



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI  
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,  
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI  
PERSONELOR VÂRSTĂCE  
ASUPRĂ



Fondul Regional European  
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale  
2007-2013



MINISTERUL  
EDUCAȚIEI  
NAȚIONALE  
OPSDRU



Universitatea Tehnică  
de Construcții București

## UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI

### Facultatea de Hidrotehnică

*Titularul prezentei teze de doctorat a beneficiat pe întreaga perioadă a studiilor universitare de doctorat de bursă atribuită prin proiectul strategic „Burse oferite doctoranzilor în Ingineria Mediului Construit”, beneficiar UTCB, cod POSDRU/107/1.5/S/76896, proiect derulat în cadrul Programului Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane, finanțat din Fondurile Structurale Europene, din Bugetul Național și cofinanțat de către Universitatea Tehnică de Construcții București.*

# TEZĂ DE DOCTORAT

## Rezumat

# *EVALUAREA SIGURANȚEI DIGURILOR DE APĂRARE ÎMPOTRIVA INUNDAȚIILOR*

### Doctorand

*Ing. Roxana STĂNCIULESCU*

### Conducător de doctorat

*Prof. univ. dr. ing. Dan STEMATIU*

**BUCUREȘTI**

**2013**

## **Rezumat**

Prezenta lucrare este structurată pe șase capitole, **Capitolul 1** primul având caracter introductiv.

Prima parte a **Capitolului 2** cuprinde o clasificare a digurilor de apărare împotriva inundațiilor. Cea de-a doua parte descrie vulnerabilitatea digurilor supuse apelor mari de pe Dunăre și în Lunca Dunării. Capitolul se încheie cu prezentarea efectelor viiturilor asupra digurilor pe râuri interioare.

În **Capitolul 3** se prezintă caracteristicile geotehnice și hidrodinamice ale terenului de fundare și a corpului digurilor, și se identifică mecanismele de cedare prin care se poate produce avarierea lucrărilor hidrotehnice de apărare sau chiar ruperea totală și care pot conduce la un eveniment nedorit.

**Capitolul 4** prezintă metodele de evaluare a siguranței digurilor într-o abordare probabilistă, cu aplicație pe digul de apărare al incintei Ciulineț - Isaccea devenind astfel studiul de caz I.

În prima parte a **Capitolului 5** siguranța digurilor de pe râul Dâmbovița, sectorul Tanganu – Budești (studiul de caz II) este evaluată funcție de indicii de risc. În partea a doua, utilizând modelarea matematică, se analizează comportarea digurilor în perioadele de ape mari .

**Capitolul 6** prezintă concluziile, contribuțiile personale, precum și direcțiile viitoare de cercetare ale autoarei .

***Cuvinte cheie:** siguranță, risc, probabilitate de cedare, antrenare hidrodinamică, mecanisme de cedare, indici de risc, modelare matematică.*

### **Mulțumiri**

*Doresc să transmit sincere mulțumiri și gânduri de recunoștință domnului Prof. univ. dr. ing. **Dan Stematiu** pentru încrederea, înțelegerea și îndrumarea acordată de-a lungul celor trei ani de cercetare, precum și în perioada de elaborare a tezei de doctorat.*

*Mulțumesc domnului Conf. univ. dr. ing **Altan Abdulamit** pentru sprijinul acordat în obținerea datelor necesare întocmirii tezei de doctorat și a studiului de caz II.*

*Deasemenea, doresc să îmi exprim mulțumirile și aprecierea pentru întregul colectiv al catedrei de Construcții Hidrotehnice, precum și membrilor Departamentului de Studii Doctorale.*

*Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc familiei mele și prietenilor mei, pentru susținerea și sprijinul acordat.*

**Roxana Stănciulescu**

## ~ CUPRINS ~

<b>1. Introducere.....</b>	<b>pag. 5</b>
<b>Starea actuală a digurilor de apărare împotriva inundațiilor .....</b>	<b>pag. 5</b>
2.1. Date generale. Situația digurilor de apărare pe plan internațional	
2.2. Vulnerabilitatea digurilor de pe Dunăre supuse viiturilor din anii 2006 și 2010	
2.3. Efectele viiturii de pe Dunăre din 2006. Cauzele cedării digurilor	
2.4. Vulnerabilitatea digurilor din Lunca Dunării	
2.5. Efectele inundațiilor pe râuri interioare, asupra digurilor	
<b>3. Siguranța digurilor de apărare împotriva inundațiilor. Aspecte geotehnice și hidrodinamice.....</b>	<b>pag. 6</b>
3.1. Caracteristici geotehnice ale terenului de fundare și corpul digurilor	
3.2. Mecanisme de instabilitate, de cedare a digurilor	
3.2.1. Stabilitatea la antrenare hidrodinamica a digurilor	
3.2.2. Stabilitatea la alunecare a digurilor	
<b>4. Procedee de evaluare a siguranței digurilor de apărare împotriva inundațiilor bazate pe modelarea probabilistă.....</b>	<b>pag. 7</b>
4.1. Date generale	
4.2. Metode probabiliste de evaluare a siguranței digurilor. <b>Studiu de caz I</b>	
4.2.1. Abordarea probabilistă a digurilor de apărare împotriva inundațiilor, fondate pe terenuri dificile	
4.2.1.1. Probabilitatea de cedare a digului	
4.2.1.2. Probabilitatea anuală de rupere prin eroziune internă	
4.2.1.3. Probabilitatea de neinterceptare a unui accident geologic	
4.3. Evaluarea siguranței digului utilizând arbori probabilistici	
<b>5. Modelarea matematică a digurilor de apărare supuse apelor mari. Studiu de caz II.</b>	<b>.....pag.12</b>
5.1. Evaluarea riscului pentru digurile de apărare ale râului Dâmbovița, pe sectorul Tanganu-Budești, în funcție de indicele de risc.	
5.2. Comportarea digurilor de pe râul Dâmbovița în situația actuală și cu sisteme de protecție	
<b>6. Concluzii generale.....</b>	<b>pag.14</b>

## ***Bibliografie selectivă***

### ***Lista de lucrări și publicații proprii (ale autorului tezei)***

## **1. Introducere**

România s-a confruntat în ultimii ani cu inundații tot mai dese datorate pe de o parte caracterului extrem al ploii, pe de altă parte lipsei de monitorizare și eficientizare a siguranței în exploatarea a digurilor, mai exact privind depistarea zonelor vulnerabile și stoparea infiltrațiilor în corpul digurilor.

Proiectul de cercetare are ca obiectiv evaluarea siguranței digurilor de apărare împotriva inundațiilor, analizând stabilitatea acestora la acțiunea apelor mari din punct de vedere geotehnic și hidrodinamic, într-o abordare probabilistă.

## **2. Starea actuală a digurilor de apărare împotriva inundațiilor**

### **2.1. Date generale**

### **2.2. Vulnerabilitatea digurilor de pe Dunăre supuse viiturilor din anii 2006 și 2010**

Acțiunea apelor mari și a viiturilor îndelungate asupra digurilor, au scos în evidență vulnerabilitatea acestora, caracterizată prin: denivelări corp dig, datorate depășirii nivelurilor maxime admisibile (deversări); eroziuni externe; lipsa drenajului la piciorul aval, fundații permeabile antrenabile (fenomenul de sufozii în fundația digurilor, și apariția grifoanelor, craterelor; instabilități corp dig, maluri neconsolidate; eroziuni interne datorate infiltrațiilor de-a lungul lucrărilor de traversare prin corpul digului sau fundație (piping) .

### **2.3. Efectele viiturii de pe Dunare din 2006. Cauzele cedării digurilor**

### **2.4. Vulnerabilitatea digurilor din Lunca Dunării**

Digurile din Lunca Dunării, au fost construite începând cu anul 1904 ca diguri submersibile, astfel datorită inundațiilor care au avut loc, s-au făcut o serie de cercetări pentru evaluarea stabilității digurilor. În urma evaluării, s-a constatat că digurile din Lunca Dunării prezintă anumite deficiențe, printre care: diguri subdimensionate (cota coronamentului este mult sub cea proiectată) prezentând denivelări majore, degradări ale taluzelor, goluri în perdele forestiere, sufozii, grifoane.

### **2.5. Efectele inundațiilor pe râuri interioare, asupra digurilor**

### 3. Siguranța digurilor de apărare împotriva inundațiilor. Aspecte geotehnice și hidrodinamice

#### 3.1. Caracteristici geotehnice ale terenului de fundare și corpul digurilor

Pentru a putea identifica pământurile și a estima comportarea lor sub acțiunea solicitărilor, este necesară o caracterizare bazată pe elemente sigure și semnificative. (“Fundații” – Anghel Stanciu, Irina Lungu).

În acest subcapitol se prezintă aspecte legate de compactarea, consolidarea și compresibilitatea pământurilor, permeabilitatea lor, sisteme de drenare a apei din masivul de pământ, precum și determinarea rezistenței pământurilor prin încercări triaxiale și de penetrometrie.

#### 3.2. Mecanisme de instabilitate, de cedare a digurilor

Pentru evaluarea siguranței și a riscului, este necesar să identificăm mecanismele de cedare prin care se pot produce avarierea lucrărilor hidrotehnice de apărare sau chiar ruperea totală și care pot conduce la un eveniment nedorit.

Pentru digurile de protecție împotriva inundațiilor, pot fi definite trei grupe de mecanisme de cedare: eroziune internă în corpul sau fundația digului produsă de infiltrații (cu efect de antrenare hidrodinamică); eroziune externă a corpului digului produsă de deversarea peste coronament; instabilitatea corpului digului, a terenului de fundare datorită creșterii presiunii hidrostatice, a subpresiunilor sau a presiunii apei din pori.

##### 3.2.1. Stabilitatea la antrenare hidrodinamică a digurilor

Fenomenul de antrenare hidrodinamică este procesul de dezagregare al structurii pământului, antrenarea și transportul particulelor mai fine acționate de curentul de filtrație.

Se manifestă sub mai multe forme: eroziune internă, sufozie, refulare hidrodinamică, rupere hidrolică.

Forța totală de antrenare hidrodinamică  $J$  se calculează conform formulei:

$$J = j \times V \rightarrow J = \gamma_w \times \overline{i_{gr}}$$

unde:  $\gamma_w$  - greutatea volumică a apei,  $i_{gr}$  – gradientul hidrolic

Când forța hidrodinamică este în același sens cu forța de greutate, stabilitatea masivului de pământ crește. Condiția de stabilitate este îndeplinită atunci când gradientul hidrolic este nul.

##### 3.2.2. Stabilitatea la alunecare a digurilor

Instabilitatea digurilor se poate manifesta pe ambele paramente (aval și amonte) din diferite cauze: caracteristici geomecanice slabe, rosturi inter-strate prost tratate, zone cu

compactare slabă. Toate aceste puncte sensibile atât ale corpului digurilor cât și fundațiile lor, reprezintă zone cu potențial ridicat de infiltrație a apei care conduce în timp la eroziune internă și în final la cedarea digului de apărare. Stabilitatea la alunecare a taluzurilor digurilor se verifică de-a lungul unor suprafețe cilindrice circulare cu ajutorul relației:

$$k = \frac{M_{st}}{M_{al}}$$

Unde: k- reprezintă coeficientul de stabilitate la alunecare;  $M_{st}$  - este momentul forțelor de stabilitate în raport cu centrul cercului de stabilitate;  $M_{al}$  – este momentul forțelor care tind să producă alunecarea, în raport cu centrul cercului de alunecare;

Dacă se împarte volumul de pământ într-un număr de „n” fâșii egale, iar forțele de împingere laterală care acționează pe o fâșie, se egalează și se anulează reciproc, atunci coeficientul de stabilitate la alunecare are următoarea formulă:

$$k = \frac{1}{\sum_1^n T_i} \sum_1^n (N_i \times \tan \varphi_i + c_i \times L_i)$$

Unde:  $N_i$  – reprezintă componenta normală a greutateii proprii a fâșiei „i” ;  $T_i$  – reprezintă componenta tangențială a greutateii proprii a fâșiei „i” ;  $\varphi_i$  - unghiul de frecare al fâșiei „i” la nivelul cercului de alunecare;  $L_i$  - lungimea arcului de cerc al fâșiei „i” ;  $c_i$  - coeziunea corespunzătoare fâșiei „i” la nivelul cercului de alunecare. Stabilitatea taluzului sub acțiunea hidrodinamică a apei de infiltrație, se poate calcula măbind greutatea unei fâșii din masivul de pământ cu greutatea apei din pori și apoi micșorând componenta normală cu valoarea forței de subpresiune hidrodinamică care acționează ca forță de alunecare. Pentru a se asigura stabilitatea taluzului, coeficientul de siguranță are valoarea minimă corespunzătoare cercului critic de alunecare.

## **4. Procedee de evaluare a siguranței digurilor de apărare împotriva inundațiilor bazate pe modelarea comportării digurilor supuse apelor mari. Studiu de caz I.**

### **4.1. Date generale**

### **4.2. Metode probabiliste de evaluare a siguranței digurilor. Studiu de caz I**

#### **4.2.1. Abordarea probabilistă a digurilor de apărare împotriva inundațiilor, fondate pe terenuri dificile**

Abordarea probabilistă a siguranței digurilor constiuie o modalitate de analiză a evaluării riscului care, atunci când un eveniment nefericit se produce, riscul se poate calcula ca produsul dintre probabilitatea de apariție a evenimentului și mărimea consecințelor.

S-a folosit ca studiu de caz I digul de apărare împotriva inundațiilor al incintei de la Ciulinet- Isaccea. Digul a suferit două prăbușiri în fundație, în două locații pe lungimi de cca. 180 m, respectiv 90 m. În zonele afectate, digul nu mai poate asigura protecția incintei împotriva inundațiilor.



Figura 1. Prăbușirea în fundație a digului (Expertiza tehnică – “Consolidarea digului și închiderea breșei în localitatea Isaccea, Județul Tulcea”)

#### 4.2.1.1. Probabilitatea de cedare a digului

Pentru evaluarea siguranței digului de la Isaccea, s-a propus a se analiza probabilitatea medie de cedare statistică a digului pe o perioadă de un an, astfel:

$$p_t = \frac{m_t}{N_t}, \text{ unde } m_t = 2 \rightarrow \text{reprezintă suma incidentelor care au avut loc asupra digului}$$

$N_t = N_1 + N_2 \rightarrow$  reprezintă numărul total de evenimente analizate (tronsoane care pot ceda într-un an), respectiv numărul de unități independente.

Probabilitatea medie de a avea o cedare statistică este:

$$p_t = \frac{m_t}{N_t} = 2.77 \times 10^{-2}$$

Mecanismele de cedare fiind însă evenimente rare, se pot admite distribuții discrete de tip Poisson, care sunt definite de parametrul  $\lambda$ , denumit *rata medie de apariție*.

Pentru prognoza cedărilor viitoare pe o perioadă de un an, valoarea ratei de apariție este egală cu  $\lambda = p_t N_t$ , iar probabilitatea apariției a ”r” evenimente rare (cedări) este:

$$P = \frac{\lambda^r e^{-\lambda}}{r!}$$

S-a constatat că într-un an, probabilitatea ca digul să nu cedeze este destul de mică  $P(r = 0) = 0.1321$ , probabilitatea ca digul să sufere o cedare însă, este mai mare  $P(r = 1) = 0.2634$ .



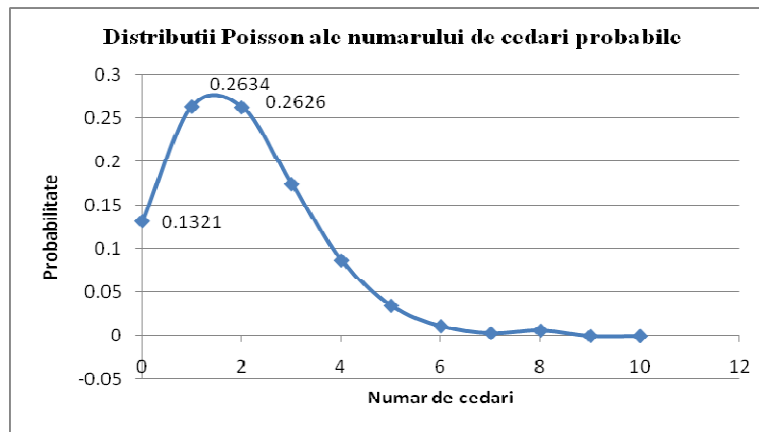


Figura 2. Prognoza cedărilor viitoare pentru o perioadă de un an

#### 4.2.1.2. Probabilitatea anuală de rupere prin eroziune internă

Probabilitatea anuală de rupere reprezintă raportul dintre numărul de evenimente înregistrate (cedări) și numărul total de evenimente, exprimate ca produs între numărul de lucrări și numărul de ani de exploatare.

$$P_r = \frac{n_r}{\sum_1^N t_i}$$

unde:  $P_r$  = probabilitatea anuală de rupere,  $n_r$  = numărul de ruperi,  $N$  = număr de diguri de același tip,  $t_i$  = durata de exploatare.

Pentru determinarea probabilității de rupere prin eroziune internă a digului de la Isaccea, am aplicat metoda lui R. Fell, care constă în determinarea a doi coeficienți de erodabilitate,  $F_{EE}$  (pentru corpul digului) și  $F_{FE}$  (pentru terenul de fundare). Probabilitățile de rupere ( $P_{r,eb}$  pentru eroziunea internă prin corp, și  $P_{r,ef}$  pentru eroziunea internă prin fundație) depind de coeficienții de erodabilitate și se stabilizează statistic.

$$P_{r,eb} = 0.3 \times 10^{-2} ; \quad P_{r,ef} = 0.7 \times 10^{-2}$$

→ Probabilitatea anuală de rupere în corpul digului:

$$P_r = 2x \left( \frac{0.3 \times 10^{-2}}{30} \right) = 2x10^{-4}$$

→ Probabilitatea anuală de rupere în fundația digului:

$$P_r = 2x \left( \frac{0.7 \times 10^{-2}}{30} \right) = 4.6x10^{-4}$$

Se observă că într-un an, probabilitatea de a se produce ruperea digului datorită eroziunii interne în fundație este mai mare.

În urma studiilor geotehnice realizate ulterior incidentului, s-au găsit în terenul de fundare mături neconsolidate și turbe negre fapt ce a condus la producerea incidentului de cedare în fundație a digului.

#### 4.2.1.3. Probabilitatea de neinterceptare a unui accident geologic

Probabilitatea ca un dig să își piardă stabilitatea prin alunecare, dacă în fundația lui se află neidentificată o lentilă cu material cu caracteristici geomecanice slabe, este foarte mare.

Pentru a nu avea loc cedarea sau ruperea digului, ar trebui depistate toate zonele cu material slab .

Una din cauzele cedării digului de la Isaccea, o reprezintă neinterceptarea zonelor cu turbă neagră și mълuri din fundația acestuia. Probabilitatea de neinterceptare a unui accident geologic este echivalentă cu o probabilitate relativ mare de cedare a digului pentru lentilele de material slab în lungimi de  $d=180m$ , respectiv  $d=90m$ .

$$P_n = 1 - \frac{d}{a}$$

unde :  $P_n$  – probabilitatea de neinterceptare a lentilei,  $d$ - lungimea lentilei, iar  $a$  – distanța dintre foraje

Cu cât distanța dintre foraje este mai mare, cu atât probabilitatea de neinterceptare a unei lentile de material slab în fundația sau corpul digului este mai mare, așa cum se prezintă în graficele din figurile 3 și 4.

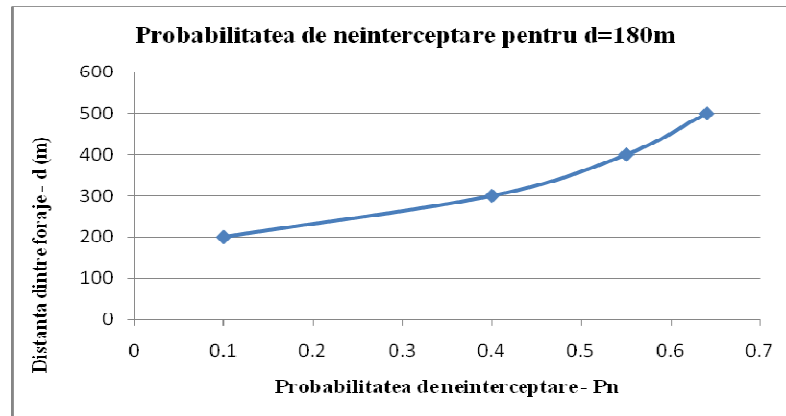


Figura 3. Probabilitatea de neinterceptare a lentilei de lungime  $d=180m$

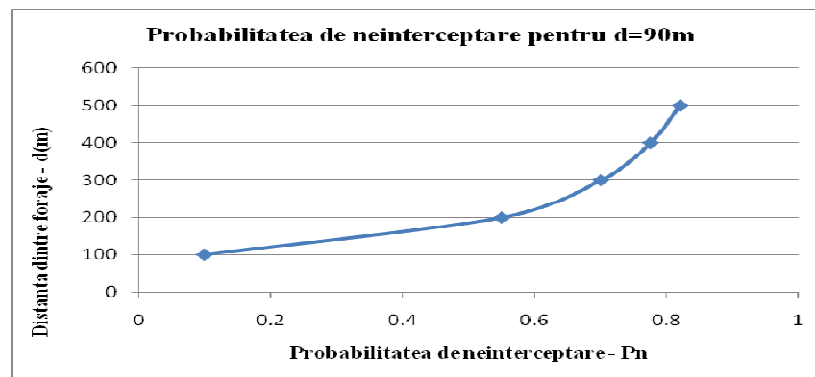


Figura 4. Probabilitatea de neinterceptare a lentilei de lungime  $d=90m$

Probabilitatea apariției unei viitoare cedări în fundația sau corpul digului este invers proporțională cu număr de investigații geotehnice (probabilitate mare pentru un număr redus de studii). Pentru a evita riscul apariției unor accidente geologice încă nedepistate, este important a se realiza profile geologice longitudinale continue.

Execuția forajelor de studii la distanțe mici, este extrem de costisitoare și nu este practică, în mod curent, distanța dintre foraje este de cel puțin 100m.

Pentru analiza economică a studiilor geotehnice funcție de distanța dintre foraje, s-a considerat costul pe ml de foraj ca fiind 40 euro. În urma cedării digului de la Isaccea, pentru remedierea breșelor s-au efectuat foraje la adâncimi de 15 metri.

Costul studiilor geotehnice este mai mare cu cât distanța între forajele geotehnice este mai mică însă, dacă se realizează studii de teren la distanțe mari, probabilitatea de neinterceptare a unei zone de pământ cu caracteristici fizico-mecanice slabe atât în fundație cât și în corpul digului este mare ceea ce conduce la o probabilitate mare de cedare a digului, așa cum se prezintă în graficul din figura 5.

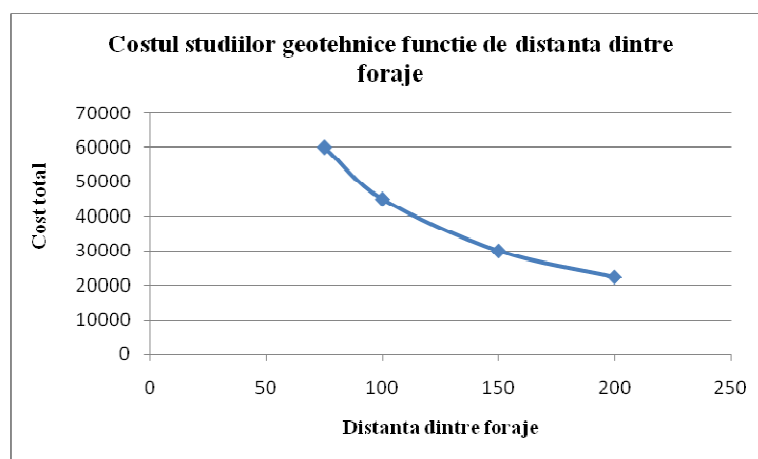


Figura 5. Variația costului funcție de distanța dintre foraje

În consecință, obținerea unor informații cât mai complete asupra materialelor din fundația și structura digului este justificată tehnic și economic.

Costul studiilor geotehnice crește odată cu creșterea distanței dintre foraje, însă evaluând costul remedierii digului, pagubele materiale și pierderile de vieți omenești în situația cedării (ruperii) digului se constată că este mai mic decât costul investigațiilor geotehnice pentru interceptarea zonelor cu lentile de pământ cu caracteristici geomecanice slabe.

#### 4.3. Evaluarea siguranței digului utilizând arbori probabilistici

Arborele evenimentelor este o reprezentare grafică a evenimentelor primare care au ca rezultat final evenimentul nedorit, în urma căruia se declanșează un set de consecințe. Evenimentele primare sunt de cele mai multe ori reprezentate de hazard: viituri, galerii de rozătoare, erori umane, etc.

*Arborii evenimentelor adverse* au ca scop determinarea probabilității evenimentului final nedorit reprezentat de o cedare, o stare critică a construcției care poate fi : pierderea stabilității corpului digului sau a fundației acestuia, deversarea peste coronament, eroziunea internă, eroziunea externă, etc.

În cazul digului de la Isaccea, evenimentul final nedorit îl reprezintă prăbușirea în fundație. S-a utilizat arborele evenimentelor adverse atât pentru identificarea mecanismelor de cedare cât și pentru evaluarea probabilităților modurilor dominante care au condus la cedarea în fundație a digului. Cu ajutorul arborilor evenimentelor adverse se evidențiază parametrii de exploatare care guvernează siguranța. Pe baza tabelului de conversie, s-au stabilit prin apreciere probabilitățile evenimentelor primare.

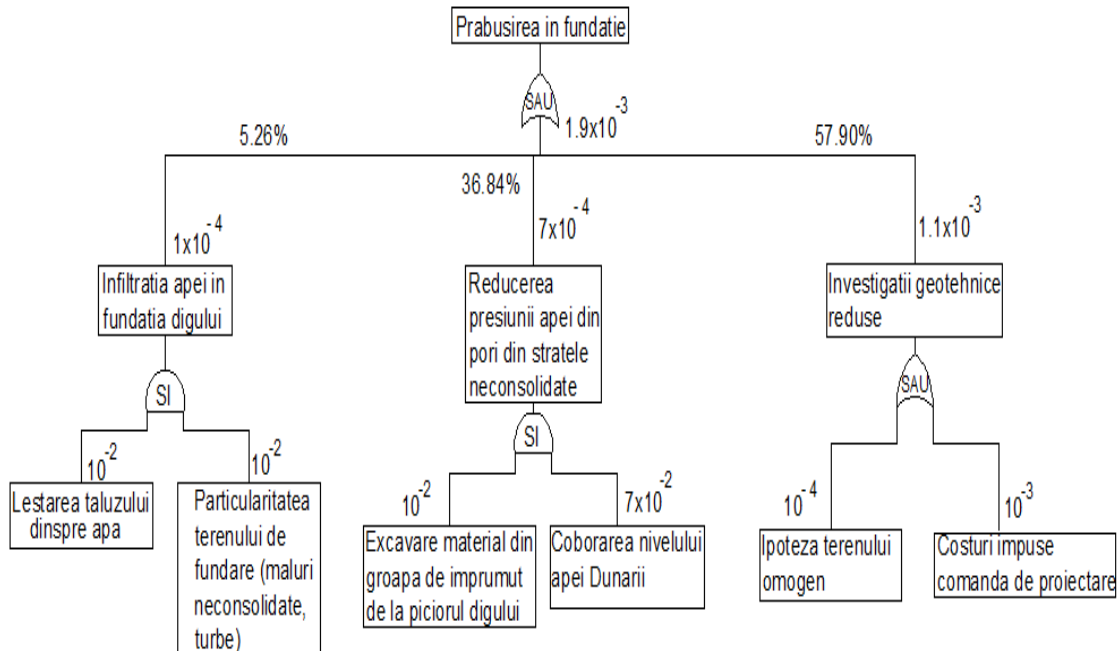


Figura 6. Arborele evenimentelor adverse pentru prăbușirea în fundație a corpului digului

Urmărind probabilitățile relative ale arborelui evenimentelor adverse rezultă că ramura investigații geotehnice reduse, cauzată fie de costurile impuse la comandă de proiectare, fie de ipotezele ca terenul este omogen, are contribuția majoră în producerea avariei. Prin acest studiu de caz se semnalează necesitatea realizării de investigații geotehnice cât mai complete și la distanțe rezonabile astfel încât să se îndeplinească un echilibru tehnico-economic.

## 5. Evaluarea riscului pentru digurile de apărare ale râului Dâmbovița, pe sectorul Tânganu-Budești, funcție de indicele de risc. Studiu de caz II

### 5.1. Date generale

Digurile de apărare sunt amplasate pe malul stâng și malul drept al râului Dâmbovița, respectiv sectorul NH Tânganu-Budești, aparținând bazinului hidrografic Argeș.

Digul este realizat din pământ, ca o structură omogenă, terenul din fundație fiind alcătuit din argilă, fără sistem de etanșare și drenaj. Singura protecție a suprafeței digului este realizată prin înierbare. De-a lungul timpului, digul a suferit eroziuni și degradări evolutive pe toată lungimea și pe ambele maluri cu zone critice la: Pod Gălbinași, între Vasilați și Gălbinași, și între Podul Pitarului – Plătărești mal drept.

Conform Normativului pentru evaluarea siguranței digurilor de apărare împotriva inundațiilor, digul de pe râul Dâmbovița se încadrează în categoria de importanță B – Deosebită, cu efecte și pagube moderate având un indice de risc asociat mare, care necesită măsuri de remediere.

În acest sens, se propun soluții de etanșare cu palplânse pentru micșorarea gradientelor hidraulici, și o saltea drenantă la piciorul aval pentru coborârea curbei de infiltrație.

Se constată conform normativului, că indicele de risc se micșorează considerabil, încadrând digul în categoria semnificativ, tolerabil.

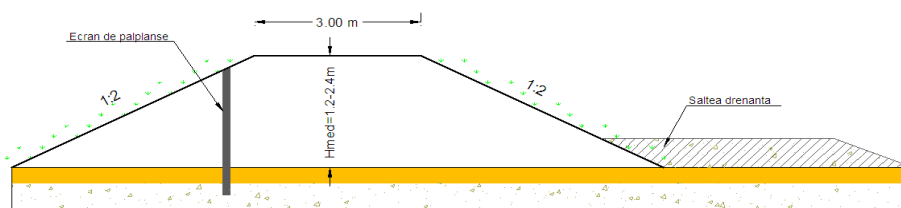


Figura 7. Secțiune transversală tip prin digul de apărare al râului Dâmbovița, sectorul Tânganu-Budești, cu sisteme de protecție

## 5.2. Comportarea digurilor de pe râul Dâmbovița în situația actuală și cu sisteme de protecție

Pentru a studia comportarea digurilor de pe râul Dâmbovița în situația de ape mari, s-a propus să se determine stabilitatea acestora cu ajutorul modelării matematice. Se observă punctul de ieșire pe taluzul aval al curbei de infiltrație prin corpul digului, la cca. 1m deasupra nivelul terenului.

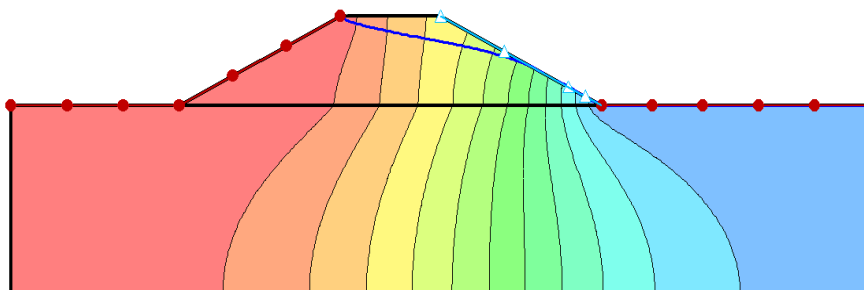


Figura 8. Curba de infiltrație prin digul de pe râul Dâmbovița în starea actuală

Lipsa sistemului de drenaj, permite infiltrarea apei care afectează stabilitatea digului, producând eroziuni interne prin antrenarea materialului din corpul digului, ducând în final la cedarea acestuia. Din modelarea matematică se observă că stabilitatea digului este precară, factorul de stabilitate ( $F_s$ ) al digului în situația în care nivelul apei atinge valoarea maximă (nivelul coronamentului) este subunitar, având valoarea  $F_s=0.955$ .

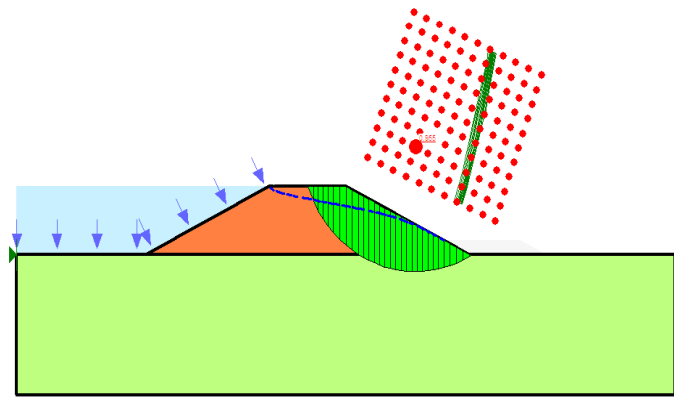


Figura 9. Stabilitatea digului în situația actuală, când nivelul apei este maxim

Pentru a se evita riscul apariției unei cedări, se propun măsuri de stopare a infiltrațiilor, și anume: pe taluzul aval se propun un filtru drenant și o saltea drenantă cu rol de interceptare a curbei de infiltrații, precum și un sistem de palplanșe pentru a reduce gradientii hidraulici. Salteaua drenantă aplicată la baza taluzului interceptează infiltrațiile, astfel încât punctul de ieșire al apei din corpul digului nu mai intersectează taluzul aval, ci este preluat de materialul drenant din care este alcătuită salteaua.

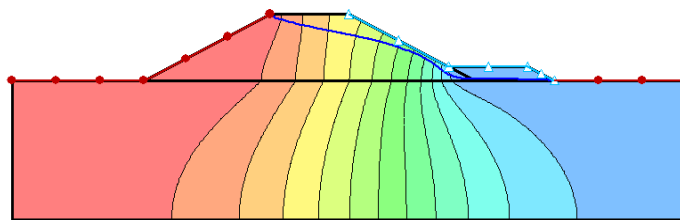


Figura 10. Curba de infiltrații interceptată de salteaua drenantă

În urma modelării matematice, s-a constatat că în situația în care digul este protejat împotriva inundațiilor, stabilitatea acestuia la ape mari crește, cu un factor de siguranță de  $F_s=1.157$ .

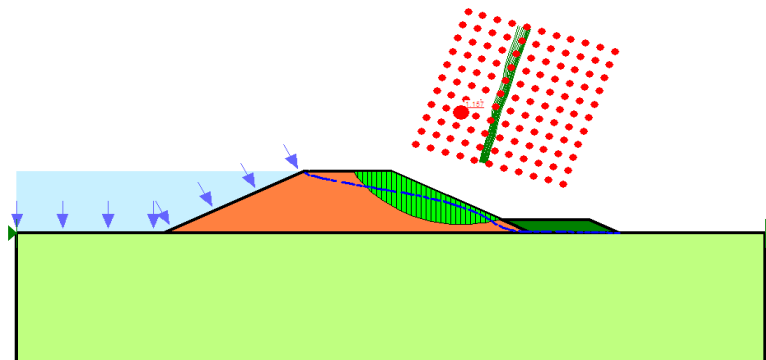


Figura 11. Stabilitatea digului în situația cu sisteme de protecție

Concluzia acestui studiu de caz este că digurile de pe ambele maluri ale râului Dâmbovița, în special în zonele critice la: Pod Gălbinași, între Vasilați și Gălbinași, și între Podul Pitarului – Plătărești mal drept, necesită măsuri de reabilitare, deoarece la acțiunea apelor mari, aceste diguri devin instabile ducând la cedarea lor, datorită fenomenului de

eroziune internă produs de infiltrarea apei în corpul digului. Prin soluțiile propuse, prezentate în acest studiu de caz, se diminuează riscul apariției unei cedări, precum și o creștere a siguranței digurilor evaluată din punct de vedere al stabilității acestora.

## **6.CONCLUZII GENERALE:**

Lucrarea intitulată *“Evaluarea siguranței digurilor de apărare împotriva inundațiilor”* abordează subiectul evaluării riscului într-o manieră probabilistă.

Lucrarea tratează o problemă extrem de importantă, și anume siguranța digurilor de apărare împotriva inundațiilor din România, diguri care au fost construite cu mulți ani în urmă și asupra cărora nu s-au făcut investigații. Pentru a evalua și a cunoaște riscul apariției unui eveniment nefericit este imperios necesară realizarea investigațiilor privind stabilitatea digurilor în situația de “ape mari”.

Evaluarea și cunoașterea riscului conduc la necesitatea abordării probabiliste a analizelor de siguranță, precum și la realizarea unui echilibru economic între cheltuielile de realizare – exploatare și cheltuielile datorate reparării prejudiciilor produse de eventualele avarii.

În studiul de caz I se tratează problema siguranței digului de apărare al incintei Ciulineț-Isaccea, prin următoarele metode probabilistice: probabilitatea de cedare, probabilitatea anuală de rupere prin eroziune internă, probabilitatea de cedare a digului datorită neinterceptării de lentile cu material slab în corpul sau fundația digului, evaluarea probabilității și a mecanismelor de cedare utilizând arbori probabilistici.

În urma analizei riscului asociat digului de la Isaccea bazată pe evaluarea probabilității de cedare, utilizând arborele evenimentelor adverse se scoate în evidență necesitatea realizării investigațiilor geotehnice pentru depistarea zonelor cu material slab în fundația sau corpul digurilor și evitarea unei posibile avarii, chiar dacă costurile realizării acestora sunt considerabile, valoarea consecințelor rezultată ca urmare a producerii unui posibil eveniment nefericit depășește cu mult costurile investigațiilor geotehnice.

În studiul de caz II, se evaluează siguranța digurilor de pe ambele maluri ale râului Dâmbovița, sectorul Tanganu-Budești, în funcție de indicii de risc. De asemenea se analizează comportarea acestora în situația de “ape mari” utilizând modelarea matematică.

Acest studiu de caz reliefează problemele de stabilitate ale digurilor de pe râul Dâmbovița, diguri care necesită remedieri semnificative ce constau în soluții de etanșare și drenaj pentru creșterii stabilității și evitării riscului de apariție a unor avarii.

Scopul acestei lucrări este de a atrage atenția asupra necesității realizării de studii geotehnice de-a lungul digurilor de apărare pentru a diminua riscul apariției unor avarii.

Contribuțiile proprii aduse în domeniu constau în abordarea probabilistă prin diferite metode probabilistice de evaluare a siguranței digurilor de apărare împotriva inundațiilor din România.

Ca direcții pentru studii viitoare lucrarea crează premisele realizării unei baze de date pe baza abordărilor statistice în definirea probabilității de cedare, cât și crearea unor modele probabilistice în evidențierea eficacității și fiabilității soluțiilor constructive adoptate.

### **Bibliografie selectivă:**

1. “Digurile Dunării” – conf. univ. dr. ing. Altan Abdulamit (U.T.C.B.)
2. “Modificări severe în regimul hidrologic al Dunării și impactul acestora asupra agriculturii în lunca îndiguita”- Ioan Vișinescu, Marcel Bularda
3. “Floods in the Danube River Basin” – Working paper, Viena 2006
4. “Evaluarea stării de siguranță a digurilor de apărare împotriva inundațiilor” – Normativ nr. NP 131/2011
5. “Legea siguranței digurilor” – Lege nr. 259/2010 publicată în Monitorul Oficial Partea I nr. 857 din 21 decembrie 2010
6. “Bilanțul efectelor inundațiilor din 2006 și lucrările de închidere a breșelor create în digurile Dunării “- Revista ANIF Monitor nr 1. Iunie 2007, Administrația Națională a Îmbunătățirilor Funciare
7. “Geologie pentru ingineri constructori cu elemente de protecție a mediului geologic și geologie turistică” - Eugeniu Marchidanu
8. “Mecanica rocilor pentru constructori” - Dan Stematiu, Editura Conspress București, 2008
9. “Mecanica Pământurilor” - Sanda Manea, Loretta Batali, Horațiu Popa
10. “Geotehnică și Fundații” – S. Andrei , I. Antonescu
11. “Geotechnical Engineering of Dams” – Robin Fell, Patrick MacGregor, David Stapledon, Graeme Bell
12. „Fundații. Îndrumător de proiectare” – N. Rădulescu, H. Popa, A. Munteanu
13. “Siguranța barajelor și managementul riscului” – Dan Stematiu, Ștefan Ionescu, Altan Abdulamit, Editura Conspress București;
14. “Normativ – Analiza și evaluarea riscului asociat barajelor”
15. “Tailings Dam Safety Guidelines” – ICOLD , 1991.
16. “Fundatii” – Anghel Stanciu, Irina Lungu, Editura Tehnică, 2006
17. “Geotehnică” – Nicolae Botu, Vasile Musat, Editura Societății Academice Matei-Teiu Botez, Iași
18. “Necesitatea supraînălțării și consolidării digurilor de apărare din Lunca Dunării”, Dezbateri națională “Dunărea, Lunca și Delta Dunării. Agricultură și mediu. Prezent și perspectivă” – Moraru N., Academia de științe agricole și silvice, 2008, București
19. “Exploatarea și întreținerea lucrărilor de îmbunătățiri funciare” – Măgdalina I., Editura Didactică și Pedagogică , București, 1994.



*Lista de lucrări și publicații proprii (ale autorului tezei)*

1. Raport de cercetare 1 - „Starea actuală a digurilor de apărare împotriva inundațiilor”
2. Raport de cercetare 2 - „Siguranța digurilor de apărare împotriva inundațiilor. Aspecte geotehnice și hidrodinamice”
3. Raport de cercetare 3 - “Procedee de evaluare a siguranței digurilor de apărare împotriva inundațiilor bazate pe modelarea comportării digurilor supuse apelor mari”
4. **Stănciulescu R., Popescu C., “Vulnerability of Danube dikes, mechanisms of instability”, The 3rd Conference of the Young Researchers 2012, București**
5. **Stănciulescu R., “Procedee de evaluare a siguranței digurilor”, Buletinul Științific U.T.C.B., 2013, București**
6. Popescu C., **Stănciulescu R., “Study on the influence factors determining the rock load on structures for underground excavations”, The 3rd Conference of the Young Researchers 2012, București**