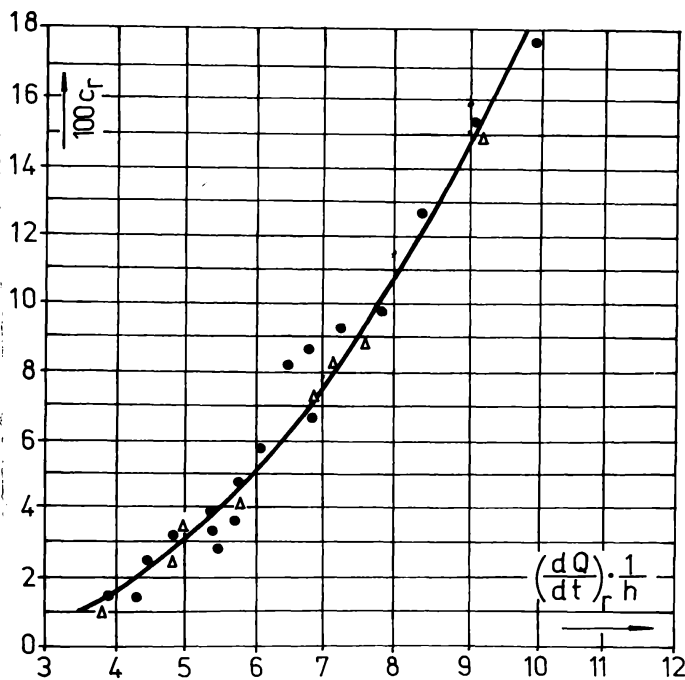


Fig. 5.13 Reprezentarea grafică a dependenței 5.20

- puncte experimentale
- Δ puncte teoretice

Se obține :

$$\Pi = \left(\frac{dQ}{dt}\right)_{max} \cdot \frac{T_{ev}^2}{V_{ev}} \cdot \frac{H_s}{H_0} \quad (5.21)$$

și dacă notăm :

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{max} \cdot \frac{T_{ev}^2}{V_{ev}} = \left(\frac{dQ}{dt}\right)_{rel} \quad (5.22)$$

$$\frac{H_s}{H_0} = \frac{1}{h} \quad \text{și} \quad (5.23)$$

$$\frac{H_s}{H_0} (1-d_s) = \frac{1-d_s}{h}$$

dacă ecluzarea are loc în prezența vasului.

Prelucrarea datelor experimentale după metoda abaterilor pătratice minime a determinat obținerea următoarei corelații analitice:

$$c_{rel} = 0,32 \left[\frac{\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{rel} \cdot (1-d_s)}{11,5 h} \right]^{2,83} \quad (5.24)$$

Relația 5.24 astfel dedusă rămâne deocamdată valabilă pentru cazul ecluzei Agigea în varianta cu dublu circuit hidraulic. Pentru comparație în fig.5.13 au fost trecute și punctele corespunzătoare metodei de calcul propuse. A rezultat o concordanță deplină.

De asemenea datele experimentale permit evaluarea adâncimii zonei de amestec H_{am} dar care include și imperfecțiunile sistemului de golire realizat pe modelele fizice testate.

Pentru aceasta a fost necesar să se evalueze adâncimea remanentă (rel.2.15') :

$$h_r = \frac{c_{s \text{ admis}} - c_c^0}{c_m - c_c^0} (1 - d_o) \quad (2.15')$$

unde :

$$h_r = \frac{H_r}{H_s + H_o} \quad (2.12)$$

iar :

$$d_o = \frac{D}{A(H_s + H_o)} \quad (2.5)$$

Tabelul 5.8

Regim	$(\frac{dQ}{dt})_{\max}$	V_{ev}	T_{ev}	c_m	c_s	c_{rel}	Π	H_{am}/T_{ev}^2
	m^3/s^2	$10^3 m$	s	%	%	-	-	m/min^2
I	1,382	27,9	500	18	2,781	0,1545	9,028	0,0883
II	0,921	55,4	740	18,6	1,553	0,0834	6,637	0,0583
III	0,727	72,7	880	17,7	0,550	0,0310	5,645	0,0486
IV	0,528	70,9	920	16,4	0,482	0,0294	5,466	0,0441
V	0,384	96,6	1160	18,3	0,287	0,0156	3,899	0,0380
VI	0,986	44,3	610	16,5	0,645	0,0391	5,143	0,0663
VII	0,986	34,4	640	14,7	1,361	0,0925	7,289	0,0634
VIII	1,584	30,4	600	14,5	2,631	0,1814	11,64	0,1053
IX	0,486	31,6	840	16	1,401	0,0882	6,739	0,0424

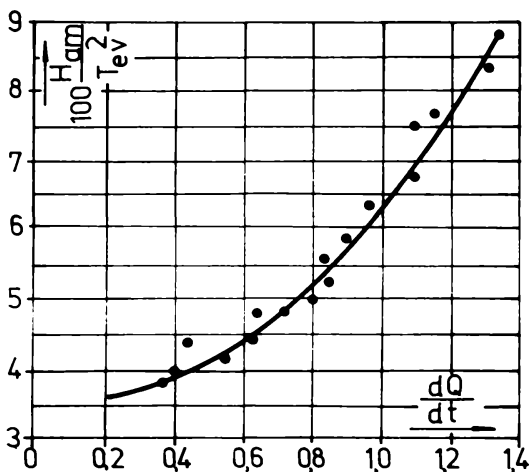


Fig. 5.14 Reprezentarea grafică a dependenței 5.20

Pentru a putea calcula adâncimea remanentă în 2.15' se va considera : $c_s \text{ admis} = c_s$, unde c_s reprezintă salinitatea medie obținută în sas (tab.5.7).

Adâncimea de amestec va rezulta din relația 3.85 transcrisă sub forma :

$$H_{am} = 2 \left[\frac{V_{ev}}{A} - H_s(1-d_s) + 2 H_r \right] \quad (3.85')$$

În calcule s-a introdus și timpul de evacuare ca parametru

ce intervine în stabilirea mărimii zonei de amestec.

Se constată dependența adâncimii de amestec de regimul de funcționare definit prin creșterile de debit de forma $(\frac{dQ}{dt})_{\max}$ (fig. 5.14). Rezultă o relație de forma :

$$H_{am} = \frac{(2,38)}{38} \left(\frac{dQ}{dt}\right)_{\max} \cdot T_{ev}^2 \quad (5.25)$$

unde H_{am} este exprimat în m , $(\frac{dQ}{dt})_{\max}$ în m^3/s^2 iar T_{ev} în minute.

Relația 5.25 este valabilă pentru ecluzele neconvenționale cu dublu circuit hidraulic care funcționează după principiul umplerii-golirii concomitente

5.2.7. Interpretarea rezultatelor experimentale. Concluzii
- asupra rezultatelor experimentale :

Prelucrarea statistică a rezultatelor experimentale obținute prin metoda intervalelor de încredere permit următoarele concluzii :

- măsurătorile efectuate considerându-se afectate de erori întâmplătoare, se încadrează în probabilitatea de 90 % de acoperire a intervalelor de încredere. Abaterile medii pătratică a rezultat între 0,023 % și 0,1213 % și se reduce substanțial pentru modelul scara 1:25. Aceeași reducere se observă și pentru intervalul de dispersie a salinităților măsurate.

- există o concordanță acceptabilă între modelele fizice testate și modelul matematic propus. Excluzând extremele, diferențele dintre teorie și experiență sînt între 3,9 % - 15 % pentru modelul scara 1:50 , și 1 % - 7,5 % pentru modelul 1:25. Se observă că salinitățile măsurate pe modelul scara 1:50 depășesc în toate cazurile salinitățile medii deduse prin calcul, iar cele de pe modelul 1:25 sînt întotdeauna mai mici și se apropie mult mai mult de mărimile calculate.

- se deduce, luînd în considerare și rezultatele experimentale obținute pe modelul scara 1:40, existența unui anumit efect de scară asupra stabilirii cantitative a salinității realizabile în sasul unei ecluze neconvenționale ; deci se recomandă utilizarea pentru experimentările din laborator a unor modele hidraulice la o scară geometrică de modelare cît mai mare /117,118/.

- asupra regimului de funcționare :

Pentru ca pătrunderea apei dulci prin sistemul de alimentare să se desfășoare în regim tranzitoriu de mișcare relativă a două lichide cu densități diferite, și limitarea deci a extinderii zonei de amestec (foto 7), s-a introdus condiția 3.68 (paragraful 3.6.3) care calculată pentru ecluza Agigea a stabilit :

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{\max \text{ admis}_1} \leq 1,222 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

Dacă acceptăm condițiile impuse de asigurarea staționării convoiului în sasul ecluzei (condiția 3.57) se obține :

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{\max \text{ admis}_2} \leq 0,420 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

Reținem o primă concluzie :

- necesitatea realizării regimului tranzitoriu, impus de limitarea zonei de amestec (cond. 3.68), nu devine limitativă comparativ cu condiția impusă de staționarea convoaielor în sas, în procesul funcționării ecluzei. Deci, regimul hidraulic de funcționare al unei

ecluze neconvenționale cu umplere-golire concomitentă definit prin $(dq/dt)_{\max}$, se stabilește identic ca la o ecluză clasică.

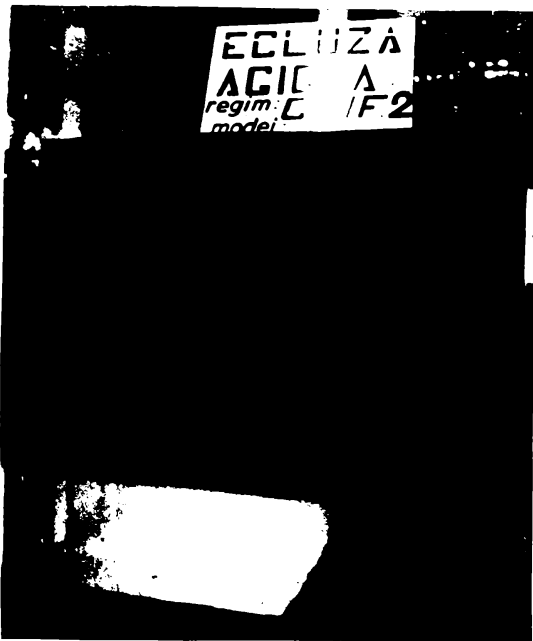


Foto 7 Limitarea zonei de amestec. ecluza Agigea va fi regimul V, dar cu un volum evacuat mult mai redus corespunzător unei salinități realizabile de 2,42 ‰. Rezultă că pentru regimul V în această situație volumul necesar de a fi evacuat este de numai $23,4 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ și în acest caz $T_u = 700''$, deci o reducere substanțială a timpului total.

Rezultă :

- prin majorarea volumului de apă salmastră evacuată în bieful aval, o ecluză neconvențională cu funcționare prin umplere - golire concomitentă, poate realiza în sas o concentrație salină chiar mai mică ca c_c admis. Desigur că în acest caz se prelungește timpul total de umplere-golire. Se recomandă deci realizarea în sas a unei salinități conform relației 2.49, care determină $c_s \text{ admis} > c_c \text{ admis}$ și care reduce substanțial timpul total de umplere-golire, cu majorarea corespunzătoare a capacității de trecere a ecluzei. De asemenea consumul total de apă dulce la o ecluzare se va reduce considerabil.

- pentru studiul regimului de funcționare al unei ecluze neconvenționale se va considera situația normală a ecluzării în prezența vasului, și o mărime a căderii H_0 , cea mai frecvent întâlnită (corespunzător nivelurilor normale de funcționare). Alte situații, ecluzare fără vas, sau o conjugare neîavorabilă a nivelurilor din cele două biefuri care determină căderea minimă sau volumul inițial de apă salmastră în sas maxim, reprezintă situații accidentale iar relația 2.49 acoperă aceste cazuri.

Dintre regimurile testate, regimul I caracterizat prin $(dq/dt)_{\max} = 1,382 \text{ m}^3/\text{s}^2$ și $V_{ev} = 27,9 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ se apropie cel mai mult de regimul preconizat pentru ecluza Agigea conform condiției 3.58. Prin calcul (tab.3.4) s-a propus evacuarea unui volum de $27,8 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ pentru realizarea unei salinități în limitele celei admise care a rezultat de 2,42 ‰. Salinitatea obținută pentru regimul I a fost de 2,641 ‰ dar și creșterea de debit a fost mai mare $1,382$ față de $1,222 \text{ m}^3/\text{s}^2$.

Dacă se admite condiția 3.57, regimul de funcționare recomandat pentru e-

5.3. Cercetări experimentale efectuate asupra ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic

Utilizarea unei ecluze clasice cu un singur circuit hidraulic pentru protejarea antisalină a unui canal navigabil, și deci transformarea ei într-o ecluză neconvențională, reprezintă prin avantajele economice ce rezultă din suprimarea celui de-al doilea circuit hidraulic, soluția cea mai adecvată pentru ecluza Năvodari de pe canalul Poarta Albă - Năvodari - Midia. Funcționarea unei astfel de ecluze prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval constituie o metodă originală și în același timp deosebit de îndrăzneță. A fost deci necesară testarea metodei în laborator pe modele hidraulice /28/. Cercetările experimentale întreprinse cu această ocazie au reprezentat de fapt primele încercări pentru un astfel de tip de ecluză neconvențională.

5.3.1. Scări de modelare hidraulică

Pentru realizarea modelului hidraulic al unei ecluze neconvenționale cu un singur circuit hidraulic s-a ales scara geometrică de modelare 1:20. S-a adoptat o scară relativ mare, atât din cauza căderilor relativ mici caracteristice unei astfel de ecluze, cât și datorită efectului de scară asupra salinităților măsurate pe model (paragraful 5.1). Adoptând același criteriu de similitudine, celelalte scări de modelare vor respecta $Sh = idem$ și $Fr = idem$. Pentru satisfacerea criteriului Re , pe model va trebui să realizăm condițiile impuse de zona de automodelare în raport cu acest criteriu: $Re_m > Re_{cr}$.

Celelalte scări de modelare sînt prezentate în tabelul 5.9 (rel.5.10)

Tabelul 5.9

S_l	$S_t = S_l^{1/2}$	$S_v = S_l^{1/2}$	$S_g = S_l^2$	$S_q = S_l^{5/2}$	$S_f = S_l^3$
20	4,4721	4,4721	400	1788,85	8000

5.3.2. Dimensiunile geometrice din natură și de pe model

Pentru realizarea modelului scara 1:20, s-a modelat: sasul ecluzei, capul amonte și aval al ecluzei, poarta amonte ridicătoare-coboritoare și porțiuni ale porturilor de așteptare necesare asigurării nivelurilor de comandă. Principalele dimensiuni geometrice ale modelului sînt prezentate în tabelul 5.10.

Observații : - modelul spațial realizat permite utilizarea lui și în ipoteza dublului circuit hidraulic. Pentru aceasta s-a realizat un al doilea sistem de alimentare independent, care este format dintr-un număr de 36 orificii de diametru $\varnothing 24$ mm amplasate pe prima porțiune amonte a sasului care realizează în natură $\sum s_o = 6,41 \text{ m}^2$;

- s-a exclus căderea de 3,1 m considerându-se puțin probabilă o asemenea conjugare a celor două biefuri.

Tabelul 5.10

Mărimea și unitatea de măsură	în natură	pe model scara 1:20
1. Sasul ecluzei		
- lungimea sasului între porți <m>	152	7,60
- lungimea utilă a sasului <m>	140	7,00
- lățimea sasului <m>	12,5	0,625
- adâncimea de apă în sas(tab.4.1) <m>	4,9...6,5	0,245...0,325
- căderea (fig.2.22) <m>	1,5...2,5	0,075...0,125
2. Sistemul de alimentare		
- înălțimea netă de ridicare a porții <m>	0,725	0,03625
- secțiunea de control <m ² >	6,41	0,016025
3. Sistemul de golire		
- lățimea galeriei de golire <m>	2,5	0,125
- înălțimea galeriei de golire <m>	2,5	0,125
- lungimea fantei <m>	2,5	0,125
- lățimea fantei <m>	0,15	0,0075
- înălțimea vanei <m>	1,75	0,0875
- lățimea vanei <m>	2,50	0,125
- secțiunea de control <m ² >	8,75	0,021875
4. Convoiul de calcul		
- lungimea <m>	88	4,40
- lățimea <m>	11,4	0,57
- pescajul <m>	3,5	0,175
- deplasamentul <t>	3500	0,4375

5.3.3. Descrierea modelului

Modelul spațial realizat scara 1:20 (foto 8)(fig.5.15) denumit model spațial 2, reproduce în totalitate particularitățile geometrice și hidraulice ale circuitelor. De asemenea s-a reprodus la scara modelului, poarta amonte ridicătoare-coboritoare integral, inclusiv sistemele de etanșare. Manevra porții a fost realizată pe cale hidraulică (foto 9). De asemenea s-au modelat vanele sistemului de golire iar manevra lor s-a realizat pe cale mecanică (foto 10)(identice ca la modelul spațial 1). S-a experimentat și o barieră de aer comprimat montată imediat amonte de poarta ridicătoare-coboritoare. S-a urmărit prin aceasta împiedicarea eventualelor pătrunderi ale apei sărate în bieful amonte în timpul coborîrii porții (foto 9). Bariera de aer comprimat a funcționat prin intermediul unei instalații cu compresor.

Pentru a aprecia eficiența sistemului de evacuare a apei să-

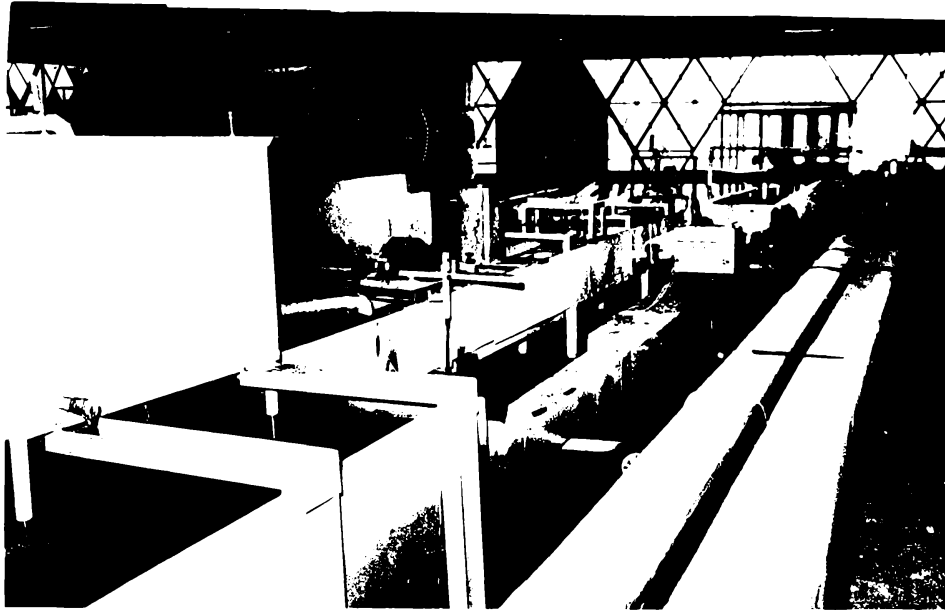


Foto 8 Ansamblul modelului spațial 2 - scara 1:20
 rate în bieful aval s-au experimentat trei variante de distribuție
 a fantelor din radier (fig.1.15): varianta I în care fantele sînt di-
 stribuite pe patru din cele nouă ploturi ale sasului ecluzei (fante-
 le avînd dimensiunile din tab.5.10). Au rezultat un număr total de 52
 de fante de secțiune totală $s_f = 52 \cdot 0,375 = 19,5 \text{ m}^2$ și raportul cu
 aria totală a galeriilor de evacuare de 1,56/1; varianta II în care
 fantele au fost extinse pe toate cele nouă ploturi rezultînd un nu-
 măr de 92 de fante secțiunea totală fiind $s_f = 34,5 \text{ m}^2$ și un ra-
 port de 2,76/1 față de aria totală a galeriilor de evacuare; varianta
III unde s-a păstrat distribuția fantelor din varianta II dar s-a
 modificat traseul galeriei de evacuare în partea aval. în toate va-

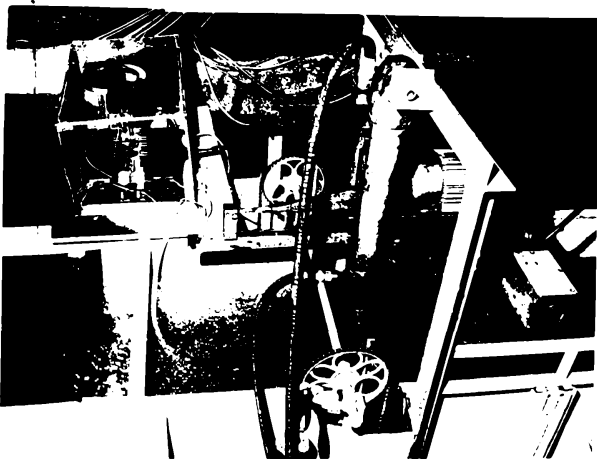


Foto 9 Mecanismul hidromecanic
 de manevră a porții amonte.
 Instalația de aer comprimat.

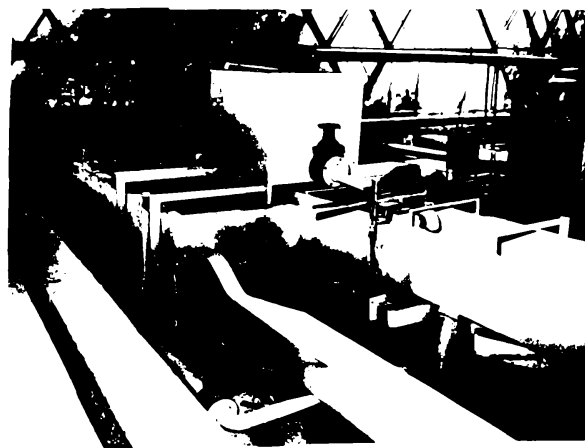


Foto 10 Mecanismul de manevră a
 vanelor sistemului de golire

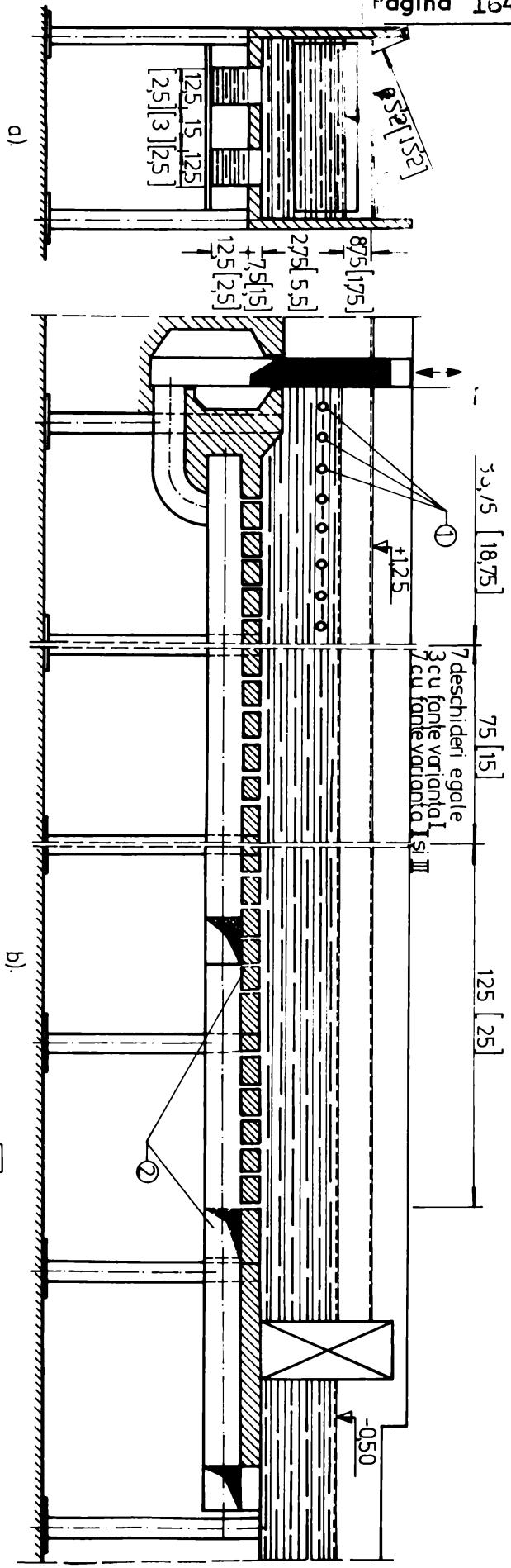
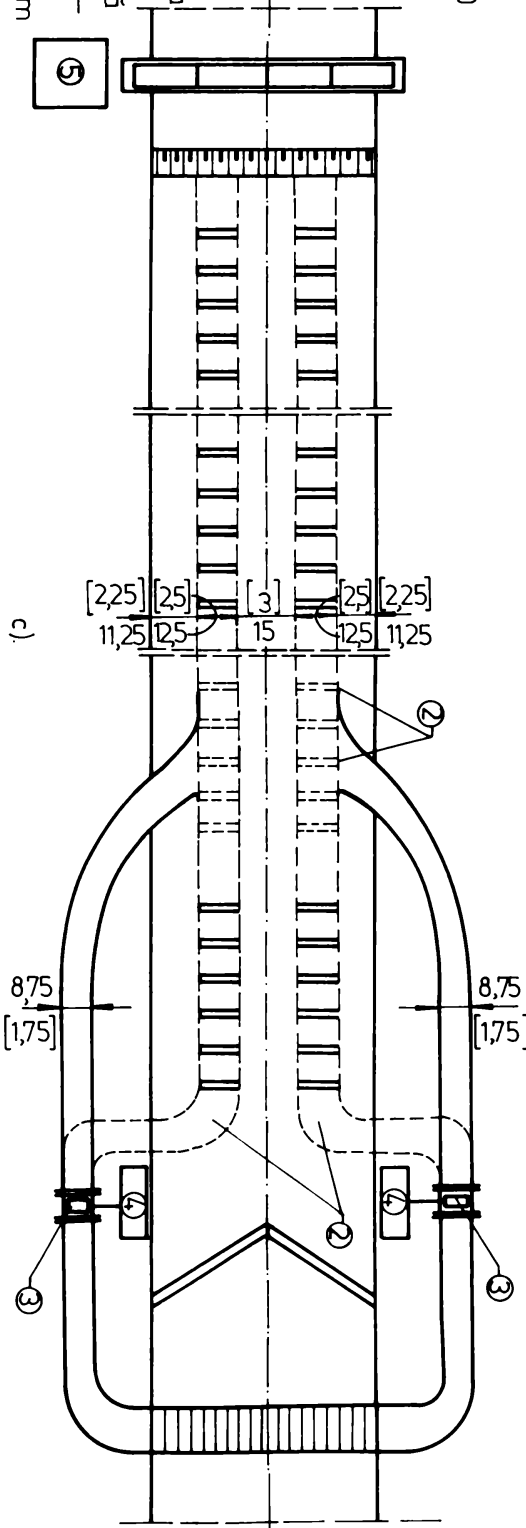


Fig.5.15 Model spațial 2
scara modelului 1:20

- a) secțiune transversală
 - b) secțiune longitudinală
 - c) secțiune orizontală
- 1-sistemul de orificii de alimentare independent
2-fante varianta III
3-vane de control pe galeriile de golire
4. mecanisme de manevră a vanelor de control
5 -mecanismul de manevră a porții amonte ridicătoare-coboritoare.
- NOTA: cotele sînt date în cm iar în paranteze sînt cote din natură în metri.



riantele fantelor au fost egale ca dimensiuni (tab.5.10) și s-au amplasat la distanța de 2 m.

5.3.4. Rezultatele cercetărilor experimentale pe model

Cercetările experimentale întreprinse asupra modului spațial 2 au urmărit : verificarea mărimilor hidraulice corespunzătoare regimului de funcționare considerat, determinarea coeficienților de debit ai sistemului de alimentare respectiv golire, examinarea funcționării sistemului de evacuare a apei sărate, determinarea concentrației saline realizate în sas după funcționarea la diferite regimuri și măsurarea forței hidrodinamice exercitate de curent asupra navei staționate în sas în perioada funcționării ecluzei.

Pentru vizualizarea fenomenului de extragere a apei sărate în perioada evacuării ulterioare a apei sărate în bieful aval, s-a recurs la colorarea apei sărate cu permanganat de potasiu. Experiențele au fost realizate pentru trei regimuri de funcționare ale ecluzei Năvodari : funcționare în regim convențional, funcționare prin umplere-golire concomitentă și funcționare prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval, în cele două variante cu vas în sas și fără vas în sas. Toate experiențele au simulat situația extremă cea mai nefavorabilă și anume : salinitatea inițială din sas $\bar{c}_s = c_m \approx 17 \%$, iar $c_c^0 \approx 0,15 \%$. Prelevarea probelor de salinitate s-a făcut într-un număr de 5 secțiuni verticale, cu trei puncte pe verticală : la suprafața apei, la jumătatea adâncimii de apă și la fund (fig.5.16). Primele două secțiuni de măsurare a salinității au

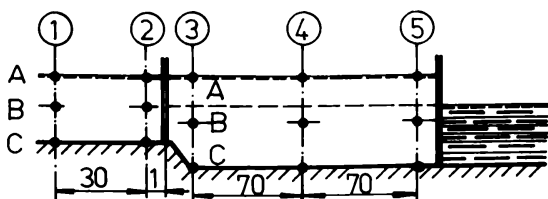


Fig. 5.16 Amplasarea secțiunilor de măsurare a salinităților.

fost amplasate în portul de așteptare amonte, pentru a depista eventualele pătrunderi ale apei salmastre din sas în spre bieful amonte, pe perioada evacuării ulterioare a apei salmastre în bieful aval, când poarta amonte fiind deschisă, punându-se în contact direct cele două biefuri. Pentru aceasta, sistematic s-a determinat salinitatea inițială a apei din portul de așteptare amonte.

S-au experimentat căderile posibile $H_0 = 1,50 ; 1,75 ; 2,10$, insistându-se asupra căderii de 1,75 care reprezintă situația normală de funcționare a ecluzei Năvodari (tab.4.1).

Coeficienții de debit măsurați pe model au rezultat pentru sistemul de alimentare prin fantele realizate în radier $\mu = 0,67$ iar pentru sistemul de golire $\mu' = 0,60$.

5.3.4.1. Rezultate experimentale obținute în regim convențional

S-a experimentat pe modelul spațial 2 regimul de umplere nor-
mală a ecluzei Năvodari pentru căderea de $H_0 = 1,75$ m în situația cu
vas în sas și fără vas în sas. Rezultatele obținute sînt prezentate
în fig.5.17. A rezultat cum este și normal o concordanță deplină cu
calculule efectuate (paragraful 2.7.2.4).

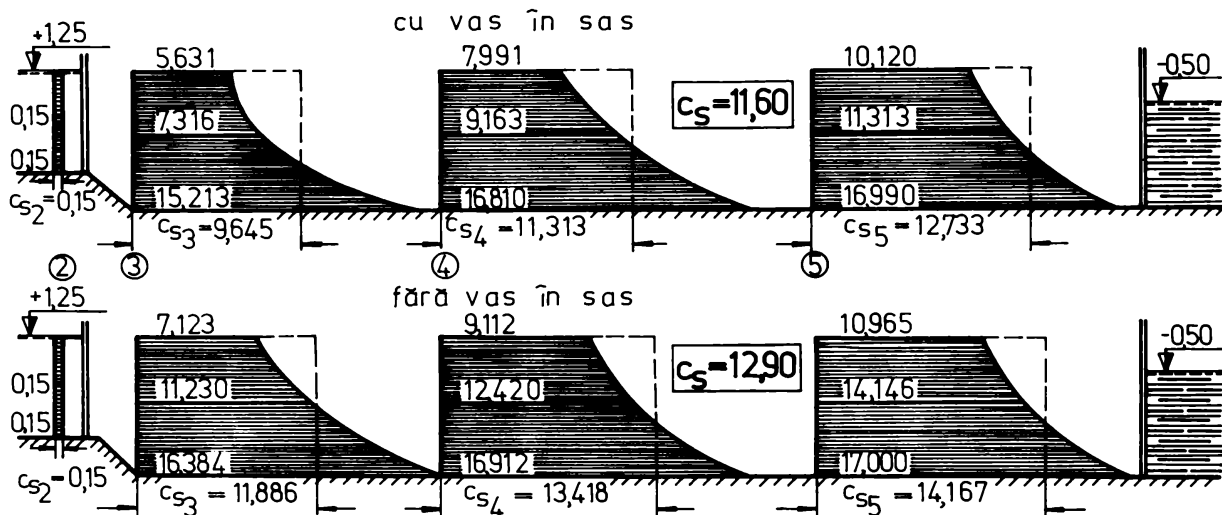


Fig.5.17 Distribuția salinităților și salinitatea medie realizată pentru modelul spațial 2 în regim de funcționare convențional. Salinitățile sînt date în ‰.

5.3.4.2. Rezultate experimentale obținute în regim de funcționare prin umplere-golire concomitentă

Modelul spațial 2 fiind prevăzut cu un al doilea sistem de alimentare independent de sistemul de golire, a fost posibilă experimentarea variantei de funcționare prin umplere-golire concomitentă

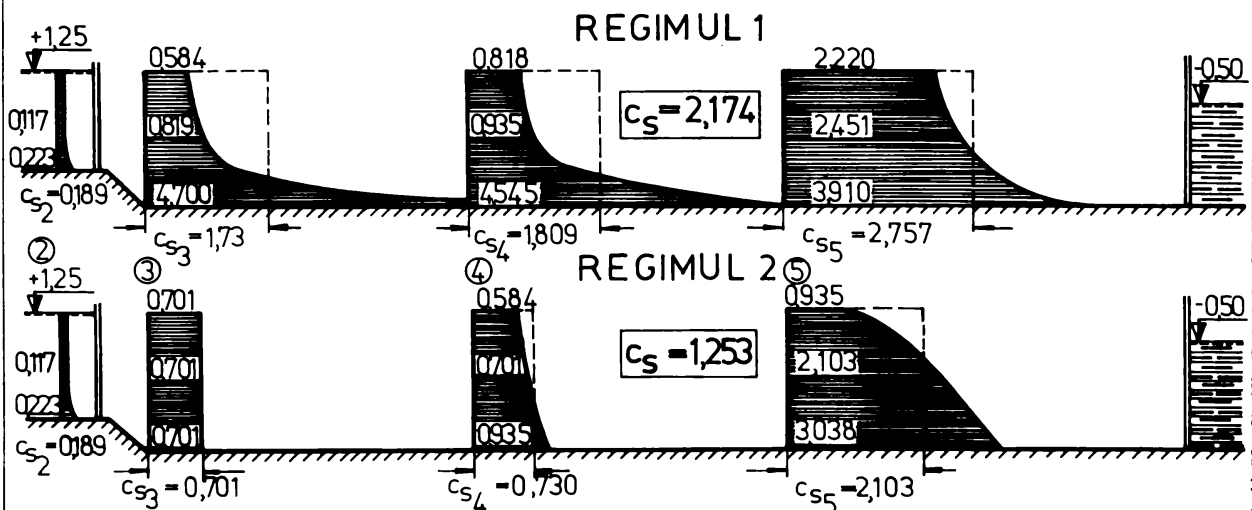


Fig.5.18 Distribuția salinităților și salinitatea medie realizată pentru modelul spațial 2 în regim de funcționare prin umplere-golire concomitentă. Operațiile de ecluzare se produc în prezența vasului în sas. Distribuția fantelor - varianta III. Salinitățile sînt date în ‰.

ca bază de comparație. S-au testat un număr de două regimuri pentru căderea $H_0 = 1,75$ m : regimul 1 caracterizat prin timpul total de umplere $T_u = 840''$ la un volum evacuat de $V_{ev} = 9,2 \cdot 10^3$ m³ care corespunde în bună măsură regimului preconizat prin calcul (paragraful 2.7.2.2 și 4.5.4) și regimul 2 corespunzător calculelor efectuate în paragraful 4.5.1.1. Rezultatele obținute sînt prezentate în fig. 5.18 și tabelul 5.11 (extras).

Tabelul 5.11

salinitățile sînt date în %.

Re-gim	Nr. expe-rien-țe	sas	\bar{c}_s	c_c^0	Po-zi-ția	salinitățile obținute pentru secțiunile				
						1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	30	cu vas	16,3	0,15	A	0,150	0,150	0,470	0,649	1,645
					B	0,150	0,150	0,705	0,800	1,645
					C	0,150	0,176	4,112	4,112	3,642
	33		16,9	0,175	A	0,175	0,175	0,584	0,763	2,250
					B	0,175	0,175	0,800	0,940	2,250
					C	0,175	0,233	4,935	4,112	3,642
	34		17,2	0,15	A	0,150	0,150	0,646	0,998	3,642
					B	0,150	0,150	0,940	1,116	3,642
					C	0,150	0,150	4,935	4,935	4,112
2	41		16,0	0,117	A	0,117	0,117	0,800	0,528	0,940
					B	0,117	0,117	0,800	0,705	2,250
					C	0,117	0,150	0,800	0,800	2,250
	42		16,6	0,117	A	0,117	0,117	0,646	0,528	0,705
					B	0,117	0,117	0,646	0,646	1,645
					C	0,117	0,117	0,645	0,940	2,250
	43	cu vas	17,0	0,117	A	0,117	0,117	0,705	0,705	0,940
					B	0,117	0,117	0,800	0,800	2,250
					C	0,117	0,150	0,800	1,116	3,525

5.3.4.3. Rezultate experimentale obținute în regim de funcționare prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval

Pentru funcționarea ecluzei Năvodari în varianta cu un singur circuit hidraulic prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval s-au experimentat două regimuri hidraulice : regimul 3 corespunzător calculelor prezentate în paragraful 4.5.1.2 caracterizat printr-un timp de umplere total $T_u = 16'15''$ și un volum evacuat $V_{ev} \approx 15000$ m³, și regimul 4 corespunzător calculelor prezentate în paragraful 2.7.2.2 și tabelul 4.2 care evacuează

un volum de cca. 9170 m³ pentru un timp total de umplere de $T_u = 12'20''$. Experiențele s-au efectuat pentru căderi de $H_0 = 1,5$ m; 1,75 și 2,10 m, în cele trei variante de distribuție a fantelor de golire, cu sau fără prezența vasului în sas. De asemenea experiențele au decurs cu sau fără funcționarea barierei de aer comprimat. Rezultatele obținute pentru regimul 3 sînt prezentate în tabelul 5.12.

Tabelul 5.12 (extras)

salinitățile sînt date în %.

Cădere	Nr. exp	sas	\bar{c}_s	c_c^0	Poziția	salinitățile obținute pentru secțiunile				
						1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,50 fante varianta I	47	cu vas	17,0	0,15	A	0,150	0,150	0,235	0,293	0,529
					B	0,150	0,150	0,411	0,587	0,646
					C	0,150	0,150	0,649	0,705	0,940
	49*	cu vas	16,7	0,170	A	0,170	0,170	0,293	0,235	0,646
					B	0,170	0,170	0,411	0,587	0,940
					C	0,170	0,235	0,705	0,649	0,940
	51	fără vas	16,5	0,15	A	0,150	0,150	0,293	0,235	0,235
					B	0,150	0,170	0,411	0,587	0,411
					C	0,170	0,170	0,705	0,649	0,411
	52**	fără vas	17,0	0,117	A	0,117	0,117	0,411	0,235	0,235
					B	0,117	0,150	0,587	0,649	0,411
					C	0,117	0,150	0,705	0,649	0,411
1,50 fante varianta II	90	cu vas	17	0,17	A	0,170	0,170	0,235	0,293	0,411
					B	0,170	0,170	0,235	0,293	0,529
					C	0,170	0,170	0,411	0,587	0,763
	94	fără vas	16,4	0,150	A	0,150	0,150	0,235	0,035	0,235
					B	0,150	0,150	0,293	0,411	0,295
					C	0,150	0,170	0,649	0,649	0,411
1,75 fante varianta I	54	cu vas	16,7	0,150	A	0,150	0,150	0,150	0,150	0,587
					B	0,150	0,150	0,150	0,411	2,232
					C	0,150	0,150	0,649	3,525	3,525
	55	cu vas	16,5	0,150	A	0,150	0,150	0,235	0,235	0,470
					B	0,150	0,150	0,235	0,235	1,527
					C	0,150	0,150	0,529	0,998	2,642
	57	cu vas	17,3	0,117	A	0,117	0,117	0,150	0,235	0,235
					B	0,117	0,117	0,235	0,649	0,998
					C	0,117	0,117	0,649	1,645	3,642
	60	fără vas	16,9	0,117	A	0,117	0,117	0,235	0,235	0,235
					B	0,117	0,117	0,411	0,411	0,235
					C	0,117	0,235	0,411	0,529	0,235

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	61	fără vas	16,7	0,117	A	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117
					B	0,117	0,117	0,235	0,235	0,235
					C	0,117	0,235	0,649	0,529	0,411
	63*	fără vas	16,5	0,117	A	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117
					B	0,117	0,117	0,235	0,235	0,235
					C	0,117	0,235	1,103	0,649	0,705
1,75 fante varian- ta II	96	cu vas	16,9	0,117	A	0,117	0,117	0,117	0,117	0,150
					B	0,117	0,117	0,117	0,117	0,529
					C	0,117	0,160	0,352	0,352	0,998
	97*	cu vas	16,5	0,117	A	0,117	0,117	0,117	0,117	0,411
					B	0,117	0,150	0,117	0,117	0,411
					C	0,117	0,150	0,411	0,529	0,701
	98	cu vas	16,8	0,117	A	0,117	0,117	0,117	0,117	0,411
					B	0,117	0,117	0,117	0,117	0,649
					C	0,117	0,150	0,235	0,117	0,701
	100	fără vas	16,5	0,117	A	0,117	0,117	0,117	0,117	0,235
					B	0,117	0,117	0,235	0,235	0,411
					C	0,117	0,150	0,529	0,235	0,529
	101	fără vas	17,3	0,117	A	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117
					B	0,117	0,117	0,411	0,411	0,235
					C	0,117	0,117	0,529	0,411	0,411
1,75 fante varian- ta III	110	cu vas	16,9	0,150	A	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
					B	0,150	0,150	0,150	0,150	0,705
					C	0,150	0,150	0,150	0,175	0,998
	111	cu vas	16,6	0,150	A	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
					B	0,150	0,150	0,150	0,150	0,649
					C	0,150	0,150	0,150	0,150	0,998
	112*	cu vas	16,8	0,150	A	0,150	0,150	0,150	0,150	0,235
					B	0,150	0,150	0,150	0,150	0,649
					C	0,150	0,150	0,235	0,235	0,998
	115	fără vas	17,0	0,117	A	0,117	0,117	0,150	0,150	0,235
					B	0,117	0,117	0,235	0,235	0,649
					C	0,117	0,117	0,325	0,235	0,649
	116	fără vas	16,5	0,117	A	0,117	0,117	0,150	0,235	0,150
					B	0,117	0,117	0,235	0,235	0,411
					C	0,117	0,150	0,325	0,235	0,649
2,10 fante varian- ta I	65	cu vas	16,6	0,117	A	0,117	0,117	0,117	0,150	0,411
					B	0,117	0,117	0,150	0,235	0,649
					C	0,117	0,150	0,150	0,411	0,998
	69*	cu vas	16,9	0,117	A	0,117	0,117	0,150	0,150	0,411
					B	0,117	0,150	0,235	0,235	0,528

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
					C	0,117	0,150	0,411	0,411	0,989
	74	fără vas	17,4	0,15	A	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
					B	0,150	0,150	0,235	0,150	0,150
					C	0,150	0,150	0,649	0,235	0,150
2,10 fante varian- ta II	103	cu vas	18,1	0,117	A	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117
					B	0,117	0,117	0,117	0,117	0,649
					C	0,117	0,117	0,117	0,117	0,998
	106	fără vas	17,6	0,117	A	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117
					B	0,117	0,117	0,150	0,235	0,150
					C	0,117	0,117	0,411	0,235	0,235

* - experiențe efectuate în prezența barierei de aer comprimat

Pentru căderea frecventă de $H_0 = 1,75$ m, distribuția salinităților este prezentată în figura 5.19.

Pentru regimul 4 de funcționare, s-a experimentat căderea corespunzătoare nivelurilor normale $H_0 = 1,75$, iar distribuția fantelor a fost în varianta II. Rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul 5.13 și figura 5.20.

Tabelul 5.13(extras)

salinitățile sînt date în %.

Căde- rea	Nr. exp.	sas	\bar{c}_s	c_c^0	pozi- ția	salinități obținute pentru secțiunile				
						1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,75 fante varian- ta II	102	cu vas	16,8	0,15	A	0,150	0,150	0,48	1,410	2,232
					B	0,150	0,150	0,705	1,997	2,820
					C	0,150	0,150	1,885	3,642	3,290
	104	cu vas	17,1	0,15	A	0,150	0,150	0,470	1,997	3,290
					B	0,150	0,150	0,705	1,997	3,525
					C	0,150	0,150	1,997	4,817	4,112
	105	cu vas	16,6	0,15	A	0,150	0,150	0,411	1,116	2,232
					B	0,150	0,150	0,649	1,410	2,232
					C	0,150	0,150	1,527	3,290	3,525
	107	fără vas	16,9	0,15	A	0,150	0,150	2,232	2,820	2,232
					B	0,150	0,150	4,112	4,112	4,817
					C	0,150	0,175	7,696	7,696	8,921
108	fără vas	17,0	0,15	A	0,150	0,150	2,820	3,290	2,820	
				B	0,150	0,150	4,817	4,818	4,817	
				C	0,150	0,150	7,696	8,921	8,921	
109	fără vas	16,5	0,15	A	0,150	0,150	2,232	2,820	2,232	
				B	0,150	0,150	3,290	4,112	3,525	
				C	0,150	0,175	6,110	7,873	7,696	

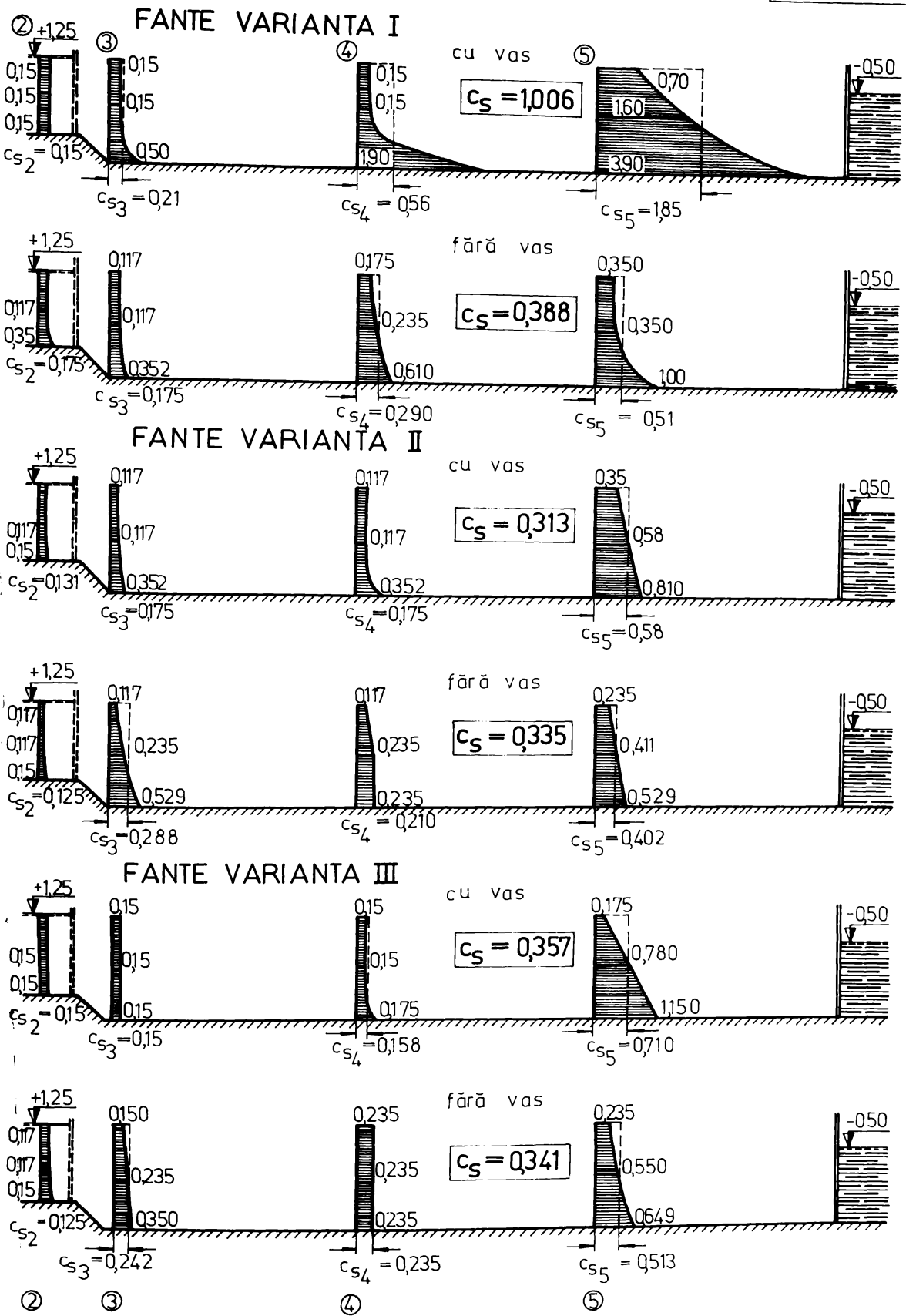


Fig. 5.19 Distribuția salinității și salinitatea medie realizată pentru modelul spațial 2 în regimul de funcționare 3 pentru căderea $H_0 = 1,75$ m. Salinitățile sînt în ‰.

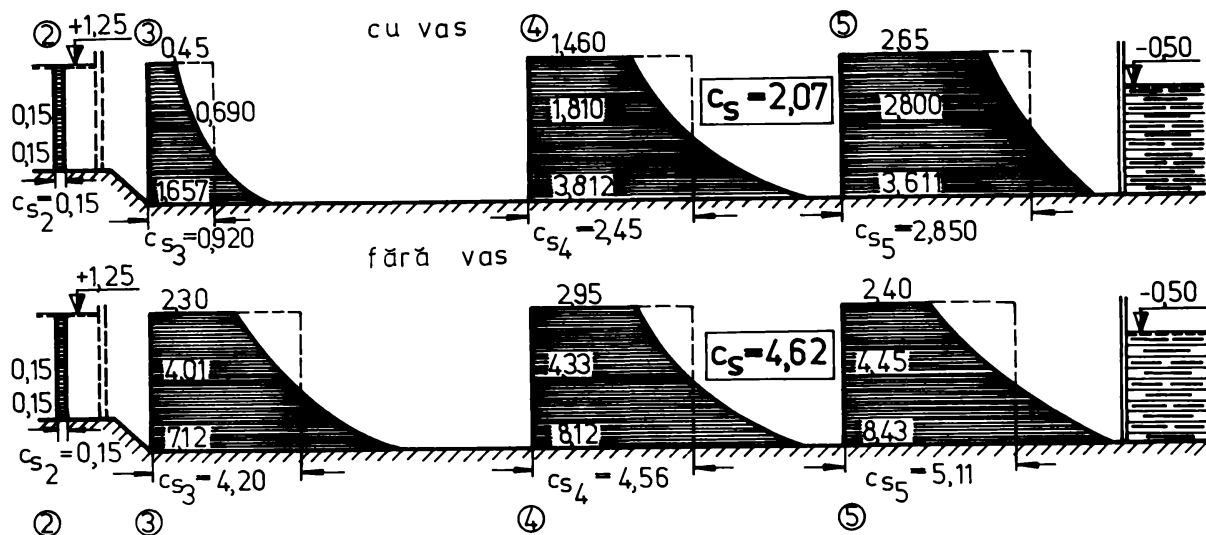


Fig. 5.20 Distribuția salinităților și salinitatea medie realizată pe modelul spațial 2 în regimul de funcționare 4 pentru căderea $H_0 = 1,75$ m cu fante varianta II. Salinitățile sînt în ‰.

5.3.5. Interpretarea rezultatelor experimentale. Concluzii

Cercetările experimentale s-au efectuat pentru tipul de ecluză neconvențională cu un singur circuit hidraulic, și care funcționează după principiul umplerii normale și evacuării ulterioare a apei salmastre în bieful aval. Pentru a servi ca bază de comparație s-a experimentat pe același model un regim de funcționare convențional, și regimul neconvențional prin umplere-golire concomitentă.

- asupra funcționării în regim convențional :

Umplerea normală a ecluzei a determinat o salinitate medie de 11,60 ‰ în varianta cu vas în ecluză, și 12,90 ‰ în varianta fără vas. Rezultatele obținute sînt foarte apropiate de cele calculate (paragraful 2.7.2.3 salinitatea medie din sas în ipoteza prezenței vasului a fost de 11,65 ‰). Umplerea făcîndu-se prin fantele din radier s-a acceptat deci regimul turbulent, dar salinitatea pe verticală păstrează distribuția generală cunoscută de la experiențele anterioare în sensul reducerii ei pe măsură ce ne apropiem de suprafața apei din sas. Această distribuție este favorabilă, deoarece în ipoteza că urmează operația de evacuare a apei sărate în bieful aval, care se face pe la fundul sasului, cu precădere va fi extrasă apa de salinități maxime.

Aceste observații permit următoarele concluzii :

- există o deplină concordanță între salinitățile măsurate pe modelul spațial 2 și salinitățile reale din natură, și deci în această privință nu se manifestă efectul de scară al modelului ;
- umplerea normală a ecluzei determină aceeași distribuție pe verticală a salinităților, favorabilă operației de evacuare a apei

sărate în bieful aval (în ipoteza funcționării ecluzei în regim neconvențional prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval) ;

- asupra funcționării în regim neconvențional

În tabelul 5.14 sînt prezentate rezultatele experimentale obținute comparativ cu rezultatele calculelor efectuate, pentru ambele variante de ecluză neconvențională.

Tabelul 5.14

Funcționare	Re-gim	H _o	V _{ev}	T _{ev}	c _{s.med}	c _{s.calc}	diferența dintre teorie și experiențe	
		m	10 ³ m ³	s	%	%	absolute	relative
umplere-golire concomitentă	1	1,75	9,2	700	2,174	2,275	+0,104	+4,5 %
	2	1,75	13,3	870	1,235	1,305	+0,07	+5,3 %
umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval	3	1,5	14,9	642	0,771	0,788	+0,017	+2,1 %
		1,75	16,1	642	0,353	0,385	+0,032	+8,3 %
		2,10	18,6	642	0,361	0,340	-0,021	-5,1 %
	4	1,75	9,17	417	2,070	2,209	+0,139	+6,3 %

Pentru calculul salinităților notate prin c_{s.calc} s-a utilizat modelul matematic descris în paragraful 5.2.6 pentru varianta cu dublu circuit hidraulic ; pentru varianta cu un singur circuit hidraulic s-au utilizat relația 4.41 rezolvată în raport cu H_r și relația 2.15' rezolvată în raport cu c_s admis = c_s .

Pentru varianta cu dublu circuit hidraulic, s-au obținut diferențe acceptabile între teorie și experiențe, în limitele intervalelor stabilite în paragraful 5.2.6, sau chiar mai mici 5,3 % față de limita maximă care a fost de 7,5 %, și deci se confirmă valabilitatea concluziilor deduse pentru acest tip de ecluză.

Pentru varianta cu un singur circuit hidraulic diferențele de maxim 8,3 % certifică valabilitatea relațiilor de calcul propuse și concordanța între metoda de calcul și rezultatele experimentale.

Rezultatele obținute permit următoarele aprecieri :

- cercetările experimentale asupra umplerii-golirii concomitente pe model hidraulic scara 1:20 au arătat valabilitatea metodelor de calcul propuse .
- în cazul ecluzei Năvodari funcționînd după principiul umplerii-golirii concomitente regimul cel mai favorabil va fi regimul 1 cu un timp total de umplere de 14'.

• regimul de funcționare prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval poate realiza o salinitate finală în sasul ecluzei oricât de mică, chiar mai redusă ca salinitatea admisă în canal $c_s < c_c$ admis ;

• desigur că această modalitate care excluce total posibilitatea salinizării canalului navigabil, prezintă inconvenientul unui volum evacuat în bieful aval și deci consumat extrem de mare, și în consecință determină un timp total de umplere de asemenea mare ;

• metoda de calcul prezentată în capitolul 2 care permite o prognozare a salinizării în timp a canalului navigabil, determina pentru sasul ecluzei salinități admise mult mai mari, c_s admis $>$ c_c admis, în condițiile în care în canal vom avea permanent $c_c <$ c_c admis. Deci este recomandabil să se adopte un regim de funcționare cât mai apropiat de aceste limite. În acest caz volumul de apă evacuat și deci consumat se reduce cu 140-210 % iar timpul total de umplere se reduce cu 2 până la 4'40". Rezultă avantaje deosebite care fac ca acest mod de funcționare al unei ecluze neconvenționale să devină comparativ în raport cu funcționarea prin umplere-golire concomitentă și din punct de vedere al volumului de apă evacuat și timp total realizat (de exemplu pentru căderea frecventă de 1,75 m a rezultat $\zeta_{ef} = 785/840 = 0,935$; $\zeta_{teoretic} = 0,953$; față de $\zeta = 1,20$ corespunzător regimului 3) ;

• regimul 4 s-a adoptat în baza considerentelor de mai sus. A rezultat $T_u = 740''$, $V_{ev} = 9,17 \text{ m}^3$ și $c_s = 2,07 \%$. (fig.5.20), și deci o confirmare a celor enunțate ;

• adoptarea regimului 4 nu asigură o salinitate corespunzătoare salinității admise în sas ($c_s > c_s$ admis), în ipoteza unei ecluzări fără vas. Dar cum această situație este accidentală, ea nu trebuie luată în considerare ca definitivă pentru stabilirea regimului hidraulic de funcționare al oricărui tip de ecluză neconvențională.

Modul în care au decurs experimentările au permis următoarele constatări :

• în perioada evacuării ulterioare a apei salmastre în bieful aval, pentru extragerea corespunzătoare a volumului de apă sărată un rol deosebit de important îl are modul de distribuire a fantelor de golire din radier. Astfel a rezultat necesitatea amplasării lor pe toată lungimea sasului : a rezultat o salinitate medie cu cca. de 2,5 ori mai mică în varianta II față de varianta I de distribuire a fantelor. Dar deoarece în perioada evacuării apei sărate, apa dulce pătrunde în sas unilateral prin poarta amonte deschisă, neuniformitatea funcționării sistemului de golire se accentuează în favoarea

fantelor amplasate în partea din amonte a sasului (toate experiențele au arătat salinități mult mai reduse în partea amonte a sasului în raport cu capătul aval). Acest fenomen devine mai pregnant în prezența vasului în sas, care constituie o rezistență suplimentară în accesul apei dulci în spre capătul aval al sasului (fantele în varianta III nu îmbunătățesc situația). Unica soluție posibilă apare în majorarea secțiunii totale a fantelor din aval în raport cu cele din amonte. Aceasta se poate realiza practic fie prin mărirea efectivă a secțiunii fantelor din aval, fie prin reducerea distanței dintre fante. Aplicarea acestei soluții trebuie făcută sub rezerva verificării condițiilor de staționare ale navelor în sas pe timpul evacuării apei sărate în bieful aval ;

• funcționarea barierei de aer comprimat, care împiedică eventuala pătrundere a apei salmastre din sasul ecluzei spre portul de așteptare amonte, în perioada deschiderii porții amonte, se dovedește atât neeconomică (consum suplimentar de energie, instalații suplimentare) cât și nefavorabilă prin turbulența întreținută permanent, care determină o funcționare necorespunzătoare a fantelor de golire din apropiere. Rolul instalației de aer comprimat a fost preluat de curentul de apă continuu, care se formează dacă manevra porții amonte se efectuează concomitent cu deschiderea vanelor de comandă a sistemului de golire. În felul acesta se împiedică pătrunderea apei salmastre în bieful amonte. Rezultă și un alt avantaj și anume reducerea bugetului total de timp necesar operațiilor globale de ecluzare. Cum această reducere se datorează modului specific de funcționare al ecluzei în perioada evacuării apei sărate în bieful aval, ea a fost atribuită timpului total de umplere al ecluzei prin reducerea lui corespunzătoare de la T_u la T'_u (tabelul 5.14).

5.4. Cercetări experimentale asupra condițiilor de staționare a navelor (convoaielor de nave), în perioada de funcționare a unei ecluze neconvenționale

Condiția de staționare a unui convoi în sasul ecluzei se exprimă prin condiția 3.51" (tratată pe larg în paragrafele 3.3 și 4.3):

$$P_{\text{long}} \leq P_{\text{admis sas}} \quad (3.51")$$

În cazul ecluzelor neconvenționale condiția de staționare este identică, însă asupra mărimii forței hidrodinamice longitudinale exercitate de curent asupra convoiului staționat în sas, și a modului în care această forță este influențată de regimul de funcționare al unei astfel de ecluze nu există informații.

Atât în cazul ecluzelor neconvenționale cu dublu circuit hidrolic care funcționează după principiul umplerii-golirii concomi-

tente, cît și în cazul celor cu un singur circuit hidraulic funcționînd prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval, condiția de staționare exprimată prin 3.51" s-a dovedit limitativă asupra regimului hidraulic de funcționare exprimat prin creșterea de debit maximă $(dQ/dt)_{\max}$ (pentru ecluzele cu dublu circuit hidraulic relația 3.57 iar pentru cele cu un singur circuit hidraulic relația 4.27 și 4.28).

În fața de cele arătate mai sus, s-a impus organizarea unor cercetări experimentale asupra modului în care funcționarea unei ecluze neconvenționale, influențează mărimea forței hidrodinamice exercitate de curent asupra convoiului de nave, și deci asupra condițiilor de staționare.

5.4.1. Procedee de măsurare a forței hidrodinamice în laborator

Măsurarea forței hidrodinamice exercitate de curent asupra navei s-a făcut pe cale electrică /26,146/. Metoda constă în transmiterea forței hidrodinamice prin intermediul unui catarg, unei lamele de oțel elastice, a cărei deformație este tradusă prin intermediul timbrelor tensometrice printr-o variație a rezistenței electrice care se poate măsura cu aparatură electronică. Pentru transmiterea forței hidrodinamice totale catargului, montat în centrul de greutate al convoiului se utilizează un sistem ghidaj după verticală prin inter-

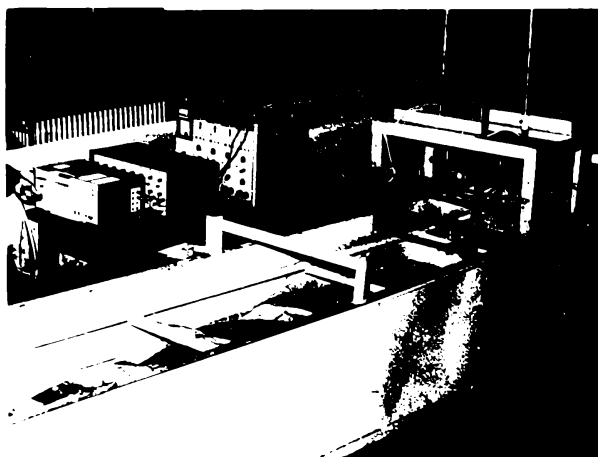


Foto 11 Instalație de măsură a forței hidrodinamice exercitate de curent asupra navei.

mediul unui cărucior (foto 11). S-au utilizat lamele de oțel cu modul de elasticitate $E=2,1 \cdot 10^6$ kgf/cm² de lungime 85 mm, lățime 20 mm și grosime de 1,25 mm. Timbrele tensometrice sînt de tip rezistiv PR 9833/10 FE marca Philips.

Aparatura electronică de măsurare este formată dintr-o punte tensometrică de tip 4D3 cu 4 canale producție RDG (TPW-Dehnungsmesser), adaptor electronic de tip W 4/100 producție RDG și oscilograf cu raze ultraviolete de tipul 8LS-1 (RDG). S-au utilizat galvanometre de tip 4623.6F2/28, 64/(foto 11).

Sensibilitatea punții tensometrice respectiv a adaptorului electronic s-a reglat în așa fel încît deviația spotului luminos să se încadreze pe lățimea oscilogramei. Sistemul de măsură al forței hidrodinamice longitudinale astfel conceput, permite etalonarea sa

prealabilă, și transformarea corespunzătoare a variației rezistențelor timbrelor tensometrice în variații ale forței totale predate ca targului.

5.4.2. Rezultate experimentale obținute

Cercetările experimentale s-au efectuat pe modelul spațial 2 la scara de modelare 1:20 (paragraful 5.3). S-au efectuat măsurători ai forței hidrodinamice longitudinale în trei situații: funcționare în regim convențional (umplere și golire normală), funcționare în regim de umplere-golire concomitentă și funcționare prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval. Regimurile hidraulice testate verifică condiția 4.27 și 4.28 care a stabilit creșterea maximă de debit de $0,358 \text{ m}^3/\text{s}^2$ pentru funcționare în regim convențional și prin umplere-golire concomitentă, și de $0,348 \text{ m}^3/\text{s}^2$ pentru umplere normală și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval (paragraful 4.5.3). Pentru ambele situații P_{admis} s-a rezultat de 4320 de daN.

- funcționare în regim convențional :

S-au efectuat măsurători asupra forței hidrodinamice longitudinale pentru umplere și golire normală pentru căderea de $H_0 = 1,75 \text{ m}$ și ocazional pentru căderea de 3,1 m. Regimul hidraulic testat pe model se caracterizează prin $(dQ/dt)_{\text{max}} = 0,277 \text{ m}^3/\text{s}$ și un timp de umplere respectiv golire $T_u = T_g = 6'8''$. Alura oscilogramelor obținute pentru căderile respective sînt prezentate în figura 5.21.

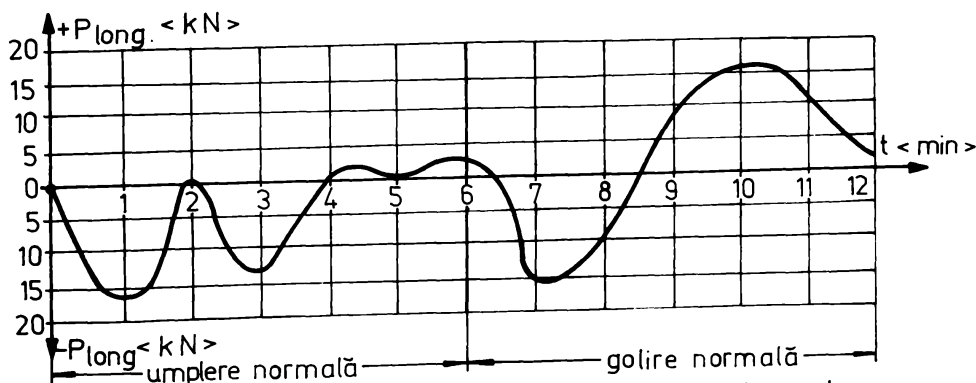


Fig.5.21 Variația forței hidrodinamice longitudinale pentru funcționare în regim convențional. $H_0 = 1,75 \text{ m}$

- funcționare prin umplere-golire concomitentă :

S-au experimentat regimul de funcționare caracterizat prin $(dQ/dt)_{\text{max}} = 0,324 \text{ m}^3/\text{s}$, cu un timp total de umplere $T_u = 16'20''$ și un volum total evacuat de $V_{\text{ev}} = 13,8 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. Rezultatele obținute pentru căderea de $H_0 = 1,75 \text{ m}$ sînt redată în oscilograma din figura 5.22.

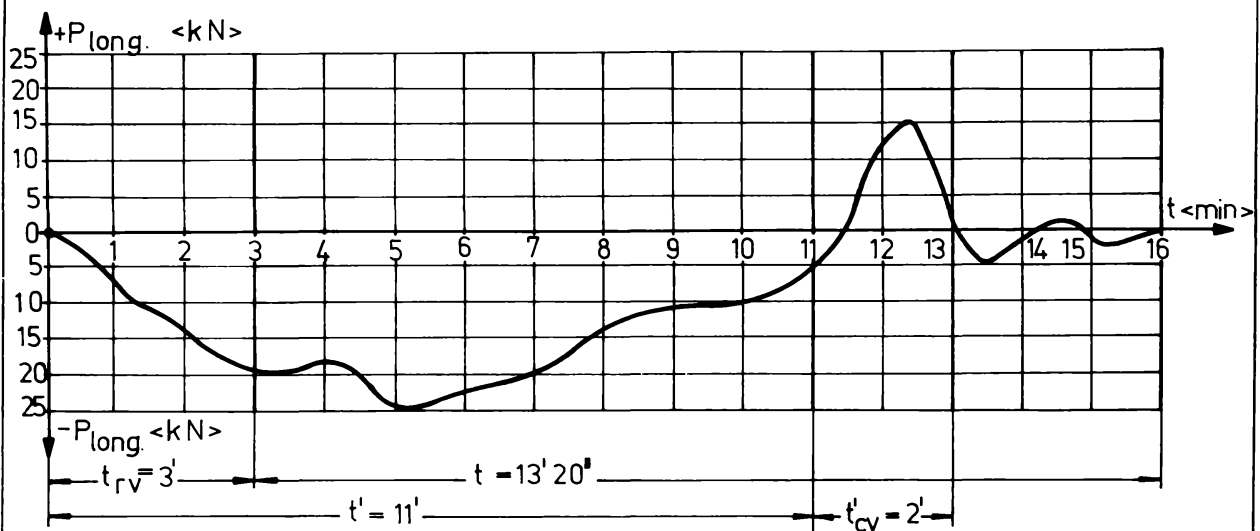


Fig. 5.22 Variația forței hidrodinamice longitudinale pentru funcționare prin umplere -golire concomitentă. $H_0 = 1,75$ m.

- funcționarea prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval :

S-au efectuat măsurători asupra forțelor hidrodinamice longitudinale exercitate de curent pentru două regimuri de funcționare și pentru căderi de 1,75 m ... 3,1 m (tab.4.1). Regimurile hidraulice

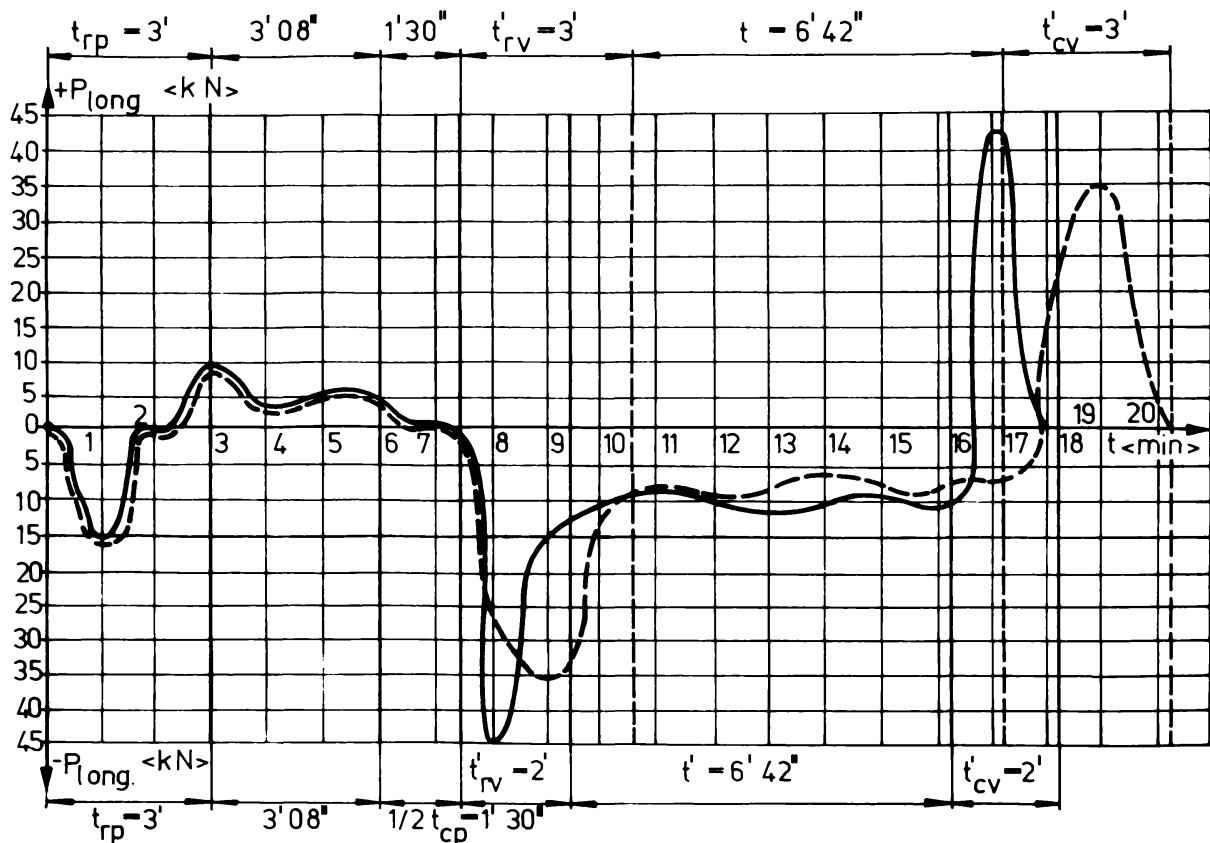


Fig. 5.23 Variația forței hidrodinamice longitudinale pentru funcționarea prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval.
 — pentru $t'_{cv} - t'_{rv} = 2'$ --- pentru $t'_{cv} - t'_{rv} = 3'$

testate se caracterizează prin aceeași creștere de debit a sistemului de alimentare de $0,277 \text{ m}^3/\text{s}^2$, dar prin modificarea timpului de ridicare-coborîre al vanelor de control al sistemului de golire, de la 2' la 3', creșterea de debit a fost de $0,256 \text{ m}^3/\text{s}^2$ respectiv de $0,171 \text{ m}^3/\text{s}^2$ cu $T_u = 16'15''$ și $T_u = 18'15''$. Oscilogrammele reprezentative sînt prezentate în fig.5.23.

5.4.3. Interpretarea rezultatelor obținute. Concluzii

Comparația între rezultatele experimentale obținute și mărimea forțelor hidrodinamice calculate este prezentată în tabelul 5.15.

Tabelul 5.15

Mod de funcționare	$\frac{dQ}{dt}$		$P_{\text{long.max}}$				diferențe maxime	
			măsurat		calculat			
	umple-re	goli-re	umpl.	goli.	umpl.	goli.	absolute	relative
	m^3/s^2	m^3/s^2	daN	daN	daN	daN	daN	%
convențional	0,277	0,277	1840	1720	1930	1800	+90	+4,6
umplere-golire concomitentă	0,324	0,256	2500	1540	2610	1620	+110	+4,2
umplere și evacuare ulterioară a apei salmastre	0,277	0,256	1710	4510	1830	$\frac{2660}{1320}$	$\frac{+1850}{-190}$	$\frac{+20}{-43}$
	0,277	0,171	1710	3620	1830	$\frac{1900}{3810}$	$\frac{+1520}{+190}$	$\frac{+80}{+4,9}$

Pentru calculul forței hidrodinamice longitudinale exercitate de către curent asupra navei s-a utilizat relația 3.57 pentru umplere-golire concomitentă și 4.27 pentru funcționarea prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval.

S-au obținut următoarele rezultate :

- pentru ecluzele neconvenționale cu dublu circuit hidraulic, cu funcționare prin umplere-golire concomitentă există o deplină concordanță între măsurătorile experimentale și metoda de calcul, abaterile maxime nedeșășind 5 %. Rezultă următoarele constatări :

• mărimea forței hidrodinamice longitudinale exercitate de către curent asupra convoiului înregistrează valori mai mici ca cele determinate de relația 4.27 respectiv 3.57. Deci funcționarea prin umplere-golire concomitentă a unei ecluze nu influențează nefavorabil condițiile de staționare ale convoiului de vase în sasul ecluzei neconvenționale.

• față de cele arătate mai sus, în relația 3.57, de apreciere a condițiilor de staționare în sasul ecluzei neconvenționale cu două

circuit hidraulic, coeficientul de majorare a forței hidrodinamice notat cu γ_s , datorat suprapunerii nefavorabile a funcționării celor două sisteme, poate fi considerat egal cu 1.

- pentru ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic, cu funcționare prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval, rezultatele experimentale obținute permit următoarele concluzii :

- funcționarea unei ecluze neconvenționale prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre majorează forța hidrodinamică longitudinală exercitată de curent asupra convoiului staționat în sas, față de valorile stabilite prin relația 4.37. S-au înregistrat valori mai mari cu 70 % pînă la 80 %.

- singura explicație a acestor forțe înregistrate, care sînt mult superioare celor din regimul convențional, o constituie modul unilateral de acces al apei dulci (prin poarta amonte deschisă), și prezenței vasului în sas, care împiedicînd acest acces înspre partea aval al sasului, impune o pantă hidraulică relativ mare în perioada deschiderii vanelor sistemului de golire. În perioada închiderii vanei, datorită forțelor de inerție, înclinarea se va produce în sens invers.

- apare deci ca o necesitate corectarea relației 4.27 printr-un coeficient de majorare al forțelor hidrodinamice, datorită funcționării unei ecluze neconvenționale prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval. Conform rezultatelor experimentale obținute acest coeficient poate fi de 1,75 sau chiar 2.

- introducerea forței hidrodinamice datorate vitezei curentului din relația 4.28, se dovedește deci insuficientă pentru aprecierea corectă a condiției de staționare a convoiului în sasul ecluzei în perioada evacuării apei sărate în bieful aval.

- rezultatele obținute, sugerează necesitatea însurării creșterilor de debit (a alimentării prin poarta amonte deschisă și a evacuării prin sistemul longitudinal de golire) în relația de apreciere a condițiilor de staționare a convoiului. În felul acesta, creșterile de debit fiind egale, de fapt relația 4.27 va fi amendată printr-un coeficient de majorare egal cu 2.

Deci condiția 4.28 corectată devine :

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{t=0, \text{ admis}_3} \leq \frac{P_{\text{admis sas}} \cdot g (\Omega - \alpha_c)}{\gamma_s \cdot \psi_s \cdot D} \quad (4.28')$$

unde : coeficientul de majorare a forței hidrodinamice $\gamma_s = 2$.

Rezultatele calculelor efectuate cu relația 4.28' arată o bună concordanță cu mărimile măsurate pe modelul hidraulic (valorile din tab.5.15 situate la numitor).

CONCLUZII GENERALE.CONTRIBUȚII

6.1. Asupra modalităților de salinizare a canalelor navigabile cu ieșire la mare :

- mecanismul de pătrundere a apei sărate în canalele navigabile cu ieșire la mare, diferă după cum canalele sînt situate sub cota nivelului mării sau mai sus decît nivelul mării.

- intensitatea maximă a fenomenului, se înregistrează la canalele situate sub cota nivelului mării ; principalele modalități de salinizare fiind : directe prin descîrcarea apei salmastre din sas în canal în perioada de golire a sasului și indirecte prin refularea apei din sas în canal, mai ales la intrarea navelor din canal în ecluză.

- în cazul canalelor amplasate mai sus decît nivelul mării, scara de producere a fenomenului este mult mai redusă, iar principalul mod de salinizare rămîne doar cel indirect prin refularea apei din sas în canal, la intrarea navei în ecluză.

- rezultă o concluzie deosebit de importantă și anume: pentru ambele situații pentru a preîntîmpina mijloacele de salinizare indirectă, este necesar ca salinitatea volumului de apă care pătrunde în mod inerent în canalul navigabil prin procesul de ecluzare, să corespundă condițiilor de protecție antisalină impuse de folosințele complexe ale canalului.

- regimul de pătrundere a apei sărate în apa dulce, se asimilează cu mișcarea relativă a două fluide de densități diferite. în funcție de mărimea zonei de amestec care se formează la interfața de separație a celor două fluide, mișcarea relativă definită mai sus se poate desfășura în regim laminar, tranzitoriu sau turbulent (prin analogie cu mișcările din hidraulica fluidelor). Pentru a evidenția aceste regimuri de mișcare, se introduce criteriul vitezei relative de mișcare a celor două fluide de densități diferite; pentru regimul tranzitoriu de mișcare se propune o expresie a vitezei limite relative.

6.2. Procedee de prevenire și combatere a salinizării canalelor navigabile :

- procedeele de combatere a salinizării canalelor navigabile sînt de dată recentă, și s-au aplicat pentru prima dată pe litoralul nord-vest european pentru ecluzele existente. Pentru prevenirea modalităților de salinizare indirecte, ele au constat din : curenți continui de apă dulce generați în mod artificial, captarea apei sărate în fose construite pe fundul canalului, instalarea unor bariere de aer comprimat etc., toate dovedindu-se nesatisfacătoare și în același timp extrem de costisitoare. Pentru combaterea salinizării directe a canalelor, s-a prevăzut golirea sasului în bazine intermediare și re pompa-rea apei în mare.

• metodele actuale constau din utilizarea unor ecluze prevăzute cu două circuite hidraulice, unul de apă dulce iar celălalt de apă sărată care îndeplinesc pe lângă funcția de ecluzare și funcția de separare a apei sărate. Sînt prevenite astfel atît modalitățile de salinizare directă cît și cele indirecte. Aceste ecluze au primit denumirea de neconvenționale și s-au aplicat pînă în prezent pentru canale situate sub nivelul general al mării.

• elementul esențial în funcționarea unei ecluze neconvenționale este punerea în legătură a celor două biefuri prin intermediul circuitelor ecluzei.

• pentru cazul canalelor situate deasupra nivelului mării, ecluzele neconvenționale devin și mai favorabile, deoarece pot evacua gravitațional apa sărată în bieful aval, eliminînd astfel bazinele subterane intermediare și stațiile de pompare, necesare în situația canalelor aflate sub nivelul mării.

• pentru litoralul românesc se propun două soluții originale de combatere a salinizării canalului Dunăre-M. Neagră: printr-o ecluză neconvențională cu dublu circuit hidraulic funcționînd după principiul umplerii-golirii concomitente amplasată la Agigea, și o ecluză neconvențională cu un singur circuit hidraulic funcționînd după principiul umplerii normale și evacuării ulterioare a apei salmastre în bieful aval, amplasată la Năvodari pe ramura Poarta Albă-Năvodari-Midia.

6.3. Protecția antisalină a canalelor navigabile prin ecluze neconvenționale

• introducerea unor condiții limitative privind salinitatea apei canalului, impune o condiție restrictivă pentru salinitatea realizată în sasul ecluzei neconvenționale. Această valoare limită definește regimul hidraulic de funcționare al ecluzei. Se introduce deci noțiunea de salinitate medie admisă realizabilă în sasul ecluzei prin procesul de funcționare al unei ecluze neconvenționale.

• pentru stabilirea salinității admise, realizabile în sasul ecluzei, s-au propus două metode de calcul. Prima metodă nu consideră posibilitatea tranzitării în lungul canalului a unui debit permanent de apă dulce. Chiar și în această ipoteză care nu este cea reală, a rezultat că salinitatea limită în sasul ecluzei poate depăși limita admisă pentru apa canalului. A doua metodă de calcul bazată pe ipoteza reală a existenței unui anumit debit de apă dulce, chiar dacă acest debit se rezumă la cel necesar compensării pierderilor de apă din bief prin procesul de ecluzare, scoate în evidență o situație mult mai favorabilă: salinitatea limită din sasul ecluzei rezultă de două chiar de trei ori mai mare ca în situația precedentă și deci o creș-

tere corespunzătoare a capacității de trecere a ecluzei. mbele metode evaluează salinitatea medie care se realizează în canal, iar prin numărul ecluzărilor, introduc în relațiile de calcul variabila timp. Deoarece metodele necesită utilizarea calculatoarelor, se propun și relații de calcul expeditiv utilizabile în calculele preliminare.

- distribuția salinității în profilul longitudinal al canalului rezultă de tip hiperbolic, și va depinde de viteza de propagare a apei salmastre și de timp prin numărul ecluzărilor. Metodele de calcul propuse în cele două ipoteze enunțate mai sus, permit determinarea în orice secțiune a canalului (secțiunile de priză ale folosințelor), a creșterii maxime a salinității față de valoarea medie, datorate distribuției sale în lungul canalului. Pe lângă metodele exacte care necesită un calcul automat, s-au dedus și relații expeditiv de calcul a distribuției salinității.

- deoarece, metoda de investigație a salinității în diferitele secțiuni ale canalului se bazează pe determinarea unor valori medii, va fi necesară o reevaluare a condiției limitative impuse salinității apei canalului, în sensul corectării ei prin creșterea de salinitate datorate distribuției acesteia în lungul canalului.

6.4. Supra ecluzelor neconvenționale cu dublu circuit hidraulic :

- ecluzele neconvenționale cu dublu circuit hidraulic constituie unicul mijloc de apa are antisalină a canalelor navigabile atât în cazul situării lor sub nivelul mării cât și deasupra nivelului mării.

- în cazul canalelor situate deasupra nivelului mării, ecluzele neconvenționale trebuie să folosească această situație favorabilă putând evacua apa sărată direct în bieful aval în mod gravitațional. Prevederea de bazine subterane intermediare și stații de pompare, în acest caz nu se justifică din punct de vedere economic.

- modul de funcționare al unei ecluze neconvenționale cu dublu circuit hidraulic s-a denumit : umplere-golire concomitentă.

- ecuația diferențială a sarcinii ecluzei în perioada umplerii-golirii concomitente, nefiind integrabilă direct necesită o rezolvare prin diferențe finite și programare la calculator.

- pentru ecluzele neconvenționale amplasate pe canale navigabile situate sub cota nivelului mării, evacuarea apei sărate într-un bazin subteran intermediar, nu reduce timpul total de umplere (comparativ cu o ecluză asemănătoare din punct de vedere a parametrilor hidraulici de funcționare, dar care fiind amplasată pe un canal navigabil situat deasupra nivelului general al mării, evacuează apa sărată în mod gravitațional direct în bieful aval), deoarece nu se poate

valorifica sarcina inițială sporită a sistemului de golire, datorită condițiilor restrictive impuse de prezența vasului în sas în perioada de funcționare a ecluzei.

• analiza mișcării nepermanente a apei prin sistemele distribuite de alimentare, respectiv golire, impusă de necesitatea evacuării unui anumit volum de apă salmastră a scos în evidență neuniformitatea debitelor în lungul sasului. Rezolvarea ecuației mișcării nepermanente, în primele momente ale umplerii-golirii când forțele de inerție devin preponderente, permite stabilirea parametrilor de reducere a neuniformității debitelor de acces. Spre deosebire de ecluzele clasice, posibilitățile constructive de reducere a neuniformității debitelor sînt limitate de necesitatea evacuării apei salmastre de pe toată lungimea sasului. Pentru calcule expeditivă se propun metode aproximative de rezolvare a ecuației mișcării nepermanente în ipoteza neglijării forțelor de frecare.

• condițiile de staționare ale navelor în porturile de așteptare și în sasul ecluzei în perioada umplerii-golirii concomitente, constituie ca și la ecluzele convenționale, criterii de limitare a regimului hidraulic caracterizat prin creșterea de debit maximă. Așa cum a rezultat din măsurătorile experimentale efectuate, suprapunerea ambelor sisteme nu influențează nefavorabil mărimea forței hidrodinamice longitudinale exercitate de curent asupra navei.

• regimul de pătrundere a apei dulci peste apa sărată în perioada umplerii-golirii, trebuie să se desfășoare în domeniul regimului tranzitoriu de mișcare relativă a două lichide de densități diferite. În felul acesta se limitează mărimea zonei de amestec a celor două lichide. Realizarea regimului tranzitoriu este importantă doar în primele momente ale umplerii, după ce s-a evacuat o anumită cantitate de apă sărată, regimul poate deveni turbulent. S-a definit în felul acesta o condiție suplimentară, corespunzătoare regimului tranzitoriu de mișcare, care limitează creșterea de debit maximă a sistemului de alimentare.

• pentru a defini în totalitate regimul de funcționare al unei ecluze neconvenționale, a fost necesară determinarea volumului de apă salmastră care se evacuează în bieful aval, pentru ca în sas să se realizeze o anumită salinitate. Volumul evacuat va depinde de salinitatea medie admisă în sas prin adîncimea remanentă, și de regimul hidraulic de mișcare al apei dulci prin adîncimea zonei de amestec. Mărimea adîncimii remanente este invariabilă în timp, datorită necesității impuse de automatizarea echipamentelor hidromecanice de comandă a vanelor sistemelor hidraulice. S-a dedus o relație de tip exponențial între adîncimea zonei de amestec și creșterea maximă de debit

a regimului hidraulic de funcționare.

• toate relațiile de calcul deduse pentru ecluzele neconvenționale cu dublu circuit hidraulic, cu funcționare prin umplere-golire concomitentă, au fost verificate pentru cazul concret al ecluzei Agigea. A rezultat :

- ecluza Agigea în varianta cu două circuite hidraulice, asigură o protecție antisalină a canalului Dunăre-Marea Neagră, deosebit de eficientă. Practic, utilizarea ecluzei poate avea loc nelimitat (ca număr de ecluzări), fără ca în canal să se atingă salinitatea limită impusă de folosințele conexe ale canalului ;

- pentru reducerea la maxim a timpului total de ecluzare și deci sporirea capacității de trecere a ecluzei, este necesară adoptarea unui regim de funcționare cât mai apropiat de cel maximal stabil în funcție de necesitățile de protecție ale canalului ;

- regimul de funcționare se determină pentru situația cea mai frecvent întâlnită în exploatarea unei ecluze (niveluri normale de exploatare respectiv căderea normală la ecluză, și ecluzare în prezența vasului în sas), celelalte situații fiind întâmplătoare și având o pondere redusă, nu pot influența în mod hotărâtor acest regim ;

- regimul hidraulic caracterizat prin creșterea de debit maximă, a fost impus nu de necesitatea realizării regimului tranzitoriu ci de asigurarea condițiilor de staționare a navelor în sas în perioada umplerii-golirii concomitente. Deci, ameliorarea condițiilor de amarare a navelor în ecluză, constituie o rezervă în ceea ce privește îmbunătățirea parametrilor de funcționare ai ecluzei neconvenționale Agigea ;

• cercetările experimentale de laborator s-au efectuat pe modele corespunzătoare condițiilor similitudinii hidraulice $Sh = idem$ și $Fr = idem$.

S-au utilizat diferite scări geometrice de modelare pentru a urmări efectul de scară asupra salinităților realizate pe modele :

- s-au experimentat patru modele plane și două modele spațiale, pe care s-au testat 11 regimuri hidraulice de funcționare ;

- a rezultat o deplină concordanță între rezultatele cercetărilor experimentale și metodele de calcul propuse ;

- prin majorarea volumului de apă evacuat în perioada umplerii-golirii concomitente, se poate realiza o salinitate în sas oricât de redusă, chiar mai redusă ca salinitatea admisă în canal, dar aceasta nu reprezintă o variantă economică de funcționare, deoarece crește foarte mult timpul total de umplere și corespunzător, consumul total de apă dulce. Pentru o funcționare în regim optim din toa-

te punctele de vedere salinitatea realizată în sas trebuie să fie cea corespunzătoare salinității admise la limita ei superioară ;

- deși s-au observat unele tendințe de scădere a salinităților medii în raport cu scara de modelare, se consideră că introducerea unui coeficient de corecție a salinităților măsurate datorat efectului de scară (subunitar) ca neoportună. O confirmare deplină a celor prezentate mai sus necesită măsurători directe în natură (în curs de perfectare pentru primăvara anului 1985) ;

- prelucrarea datelor experimentale obținute, scoate în evidență dependența dintre salinitatea realizată și elementele definitorii ale regimului de funcționare. Relația experimentală rezultată poate fi utilizată în calcule preliminare, ca o condiție complementară pentru determinarea unor elemente ale regimului de funcționare.

- pentru măsurarea salinităților s-au utilizat mai multe metodologii : prin măsurarea densității, prin conductivitate, cu metoda chimică indirectă Kundsens și prin măsurarea rezistenței chimice. Dintre toate metodele testate, metoda chimică indirectă s-a dovedit cea mai convenabilă.

6.5. Asupra ecluzelor neconvenționale cu un singur circuit hidraulic :

• ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic reprezintă o soluție originală de protecție antisalină a canalelor navigabile cu ieșire la mare, aplicabilă doar în cazul situării canalelor deasupra nivelului general al mării :

- față de o ecluză neconvențională cu dublu circuit hidraulic prezintă un important avantaj economic prin suprimarea celui de-al doilea circuit hidraulic ;

- schema funcțională de eliminare (gravitațională) a apei salmastre în bieful aval, utilizând un singur circuit hidraulic, a fost denumită umplere normală și evacuare ulterioară a apei sărate în bieful aval ;

- funcționarea unui astfel de ecluză avînd loc în regim turbulent (deci se acceptă în mod deliberat amestecul total între apa dulce și cea sărată), volumul de apă dulce consumat în procesul unei ecluzări, este mai mare ca în cazul ecluzelor cu dublu circuit hidraulic. În ipoteza unui deficit de apă dulce, consumul de apă dulce prin ecluzare poate constitui un criteriu restrictiv în adoptarea soluției privind tipul de ecluză neconvențională utilizată.

• s-a propus un criteriu determinant bazat pe compararea timpilor totali de umplere a celor două variante de ecluze neconvenționale, criteriu care stabilește avantajul variantei cu timpul total minim. A rezultat că la căderi mici în raport cu adîncimea inițială

de apă în sas (pentru rapoarte mai mici sau cel mult egale cu cca. 0,414), ecluzele cu un singur circuit hidraulic realizează timpi totali de umplere mai reduși sau cel mult egali cu cei realizați de varianta cu dublu circuit hidraulic.

- se propune de asemenea o relație pentru evaluarea preliminară a consumului suplimentar de apă dulce în cazul ecluzelor cu un singur circuit hidraulic comparativ cu varianta cu dublu circuit hidraulic. A rezultat un consum suplimentar teoretic de maxim 29 %.

- funcționarea sistemului longitudinal de golire în perioada evacuării ulterioare a apei salmastre în bieful aval, are loc în regim nepermanent pe perioada de manevră a vanelor de comandă, și în regim permanent pe perioada evacuării debitului maxim. Analiza modului de extragere a apei sărate prin fantele sistemului de golire, a demonstrat că datorită accesului unilateral al apei dulci prin poarta amonte deschisă și a prezenței vasului în sas care împiedică pătrunderea apei dulci în spre poarta aval, fantele din amonte vor debita mai mult ca cele din aval. Experiențele efectuate au arătat în toate cazurile, salinități mai mari în partea aval a sasului, fenomenul accentuându-se când operațiile de evacuare a apei sărate aveau loc în prezența vasului.

- condițiile de staționare ale navelor atât în porturile de așteptare cât și în sasul ecluzei constituie de asemenea criterii de limitare a regimului hidraulic de funcționare al sistemului de umplere respectiv al celui de golire. Aprecierea condițiilor de staționare în sasul ecluzei, pe perioada evacuării apei salmastre în bieful aval, în același mod ca la ecluzele cu funcționare convențională s-a dovedit incorectă. Rezultatele obținute pe modelul hidraulic testat în laborator, prin măsurători ale forței hidrodinamice longitudinale exercitate de către curent asupra navei, au arătat valori mult superioare decât cele scontate pe baza relațiilor de calcul propuse. Aceste valori superioare se explică, prin suprapunerea nefavorabilă a alimentării unilaterale a sasului, cu sistemul de golire din primele momente ale evacuării apei salmastre în bieful aval. Va fi necesară deci însumarea creșterilor de debit ale umplerii și golirii în relația de apreciere a condițiilor de staționare pentru perioada respectivă.

- definirea completă a regimului de funcționare al unei ecluze neconvenționale cu un singur circuit hidraulic s-a realizat prin precizarea volumului total de apă salmastră care se evacuează în bieful aval astfel ca în sas să se înregistreze salinitatea scontată.

- pentru verificarea relațiilor de calcul deduse, exemplele numerice s-au referit la ecluza Năvodari. Calculele comparative s-au

efectuat pentru ambele variante de ecluză neconvențională : cu dublu circuit hidraulic, respectiv cu un singur circuit hidraulic :

- timpii totali de umplere ca și volumele de apă salmastră evacuate în bieful aval pentru cele două variante sînt în concordanță cu criteriile de evaluare propuse.

• cercetările experimentale efectuate în laboratorul catedrei de CHIF asupra unui model care permitea testarea ambelor variante : cu un singur circuit hidraulic prin umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval, și cu două circuite hidraulice funcționînd după același principiu, sau prin umplere-golire concomitentă, au scos în evidență avantajele de necontestat ale primei variante.

• rezultatele experimentale pentru varianta cu un singur circuit hidraulic arată o deplină concordanță cu metodele de calcul propuse.

• accesul apei dulci în procesul umplerii normale, chiar dacă are loc în regim turbulent, păstrează la o scară mai redusă, distribuția pe verticală a salinităților în sasul ecluzei. Concentrarea salinităților maxime la fundul sasului rămîne favorabilă operației următoare de evacuare a apei salmastre în bieful aval.

• manevra concomitentă a porții amonte și a vanelor de control ale sistemului de golire, crează chiar de la începutul punerii în contact direct a celor două biefuli, un curent continuu care împiedică pătrunderea penei saline din sasul ecluzei în bieful amonte, și astfel eventuala perdea de aer comprimat nu mai devine necesară. La sfîrșitul operațiilor de umplere normală și evacuare ulterioară a apei salmastre în bieful aval, poarta amonte fiind deschisă, se reduce astfel timpul total de ecluzare. Această reducere datorîndu-se modului specific de funcționare al unei ecluze neconvenționale cu un singur circuit hidraulic, va fi atribuită timpului total de umplere.

• pentru reducerea la maxim a timpului total de umplere și a volumului de apă dulce consumat în procesul ecluzării, salinitatea care se realizează în sas trebuie să corespundă la limita superioară a valorii admisibile. Se realizează astfel majorarea capacității de trecere a ecluzei respectiv a traficului canalului.

6.6. Contribuții

Prezenta lucrare a rezultat în baza cercetărilor întreprinse asupra combaterii salinizării canalului Dunăre-Marea Neagră, și a ramurii Poarta Albă - Midia - Năvodari aflată actualmente în construcție. Rezultatele cercetărilor și studiilor întreprinse cu această ocazie, au fost prezentate parțial prin publicarea în reviste de specialitate /5,46,47,48/, s-au au fost comunicate în cadrul unor manifestări științifice. Pe lângă de aceste rezultate, în lucrare se propun unele studii și metode noi de calcul care încearcă rezolvarea deplină a problemelor ridicate de funcționarea hidraulică a ecluzelor neconvenționale în general, și cu particularitățile aplicării acestora în cazul litoralului românesc. Dintre aceste cele mai importante sînt:

- definirea regimurilor de mișcare relativă a două lichide de densități diferite ; delimitarea regimurilor prin criteriul vitezei relative limită ; utilizarea acestor regimuri în analiza hidraulică a funcționării ecluzelor neconvenționale, atît a celor cu dublu circuit hidraulic cît și a celor cu un singur circuit hidraulic.

- definirea noțiunii de salinitate medie admisă a apei salmastre din sasul unei ecluze neconvenționale, realizabilă în urma funcționării hidraulice a ecluzei respective, alături de noțiunea de salinitate medie admisă a apei canalului navigabil impusă de folosințele consumatoare de apă preconizate ; determinarea unei dependențe între aceste salinități limită în diferitele ipoteze de funcționare ale canalului navigabil ; relația de dependență rezultată, scoate în evidență faptul că salinitatea admisă în sas poate depăși substanțial salinitatea admisă din canal, chiar în cele mai defavorabile ipoteze de funcționare ale canalului navigabil, cu consecințe favorabile asupra îmbunătățirii parametrilor de funcționare ale ecluzelor neconvenționale.

- metode de prognozare a variației salinității medii a apei canalului în timp și a distribuției salinității în profilul longitudinal al canalului, care permit evaluarea curbei de distribuție a acestor salinități în orice secțiune de priză a folosințelor propuse.

- definirea regimului de funcționare hidraulică a unei ecluze neconvenționale prin introducerea noțiunii de volum de apă salmastă necesar de a fi evacuat, impus de mărimea salinității admisibile din sasul ecluzei ; relații de calcul a acestui volum pentru ambele tipuri de ecluză neconvențională ; verificarea acestora în baza rezultatelor experimentale din laborator.

- rezolvarea prin metode numerice și programare la calculator, a ecuației diferențiale a sarcinii pentru ecluzele neconvenționale care funcționează după principiul umplerii-golirii concomitente în ambele variante de amplasare a canalelor navigabile față de nivelul general al mării, și cu introducerea unor condiții restrictive impuse de asigurarea staționării navelor în procesul de ecluzare.

- un criteriu suplimentar de limitare a regimului hidraulic de funcționare a unei ecluze neconvenționale cu dublu circuit hidraulic, dedus din necesitatea asigurării pătrunderii apei dulci în sasul ecluzei în regim tranzitoriu din primele momente ale umplerii-golirii concomitente; în felul acesta rezultă o limitare a extinderii zonei de amestec în procesul funcționării ecluzei.

- metode numerice de rezolvare a ecuației mișcării nepermanente prin orificiile sistemului longitudinal de umplere respectiv golire ; programarea acestor metode la calculator ; metode expeditiv de rezolvare în ipoteza neglijării influenței forțelor de rezistență hidraulică valabile în primele momente ale umplerii ecluzei.

- introducerea unui criteriu selectiv preliminar, determinat de timpul total de umplere minim pentru cele două tipuri de ecluze neconvenționale propuse în cazul canalelor navigabile situate deasupra nivelului mării.

- cercetări experimentale pentru metodologiile de calcul noi ; prelucrarea statistică și informațională a acestora ; deducerea a două relații între elementele definitorii ale regimului de funcționare ale unei ecluze neconvenționale cu dublu circuit hidraulic, relații bazate pe măsurătorile efectuate în laborator și care completează metodologia de calcul a acestor ecluze ; completarea relației de apreciere a condițiilor de staționare a navelor în sasul ecluzei în perioada evacuării apei salmastre în bieful aval, pentru ecluzele neconvenționale cu un singur circuit hidraulic, funcționând după principiul umplerii normale și evacuării ulterioare a apei salmastre în bieful aval.

- programe de calcul automat pentru toate metodele de calcul mai laborioase propuse ; relații expeditiv de calcul pentru aceste metode, utilizabile în calcule preliminare și verificarea lor pentru cazul concret al litoralului românesc.

N O T A T I I

- A - secțiunea orizontală a sasului ecluzei
a - secțiunea totală a galeriilor sistemului de umplere
 a_0 - secțiunea de control în dreptul vanelor sistemului de umplere (indicele prim se referă la sistemul de golire)
 B_s - lățimea sasului
b - lungimea orificiilor sistemului longitudinal de umplere
c - concentrarea salină (salinitatea) a apei (indicele c se referă la canal, s la sas, m la mare)
 Δc - spor de salinitate
 \bar{c} - viteza de deplasare relativă a două lichide de densități diferite
D - deplasamentul navei (convoifului de nave)
E - energie
Er - numărul lui Froude
 E_{rup} - forța de rupere a parîmei
g - accelerația gravitațională
H - adâncime de apă (indicele o se referă la cădere, am la zona de amestec, r la adâncimea remanentă, s adâncimea din sas la nivelul biefului avaj)
 h_i - pierderi de sarcină inerțiale
 h_{loc} - pierderi de sarcină locale
 h_{long} - pierderi de sarcină longitudinale
i - număr curent de ecluzări
 i_v - panta longitudinală a suprafeței de apă din sas
j - secțiune curentă de calcul
k - moment curent de calcul
 k_r - factor de reducere al forței de pretensionare din parîmă
L - lungime (indicele c se referă la canal, s la sas, alim. la sistemul de alimentare, gol. la sistemul de golire)
l - distanța de amplasare a orificiilor sistemului de golire
m - numărul secțiunilor de calcul
n - numărul total de ecluzări (indicele p număr total de parîme, v număr de vase)
P - forța (indicele adm, admisă în parîmă, long, hidrodinamică longitudinală exercitată de curent asupra vasului, v datorată vitezei curentului)
p - presiune
Q - debit lichid (indicele afl. al sistemului de umplere, efl. al sistemului de golire, N natură, m model)
 dQ/dt - creștere de debit
 q_i - debitul orificiului de ordinul "i"
 \bar{q} - debit specific
R - rezistența la înaintare
Re - numărul Reynolds
S - scara de modelare (l scara lungimilor, F a forțelor, Q a debitelor, t a timpului, v a vitezelor)

- Sh - numărul Strouhal
 s - secțiunea orificiului sistemului de umplere
 $\sum s$ - secțiunea totală a orificiilor
 T - timp total de ecluzare (indicele ev - de evacuare, u - total de umplere)
 t - timp curent (cp - de coborîre a porții amonte, cv - de coborîre vană, rp - ridicare a porții amonte, rv - de ridicare vană, indicele prim se referă la aval)
 Δt - interval de timp de calcul
 t_0 - timp de propagare a apei sărate
 u - viteză transversală
 V - volum de apă al canalului (ev , evacuat, afl. al sistemului de alimentare, efl. al sistemului de golire, c_1 consumat pentru un singur circuit hidraulic, c_2 pentru dublu circuit hidraulic)
 ΔV - volum consumat într-o ecluzare curentă
 \bar{v} - viteză relativă
 y - sarcină curentă de calcul
 z - cotă relativă
 α - unghiul din planul orizontal al direcției parimei
 β - unghiul din planul vertical al direcției parimei
 γ - greutatea specifică a apei
 ζ - coeficient de instalare a forței hidrodinamice
 ξ - factor de reducere al forței hidrodinamice
 η - coeficient de racordare (se referă la porturile de așteptare)
 ν - coeficient de corecție datorat funcționării concomitente a celor două sisteme
 μ - coeficientul de debit al sistemului de umplere (indicele prim se referă la cel de golire)
 ρ - densitate
 $\Delta \rho$ - spor de densitate datorat salinității
 Σ - coeficient al pierderilor de sarcină
 Ω - cupla maestră a navei (indicele c se referă la convoi)
 Ω_p - secțiunea transversală a portului

ABREVIERİ DE CALCUL

$$c_r = \frac{c_s}{c_m} ; d = \frac{D}{V} ; d_o = \frac{D}{A(H_s + H_o)} ; d_s = \frac{D}{A \cdot H_s} ;$$

$$h = \frac{H_o}{H_s} ; h_o = \frac{H_o}{H_o + H_s} ; h_r = \frac{H_r}{H_o + H_s} ; h_s = \frac{H_s}{H_o + H_s} ;$$

$$h_{\text{relativ}} = (1 - d_s) \frac{H_s}{H_o} ; v = \frac{\Delta V}{V} ; X = \frac{\Delta q_1}{\Delta q_1} ;$$

$$\lambda = \frac{L_{\text{alim}}}{n(n-1) \cdot \frac{a}{\sum s}} ; \delta = \frac{3h + 1}{2h + \sqrt{2}} ;$$

$$\nu = \frac{2h + 1}{h + 1} ; Z = (1 - d)(1 - v) ;$$

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{\text{relativ}} = \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{\text{max}} \cdot \frac{T_{ev}^2}{V_{ev}} ;$$

BIBLIOGRAFIE

1. Abraham, G., Van der Burgh, P., De Vas, P. - Pneumatic barriers to reduce salt intrusion through locks (l. engleză). In Rijkswaterstaat communications nr. 17/1973
2. Arhanghelschi, V., A. - Raschiotî neustanovivşegosia dvijenja v otkrîtih vodotokah (l. rusă) Moscova-1974
3. Bacernihin, V., I. - Pastroenie matematiceski modeli prodolnovo dvijenja şliuzuiuşegosia sudna (l. rusă). In Izd. Leningrad nr. 117-124-1975
4. Bars, M., Khales, I. - Note sur le calcul des forces auxquelles sont soumises les amarres d'une navire en presence d'une serche (l. franceză). In XX-e Congres International de Navigation - Baltimore - 1951
5. Bală, M., Dan, ..., Bîcov, A. - Canal Dunăre-Marea Neagră. Sinteza cercetărilor hidraulice. In Studii şi cercetări de hidraulică Buletin I.C.H. nr. XXIX/1982
6. Bîcov, A. - Studiul hidraulic al porturilor de aşteptare prin metoda translaţiei liniare a undelor. Simpozion naţional. Probleme actuale în gospodărirea apelor. Volum 1/1982
7. Bîrglăzan, A., Smigelschi, O. - Studiul unui canal navigabil Cernavodă-Constanţa. In Cartea Românească - 1929
8. Blokland, F., I. - New filling and emptying systems. In XXI-and International Navigation (l. engleză) Congres, section 1. Paris - 1969
9. Bogomolov, A., I., Mihailov, K., A. - Ghidravlika (l. rusă) Moscova-1972
10. Boucher, A., Fourrey, F. - Cours de navigation intérieure (l. franceză) Paris - 1954
11. O'Brien, T., J. - Forces induced on a large vessel by surge (l. engleză). In A.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1968
12. Brown, F. - End filling and emptying systems for locks (l. engleză) In A.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1964
13. Brown, F. - Model studies of sector gate type locks (l. engleză). In A.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1958
14. Burpee, L. - Canadian section of the St. Lawrence seaway (l. engleză) In A.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1960
15. Buzdugan, Gh. - Măsurarea vibraţiilor mecanice. Bucureşti - 1964
16. Buzdugan, Gh. - Tensometrie rezistivă. Bucureşti - 1966
17. Catedra CHIF - Studii şi cercetări hidraulice pentru ecluza bifurcului de partaj al canalului Dunăre-M. Neagră în varianta cu bazine economizoare. Contract nr. 6375/1974
18. Catedra CHIF - Studiul preţului de cost pe relaţia Agigea-Călăraşi în diferite variante de alcătuire a caili şi a flotei. Contract nr. 11134/1974

19. Catedra CHIF - Studii și cercetări hidraulice pe model în zona nodului hidrotehnic Murfatlar.Contract nr.37/1975
20. Catedra CHIF - Studii și cercetări hidraulice pe model în zona nodului hidrotehnic Murfatlar.Contract nr.1/1976
21. Catedra CHIF - Elemente de sinteză privind cercetările efectuate pentru canalul Dunăre-Marea Neagră - 1976
22. Catedra CHIF - Studii și cercetări hidraulice privind ecluza Agigea, inclusiv combaterea salinizării.Contract nr.45/1977
23. Catedra CHIF - Studiul efectului de scară asupra gradului de salinizare a apei ca urmare a funcționării ecluzei Agigea. Contract nr.149/1978
24. Catedra CHIF - Cercetări experimentale privind navigația convoaielor împinse în zona ecluzelor și porturilor de așteptare, inclusiv trecerea convoaielor prin ecluza Cernavodă cu porțile deschise.Contract nr.156/1978
25. Catedra CHIF - Studiu de sinteză privind eforturile în parâmele de legare ale convoiului de calcul pentru canalul Dunăre-Marea Neagră.Contract nr.3703/1979
26. Catedra CHIF - Cercetări experimentale cu privire la limitarea fenomenelor hidrodinamice cauzate de funcționarea în regim tranzitoriu a evacuatorilor de ape mari și a hidrocentralelor în porturile de așteptare ale ecluzei Agigea.Contract nr.56/1980
27. Catedra CHIF - Studiu privind experimentarea la scară naturală a convoaielor de calcul.Contract nr.219/1981
28. Catedra CHIF - Studiul comparativ al prevenirii salinizării apei în dreptul ecluzei Năvodari, prin eliminarea gravitațională a apei sărate direct în bieful aval, sau prin evacuare în bazine subterane și pompare.Contract nr.188/1984
29. Catedra de gospodărirea apelor și porturi-Institutul de Construcții Moscova - Isledovania ghidravlicheskogo rejima i uslovii otstoia sudov v podhodnîh k şliuzam canalah (l.rusă).Moscova 1972
30. Carothers, H., P. - Design of inlets for Texas coastal fisheries (l.engleză).In A.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1960
31. Carr, M., Graw - Investigation of ship (l.engleză).In Moorings forces U.S. Bureau of Jards and Docks - 1953
32. Cazacu, C. - Programare în limbajul Fortran, calculatorul Felix C-256 Iași - 1958
33. Certousov, M., D. - Hidraulică - curs special (traducere din l.rusă) București - 1966
34. Cioc, D. - Hidraulică . București - 1975
35. Cioc, D. - Mecanica fluidelor . București - 1966

36. Ciugaev, R., P. - Ghidravlika (l.rusă) Leningrad - 1971
37. Cunge, I., A. - Integration numerique des equations d'écoulement de Barré de Saint Vénant par un schéma implicite de différences finies. In La Houille Blanche nr.1/1964
38. Dan, E. - Căi navigabile interioare. Editura I.P.Timișoara - 1980
39. Dan, E. - Considerații referitoare la stabilirea efortului admisibil în parîma de amarare a vaselor în sasul ecluzei. In Buletin I.C.București - 1971
40. Dan, E. - Contribuții la hidrodinamica ecluzelor cu alimentare frontală. Teză de doctorat - 1972
41. Dan, E. - Introducere în metoda de calcul a ecluzelor. In Hidrotehnica nr.7/1962
42. Dan, E. - Indrumător de proiect pentru căi navigabile interioare. Editura I.P.Timișoara - 1984
43. Dan, E. - Probleme pe care le ridică asigurarea staționării convoaielor împinse de mare gabarit în ecluze și porturi de așteptare. Simpozion național. Probleme actuale în gospodărirea apelor. Volumul 11/1982
44. Dan, E., Bîcov, A. - Cercetări experimentale cu privire la navigația convoaielor împinse în porturile de așteptare. In Buletin I.P.Timișoara - 1978
45. Dan, E., Bîcov, A. - Configurația și dimensiunile suprafeței de apă ale porturilor de așteptare la ecluze. In Hidrotehnica nr.7/1978
46. Dan, E., Bîcov, A. - Metodă eficientă pentru prevenirea salinizării canalelor ecluzate situate deasupra nivelului mării. In Volumul comunicărilor științifice de la Institutul de învățămînt superior Constanța - 1981
47. Dan, E., Bîcov, A. - Prevenirea salinizării canalului Dunăre-Marea Neagră prin funcționarea în dublu circuit hidraulic al ecluzelor. In Buletin I.P.Timișoara - 1978
48. Dan, E., Bîcov, A. - Prevenirea și combaterea salinizării canalelor navigabile cu ieșire la mare. In Hidrotehnica nr.1/1981
49. Dan, E., Bîcov, A. - Navigația convoaielor prin ecluza cu porțile deschise la diferențe de nivel reduse între biefuri. In Buletin I.P.Timișoara - 1978
50. Dan, E., Bîcov, A. - Staționarea convoaielor în porturile de așteptare a unei ecluze. In Buletin I.P.Timișoara - 1979
51. Dan, E., Bîcov, A. - Stabilirea circulației convoaielor în șenal limitat cu aplicație la canalul Dunăre-Marea Neagră. Simpozion Național. Probleme actuale în gospodărirea apelor. Volumul 1-1982
52. Dan, E., Bîcov, A. - Studii privind navigația convoaielor prin ecluza Cernavodă cu porțile deschise. In Buletin I.P.Timișoara-1979

53. Dean, G., R. - Long wave modification by linear transitions (l. engleză). in A.S.C.E. Waterways and Harbors Division. - 1964
54. Dehnert, H. - Schleusen und Heberwerke (l. germană) Berlin - 1954
55. x x x Der Seekanal von Brüssel in Jahre 1976 (l. germană). in Transport nr. 27/1977
56. De Vas, F., J. - New filling - and emptying systems (l. engleză). in XXII-and International Navigation Congress, Section 1 - Paris 1969
57. x x x Donau-Schwarzmeer-kanal wird Wirklichkeit (l. germană). in Binnenschiffahrts-Nachr nr. 29/1975
58. Dorn, W., S. - Metode numerice cu programare în iortran (traducere din l. engleză) București - 1974
59. Dorofeev, V., V. - Opredelenie coeficientov saprativlenia plaskogo zatvora vodaprovodnoi galerii sudohodnogo şliuza pri neustanavivşetsia tecenii (l. rusă). in Iz. Leningrad nr. 158/1977
60. Dumas, E. - La navigation dans la traversee de Douai et la reconstruction de l'ecluse de Dorignies (l. franceză). in Travaux - 1961
61. Elder, R., A. - Tva's multiport lock filling and emptying sistem (l. engleză). in A.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1964
62. x x x Fertigstellung des Cernavodă-Constanza Kanales (l. germană) In Schiffahrt und Strom nr. 69-70/1979.
63. Fortsan, E., P. - Navigation model studies of New Ohio river locks in A.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1960
64. Fränkel, D. - Traductoare galvanometrice Timișoara - 1973
65. Giauffret, G. - Le raccordement du port Dunkerque au canal a grand gabarit et le prolargement du bassin maritime. in Travaux-1967
66. Godunov, S., K. - Scheme de calcul cu diferențe finite (traducere din l. rusă) București - 1977
67. Grave, E., F. - Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice (traducere din l. engleză) București - 1966
68. Grişin, M., M. (redactor) - Volga-Don (l. rusă) Moscova vol. 1/1957.
69. Guerrini, P. - Sur le calcul des ondes de translation dans les canaux prismatiques (l. franceză). in L'Energie Electrica nr. 2 1958
70. Halturin, A., Onipcenko, G. - Exploatația parnîh şliuzov (l. rusă) In Recinoi transport nr. 9/1960
71. Henckamp, H. - Beitrag für Berechnung von Schleusenkamer (l. germană). in Die Bautechnik nr. 6/1964
72. Hanggi, W. - L'écluse de Birstelden, qui commande l'accès aux ports de Bale-Campagne est équipée d'un 2 sas (l. franceză). in Rev. navig. fluv. eur. nr. 11/1979
73. Ionescu, D., T. - Analiza apelor București - 1968

74. Iulian, J. - Măsurarea expeditivă a salinității apelor. In Hidrotehnica nr.3/1979
75. I.S.P.H. - Hidraulica ecluzei Agigea. Incercarea pe model a detaliilor sistemului de alimentare cu dublu circuit și folosirea ecluzei ca descărcător. Referat final - 1978
76. Kacianovski, I., I. - Ghidravlika sudohodnih şliuzov (l.rusă). Moscova - 1961
77. Kahn, F., V. - Zadaci uprovljenie vînujdenimi colebaniani v proťese napolnenia camerî şliuza (l.rusă). In Iz. Leningrad nr. 82-92 - 1975
78. Kalic, C. - Ecuații cu derivate parțiale. București - 1980
79. Karasin, M., A. - O vîbore ghidravlicheskogo regima şliuza po usloviam otstoia sudov (l.rusă). In VNIIG nr.7/1972
80. Kireakov, S. - Dapustimie scorosti dvijenja sudov v şliuzah (l.rusă). In Recinoi transport nr.8/1975
81. Kiseliov, P., G. - Indreptar pentru calcule hidraulice (traducere din l.rusă) București - 1960
82. Kolosov, M., A. - Spasob umenşenia zasolenia limana pri propuske v nego sudov so staronî moria (l.rusă). In Iz. Leningrad - 1978
83. Kuhr, R. - Die Schleusen des Main-Donau-kanals (l.germană). In Der Bauingenieur nr.5/1971
84. x x x La pratique americaine pour la conception des systemes de remplissage et de vidange des écluses (l.franceză). In XIX-e Congres International de Navigation, Section 1. Londra - 1957
85. Larsen, I. - Pneumatic barrier against salt water intrusion (l.engleză). In A.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1960
86. Lealikov, I., S. - Metode fizico-chimice de analiză (traducere din l.rusă) București - 1960
87. Leclercq, R. - XXII-e Congres International de Navigation, Section 1 (l.franceză) Paris - 1969
88. x x x Le complexe d'écluses du Volkerak (l.franceză). In Rev. navig.fluv.eur.nr.7/1977
89. Loiţianskii, P., G. - Mehanika jidkosti i gaza (l.rusă) Moscova 1973
90. Loubaton, M. - Les grandes ecluses du canal d'Alsace sur le Rhin (l.franceză). In Construction nr.3/1960
91. Loubaton, M. - Progrès dans l'hydraulique et la technique de construction des grandes écluses du canal d'Alsace (l.franceză) In Construction nr.3/1969
92. Manoliu, I. - Regularizări de râuri și căi de comunicație pe apă București - 1973

93. Mateescu, C. - Hidraulică . București - 1963
94. Melcanian, G., I. - Vlianie sil inerției po vremia vîrovnivanie urovnei v camerah sudohodnih șliuzov (l.rusă). In Iz.Leningrad nr.158/1977
95. Mihailov, A., V. - Galovnie sistemî pitania sudohodnih șliuzov i ih rasciot (l.rusă) Moscova - 1951
96. Mihailov, A., V., Onipcenko, G., F. - Ghidrodinamicescoe davlenie neustanovivșegosia patoka v canalah na zasealenie v niti suda (l.rusă). In XXIV-e Congres International de Navigation - 1971
97. Mihailov, A., V. - O neustanovivșego dvijenii vodî v camerah șliuzov i ego vlianii na uslovia ostoia sudov (l.rusă) Moscova - 1959
98. Mihailov, A., V. - O ghidrodinamiceskih silah, deistvuișcih na suda v podhodnih canalah șliuzov, i vizîvaemih imi usileah v pricialnih trasah (l.rusă). In Iz.Moscova nr.11/1976
99. Mihailov, A., V. - Sudohodnie șliuzî (l.rusă) Moscova - 1966
100. Mihailov, A., V. - Vnutrenie vodnie puti (l.rusă) Moscova - 1973
101. Mozoyeni, B. - Propagation of flood waves in open channels (l.engleză). In A.S.C.E. The Hydraulics Divison - 1959
102. Muser, R. - Schleusenfüllung unter Berücksichtigung mittlerer und momentaner - Beiwerte am Beispiel des Schleuse Leerstellen (l.germană). In Die Bautechnik nr.4/1974
103. O'Neill, W., A. - The welland canal (l.engleză). In A.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1958
104. Nelson, M., E. - Filling and emptying systems for locks (l.engleză). In A.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1964
105. Negoitã, C., V. - Măsurători electronice în industrie București - 1964
106. Nicolescu, M. - Funcții reale și elemente de topologie București - 1968
107. Nicolau, P. - Asigurarea navigației la ieșirea Dunării în Marea Neagră. In Buletin AGIR nr.7/1934
108. Oancea, I. - Programarea calculatoarelor numerice pentru rezolvarea problemelor cu caracter tehnic și de cercetare științifică , Cluj - 1973
109. Pariset, E., Gagnon, A. - High lift lock : same hydraulic problems and solutions (l.engleză). In A.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1964
110. Partenaki, H., W. - Waves in navigation canals due to lock filling (l.engleză). In A.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1960
111. Perehvalski, V., S. - Rasciot sudohodnogo șliuza (l.rusă) Moscova - 1965

112. Petre, D. - Programe în Fortran , București - 1971
113. Popescu, I., L. - Mișcări nepermanente în hidrodinamica plană București - 1967
114. Price, W., A. - Les courants de densité dans les modeles d'estuaire (l.franceză). In La Houille Blanche nr.5/1962
115. Press, H. - Binnenwasserstraussen und Binnenhäfen (l.germană) Berlin - 1956
116. Prună, T., V. - Exploatarea navelor maritime și fluviale București - 1967
117. Quetin, B. - L'écluse de Mardyck limite la pénétration d'eau de mer dans le canal a grand gabarit (l.franceză). In La Houille Blanche nr.2-3/1972
118. Quetin, B. - Le fonctionnement de l'écluse de Mardyck a Dunkerque (l.franceză). In La Houille Blanche nr.2-3/1972
119. Quitin, J. - Proposition d'une modél mathématique relatif au remplissage et à la vidange des sas d'ecluse (l.franceză) In Ingenieursblad nr.11/1976
120. Racoveanu, N., Dodescu, Gh., Mincu, I. - Metode numerice pentru ecuații cu derivate parțiale de tip parabolic București - 1977
121. Racoveanu, N., Dodescu, Gh., Mincu, I. - Metode numerice pentru ecuații cu derivate parțiale de tip hiperbolic București-1976
122. Raghunath, H., M. - Dimensional analysis and hydraulic model testing (l.engleză) New York - 1967
123. Reghinia, R., B. - Experimentalne isledovania bescontactnoi sistemî izmerenia scorosti potoka jidcosti (l.rusă). In Iz. Leningrad - 1976
124. Ribes, G., Blanchet, G. - Les courants de densité et le projet de l'écluse de Mardyck à Dunkerque (l.franceză). In La Houille Blanche nr.1/1965
125. Richardson, G., C. - Hydraulic design of Columbia river basin navigation locks (l.engleză). In U.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1958
126. R.N.R. Reguli pentru clasificarea și construcția navelor de navigație interioară București - 1973
127. Rudder, P. - La nouvelle liaison Escout-Rhin (l.franceză). In Transports nr.22/1977
128. Russel, H., C. - A study to wave action (l.engleză). In The Institution of Civil Engineers nr.12/1959
129. Salvadori, M., Baron, M. - Metode numerice în tehnică (traducere din limba engleză) București - 1972
130. Santana, W., J. - Duplicate locks for Illinois waterway (l.engleză) In A.S.C.E. Waterways and Harbors Division - 1964

131. Schiop, A. - Metode aproximative în analiza liniară București 1972
132. Semanov, N., A. - Sliuzi (l.rusă). In Recinoi Transport nr.4/1971
133. Semanov, N., A. - Sudohodnie canalî, şliuzi i sudopodiamniki (l.rusă) Moscova - 1970
134. S.N. 303/65 - Ukazania po proektirovaniu sudohodnih şliuzov (l.rusă) Moscova - 1965
135. Staicu, C. - Analiză dimensională generală , București - 1976
136. Stoicescu, T. - Considerații hidraulice asupra alegerii tipului de alimentare a ecluzelor navigabile. In Hidrotehnica nr.4/1975
137. Stoicescu, T., Marin, L., A., Iulian, C. - Sisteme de alimentare a ecluzelor pentru împiedicarea pătrunderii apei de mare în canalele navigabile. In Hidrotehnica nr.9/1980
138. Stutzer, D. - Belgisch-niederländisches Gemeinschaftsproject (l.germană). In V.D.I.-Nachr.nr.41/1976
139. Sviatniî, V., A., Bubenko, L., A., Trunov, I., S. - Isledovanie algoritmov upravlenie aerodinamiceskimi proşesami na viemocinîh ucîastkah pri propuske transporta cerez reguliruemie şliuzi (l.rusă). In Iz Gorchi nr.3/1979
140. Sanciuov, P., N. - Sudovojdenie na vnutrenih vodnih putiah (l.rusă) Moscova - 1959
141. Sulkin, S., . - Nekatorie puti uvelicenie propustnoi sposabnosti şliuzov (l.rusă). In Iz Gorchi nr.143/1977
142. Tenaud, R. - Les ouvrages de franchissement des grandes chutes sur les voies navigables (l.franceză). In Travaux nr.2/1972
143. Tihomirov, N., A. - Hodkosti sudna (l.rusă) Moscova - 1959
144. Tihonov, A., Samarsky, A. - Ecuaciones de la fisica matematica (l.spaniolă) Moscova - 1972
145. Tiran, M. - Teoria erorilor de măsurare și metoda celor mai mici pătrate , București 1973
146. Turicin, A., M. - Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice (traducere din l.rusă) București - 1967
147. x x x Une étude économique sur la modernization du canal du Rhône à Sète (l.franceză). In Rev.navig.fluv.eur.nr.19/1976
148. Vasilescu, A., Praisler, G. - Similitudinea sistemelor elastice București - 1974
149. Vendervelden, H. - Le canal Alberts dans l'économie des transports de la Province de Liège (l.franceză). In rev.navig.fluv.eur.nr.22/1975
150. Vincent, B. - Connecting channel between two different water levels (l.engleză) S.U.A. - 1973
151. Volker, P., A. - Calculation and comparative studies of various types, including valves (l.engleză). In XXII-and International Navigation Congres, Section I - Paris - 1969
152. V.S.N. 3-70 - Ukazania po proektironaviu sudohodnih kanalov (l.rusă) Moscova - 1970
153. Kalkwijk, I., P. - Le pilonnement et le tangage d'un navire dans un chenal étroit (l.franceză). In Jour.de Recherche Hid.1/1970

ANEXA - 1 . CALCULUL VARIATIEI SALINITATII MEDII A APEI
CANALULUI IN FUNCTIE DE NUMARUL ECLUZARILOR
IN IPOTEZA $\Delta V = 0$

1.1. Elemente inițiale de calcul :

- salinitatea inițială a apei canalului c_c^0 ;
- salinitatea apei de mare c_m ;
- salinitatea admisă pentru folosințele preconizate c_c admis ;
- + deplasamentul convoiului de calcul D ;
- adâncimea de apă în sas la nivelul normal al biefului aval H_s ;
- căderea pentru niveluri de exploatare normale H_0 ;
- secțiunea orizontală a sasului ecluzei A ;
- + volumul de apă al biefului amonte V .

1.2. Calculul coeficienților

$$d = \frac{D}{V} \quad (2.23) \quad d_s = \frac{D}{A \cdot H_s} \quad (2.7) \quad d_0 = \frac{D}{A(H_s + H_0)} \quad (2.5)$$

1.3. Calculul salinităților limită

- salinitatea medie admisă în sasul ecluzei :

$$c_s^2 \text{ admis} - A c_s \text{ admis} + B = 0 \quad (2.16)$$

cu :

$$A = c_c^0 \left[1 + \frac{1}{(1-d_0)(1-d_s)} \right] + \frac{c_m}{1-d_0} + c_c \text{ admis} \frac{1-d_0(1-d_s)}{(1-d_0)(1-d_s)} \quad (2.17)$$

$$B = \frac{c_c \text{ admis} \cdot c_m - c_c^0 [d_s \cdot c_m + d_0(1-d_s) c_c \text{ admis}]}{(1-d_0)(1-d_s)} \quad (2.18)$$

- salinitatea inițială maximă în sasul ecluzei :

$$\bar{c}_s \text{ max} = d_s c_m + c_s \text{ admis} (1-d_s)(1-d_0) + d_0(1-d_s) c_c \text{ admis} \quad (2.10')$$

- adâncimea remanentă relativă :

$$h_r = \frac{c_s \text{ admis} - c_c^0}{c_m - c_c^0} (1 - d_0) \quad (2.15)$$

1.4. Calculul variației salinităților

- salinitatea inițială din sas :

$$\bar{c}_s^{(i)} = d_s c_m - d_0(1-d_s) \cdot (c_s^{(i)} - c_c^{(i-1)}) + c_s^{(i)}(1-d_s) \quad (2.9)$$

$$\text{pentru } i = 0 \quad \bar{c}_s = c_m$$

- salinitatea în sas obținută în urma funcționării ecluzei în regim neconvențional :

$$c_s^{(i)} = \frac{h_r(\bar{c}_s^{(i-1)} - c_c^{(i-1)})}{1 - d_0} + c_c^{(i-1)} \quad (2.13)$$

- salinitatea medie a apei canalului

$$c_c^{(i)} = d \cdot c_s^{(i)} + (1 - d) c_c^{(i-1)} \quad (2.24)$$

- $i = 1 \dots n$ reprezintă numărul ecluzărilor, iar n este numărul limită de ecluzări pentru care :

$$\bar{c}_s^{(n)} \longrightarrow \bar{c}_s \text{ max}$$

$$c_s^{(n)} \longrightarrow c_s \text{ admis}$$

$$c_c^{(n)} \longrightarrow c_c \text{ admis}$$

ANEXA 2 - CALCULUL VARIATIEI SALINITATII MEDII A APEI
CANALULUI IN FUNCTIE DE NUMARUL ECLUZARILOR
IN IPOTEZA $\Delta V \neq 0$

2.1. Elemente inițiale de calcul

- salinitatea inițială a apei canalului c_c^0
- salinitatea apei de mare c_m
- salinitatea admisă pentru folosințele preconizate $c_c \text{ admis}$
- deplasamentul convoiului de calcul D
- adâncimea de apă în sas la nivelul normal al biefului aval H_s
- căderea pentru niveluri de exploatare normale H_0
- secțiunea orizontală a sasului ecluzei A
- volumul de apă al biefului amonte V
- aportul în apă dulce al canalului ΔV

2.2. Calculul coeficientilor

$$d = \frac{D}{V} \quad (2.23) \quad d_s = \frac{D}{A \cdot H_s} \quad (2.7) \quad d_o = \frac{D}{A(H_s + H_0)} \quad (2.5)$$

$$v = \frac{\Delta V}{V} \quad (2.34) \quad \delta = (1-v)(1-d) \quad (2.44)$$

2.3. Calculul salinităților limită

- salinitatea medie admisă în sasul ecluzei :

$$c_s \text{ admis} = \frac{(1 - \delta) c_c \text{ admis} - v \cdot c_c^0}{d(1 - v)} \quad (2.49)$$

- salinitatea inițială maximă în sasul ecluzei :

$$\bar{c}_s \text{ max} = d_s \cdot c_m + c_s \text{ admis} (1 - d_s)(1 - d_o) + d_o(1 - d_s) c_c \text{ admis} \quad (2.10')$$

- adâncimea remanentă relativă :

$$h_r = \frac{(1 - \delta)(1 - d_o)}{d(1 - v)} \cdot \frac{c_c \text{ admis} - c_c^0}{c_m - c_c^0} \quad (2.50)$$

2.4. Calculul variației salinităților

- salinitatea inițială din sas :

$$\bar{c}_s^{(i)} = d_s \cdot c_m - d_o(1-d_s) \cdot (c_s^{(i)} - \bar{c}_c^{(i-1)}) + c_s^{(i)}(1-d_s) \quad (2.9)$$

pentru $i = 0$ $\bar{c}_s = c_m$

salinitatea în sas obținută în urma funcționării ecluzei în regim neconvențional :

$$c_s^{(i)} = \frac{h_r(\bar{c}_s^{(i-1)} - c_c^{(i-1)})}{1 - d_o} + c_c^{(i-1)} \quad (2.13)$$

salinitatea medie a apei canalului :

$$c_c^{(i)} = d \cdot c_s^{(i)} + (1 - d) \bar{c}_c^{(i-1)} \quad (2.24)$$

$$\bar{c}_c^{(i)} = (1-v)d \cdot c_s^{(i)} + \delta \cdot \bar{c}_c^{(i-1)} + v \cdot c_c^o \quad (2.37)$$

unde : c_c - salinitatea apei canalului în ipoteza $\Delta V = 0$

c_c - idem pentru $\Delta V \neq 0$

$i = 1 \dots n$ reprezintă numărul ecluzărilor, iar n este numărul ecluzărilor pentru care :

$$\bar{c}_s^{(n)} \longrightarrow \bar{c}_s \text{ max}$$

$$c_s^{(n)} \longrightarrow c_s \text{ admis}$$

$$c_c^{(n)} \longrightarrow c_c \text{ admis}$$

ANEXA 3 - CALCULUL DISTRIBUȚIEI SALINITĂȚII ÎN PROFILUL LONGITUDINAL AL CANALULUI NAVIGABIL ÎN IPOTEZA $\Delta V = 0$

3.1. Elemente inițiale de calcul

- salinitatea inițială a apei canalului c_c^o
- salinitatea apei de mare c_m
- salinitatea admisă pentru folosințele preconizate c_c admis
- deplasamentul convoiului de calcul D
- adâncimea de apă în sas la nivelul normal al biefului aval H_s
- căderea pentru niveluri de exploatare normale H_o
- secțiunea orizontală a sasului ecluzei A
- volumul de apă al biefului amonte V
- lungimea biefului amonte (al canalului navigabil) L_c
- durata totală a unei ecluzări T
- viteza de propagare a apei salmastre în canal \bar{v}

3.2. Calculul preliminar

$$d = \frac{D}{V} \quad (2.23) \quad d_s = \frac{D}{A \cdot H_s} \quad (2.7) \quad d_o = \frac{D}{A(H_o + H_s)} \quad (2.5)$$

$$t_o = \frac{L_c}{V} \quad (2.55) \quad m = \frac{t_o}{T} \quad (2.54)$$

3.3. Calculul salinităților limită

- salinitatea medie admisă în sasul ecluzei :

$$c_{s \text{ admis}}^2 - A \cdot c_{s \text{ admis}} + B = 0 \quad (2.15)$$

cu :

$$A = c_c^0 \left[1 + \frac{1}{(1-d_o)(1-d_s)} + \frac{c_m}{1-d_o} + c_{c \text{ admis}} \frac{1-d_o(1-d_s)}{(1-d_o)(1-d_s)} \right] \quad (2.17)$$

$$B = \frac{c_{c \text{ admis}} \cdot c_m - c_c^0 \left[d_s \cdot c_m + d_o(1-d_s)c_{c \text{ admis}} \right]}{(1-d_o)(1-d_s)} \quad (2.18)$$

- salinitatea inițială maximă în sasul ecluzei :

$$\bar{c}_s \text{ max} = d_s \cdot c_m + c_{s \text{ admis}}(1-d_s)(1-d_o) + d_o(1-d_s)c_{c \text{ admis}} \quad (2.10')$$

- adâncimea remanentă relativă :

$$h_r = \frac{c_{s \text{ admis}} - c_c^0}{c_m - c_c^0} (1 - d_o) \quad (2-16)$$

3.4. Calculul salinităților medii

- salinitatea inițială din sas :

$$\bar{c}_s^{(i)} = d_s \cdot c_m - d_o(1-d_s) \cdot (c_s^{(i)} - c_c^{(i-1)}) + c_s^{(i)} (1-d_s) \quad (2.9)$$

$$\text{pentru } i = 0 \quad \bar{c}_s = c_m$$

- salinitatea în sas obținută în urma funcționării ecluzei în regim neconvențional :

$$c_s^{(i)} = \frac{h_r (\bar{c}_s^{(i-1)} - c_c^{(i-1)})}{1 - d_o} + c_c^{(i-1)} \quad (2.13)$$

- salinitatea medie a apei canalului :

$$c_c^{(i)} = d \cdot c_s^{(i)} + (1-d) \cdot c_c^{(i-1)} \quad (2.24)$$

3.5. Calculul distribuției salinității

- sporul de salinitate :

$$\Delta c_j = d_j (c_s^{(i-j)} - c_{c_{j-1}}^{(i)}) \quad (2.60)$$

unde :

$$d_j = \frac{D}{V_j} \quad (2.59)$$

- salinitatea în secțiunea "j" a canalului :

$$c_{c_j}^{(i)} = c_{c_j}^{(i-1)} + \Delta c_j \quad (2.57)$$

cu : $j = 1 \dots m$ unde m reprezintă numărul secțiunilor de calcul, iar pentru $j = 0$:

$$c_c^{(i)} = c_c^{(i-m)}$$

pentru $i = m \dots n$

ANEXA 4 - CALCULUL DISTRIBUTIEI SALINITATII IN PROFILUL LONGITUDINAL AL CANALULUI NAVIGABIL IN IPOTEZA $\Delta V \neq 0$

4.1. Elemente inițiale de calcul

- salinitatea inițială a apei canalului c_c^0
- salinitatea apei de mare c_m
- salinitatea admisă pentru folosințele preconizate c_c admis
- deplasamentul convoiului de calcul D
- adâncimea de apă în sas la nivelul normal al biefului aval H_s
- căderea pentru niveluri de exploatare normale H_0
- secțiunea orizontală a sasului ecluzei A
- volumul de apă al biefului amonte V
- aportul de apă dulce al canalului ΔV
- lungimea biefului amonte (al canalului navigabil) L_c
- durata totală a unei ecluzări T
- viteza de propagare a apei salmastre în canal \bar{v}

4.2. Calculule preliminare

$$d = \frac{D}{V} \quad (2.23) \quad d_s = \frac{D}{A \cdot H_s} \quad (2.7) \quad d_0 = \frac{D}{A(H_s + H_0)} \quad (2.5)$$

$$v = \frac{\Delta V}{V} \quad (2.34) \quad \delta = (1-v)(1-d) \quad (2.44)$$

$$t_0 = \frac{L_c}{\bar{v}} \quad (2.55) \quad m = \frac{t_0}{T} \quad (2.54)$$

4.3. Calculul salinităților limită

- salinitatea medie admisă în sasul ecluzei :

$$c_s \text{ admis} = \frac{(1-\delta) c_c \text{ admis} - v \cdot c_c^0}{d(1-v)} \quad (2.49)$$

- salinitatea inițială maximă în sasul ecluzei :

$$\bar{c}_s \text{ max} = d_s \cdot c_m + c_s \text{ admis} (1-d_s)(1-d_0) + d_0(1-d_s) c_c \text{ admis} \quad (2.10')$$

- adâncimea remanentă relativă :

$$h_r = \frac{(1-\delta)(1-d_0)}{d(1-v)} \cdot \frac{c_c \text{ admis} - c_c^0}{c_m - c_c^0} \quad (2.50)$$

4.4. Calculul salinităților medii

- salinitatea inițială din sas :

$$\bar{c}_s^{(i)} = d_s \cdot c_m - d_o(1-d_s)(c_s^{(i)} - \bar{c}_c^{(i-1)}) + c_s^{(1)}(1-d_s) \quad (2.9)$$

pentru $i = 0$ $\bar{c}_s = c_m$

- salinitatea în sas obținută în urma funcționării ecluzei în regim neconvențional :

$$c_s^{(i)} = \frac{h_r(\bar{c}_s^{(i-1)} - c_c^{(i-1)})}{1 - d_o} + c_c^{(i-1)} \quad (2.13)$$

- salinitatea medie a apei canalului :

$$c_c^{(i)} = d \cdot c_s^{(i)} + (1-d) \bar{c}_c^{(i-1)} \quad (2.24)$$

$$\bar{c}_c^{(i)} = (1-v)d \cdot c_s^{(i)} + \delta \cdot c_c^{(i-1)} + v \cdot c_c^0 \quad (2.37)$$

unde : c_c - salinitatea apei canalului în ipoteza $\Delta V = 0$

\bar{c}_c - idem pentru $\Delta V \neq 0$

4.5. Calculul distribuției salinității

- sporul de salinitate :

$$\Delta c_j = d_j (c_s^{(i-j)} - c_{c_{j-1}}^{(i)}) \quad (2.60)$$

unde :

$$d_j = \frac{D}{V_j} \quad (2.39)$$

- salinitatea în secțiunea "j" a canalului în ipoteza $\Delta V = 0$:

$$c_{c_j}^{(i)} = c_{c_j}^{(i-1)} + \Delta c_j \quad (2.57)$$

- salinitatea în aceeași secțiune în ipoteza $\Delta V \neq 0$:

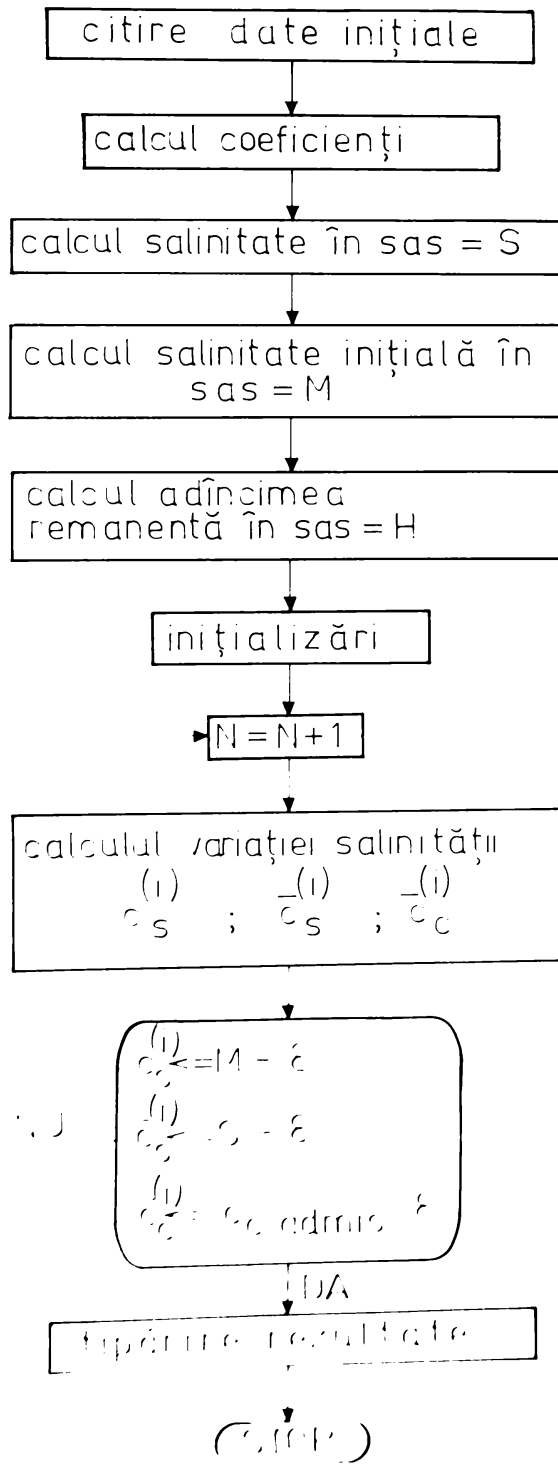
$$\bar{c}_{c_j}^{(i)} = (1-v)^{m-j} c_{c_j}^{(i)} + [1 - (1-v)^{m-j}] \cdot c_c^0 \quad (2.81)$$

cu $j = 1 \dots m$, unde m reprezintă numărul secțiunilor de calcul, iar pentru $j = 0$

$$\bar{c}_{c_0}^{(i)} = \bar{c}_c^{(i-m)}$$

pentru $i = m \dots n$

SCHEMA LOGICA PENTRU PRGRM 1,2,3,4



NOTATII

PRGRM 1 și PRGRM 3

- C1 - salinitate inițială a apei canalului
- C2 - salinitatea apei de mare
- C3 - salinitatea admisă în canal
- D - deplasamentul convoiului de calcul
- H1 - adâncimea de apă în sas la nivelul normal al biefului aval
- H2 - căderea pentru niveluri normale de exploatare
- A - secțiunea orizontală a sasului ecluzei
- V - volumul de apă al biefului amonte
- L - lungimea biefului amonte
- T - durata totală a unei ecluzări
- V1 - viteza de propagare a apei salmastre în canal
- D1...D5 - coeficienți definiți prin relațiile 2.23;2.7;2.5;2.55;2.54
- S - salinitate admisă în sasul ecluzei
- M - salinitate inițială maximă în sasul ecluzei
- H - adâncime remanentă relativă
- I - salinitatea inițială în sas
- S - salinitate obținută în sas în urma funcționării ecluzei în regiune neconvențională
- W - salinitate medie a apei canalului
- U - spor de salinitate

PRGRM 2 și PRGRM 4

- C1 - salinitatea inițială a apei canalului
- C2 - salinitatea apei de mare
- C3 - salinitatea admisă în canal
- D - deplasamentul convoiului de calcul
- H1 - adâncimea de apă în sas la nivelul normal al biefului aval
- H2 - căderea pentru niveluri normale de exploatare
- A - secțiunea orizontală a sasului ecluzei
- V1 - volumul de apă al biefului amonte
- V2 - aportul de apă dulce al canalului
- L - lungimea biefului amonte
- T - durata totală a unei ecluzări
- V3 - viteza de propagare a apei salmastre în canal
- D1...D7 - coeficienți definiți prin relațiile 2.23;2.7;2.5;2.34;2.44 ; 2.55 ; 2.54
- S - salinitate admisă în sasul ecluzei
- S1 - salinitate inițială maximă în sas
- R - adâncime remanentă relativă
- I - salinitate inițială în sas
- V - salinitate obținută în sas în urma funcționării ecluzei în regiune neconvențională
- W1 - salinitatea medie a apei canalului dacă V2 = 0
- W2 - idem dacă V2 ≠ 0
- U - spor de salinitate

```

5 PRINT " P R G R M 1 "
10 REM "CALCULUL SALINITATII CANALULUI"
15 REM "IPOTEZA 1 = DIFERENTA V = 0"
20 REM "CITIRE DATE INITIALE"
30 READ C1,C2,C3,D,H1,H2,A,V,E
35 REM "CALCUL COEFICIENTI"
40 D1=D/V
50 D2=D/(A*H1)
60 D3=D/(A*(H1+H2))
65 REM "CONSTANTE"
70 X=1-D3
80 Y=1-D2
90 Z=1/(X*Y)
95 REM "SALINITATE ADMISA S A S = S"
100 A=C1*(1+Z)+C2/X+C3*(1-D3*Y)*Z
110 B=(C3*C2-C1*(D2*C2+D3*Y*C3))*Z
120 K=A/2
130 D=K*K-B
220 S=K-SQR(D)
225 REM "SALINITATE INITIALA S A S = M"
230 M=D2*C2+S*X*Y+D3*Y*C3
235 REM "ADINCIMEA REMANENTA"
240 H=X*(S-C1)/(C2-C1)
245 REM "VARIATIA SALINITATII"
250 N=0
260 I=C1
270 W=C1
280 N=N+1
290 V=H*(I-W)/X+W
300 I=D2*C2-D3*Y*(V-W)+V*Y
310 W=D1*V+(1-D1)*W
315 REM "VERIFICARE LIMITE"
320 IF I>=M-E THEN 360
330 IF V>=S-E THEN 360
340 IF W>=C3-E THEN 360
350 GOTO280
360 PRINT " NUMARUL DE ECLUZARI ";N
370 STOP
375 REM "DATE INITIALE"
380 DATA 0.15,17,0.5
390 DATA 21000,7,9
400 DATA 8000,36.0E6
410 DATA 0.01
3660 END

```

```

5 PRINT " P R G R M 2 "
10 REM "CALCULUL SALINITATII CANALULUI"
15 REM "IFOTEZA 2 = DIFERENTA V > 0"
20 REM "CITIRE DATE INITIALE"
30 READ C1,C2,C3,D,H1,H2,A,V1,V2,E
35 REM "CALCUL COEFICIENTI"
40 D1=D/V1
50 D2=D/(A*H1)
60 D3=D/(A*(H1+H2))
65 D4=V2/V1
70 D5=(1-D4)*(1-D1)
72 REM "SALINITATE ADMISA S A S = S"
75 S=((1-D5)*C3-D4*C1)/(D1*(1-D4))
80 S1=D2*C2+S*(1-D2)*(1-D3)+D3*(1-D2)*C3
90 R=((1-D5)*(1-D3)*(C3-C1))/(D1*(1-D4)*(C2-C1))
95 REM "VARIATIA SALINITATII"
100 N=0
110 I=C2
120 W1=C1
125 W2=C1
130 N=N+1
140 V=R*(1-W2)/(1-D3)+W2
150 I=D2*C2-D3*(1-D2)*(V-W2)+V*(1-D2)
160 W2=(1-D4)*D1*V+D5*W1+D4*C1
170 W1=D1*V+(1-D1)*W2
175 REM " VERIFICARE LIMITE"
180 IF N<100 THEN 130
185 IF I>=S1-E THEN 220
190 IF V>=S-E THEN 220
200 IF W2>=C3-E THEN 220
205 GOTO 130
210 REM "AJUNS LIMITA"
220 PRINT N,I,V,W
230 STOP
290 REM "DATE INITIALE"
300 DATA 0.15,17,0.5
310 DATA 21000,7,9
320 DATA 8000,36,0E6,12.0E4
330 DATA 0.01
340 END

```

```

5 PRINT " P R G R M 3 "
10 REM "DISTRIBUTIA SALINITATII IN CANAL"
15 REM "IPOTEZA 1 = DIFERENTA V = 0"
20 REM "CITIRE DATE INITIALE"
30 READ C1,C2,C3,D,H1,H2,A,V,L,T,V1,E,N1,N2
35 REM "CALCUL COEFICIENTI"
40 D1=D/V
45 D2=D/(A*M1)
50 D3=D/(A*(H1+H2))
55 D4=L/V1
60 D5=D4/T
65 DIM K(250),L(250)
70 Y=1-D2
80 X=1-D3
90 Z=1/(X*Y)
95 REM "SALINITATEA ADMISA IN S A S = S"
100 A=C1*(1+Z)+C2/X+C3*(1-D3*Y)*Z
110 B=(C3*C2-C1*(D2*C2+D3*Y*C3))*Z
120 U=A/2
130 M=U*U-B
200 S=U-SQR(M)
220 REM "SALINITATEA INITIALA S A S = M"
230 M=D2*C2+S*X*Y+D3*Y*C3
235 REM "ADINCIMEA REMANENTA = H"
240 H=X*(S-C1)/(C2-C1)
245 REM "VARIATIA SALINITATII"
250 J=1
260 N=0
270 MAT K=ZER
280 MAT L=ZER
290 I=C2
300 W=C1
310 N=N+1
320 V=H*(1-W)/X+W
330 I=D2*C2-D3*Y*(V-W)+V*Y
340 W=D1*V+(1-D1)*W
350 IF N<N1 THEN 310
360 K(J)=V
370 L(J)=W
380 J=J+1
390 IF J<=D5 THEN 310
400 W=L(1)
410 U=W
420 FOR J=2 TO D5
430 M=L(J-1)+(D/(V*(D5-J+1)))*(K(J)-W)
440 IF M<U THEN 455
450 U=W
455 W=L(J)
460 NEXT J
465 REM "TIPARIRE VARIATIA MAXIMA"
470 PRINT U
475 REM "VERIFICARE LIMITA"
480 IF U>C3-E THEN 510
490 N1=N1+N2
500 GOTO 250
510 STOP
590 REM "DATE INITIALE"
600 DATA 0.15,17,0.5
610 DATA 21000,7,9
620 DATA 8000,36,0E0
630 DATA 57600,3600,1
640 DATA 0.01,400,100

```



```

5 PRINT " P R G R M 4 "
10 REM "DISTRIBUTIA SALINITATII IN CANAL"
15 REM "IPOTEZA 2 = DIFERENTA V > 0"
20 REM "CITIRE DATE INITIALE"
25 DIM K(250),L(250)
30 READ C1,C2,C3,D,H1,H2,A,V1,V2,L,T,V3,E,N1,N2
32 REM "CALCUL COEFICIENTI"
35 D1=D/V1
40 D2=D/(A*H1)
45 D3=D/(A*(H1+H2))
50 D4=V2/V1
55 D5=(1-D4)*(1-D1)
60 D6=L/V3
65 D7=D6/T
67 REM "SALINITATE INITIALA S A S = S"
70 S=((1-D5)*C3-D4*C1)/(D1*(1-D4))
80 S1=D2*C2+S*(1-D2)*(1-D3)+D3*(1-D2)*C3
90 R=((1-D5)*(1-D3)*(C3-C1))/(D1*(1-D4)*(C2-C1))
95 REM "VARIATIA SALINITATII"
100 N=0
105 J=1
110 I=C2
120 W=C1
130 N=N+1
140 V=R*(1-W)/(1-D3)+W
150 I=D2*C2-D3*(1-D2)*(V-W)+V*(1-D2)
160 W=D1*V+(1-D1)*W
170 IF N<N1 THEN 130
180 K(J)=V
190 L(J)=W
200 J=J+1
210 IF J<=D7 THEN 130
220 W=L(1)
230 U=W
240 FOR J=2 TO D7
250 M=L(J-1)+(D/(V1*(D7-J+1)))*(K(J)-W)
260 IF M<U THEN 280
270 U=M
280 W=L(J)
290 NEXTJ
295 REM "TIPARIRE VARIATIA MAXIMA"
300 PRINTU
305 REM "VERIFICARE LIMITE"
310 IF U>C3-E THEN 340
320 N1=N1+N2
330 GOTO 100
340 STOP
345 REM "DATE INITIALE"
350 DATA 0.15,17,0.5
360 DATA 21000,7,9
370 DATA 8000,36,0E6,12.0E4
380 DATA 57600,3600,1
390 DATA 0.01,400,100
400 END

```

**ANEXA 5 - CALCULUL HIDRAULIC AL ECLUZELOR NECONVENTIONALE
CU DUBLU CIRCUIT HIDRAULIC CU FUNCTIONARE PRIN
UMPLERE-GOLIRE CONCOMITENTA**

5.1. Elemente inițiale de calcul

- secțiunea orizontală a sasului ecluzei A
- căderea pentru niveluri normale de exploatare H_0
- sistemul hidraulic de umplere :
 - secțiunea transversală a galeriilor în dreptul vanelor a_0
 - coeficientul de debit μ
 - timpul de ridicare a vanelor t_{rv}
 - timpul de coborîre a vanelor t_{cv}
- sistemul hidraulic de golire :
 - secțiunea transversală a galeriilor în dreptul vanelor a'_0
 - coeficientul de debit μ'
 - timpul de ridicare a vanelor t'_{rv}
 - timpul de coborîre a vanelor t'_{cv}
- volumul de apă salmastră evacuat în bieful aval V_{ev}

**5.2. Ecuația diferențială a sarcinii scrisă în
diferențe finite**

$$\Delta H_{i+1} = \left(\frac{a_0}{A} \sqrt{2g} \Delta t \right) \bar{\mu}_{i,i+1} \sqrt{H_i - \frac{\Delta H_{i+1}}{2}} -$$

$$- \left(\frac{a'_0}{A} \sqrt{2g} \Delta t \right) \bar{\mu}'_{i,i+1} \sqrt{H_0 - \left(H_i - \frac{\Delta H_{i+1}}{2} \right)} \quad (3.13)$$

unde :

$$\bar{\mu}_{i,i+1} = \frac{\mu_i + \mu_{i+1}}{2} \quad \text{și} \quad \bar{\mu}'_{i,i+1} = \frac{\mu'_i + \mu'_{i+1}}{2} \quad (3.17 \text{ și } 3.18)$$

cu :

$$\mu_i = \frac{i \cdot \Delta t}{t_{rv}} \mu \quad \text{pentru } 0 < i \cdot \Delta t \leq t_{rv}$$

$$\mu'_i = \frac{i \cdot \Delta t}{t'_{rv}} \mu' \quad \text{pentru } 0 < i \cdot \Delta t \leq t'_{rv}$$

și $\bar{\mu}_{i,i+1} = \mu$ pentru $i \cdot \Delta t > t_{rv}$

$\bar{\mu}'_{i,i+1} = \mu'$ pentru $i \cdot \Delta t > t'_{rv}$

iar :

$$\mu'_i = \frac{T_{ev} - i \cdot \Delta t}{T_{ev}} \cdot \mu' \quad \text{pentru } t'_{rv} + t' < i \cdot \Delta t \leq T_{ev}$$

unde :

$$T_{ev} = t'_{rv} + t' + t'_{cv}$$

Relația 3.13 se aplică pentru $0 < i \cdot \Delta t \leq T_{ev}$. Dacă :

$$T_{ev} < i \cdot \Delta t \leq T_u, \text{ atunci :}$$

$$\sqrt{H_i} = \sqrt{H_n} - \frac{\mu a_0 \sqrt{2g}}{2A} (i \cdot \Delta t - T_{ev}) \quad (3.12''')$$

cu H_n corespunzător momentului $i \cdot \Delta t = T_{ev}$

T_u - timpul total de umplere : $T_u = t_{rv} + t$

T_{ev} - timpul de evacuare a volumului de apă salmastră

$$T_u = T_{ev} + \frac{2A \sqrt{H_n}}{\mu a_0 \sqrt{2g}} \quad (3.12^{IV})$$

Observație : dacă evacuarea apei sărate începe cu vana sistemului de golire deschisă atunci în relațiile de mai sus $t'_{rv} = 0$.

5.3. Calculul debitelor

- debitul sistemului de alimentare (afluent) :

$$Q_{afl_i} = \mu_i a_0 \sqrt{2gH_i} \quad (3.10)$$

pentru

$$0 < i \leq \frac{T_u}{\Delta t}$$

- debitul sistemului de golire (efluent) :

$$Q_{efl_i} = \mu'_i a'_0 \sqrt{2g(H_0 - H_i)} \quad (3.11)$$

pentru

$$0 < i \leq \frac{T_{ev}}{\Delta t}$$

5.4. Calculul volumului de apă salmastră evacuat în bieful aval în procesul umplerii-golirii concomitente

$$V_{ev} = \sum \bar{V}_{i,i+1} \quad (3.19)$$

unde :

$$\bar{V}_{i,i+1} = \bar{Q}_{efl_{i,i+1}} \cdot \Delta t$$

iar :

$$\bar{Q}_{efl_{i,i+1}} = \frac{Q_{efl_i} + Q_{efl_{i+1}}}{2} \quad (3.16)$$

5.5. Rezolvarea iterativă a ecuației 3.13

- pentru $i = 0$ se adoptă $\Delta H_1 = 0$ și rezultă prima iterație :

$$\Delta H_1^{(1)} = \frac{a_0}{A} \sqrt{2g} \cdot \Delta t \bar{F}_{0,1} \cdot \sqrt{H_0} \quad (3.13')$$

- respectiv a doua iterație :

$$\Delta H_1^{(2)} = \frac{a_0}{A} \sqrt{2g} \Delta t \bar{F}_{0,1} \sqrt{H_0 - \frac{\Delta H_1^{(1)}}{2}} - \frac{a'_0}{A} \sqrt{2g} \Delta t \bar{F}'_{0,1} \sqrt{\frac{\Delta H_1^{(1)}}{2}}$$

- calculul fiind convergent se obține la o iterație de ordinul k

$$\Delta H_1^{(k)} \approx \Delta H_1^{(k-1)}$$

- pentru momentul următor iterația începe cu valoarea ΔH determinat la momentul precedent.

ANEXA 6 - CALCULUL HIDRAULIC AL ECLUZELOR NECONVENTIONALE
CU DUBLU CIRCUIT HIDRAULIC CU FUNCTIONARE PRIN
UMPLERE-GOLIRE CONCOMITENTA IN IPOTEZA

$$Q_{afl} - Q_{efl} = \text{constant}$$

Față de metoda prezentată în anexa 5 se introduce condiția suplimentară :

$$Q_{afl} - Q_{efl} = \text{constant}$$

În acest caz operația de umplere-golire începe întotdeauna cu vanele galeriilor de golire în poziție deschisă (deci în relațiile prezentate în anexă $t'_{rv} = 0$).

Condiția 3.7 se aplică din momentul în care vanele sistemului de alimentare sînt complet deschise, deci :

$$i. \Delta t \geq t_{rv}$$

Este evident că :

$$t_{rv} = t'$$

Iar la momentul corespunzător lui t_{rv} :

$$Q_{afl}(t_{rv}) - Q_{efl}(t_{rv}) = \text{constant} = \Delta Q \quad (3.7')$$

unde :

$$Q_{afl}(t_{rv}) = \mu a_o \sqrt{2gH_m} \quad (3.10)$$

$$Q_{efl}(t_{rv}) = \mu' a'_o \sqrt{2g(H_o - H_m)} \quad (3.11)$$

s-a notat sarcina corespunzătoare momentului respectiv cu H_m .

Deci :

$$m = \frac{t_{rv}}{\Delta t}$$

Pentru momentele următoare :

de la $i = m$ pînă la $i. \Delta t = T_{ev}$, punînd condiția (3.7') rezultă un calcul iterativ suplimentar al coeficientului de debit al sistemului de golire $\bar{\mu}'_{i,i+1}$.

De exemplu : la momentul $i=m$, prima iterație va fi :

$$\Delta H_{m+1}^{(1)} = \frac{a_o}{A} \sqrt{2g} \Delta t \mu \sqrt{H_m - \frac{\Delta H_m}{2}} - \frac{a'_o}{A} \sqrt{2g} \Delta t \mu' \sqrt{H_o - (H_m - \frac{\Delta H_m}{2})}$$

iar din :

$$Q_{afl_{m+1}} - Q_{efl_{m+1}} = \Delta Q \quad \text{se obține } \bar{\mu}'_{m,m+1}^{(1)}$$

pentru iterația 2 :

$$\Delta H_{m+1}^{(2)} = \frac{a_o}{A} \sqrt{2g} \Delta t \mu \sqrt{H_m - \frac{\Delta H_{m+1}^{(1)}}{2}} - \frac{a'_o}{A} \sqrt{2g} \Delta t \mu'_{m,m+1}^{(1)} \sqrt{H_o - (H_m - \frac{\Delta H_{m+1}^{(1)}}{2})}$$

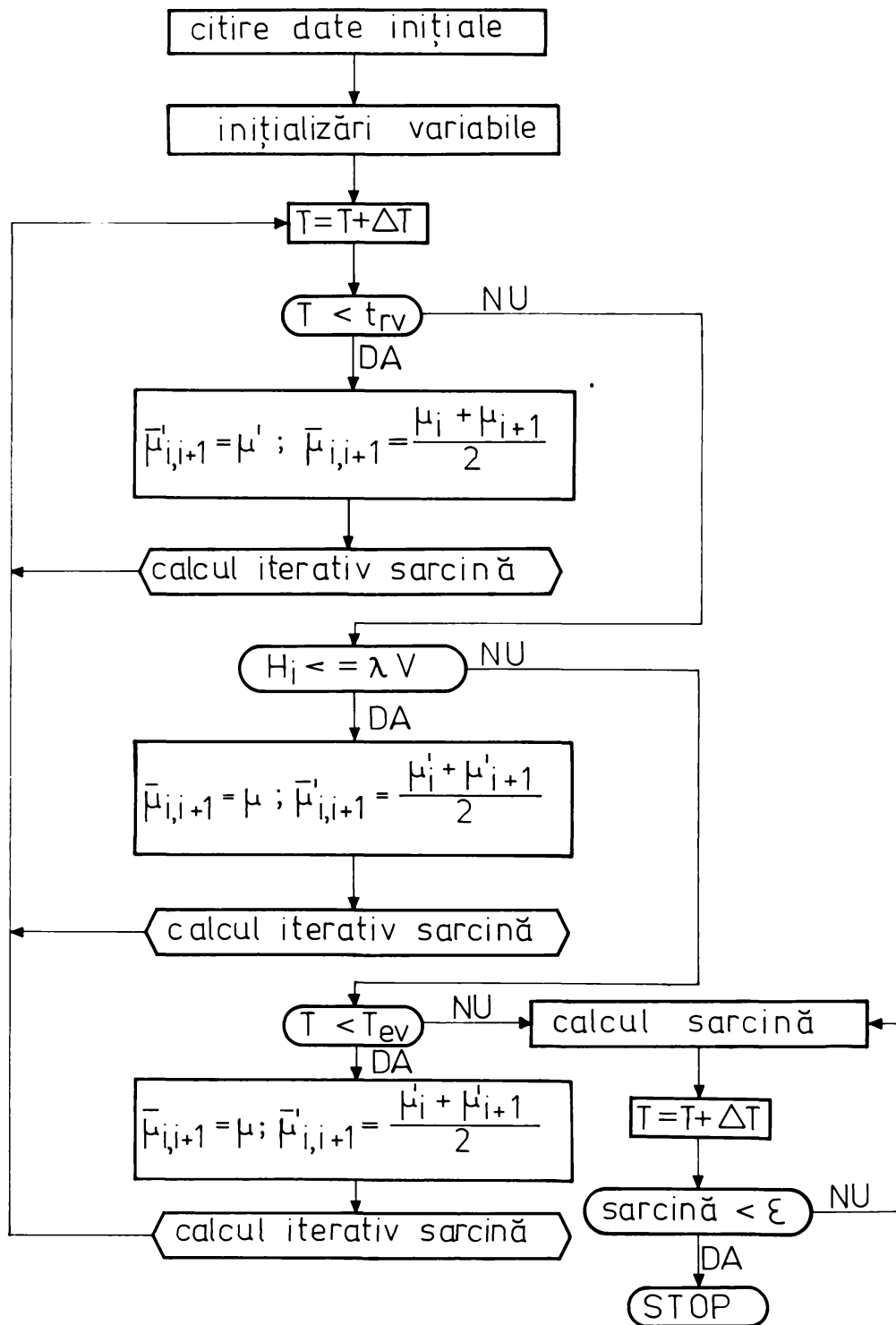
iar din condiția 3.7' rezultă $\bar{\mu}'_{m,m+1}^{(2)}$. Calculele iterative continuă

pînă cînd : $\Delta H_{m+1}^{(k)} \approx \Delta H_{m+1}^{(k-1)}$

În acest caz coeficientul de debit pentru sistemul de golire corespunzător momentului respectiv va fi : $\bar{\mu}_{m,m+1}^{(k-1)}$.

Începînd de la momentul $i \cdot \Delta t \geq T_{ev}$, unde $T_{ev} = t' + t'_{cv}$ se aplică relația 3.12''.

SCHEMA LOGICĂ PENTRU PRGRM 5,6,7



ANEXA 7 - CALCULUL HIDRAULIC AL ECLUZILOR NECONVENZIONALE
CU DUBLU CIRCUIT HIDRAULIC CU FUNCTIONARE PRIN
UMPLERE-GOLIRE CONCOMITENTA IN BAZIN SUBTERAN
SITUAT SUB NIVELUL BIEFULUI AVAL

7.1. Elemente inițiale de calcul

- secțiunea orizontală a sasului ecluzei A
- căderea pentru niveluri normale de exploatare H_0
- adâncimea de apă în sas la nivelul normal al biefului aval H_S
- diferența între cotele radierelor ecluzei respectiv bazinului z_0
- dimensiunile în plan a bazinului subteran b și L
- înclinarea taluzelor bazinului subteran $1 : m$
- sistemul hidraulic de umplere :
 - secțiunea transversală a galeriilor în dreptul vanelor a_0
 - coeficientul de debit μ
 - timpul de ridicare a vanelor t_{rv}
 - timpul de coborîre a vanelor t_{cv}
- sistemul hidraulic de golire :
 - secțiunea transversală a galeriilor în dreptul vanelor a'_0
 - coeficientul de debit μ'
 - timpul de coborîre a vanelor t'_{cv}
- volumul de apă salmastră evacuat în bieful aval V_{ev}

7.2. Ecuația diferențială a sarcinii scrisă în diferențe

$$\Delta H_{i+1} = \left(\frac{a_0}{A} \sqrt{2g} \Delta t \right) \bar{F}_{i,i+1} \sqrt{H_i - \frac{\Delta H_{i+1}}{2}} - \left(\frac{a'_0}{A} \sqrt{2g} \Delta t \right) \bar{F}'_{i,i+1} \sqrt{(H_0 + H_S + z_0) - (H_i - \frac{\Delta H_{i+1}}{2}) - (Y_i + \frac{\Delta Y_{i+1}}{2})} \quad (3.25)$$

unde :

$$\Delta Y_{i+1} = \frac{\bar{F}'_{i,i+1} a'_0 \sqrt{2g} [(H_0 + H_S + z_0) - (H_i - \frac{\Delta H_{i+1}}{2}) - (Y_i + \frac{\Delta Y_{i+1}}{2})] \cdot \Delta t}{[b + m(2Y_i + \Delta Y_{i+1})][L + m(2Y_i + \Delta Y_{i+1})]} \quad (3.25)$$

cu :

$$\bar{F}_{i,i+1} = \frac{\mu_i + \mu_{i+1}}{2} \quad (3.17) \text{ pentru } 0 < i \Delta t \leq t_{rv}$$

$$\bar{F}_{i,i+1} = \mu \quad \text{pentru } i \Delta t > t_{rv}$$

și

$$\bar{F}'_{i,i+1} = \frac{\mu'_i + \mu'_{i+1}}{2} \quad \text{cînd } 0 < i \Delta t \leq t'_{rv}$$

$$\bar{F}'_{i,i+1} = \mu' \quad \text{cînd } t'_{rv} < i \Delta t \leq t'_{rv} + t'$$

$$\bar{F}'_{i,i+1} = \frac{\mu'_i + \mu'_{i+1}}{2} \quad (3.18) \text{ pentru } t'_{rv} + t' < i \Delta t \leq T_{ev}$$

iar $T_{ev} = t'_{rv} + t' + t'_{cv}$ - timp de evacuare a apei salma-
stre în bieful aval.

Dacă $i \Delta t > T_{ev}$ în locul relației 3.23 se aplică :

$$\sqrt{H_i} = \sqrt{H_n} - \frac{\mu a_o \sqrt{2g}}{2A} (i \Delta t - T_{ev}) \quad (3.10''')$$

cu H_n corespunzător momentului T_{ev} .

$T_u = t_{rv} + t$ - timp total de umplere :

$$T_u = T_{ev} + \frac{2A \sqrt{H_n}}{\mu a_o \sqrt{2g}} \quad (3.12^{IV})$$

7.3. Calculul debitelor

- debitul sistemului de alimentare (afluent) :

$$Q_{afl_1} = \mu_i a_o \sqrt{2gH_i} \quad (3.10)$$

pentru : $0 < i \leq \frac{T_u}{\Delta t}$

- debitul sistemului de golire (efluent) :

$$Q_{efl_1} = \mu'_i a'_o \sqrt{2g(H_o + H_s + z_o - H_i - Y_i)} \quad (3.11')$$

pentru : $0 < i \leq \frac{T_{ev}}{\Delta t}$

7.4. Calculul volumului de apă salmastră evacuat în bazinul subteran

$$V_{ev} = \sum \bar{v}_{i,i+1} \quad (3.19)$$

unde : $\bar{v}_{i,i+1} = \bar{Q}_{efl_{i,i+1}} \cdot \Delta t$

iar :

$$\bar{Q}_{efl_{i,i+1}} = \frac{Q_{efl_i} + Q_{efl_{i+1}}}{2} \quad (3.16)$$

7.5. Rezolvarea iterativă a ecuațiilor 3.23 și 3.25

- pentru prima iterație se adoptă $\Delta H_1 = 0$ și $\Delta Y_1 = 0$, rezultă :

$$\Delta H_1^{(1)} = \frac{a_o}{A} \sqrt{2g} \Delta t \frac{\mu_1}{2} \sqrt{H_o} - \frac{a_o}{A} \sqrt{2g} \Delta t \frac{\mu'_1}{2} \sqrt{H_s + z_o} \quad (3.23')$$

$$\text{și } \Delta Y_1^{(1)} = \frac{\frac{\mu'_1}{2} \cdot a'_o \sqrt{2g(H_s + z_o)} \Delta t}{b.L} \quad (3.25')$$

- pentru iterația a doua :

$$\Delta H_1^{(2)} = \frac{a_o}{A} \sqrt{2g} \Delta t \frac{\mu_1}{2} \sqrt{H_o} - \frac{a_o}{A} \sqrt{2g} \Delta t \frac{\mu'_1}{2} \sqrt{2g[(H_o + H_s + z_o) - (H_o - \frac{\Delta H_1^{(1)}}{2}) - \frac{\Delta Y_1^{(1)}}{2}]} \Delta t$$

și :

$$\Delta Y_1^{(2)} = \frac{\frac{\mu'_1}{2} a'_o \sqrt{2g[(H_o + H_s + z_o) - (H_o - \frac{\Delta H_1^{(1)}}{2}) - \frac{\Delta Y_1^{(1)}}{2}]} \Delta t}{(b + m \Delta Y_1^{(1)})(L + m \Delta Y_1^{(1)})}$$

- pentru o iterație de ordinul k : $\Delta H_1^{(k)} \cong \Delta H_1^{(k-1)}$

- pentru momentul următor iterația începe cu valorile ΔH și ΔY stabilite la momentul anterior.

```

5 PRINT " P R G R M 5 "
10 REM "CALCULUL HIDRAULIC AL ECLUZELOR"
15 REM "EVACUARE IN BIEF AVAL"
20 REM "CITIRE DATE INITIALE"
30 READ A3,H,A1,C1,K1,T1,A2,C2,R2,T2,v,E
35 D=H
40 I=0
45 T=0
50 T3=0
55 T5=0
60 J=20
65 L=0
70 B=SQR(2*9.81)
75 U2=C2
80 N=(A1/A3)*J*J
85 D=(A2/A3)*B*J
90 Q1=0
95 P=0
100 Z=0
130 I=I+1
140 T=T+J
150 IF T>T1 THEN 210
160 M=I*J*C1/K1
170 U1=(L+M)/2
180 L=M
190 GOSUB 400
200 GOTO 130
210 IF T3<>0 THEN 250
220 U1=C1
230 GOSUB 400
240 GOTO 130
250 L=C2
260 T4=T3+T2
270 M=(T4-I*J)+C2/T4
280 U2=(L+M)/2
285 I=I+1
290 T=T+J
295 IF T>T4 THEN 320
300 L=M
305 GOSUB 400
310 GOTO 270
320 U=D
330 R=SQR(U)-C1+A1*B*(I*J-T4)/(2*A3)
340 Q3=C1+A1*B*SQR(R)
345 D=D-R
350 PRINT I,Q3,D
360 I=I+1
370 T=T+J
380 IF D>E THEN 330
390 STOP
395 REM "SUBPROGRAM CALCUL ITERATIV SARCINA"
400 R=N*U1*SQR(D-P/2)-D*U2*SQR(M-(D-P/2))
410 IF ABS(R-P)<=E THEN 440
420 P=R
430 GOTO 400
440 P=R
445 REM "DIFERENTA DE SARCINA"
450 D=D-R
455 REM "DEBIT AFLUENT"
460 Q2=U2*A2*B*SQR(M-D)
465 REM "DEBIT EFLUENT"
470 Q3=U1*A1*B*SQR(U)
475 REM "VOLUMUL EVACUAT"
480 X=(Q1+Q2)/2

```

```
500 Z=Z+X
510 PRINT I,Z,U2,U3,U2,U
520 Q1=J2
530 IF Z<= 0.9*V THEN 550
540 T3=T
550 RETURN
555 REM "DATE INITIAL4"
600 DATA 2000,1.75
610 DATA 6.41,0.5,180,120
620 DATA 8.75,0.65,360,120
630 DATA 11000,0.01
640 END
```

```

5 PRINT " P R G R M 6 "
10 REM "CALCUL HIDRAULIC AL ECLUZEI"
15 REM "EVACUARE IN BIEF AVAL"
20 REM "CONDITIE STATIONARE S A S"
25 REM "CITIRE DATE INITIALE"
30 READ A3,H,A1,C1,R1,I1,A2,C2,V,E
40 D=H
45 I=0
50 T=0
55 I3=0
60 I5=0
65 J=20
70 L=0
75 b=SQR(2*7.31)
80 U2=C2
85 M=(A1/A3)*b*J
90 D=(A2/A3)*b*J
95 U1=0
100 P=0
105 Z=0
130 I=I+1
140 T=T+J
150 IF T>R1 THEN 210
160 M=I*J*C1/R1
170 U1=(L+M)/2
180 L=M
190 GOSUB 400
200 GOT0150
210 U1=C1
215 U=D
220 C=Q3-Q2
230 T3=T
240 R=N*C1*SQR(U-P/2)-D*C2*SQR(H-(U-P/2))
250 D=D-R
260 Q3=C1*A1*b*SQR(D)
270 R=(Q3-C)/(A2*b*SQR(H-D))
280 C2=K
290 P=R
300 IF ABS(R-P)>E THEN 240
310 GOSUB 460
320 I=I+1
330 T=T+J
340 IF U2>E THEN 240
350 U=D
355 R=SQR(U)-C1*A1*b*(I*J-T3)/(2*A3)
360 Q3=C1*A1*b*SQR(R)
365 D=D-R
370 PRINT I,Q3,D
375 I=I+1
380 T=T+J
385 IF D>E THEN 355
390 STOP
395 REM "SUBPROGRAM CALCUL ITERATIV SARCINA"
400 R=N*U1*SQR(D-P/2)-D*U2*SQR(H-(D-P/2))
410 IF ABS(R-P)<=E THEN 440
420 P=R
430 GOT0400
440 P=R
445 REM "DIFERENTA DE SARCINA"
450 D=U-R
455 REM "DEBIT AFLUENT"
460 Q2=U2*A2*b*SQR(H-D)
465 REM "DEBIT EFFLUENT"
470 Q3=U1*A1*b*SQR(U)
475 REM "VOLUMUL EVACUAT"
480 V=(Q3-Q2)*T

```

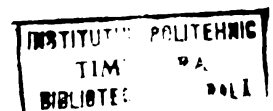
```
490 X=X*J
495 REM "SARCINA ECLUZA"
500 Z=Z+X
510 PRINT I,Z,Q2,Q3,Q2,D
520 Q1=Q2
530 RETURN
590 REM "DATE INITIALE"
600 DATA 2000,1.75
610 DATA 6.41,0.5,180,120
620 DATA 8.75,0.65
630 DATA 11000,0.01
640 END
```

Pagina 22 a

```

5 PRINT " P R G R M 7 "
10 REM "CALCUL HIDRAULIC AL ECLUZEI"
15 REM "EVACUARE IN BAZIN SUBTERAN"
20 REM "CITIRE DATE INITIALE"
30 READ A3,H1,H2,Z,H,S,C,A1,C1,R1,T1,A2,C2,R2,T2,V,E
35 REM "INITIALIZARI"
40 D1=H1
41 I=0
45 T=0
50 T3=0
55 T5=0
60 J=20
65 L=0
70 B=SQR(2*9.81)
75 X=0
80 N=(A1/A3)*B*J
85 D=(A2/A3)*B*J
90 Q1=0
95 P=0
100 H1=H1+H2+Z
105 F=0
110 D2=H2
115 Z=0
130 I=I+1
135 T=T+J
140 IF T>R1 THEN 200
145 M=I*J*C1/R1
150 U1=(L+M)/2
155 L=M
160 IF T>R2 THEN 190
165 Y=I*J*C2/R2
170 U2=(X+Y)/2
175 X=Y
180 GOSUB 400
185 GOTO130
190 U2=C2
195 GOTO180
200 IF T3<>0 THEN 230
205 U1=C1
210 U2=C2
215 GOSUB 400
220 GOTO130
230 X=C2
235 T4=T3+T2
240 Y=(T4-I*J)*C2/T4
245 U2=(X+Y)/2
250 I=I+1
255 T=T+J
260 IF T>T4 THEN 280
265 X=Y
270 GOSUB 400
275 GOTO240
280 U=D1
290 R=SQR(U)-C1*A1*B*(I*J-T4)/(2*A3)
300 Q3=C1*A1*B*SQR(R)
310 D1=D1-R
320 PRINT I,Q3,D1
330 I=I+1
340 T=T+J
350 IF D1>E THEN 290
360 STOP
390 REM "SUBPROGRAM CALCUL ITERATIV SARCINA"
400 R=V*U1*SQR(D1-P/2)-U*U2*SQR(H1-(D1-P/2)-(D2-F/2))
405 n=(H+C*(2*D2+F))*(S+C*(2*D2+F))
410 G=U2*A2*B*SQR(H1-(D1-F/2)-(D2-F/2))*J/n
420 IF ABS(P-R)<=E THEN 460

```




```

430 P=R
440 F=G
450 GOTO 400
460 P=R
470 F=G
475 REM "DIFERENTE DE SARCINA"
480 D1=D1-R
490 D2=D2+G
492 REM "DEBIT EFLUENT"
495 Q3= U1*A1*B*SQR(D1)
497 REM "DEBIT AFLUENT"
500 Q2=U2*A2*B*SQR(H1-D1-D2)
505 REM "VOLUM EVACUAT"
510 K=(Q1+Q2)/2
520 K=K*J
525 REM "SARCINA ECLUZA"
530 Z=Z+K
540 PRINT I,Z,Q2,Q3,D2,D1
550 Q1=Q2
560 IF Z<=0.9*V THEN 580
570 T3=T
580 RETURN
600 DATA 2000,1.75
610 DATA 7,1.5
620 DATA 7,9,10
630 DATA 6.41,0.5,180,120
640 DATA 8.75,0.65,360,120
650 DATA 11000,0.01
660 END
4922

```

Pagina 24a

NOTATIILE PRGRM 5 . PRGRM 6 . PRGRM 7

A3 - secțiunea orizontală a ecluzei
H - căderea pentru niveluri normale de exploatare
A1 - secțiunea transversală a galeriilor de alimentare
A2 - idem pentru golire
C1 - coeficient de debit al sistemului de alimentare
C2 - idem al sistemului de golire
R1 - timp de ridicare al vanelor sistemului de alimentare
R2 - idem al sistemului de golire
T1 - timp de coborîre al vanelor sistemului de alimentare
T2 - idem al sistemului de golire
V - volum necesar de a fi evacuat
Q2 - debit afluent
Q3 - debit efluent
Q1 - debit efluent mediu
X - volum evacuat pentru intervalul de timp Δt
Z - volum total evacuat
R - variația sarcinii ecluzei pentru intervalul de timp Δt
I - sarcina ecluzei la un moment t dat

**ANEXA 8 - CALCULUL DISTRIBUTIEI DEBITELOR PRIN ORIFICIILE
SISTEMULUI HIDRAULIC DE GOLIRE (ALIMENTARE) IN
IPOTENZA NEGLIJARII FORTELOR DE INERTIE**

8.1. Elemente initiale de calcul

- numărul orificiilor de golire n
- secțiunea transversală a unui orificiu s
- distanța de amplasare a orificiilor l
- secțiunea transversală a galeriilor longitudinale a
- raza hidraulică și coeficientul Chezy pentru galerii R, c
- lungimea orificiilor b
- curba de golire a ecluzei $Q_{efl} = f(t)$

8.2. Sistemul de ecuații de gradul doi

- pentru un moment oarecare t :

$$A \cdot q_{i+1}^2 + B \cdot q_i \cdot q_{i+1} - (C q_i^2 + B \cdot q_i \cdot q_i + D \cdot q_i^2) = 0 \quad (4.25)$$

$i = 1 \dots n - 1$

$$\sum_1^n q_i = Q_t \quad (4.24)$$

unde :

$$A = \frac{1,45 a(a+s)s^2}{2 a^2 s^2} ; B = \frac{1,45}{2as} ; C = \frac{1,45}{2s^2} ; D = \frac{6 \cdot l}{a^2 c^2 R} \quad (4.26)$$

iar :

$$Q_i = q_1 + q_2 + \dots + q_i = \sum q_i$$

Dacă se notează :

$$\frac{q_i}{q_1} = Y_i , \text{ atunci sistemul devine :}$$

$$A \cdot Y_{i+1}^2 + B(\sum Y_i) \cdot Y_{i+1} - [C \cdot Y_i^2 + B(\sum Y_i) Y_i + D \cdot (\sum Y_i)^2] = 0 \quad (4.25')$$

și :

$$q_1 \sum_1^n Y_i = Q_t \quad (4.26')$$

8.3. Calculul debitului Q_t

Q_t se determină din curba $Q_{efl} = f(t)$ sau se poate calcula :

$$Q_t = \mu' a' \sqrt{2g(H_0 - H_t)}$$

8.4. Rezolvarea sistemului de ecuații

Pentru $i = 1$ rezultă $Y_1 = 1$ și :

$$A \cdot Y_2^2 + B \cdot Y_1 \cdot Y_2 - (C \cdot Y_1^2 + B \cdot Y_1 \cdot Y_1 + D \cdot Y_1^2) = 0$$

care permite determinarea mărimii Y_2 . Similar rezultă celelalte debite relative de forma Y_i și în final $\sum_1^n Y_i$. Cu relația 4.26' va rezulta deci q_1 și în continuare celelalte debite.

NOTATII - PRGRM 8

- N - numărul orificiilor de golire
- S - secțiunea transversală a unui orificiu
- L - distanța de amplasare a orificiilor
- A1 - secțiunea transversală a galeriilor longitudinale
- R - raza hidraulică a galeriilor
- C1 - coeficientul lui Chezy pentru galerii
- B1 - lungimea orificiilor
- Q1 - debitul sistemului de golire la un moment dat t
- D - debit orificiu
- Z - debit galerie

```
10 PRINT " P R G R M 8 "
15 REM " DISTRIBUTIA DEBITELOR REZISTENTE "
20 REM " INERTIALE NEGLIJABILE "
25 DIM Y(100)
30 READ N,S,L,A1,R,C1,B1,Q1
40 A=(1.45*A1*(A1+S)-S*S)/(2*A1*A1*S*S)
50 B=1.45/(2*A1*S)
60 C=1.45/(2*S*S)
70 D=9.81*L/(A1*A1*C1*C1*R)
80 Y(1)=1
90 Z=Y(1)
100 FOR I=2 TO N
110 E=B*Z
120 F=C*Y(I-1)*Y(I-1)+B*Y(I-1)+D*Z*Z
130 G=-E/2/A
140 H=G*G+F/A
150 Y(I)=G+SQR(H)
160 Z=Z+Y(I)
170 NEXT I
180 R=G1/Z
190 PRINT "DEBITUL 1 = ";R
200 FOR I=2 TO N
210 D=Y(I)/R
220 PRINT "DEBITUL";I;" = ";D
230 NEXT I
240 STOP
300 DATA 26,0.375,5,6
310 DATA 0.25,0.625,40.23
320 DATA 1.0,50
330 END
```

**ANEXA 9 - CALCULUL DISTRIBUȚIEI DEBITELOR PRIN ORIFICIILE
SISTEMULUI HIDRAULIC DE ALIMENTARE (GOLIRE) ÎN
IPOTEZA NEGLIJĂRII FORTELOR DE REZISTENȚĂ
HIDRAULICĂ**

9.1. Elemente inițiale de calcul

- lungimea de distribuție a orificiilor de alimentare L_{alim}
- numărul orificiilor de alimentare n
- secțiunea totală de scurgere a orificiilor s
- secțiunea totală a galeriilor longitudinale a
- distanța de amplasare a orificiilor l
- lungimea orificiilor b
- curba de umplere a ecluzei $Q_{af1} = f(t)$

9.2. Sistemul de ecuații diferențiale a mișcării nepermanente

- pentru un moment oarecare t :

$$X_{i+1} = X_i + \lambda \sum X_i \quad (3.42)$$

$$\sum_1^n X_i = \frac{1}{\Delta q_1} \left(\frac{dQ}{dt} \right)_t \quad \text{pentru } i = 1 \dots n$$

unde :

$$X_i = \frac{\Delta q_i}{\Delta q_1} \quad (3.41)$$

$$q_i = \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_t$$

$$\lambda = \frac{L_{alim}}{n(n-1)b} \frac{a}{\sum s} \quad (3.49)$$

9.3. Calculul debitelor orificiilor sistemului de alimentare

- pentru un moment t :

$$q_{i,t} = q_{i,t-\Delta t} + \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_t \cdot \Delta t$$

iar :

$$\sum_1^n q_{i,t} = Q_t$$

- pentru primul moment de calcul :

$$q_{i, \Delta t} = \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_0 \cdot \Delta t$$

$$\sum \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_t = \left(\frac{dQ}{dt} \right)_t$$

unde Q_t și $(dQ/dt)_t$ rezultă din curba $Q_{af1} = f(t)$ sau se pot calcula cu relațiile :

$$Q_t = \mu a_0 \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H_t} \cdot \frac{t}{trv} \quad \text{pentru } t < trv$$

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_t = \frac{\mu a_0 \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H_t}}{trv} + \frac{\mu a_0 \sqrt{2g} \cdot t}{trv} \cdot \frac{d(\sqrt{H_t})}{dt}$$

pentru primul moment obținându-se :

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_0 = \frac{\mu a_0 \sqrt{2g} \sqrt{H_0}}{trv}$$

cu semnificațiile notațiilor ca în anexa 5.

9.4. Rezolvarea sistemului de ecuații

Cu relația 3.41, se observă :

$$X_1 = 1$$

Înlocuind succesiv în primele n-1 ecuații ale sistemului 3.42, se obține : $X_1 = 1$; $X_2 = 1 + \lambda$; $X_3 = (1 + \lambda)^2 X_2$ etc., rezultă astfel $\sum_1^n X_i$, și din ultima ecuație Δq_1 .

9.5. Notății pentru PRGRM 9

L1 - lungimea de distribuție a orificiilor de alimentare

N - numărul orificiilor de alimentare

S - raportul dintre secțiunea totală a orificiilor și secțiunea totală a galeriilor longitudinale

L2 - distanța de amplasare a orificiilor

B1 - lungimea orificiilor

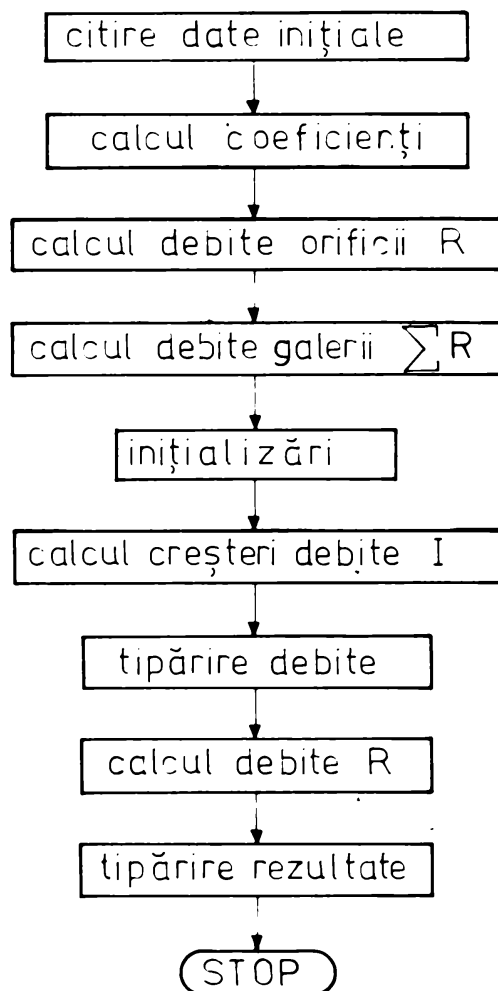
Q1 - creșterea de debit al sistemului de alimentare pentru momentul t

T - intervalul de timp Δt

I - creșterea de debit a orificiului la momentul t

R - debitul orificiului la momentul t

SCHEMA LOGICĂ PENTRU PRGRM 8,9



```
10 PRINT " P R G R M 9 "
15 REM " DISTRIBUTIA DEBITELOR REZISTENTE "
20 REM " HIDRAULICE NEGLIJABILE "
25 DIM Y(100),X(100)
30 READ L1,N,S,L2,B1,G1,T
40 L= L1/(N*(N-1)*B1*S)
45 REM " DEBIT ORIFICIU "
50 X(1)=1
55 REM " DEBIT GALERIE "
60 Z=X(1)
70 FOR I=2 TO N
80 X(I)=X(I-1)+L*Z
90 Z=Z+X(I)
100 NEXT I
110 Y(1)=G1/Z
120 PRINT "CRESTERE DEBIT 1 = ";Y(1)
130 FOR I=2 TO N
140 Y(I)=X(I)*Y(1)
150 PRINT "CRESTERE DEBIT ";I;" = ";Y(I)
160 NEXT I
170
180
190 FOR I=1 TO N
200 R=Y(I)*T
210 PRINT "DEBITUL ";I;" = ";R
220 NEXT I
230 STOP
300 DATA 140,20,1.50
310 DATA 5.0,1.5
320 DATA 0.25,1.5
330 END
```

**ANEXA 10 - CALCULUL DISTRIBUTIEI DEBITELOR PRIN ORIFICIILE
SISTEMULUI HIDRAULIC DE ALIMENTARE (GOLIRE) PRIN
REZOLVAREA ECUATIILOR MISCARII NEPERMANENTE**

10.1. Elemente inițiale de calcul

- numărul orificiilor n
- secțiunea transversală a unui orificiu s
- distanța de amplasare a orificiilor l
- lungimea orificiilor b
- secțiunea transversală a galeriilor longitudinale a
- raza hidraulică și coeficientul Chezy pentru galerii R, c
- curba de umplere - golire a ecluzei $Q = f(t)$

10.2. Sistemul de ecuații al mișcării nepermanente

- pentru un moment oarecare k , ecuația generală va fi :

$$\Delta q_{i+1,k}^2 + \Delta q_{i+1,k} \left(2 q_{i+1,k-1} \cdot \frac{1}{\Delta t} + \frac{B}{A} q_i \frac{1}{\Delta t} + \frac{E}{A} \cdot \frac{1}{2} \right) + q_{i+1,k-1}^2 \cdot \frac{1}{\Delta t^2} + \frac{B}{A} q_i \cdot q_{i+1,k-1} \cdot \frac{1}{\Delta t^2} - \frac{E}{A} \Delta q_{i,k} \cdot \frac{1}{\Delta t^2} - \frac{E}{A} \sum q_{i,k} \cdot \frac{1}{\Delta t^2} - \left[\frac{C}{A} q_i^2 \cdot \frac{1}{\Delta t^2} + \frac{B}{A} q_{i,k} \cdot q_{i,k} \frac{1}{\Delta t^2} + \frac{D}{A} q_i^2 \cdot \frac{1}{\Delta t^2} \right] = 0 \quad \text{pentru } i=1, \dots, n-1$$

și

$$\sum_1^n \Delta q_{i,k} = \left(\frac{dq}{dt} \right)_k$$

unde :

$$\Delta q_{i,k} = \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_k$$

$$q_{i,k} = q_{i,k-1} + \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_k \cdot \Delta t = \sum_1^k \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_k \cdot \Delta t$$

$$Q_{i,k} = \sum_1^i q_{i,k} = \sum_{i=1}^i \sum_{k=1}^k \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_k \cdot \Delta t$$

iar $A = \frac{1.45 a(a+s) - s^2}{2 a^2 s^2}$; $B = \frac{1.45}{2as}$; $C = \frac{1.45}{2s^2}$; $D = \frac{g l}{s^2 c^2 R}$

$E = \frac{b}{s}$ și $F = \frac{l}{a}$ (relațiile 4.26)

10.3. Rezolvarea sistemului de ecuații

- pentru primele și ultimele momente ale umplerii când influența forțelor de rezistență hidraulică se poate neglija se va utiliza sistemul 3.42 (anexa 9) ;

- pentru momentele corespunzătoare debitului maxim q_{max} , influența forțelor de inerție fiind neglijabile se pot neglija, iar distribuția debitelor rezultă prin rezolvarea ecuațiilor 4.25 (anexa 8) ;

- pentru celelalte momente sistemul de ecuații neliniare 3.40' se poate scrie :

$$\Delta q_{i+1,k}^2 + L \cdot \Delta q_{i+1,k} - M \Delta q_{i,k}^2 - N \Delta q_{i,k} - O \sum_1^i \Delta q_{i,k} - P \sum_1^i \Delta q_{i,k}^2 - B \Delta q_{i,k} + \sum_1^i \Delta q_{i,k} + S = 0 \text{ pentru } i = 1 \dots n-1 \quad (5.40')$$

unde:

$$L = \frac{2q_{i+1,k-1} \cdot \Delta t \cdot A + B \Delta t + E}{A \cdot \Delta t^2}$$

$$M = \frac{C}{A}$$

$$N = \frac{2q_{i,k-1} \Delta t \cdot C + B \cdot \sum_1^i \sum_{k-1}^i q_{i,k-1} \cdot \Delta t^2 + E}{A \cdot \Delta t^2}$$

$$O = \frac{B \cdot q_{i,k-1} \cdot \Delta t + 2D \cdot \sum_1^i \sum_{k-1}^i \Delta q_{i,k-1} \cdot \Delta t^2 + F}{A \cdot \Delta t^2}$$

$$P = \frac{D}{A}$$

$$S = \frac{A \cdot q_{i+1,k-1}^2 + B \cdot q_{i+1,k-1} - C \cdot q_{i,k-1} - B \cdot q_{i,k-1} \sum_1^i \sum_{k-1}^i q_{i,k-1} \Delta t - D \left(\sum_1^i \sum_{k-1}^i q_{i,k-1} \right)}{A \cdot \Delta t^2}$$

$$\Delta Q_k = \left(\frac{dQ}{dt} \right)_k$$

Sistemul de ecuații rezultat (3.40") este un sistem neliniar avînd n ecuații cu n necunoscute reprezentate prin creșterile de debit $\Delta q_{i,k}$. Pentru rezolvare, s-au utilizat mai multe procedee de aproximare a rădăcinilor /129/; cea mai bună metodă s-a dovedit a fi metoda Kani :

Fie un sistem neliniar de n ecuații cu n necunoscute :

$$f_j(X_i) = 0 \quad i = 1 \dots n \text{ și } j = 1 \dots n \quad (10.1)$$

dacă cunoaștem valoarea aproximativă a rădăcinilor aflate într-o vecinătate $\bar{z} \in [0,1]$, $X_i = X_i(\bar{z})$ atunci se calculează valoarea ecuațiilor 10.1 pentru aceste rădăcini :

$$f_j [X_i(\bar{z})] = f_{j,0} \quad (10.2)$$

În acest fel sistemul 10.1 devine :

$$f_j(X_i) = f_{j,0}(1 - \bar{z}) \quad (10.3)$$

Se derivează sistemul 10.3 în raport cu X_i , rezultă :

$$\sum_1^n \frac{\partial f_j}{\partial X_i} X_i' = -f_{j,0} \quad (10.4)$$

și rezultă astfel un sistem liniar de n ecuații cu n necunoscute X_i' care se poate scrie :

$$X_i' = F_j(X_i) \quad (10.5)$$

care se poate scrie în diferențe finite :

$$\Delta X_i = \Delta \bar{z} \cdot F_j(X_i) \quad (10.6)$$

care permite o rezolvare numerică pentru valori $\Delta \bar{z}$ convenabile. Rezultă necunoscutele X_i pornind cu valorile inițiale $X_{i,0}$ pentru intervale succesive $\Delta \bar{z}$, astfel ca în final $\sum \Delta \bar{z} = 1$.

Sistemul 3.40" se poate rezolva cu acest procedeu, pornind de la valorile cunoscute $\Delta q_{i,k-1}$, de la momentul anterior de calcul-

Practic, pentru primul interval de timp Δt , valorile $\Delta q_{i,1}$ sînt cunoscute prin rezolvarea sistemului 3.42 (anexa 9). Pentru următorul interval de timp Δt , soluțiile aproximative se pot considera cele precedente $\Delta q_{i,1}$, și se poate aplica metoda Kani.

Pentru această calculăm coeficienții L, M...S în funcție de $\Delta q_{i,1}$ și astfel sistemul 3.40" este definit.

Se calculează valoarea ecuațiilor pentru $\Delta q_{i,1}$:

$$f_{j,0} = \Delta q_{i+1,1}^2 + L \Delta q_{i+1,1} - M \Delta q_{i,1}^2 - N \Delta q_{i,1} - O \sum_1^i \Delta q_{i,1} - P \sum_1^i \Delta q_{i,1}^2 -$$

$$- R \Delta q_{i,1} \sum_1^i \Delta q_{i,1} + S \quad \text{pentru } j = 1 \dots n-1$$

$$f_{n,0} = \sum_1^n \Delta q_{i,1} - \Delta Q_k \quad (3.40''')$$

Se derivează sistemul rezultat în raport cu $\zeta \in [0,1]$, și dacă notăm :

$$\frac{d(\Delta q_i)}{d\zeta} = v_i, \text{ se obține :}$$

$$v_{i+1} (2 \Delta q_{i+1,2} + L) + v_i (2M \Delta q_{i,2} + R \sum_1^i \Delta q_{i,2} + 2P \sum_1^i \Delta q_{i,2} + R \Delta q_{i,2} + O + N) -$$

$$- \sum_1^{i-1} v_i (2P \sum_1^i q_{i,2} + R \sum_1^i q_{i,2} + O) = f_{j,0} \quad j = 1 \dots n-1$$

$$\sum_1^n v_i = f_{n,0} \quad (3.40^{IV})$$

Sistemul 3.40^{IV}, fiind un sistem liniar, se poate rezolva în prima aproximație pentru valorile $\Delta q_{i,1}$ rezultînd necunoscutele v_i^1 iar :

$$\Delta q_{i,2}^1 = \Delta q_{i,1} + \Delta \zeta \cdot v_i^1$$

Se continuă cu următoarele aproximări pînă cînd $\Delta \sum \zeta = 1$, și astfel se obțin mărimile căutate $\Delta q_{i,2}$.

Pentru momentul următor, rezolvarea este identică, valorile inițiale de calcul fiind de data aceasta $\Delta q_{i,2}$.

Se recomandă pentru o bună exactitate a calculului adoptarea unor valori cît mai reduse a intervalelor de timp Δt , de exemplu $\Delta t = 10''$ iar $\Delta \zeta = 0,1$ sau cel mult 0.2.

10.4. Notatii pentru PRGRM 10

- L1 - lungimea de distribuție a orificiilor de alimentare
- N - numărul orificiilor de alimentare
- S - secțiunea transversală a unui orificiu
- L2 - distanța de amplasare a orificiilor
- S1 - secțiunea totală a orificiilor
- A1 - secțiunea totală a galeriilor
- B1 - lungimea orificiilor
- R - raza hidraulică a galeriilor de alimentare

C1 - coeficientul lui Chezy pentru galerii

Q1 - creșterea de debit a sistemului de alimentare la un moment t

T - moment de calcul

T1 - interval de timp t

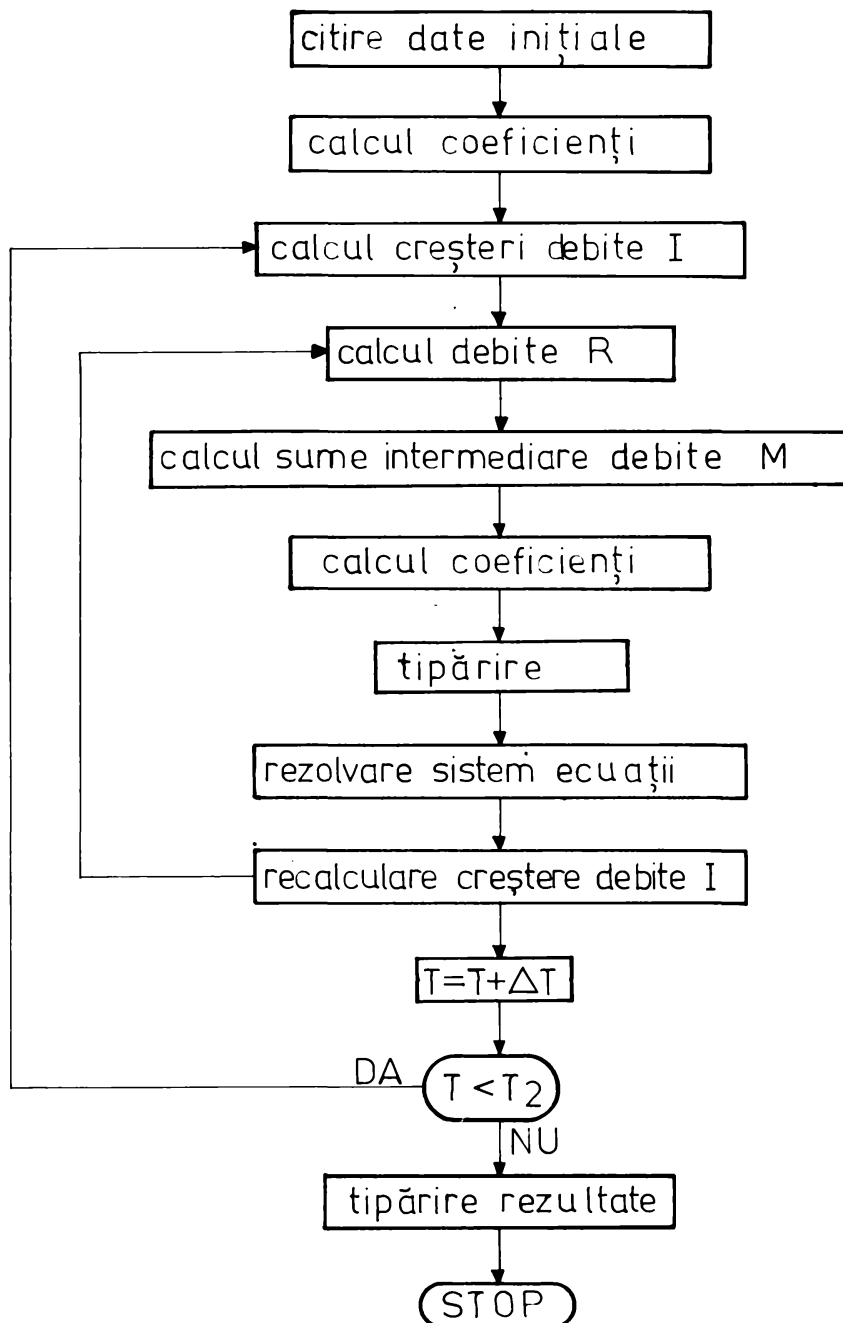
T2 - timp total de umplere

Y - creșterea de debit a orificiului

Z - debitul galeriei

M - debitul orificiului

10.5. SCHEMA LOGICA PENTRU PRGRM 10



```

10 PRINT "PRGRM 10"
20 REZOLVARE SISTEM ECUAȚII MIȘCĂRI NEPERMANENTE
30 READ L1,N,S,L2,S1,A1,B1,Q1,T,T1,T2
35 READ C1,K
40 DIM R(26),Y(26),M(26),F(26),V(26)
50 DIM C(26,26),D(26,26)
60 L=L2/(N*(N-1)*E1*S1)
70 A=(1.45*A1*(A1+S)-S*S)/(2*A1*A1*S*S)
80 B=1.45/(2*A1*S)
90 C=1.45/(2*S*S)
100 D=9.81*L2/(A1*A1*C1*C1*R)
110 E=B1/S
120 F=L2/A1
125 W=1/(A*T1*T1)
130 H=C/A
140 P=C/A
150 R=B/A
160 R(1)=1
170 Z=R(1)
180 FOR I=2 TO N
190 R(I)=R(I-1)+L*Z
200 Z=Z+R(I)
210 NEXT I
220 Y(1)=Q1/7
230 FOR I=2 TO N
240 Y(I)=R(I)*Y(1)
250 NEXT I
260 FOR I=1 TO N
270 R(I)=Y(I)*I
280 NEXT I
290 M(1)=R(1)
300 FOR I=2 TO N
310 M(I)=M(I-1)+R(I)
320 NEXT I
330 FOR K=1 TO 5
340 Z=0
345 J=1
350 MAT C=ZER
360 FOR I=1 TO N-1
370 Z=Z+Y(I)
375
380 U=R(I+1)
390 L=(2*U*T1*A+B*T1+E)*K
400 N1=(2*R(I)*T1*C+B*M(I)*T1+E)*K
410 C=(B*R(I)*T1+2*U*M(I)*T1+F)*K
420 S=(A*U*U+U*U-C*R(I)*R(I)-B*R(I)*M(I)-D*M(I)*M(I))*K
430 F(I)=Y(I+1)*Y(I+1)+L*Y(I+1)-M*Y(I)*Y(I)
435 F(1)=F(1)-N1*Y(I)-D*Z-P*Z*Z-K*Y(I)*Z+S
440 PRINT F(I)
445 F(I)=F(I)/10
450 U=2*Y(I+1)+L
455 U=U/10
460 V=2*M*Y(I)+R*Z+2*P*Z+R*Y(I)+N1+D
465 V=V/10
470 W1=2*P*Z+R*Z+U
475 W1=W1/10
480 FOR J=1 TO I-1
490 C(I,J)=W1
500 NEXT J
502 C(I,J)=U
505 C(I,J+1)=V
507 NEXT I
510 Z=Z+Y(N)
520 F(N)=Z-Q1
530 PRINT F(N)
535 F(N)=F(N)/10
540 FOR I=1 TO N

```

```
560 NEXT I
570 MAT D=INV(C)
580 MAT V=F*D
585
590 FOR J=1 TO N
600 Y(J)=Y(J)+V(J)*0.2
610 NEXT J
620 NEXT K
630 T=T+T1
640 IF T<T2 THEN 220
650 STOP
700 DATA 140,26,0.375
710 DATA 5.6,1.56,0.585
720 DATA 1.5,30,10,20
730 DATA 50
740 DATA 46.23,0.625
750 END
1600
```

Pagina 36a

C U P R I N S

	Pg.
ANEXA 1 - Calculul variației salinității medii a apei canalului în funcție de numărul ecluzărilor în ipoteza $\Delta V = 0$	1
ANEXA 2 - Calculul variației salinității medii a apei canalului în funcție de numărul ecluzărilor în ipoteza $\Delta V \neq 0$	2
ANEXA 3 - Calculul distribuției salinității în profilul longitudinal al canalului navigabil în ipoteza $\Delta V = 0$	3
ANEXA 4 - Calculul distribuției salinității în profilul longitudinal al canalului navigabil în ipoteza $\Delta V \neq 0$	5
SCHEMA LOGICA PENTRU PRGRM 1,2,3,4	7
PRGRM 1,2,3,4	9
ANEXA 5 - Calculul hidraulic al ecluzelor neconvenționale cu dublu circuit hidraulic cu funcționare prin umplere-golire concomitentă	13
ANEXA 6 - Calculul hidraulic al ecluzelor neconvenționale cu dublu circuit hidraulic cu funcționare prin umplere-golire concomitentă în ipoteza $Q_{af1} - Q_{ef1} = \text{constant}$	15
SCHEMA LOGICA PENTRU PRGRM 5,6,7	16
ANEXA 7 - Calculul hidraulic al ecluzelor neconvenționale cu dublu circuit hidraulic cu funcționare prin umplere-golire concomitentă în bazin subteran situat sub nivelul biefului aval	17
PRGRM 5, 6, 7	19
ANEXA 8 - Calculul distribuției debitelor prin orificiile sistemului hidraulic de golire (alimentare) în ipoteza neglijării forțelor de inerție	25
PRGRM 8	27
ANEXA 9 - Calculul distribuției debitelor prin orificiile sistemului hidraulic de alimentare (golire) în ipoteza neglijării forțelor de rezistență hidraulică	28
SCHEMA LOGICA PENTRU PRGRM 8, 9	29
PRGRM 8, 9	30

	Pg.
ANEXA 10 - Calculul distribuției debitelor prin orificiile sistemului hidraulic de alimentare (golire) prin rezolvarea ecuațiilor mișcării nepermanente	31
SCHEMA LOGICĂ PENTRU PRGRM 10	34
PRGRM 10	35