



ORDINUL
nr.....din2012
pentru aprobarea reglementării tehnice "Normativ privind analiza și
evaluarea riscului asociat barajelor", indicativ NP 132 –2011

În conformitate cu prevederile art.10 și art.38 alin.2 din Legea nr.10/1995 privind calitatea în construcții, cu modificările ulterioare, ale art. 2 din Regulamentul privind tipurile de reglementări tehnice și de cheltuieli aferente activității de reglementare în construcții, urbanism, amenajarea teritoriului și habitat, aprobat prin Hotărârea Guvernului nr.203/2003, cu modificările și completările ulterioare și ale Hotărârii Guvernului nr.1016/2004 privind măsurile pentru organizarea și realizarea schimbului de informații în domeniul standardelor și reglementărilor tehnice, precum și al regulilor referitoare la serviciile societății informaționale între România și Statele Membre ale Uniunii Europene, precum și Comisia Europeană, cu modificările ulterioare, având în vedere Procesul-verbal de avizare nr.7 din 04.07.2011 al Comitetului Tehnic de Specialitate nr.7-Construcții Hidrotehnice și Hidroedilitare din cadrul Ministerului Dezvoltării Regionale și Turismului

în temeiul art. 5 pct. II lit. e) și al art. 13 alin.(6) din Hotărârea Guvernului nr.1631/2009 privind organizarea și funcționarea Ministerului Dezvoltării Regionale și Turismului, cu modificările și completările ulterioare,

ministrul dezvoltării regionale și turismului emite prezentul

ORDIN:

Art. 1 –Se aprobă reglementarea tehnică "*Normativ privind analiza și evaluarea riscului asociat barajelor, indicativ NP 132–2011*", elaborată de Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Hidrotehnică, prevăzută în anexa care face parte integrantă din prezentul ordin.

Art. 2 – Prezentul ordin*) se publică în Monitorul Oficial al României, Partea I și intră în vigoare la 30 de zile de la data publicării.

Prezenta reglementare a fost adoptată cu respectarea procedurii de notificare nr. RO/ / din prevăzută de Directiva 98/34/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 22 iunie 1998, de stabilire a unei proceduri pentru furnizarea de informații în domeniul standardelor și reglementărilor tehnice, publicată în Jurnalul Oficial al Comunităților Europene L 204 din 21 iulie 1998, modificată prin Directiva 98/48/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 20 iulie 1998, publicată în Jurnalul Oficial al Comunităților Europene L 217 din 5 august 1998.

MINISTRU
Eduard HELLVIG

*) Ordinul și anexa se publică și în Buletinul Construcțiilor editat de către Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Construcții, Urbanism și Dezvoltare Teritorială Durabilă "URBAN-INCERC, din coordonarea Ministerului Dezvoltării Regionale și Turismului

SECRETAR DE STAT
Iulian MATACHE

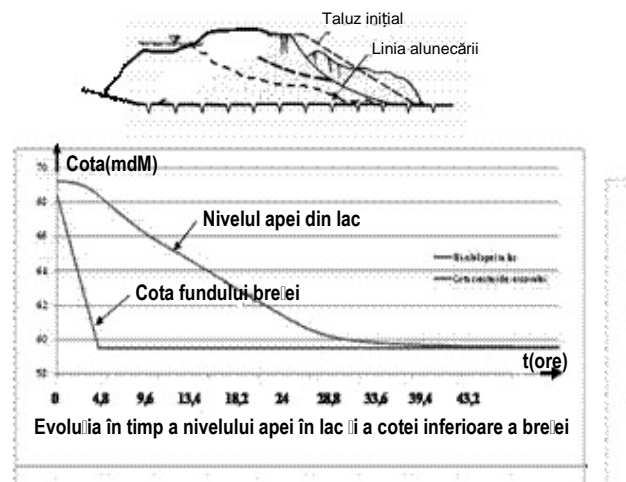
SECRETAR GENERAL ADJUNCT
Anton STEINER

DIRECȚIA GENERALĂ JURIDICĂ
DIRECTOR GENERAL
Mihai-Sorin CALOTĂ

DIRECȚIA TEHNICĂ ÎN CONSTRUCȚII
DIRECTOR

Cristian-Paul STAMATIADÉ

NORMATIV privind ANALIZA ȘI EVALUAREA RISCULUI ASOCIAT BARAJELOR



2011

CUPRINS

Cap.1.Obiectul normativului

Cap.2.Domeniul de aplicare

Cap.3.Definiții și terminologie

Cap.4.Analiza riscului

- 4.1.Analiza vulnerabilității și a potențialului de cedare
- 4.2.Analiza zonei aval potențial afectate de ruperea baraj
- 4.3.Date necesare pentru analiza riscului
- 4.4.Factori de risc
 - 4.4.1. Elementele structurale ale barajului
 - 4.4.2. Terenul de fundare
 - 4.4.3. Lacul de acumulare
 - 4.4.4. Fenomene naturale extreme
 - 4.4.5. Factorul uman
- 4.5.Scenarii de cedare
 - 4.5.1. Scenarii de cedare pentru barajele din materiale locale
 - 4.5.2. Scenarii de cedare pentru barajele din beton
 - 4.5.3. Scenarii de cedare induse de viituri
 - 4.5.4. Scenarii de cedare induse de cutremure

Cap.5.Cuantificarea riscului

- 5.1.Etapele procesului de cuantificare
- 5.2.Calculul probabilităților de cedare
 - 5.2.1.Metoda statistică
 - 5.2.2.Abordarea probabilistă
 - 5.2.3.Arborele evenimentelor
 - 5.2.4.Arborele evenimentelor adverse
 - 5.2.5.Arborele consecințelor
- 5.3.Determinarea hidrografelor ruperii
 - 5.3.1.Scenarii de formare a breșei
 - 5.3.2.Dimensiuni și timpi de formare a breșei
 - 5.3.3.Determinarea hidrografului ruperii
- 5.4.Calculul propagării undei de rupere
- 5.5.Cuantificarea consecințelor
 - 5.5.1.Evaluarea pierderilor de vieți omenești
 - 5.5.2.Evaluarea pagubelor materiale
 - 5.5.3.Evaluarea efectelor asupra mediului

Cap.6.Evaluarea riscului

- 6.1. Riscului acceptat ca rată anuală a pierderilor de vieți omenești
- 6.2. Riscul acceptat ca rata anuală a pagubelor materiale

Cap.7.Controlul riscului

- 7.1.Creșterea siguranței structurale
- 7.2.Urmărirea comportării barajelor
- 7.3.Avertizare-alarmare-evacuare

Referințe tehnice și legislative

ANEXE

- I. Exemflu de calcul a probabilității de cedare prin aplicarea metodei statistice
- II. Exemflu de calcul a probabilității de cedare prin aplicarea arborelui evenimentelor adverse
- III. Exemple de calcul a probabilităților de apariție a consecințelor prin aplicarea arborilor consecințelor
- IV. Exemflu de calcul a hidrografului ruperii
- V. Exemflu de apreciere a pierderilor de vieți omenești produse de ruperea unui baraj

Cap. 1. OBIECTUL NORMATIVULUI

(1) Normativul stabilește principiile care stau la bază și metodele care se folosesc pentru analiza, cuantificarea, evaluarea și controlul riscului asociat barajelor. În cadrul normativului:

- a) se definesc etapele de analiză a riscului și se indică modul de selecție a scenariilor de cedare;
- b) se stabilesc metodele de calcul sau de estimare a probabilităților de cedare;
- c) se indică metodologia de determinare a hidrografelor generate de ruperea barajului;
- d) se indică modul de selecție a modelelor matematice utilizate pentru calculul propagării undelor de rupere;
- e) se stabilesc abordările ce pot fi utilizate în cuantificarea consecințelor unei ruperi de baraj
- f) se definește riscul tolerabil / acceptat pentru principalele consecințe ale unei ruperi de baraj;
- g) se prezintă modalitățile de control al riscului asociat barajelor.

(2) Normativul nu are detalierea unui ghid de calcul și servește numai la asigurarea unei abordări (principii, metode și modele) unice a problemelor de risc asociat barajelor. Bibliografia selectivă cuprinsă în normativ permite unui utilizator realizarea cuantificărilor implicate în procesul de analiză și evaluare a riscului asociat barajelor.

Cap. 2. DOMENIUL DE APLICARE

(1) Normativul se aplică la analiza și evaluarea riscului asociat barajelor existente care realizează acumulări de apă , indiferent de folosința deservită și de tipul de baraj.

(2) Normativul servește analizei proceselor de decizie inginerescă în domeniul barajelor prin furnizarea unei baze obiective și corecte pentru luarea deciziilor.

(3) Normativul se aplică:

- a) în faza de proiectare pentru a asigura un echilibru rațional între costurile de investiție și siguranță, ținând seama de particularitățile barajului și de consecințele ruperii;
- b) în faza de exploatare pentru a asigura dirijarea rațională a fondurilor către acele măsuri de creștere a siguranței sau de diminuare a consecințelor care sunt cu adevărat eficiente;

(4) Normativul se aplică pentru a asigura o abordare unitară și riguroasă în formă cantitativă a informațiilor suplimentare obținute în exploatare privitoare la condițiile naturale și comportarea barajului, depistarea unor mecanisme de rupere care nu au fost identificate la proiectare și schimbarea condițiilor din zona aval.

(5) Normativul furnizează baza pentru a corela nivelurile de risc asociate barajelor cu nivelurile de risc tolerate de societate pentru alte lucrări sau activități purtătoare de risc.

(6) Normativul se aplică și pentru a permite intervenția autorităților pentru ca deținătorii de baraje să se încadreze în nivelul de risc socialmente acceptat.

Cap. 3. DEFINIȚII ȘI TERMINOLOGIE

(1) **Siguranța asociată unui baraj** este speranța ca barajul să se comporte conform așteptărilor, respectiv să nu se producă cedarea (ruperea) sa sub acțiunea solicitărilor, într-un interval de timp dat (de regulă durata de viață a acestuia).

(2) **Riscul asociat unui baraj** este o măsură a probabilității și a severității unor efecte adverse asupra vieților omenești, a sănătății comunităților, a proprietăților și a mediului, provocate de cedarea barajului.

(3) **Cedarea unui baraj** este definită ca fiind ruperea sau deplasarea unei părți a corpului barajului sau a fundației sale care face ca barajul să nu mai poată reține apa, ceea ce conduce la pierderea necontrolată a unui volum mare de apă din lacul de acumulare.

(4) **Modul de cedare** este modalitate prezumtivă (ipotetică) prin care un sistem „baraj – teren de fundare” își poate pierde funcția pentru care a fost conceput (de retenție a apei). *Modurile de cedare pot fi deversarea, alunecare generală (pierderea stabilității), distrugerile locale ale materialelor (când eforturile depășesc rezistențele), deformațiile inadmisibile funcțional, infiltrațiile prin fundație (mari și evolutive), degradarea materialelor (prin agresiuni sau îmbătrânire), lichefierea fundațiilor etc. Modurile de cedare inițial independente pot să se potențeze reciproc, conducând la o evoluție rapidă spre ruperea barajului.*

(5) **Măsura riscului** este rata anuală și este dată de relația:

(6) **Risc** = Probabilitatea anuală de cedare a barajului x Mărimea consecințelor dacă se produce cedarea
sau:

$$Risc = P_c \times C$$

(7) **Probabilitatea de cedare** este probabilitatea ca într-un interval de timp dat (prestabilit) să se producă într-un anumit mod o cedare a barajului.

(8) **Probabilitatea de cedare globală** (totală) reprezintă suma probabilistică a probabilităților de cedare pe moduri de cedare particulare.

(9) **Scenariul de cedare** cuprinde cauzele și mecanismul prin care se poate produce cedarea unui baraj. În funcție de condițiile din amplasament și de tipul de baraj se pot distinge o multitudine de scenarii de cedare.

(10) **Riscul total asociat barajului** este suma riscurilor calculate pentru toate scenariile posibile.

(11) **Analiza riscului** constă în identificarea surselor de risc și a posibilității ca acestea să conducă la cedare (scenariile și mecanismele prin care barajul poate ceda).

(12) **Cuantificarea riscului** constă în estimarea probabilităților de apariție a unui fenomen advers, declanșator al unui mecanism de cedare, analiza vulnerabilității barajului sau a componentelor sale în raport cu acest fenomen, estimarea probabilității de cedare pentru fiecare scenariu identificat în etapa de analiză a riscului și în final aprecierea cantitativă a consecințelor ținând seama de faptul că pierderea necontrolată a apei din lac are potențial trei categorii de consecințe distincte: pierderi de vieți omenești pagube materiale și efecte asupra mediului.

(13) **Factori de risc** care pot să crească riscul asociat barajului sunt fenomenele naturale extreme, defecțiunile structurale, factorul uman și problemele de exploatare.

(14) **Vulnerabilitatea barajului se** definește ca susceptibilitatea acestuia de a fi sensibil la un anumit mod de cedare și de a suferi deprecieri grave cu consecințe semnificative în cazul cedării.

(15) **Metoda probabilistă de abordare a siguranței** exprimă valorile parametrilor de calcul și relațiile dintre aceștia sub formă de funcții de distribuție și corelații, iar **Probabilitatea de cedare** reprezintă o măsură cantitativă a siguranței

(16) **Riscul normal** este riscul pe care îl creează un baraj care este proiectat, executat și exploatat, respectându-se toate prevederile legale referitoare la siguranță, la regimul amenajării teritoriului din aval și la măsurile post-avarie.

(17) **Riscul acceptat** pentru un baraj existent este riscul exprimat explicit pe care societatea îl tolerează și îl impune prin reglementări speciale.

Cap. 4. ANALIZA RISCULUI

4.1. Analiza vulnerabilității și a potențialului de cedare

(1) În cadrul analizei riscului barajul este privit ca un sistem de componente interactive - structură, teren de fundare, lac de acumulare, descărcători, șenal aval etc. și fiecare dintre componente este analizat din punctul de vedere al vulnerabilității față de condițiile adverse care pot apare (viituri, cutremure, creșterea infiltrațiilor sau concentrarea acestora pe căi preferențiale, întreruperea alimentării cu energie etc.) și a măsurii în care defectarea sau cedarea componentei poate conduce la o cedare a barajului.

4.2. Analiza zonei aval potențial afectate de ruperea barajului

(2) A doua componentă în analiza riscului cuprinde o investigare detaliată a condițiilor din aval de baraj, în special a zonelor potențial afectate de o undă de rupere a barajului. Sunt necesare modele digitale ale terenului, care să cuprindă, pe lângă relief, natura și folosința terenurilor, fondul construit, unitățile economice, date privind populația rezidentă în zona potențial afectată și eventual populația flotantă, sistemele ecologice naturale.

4.3. Date necesare pentru analiza riscului

(3) Pentru analiza riscului un minim de date necesar trebuie să cuprindă:

- a) particularitățile amplasamentului și barajului;
- b) istoricul comportării lucrării, incluzând datele furnizate de sistemul de urmărire a comportării, incidentele de comportare și intervențiile constructive suferite în perioada de exploatare;
- c) investigații privind magnitudinea și frecvența hazardurilor naturale;
- d) date cadastrale și rezultatele recensământului pentru zona potențial afectată de ruperea barajului.

4.4. Factori de risc

4.4.1. Elementele structurale ale barajului

(4) În cazul barajelor de beton imperfecțiunile sistemului de drenaj sau colmatarea în timp al acestuia, care conduc la creșterea subpresiunilor, cu efect direct asupra stabilității.

(5) În cazul barajelor de pământ fisurarea elementului de etanșare, combinată cu filtre inverse greșit proiectate sau executate, care este inițiatore a eroziunii interne.

(6) În cazul barajelor de umplutură omogene, defecțiunile de compactare, suprafețele de contact dintre straturi prost tratate sau lipsa sistemelor de drenaj eficiente, care conduc la saturarea prismului aval și la instabilitatea acestuia.

4.4.2. Terenul de fundare

(7) Terenurile de fundare lichifiabile, lăsate netratate, sunt inițiatoare a cedării chiar la seisme moderate.

(8) Existența în terenul de fundare a unor căi preferențiale de infiltrație și imperfecțiunile sistemului de etanșare în profunzime a fundației conduc la eroziune internă (sufozii) care compromit ulterior integritatea structurii.

(9) Sistemul de falii și de discontinuități din roca de fundare poate fi inițiatorul unor cedări totale a structurii barajului prin crearea unor blocuri de rocă instabile, care pot fi expulzate din teren.

(10) Existența în fundație a unor materiale solubile, de tipul sării sau gipsului, poate induce în timp formarea de caverne care periclitează integritatea barajului.

4.4.3. Lacul de acumulare

(11) Colmatarea excesivă a lacului de acumulare reduce substanțial efectul de atenuare a viiturilor și poate cauza în final deversarea peste coronament a barajului. La coada lacului, colmatarea poate conduce la ridicarea nivelului apelor mari, cu depășirea cotei digurilor (dacă acestea există).

4.4.4. Fenomene naturale extreme

(12) Viiturile naturale create de precipitații excesive constituie fenomenul natural cel mai periculos din punctul de vedere al riscului asociat barajului. Formarea unei viituri în bazinul controlat de acumulare produce creșterea riscului atât prin majorarea probabilității de cedare cât și prin creșterea consecințelor în aval, prin suprapunerea undei de rupere cu viitura propriu zisă.

(13) Cutremurele sunt considerate al doilea factor major de risc. Crăpăturile și fisurile provocate de mișcarea seismică sunt inițiatoare a cedării prin apariția infiltrațiilor excesive, chiar dacă cedarea apare întârziată față de momentul cutremurului. Cedare întârziată apare și în cazul lichefierii materialelor de construcție sau a terenului de fundare induse de cutremur. Deplasările remanente ale corpului barajului sau ale structurii descărcătorului conduc la reducerea gârzii sau la blocarea stavilelor, constituind cauze ale cedării produse ulterior de debite afluențe mari în lac.

(14) Instabilitatea versanților lacurilor de acumulare constituie un factor de risc dacă alunecarea are volum și viteză mare și ca urmare unda de impact creată de alunecare poate deversa barajul și compromite integritatea acestuia. Chiar la viteze reduse ale alunecării, masa alunecată poate bloca descărcătorii și reduce siguranța la ape mari. Uneori masa alunecată formează baraje naturale amonte de lac sau de compartimentare a lacului, care la primele viituri sunt rupte prin deversare și crează unde de viitură ce pot depăși capacitatea descărcătorilor.

4.4.5. Factorul uman

(15) În cazul personalului de exploatare neglijarea unor semne evidente premergătoare cedării (infiltrații concentrate, crăpături majore, cratere de sufozie etc.) trebuie luată în considerare în analiza riscului. În aceeași categorie intră interpretarea greșită a instrucțiunilor de exploatare sau nerespectarea acestora.

(16) În lipsa unui personal de pază responsabil vandalizarea echipamentelor barajului, evenimente precum furtul blocurilor de piatră din protecția paramentului amonte sau din rizbermă, furtul nisipului din filtrele inverse, sau de sub dalele pereului amonte, afectează siguranța barajului și cresc implicit probabilitatea de cedare.

(17) Construcțiile realizate în imediata vecinătate a piciorului aval al barajului, sau în zona potențial inundabilă de unda de rupere, contribuie de asemenea la creșterea riscului, prin creșterea semnificativă a mărimii consecințelor în caz de cedare a barajului.

4.5. Scenarii de cedare

4.5.1. Scenarii de cedare pentru barajele din materiale locale

(18) Scenariile de cedare a barajelor din materiale locale cuprind cedări prin deversarea coronamentului, cedări datorită infiltrațiilor și cedări structurale.

(19) *Cedarea prin eroziunea paramentului aval produsă ca urmare a deversării peste coronament* este mecanismul cel mai frecvent întâlnit în cazul barajelor omogene, cu înălțimi moderate. Eroziunea se inițiază la piciorul aval și se dezvoltă regresiv până când se formează breșa. În umpluturile necoezive (balast, pietriș și nisip) eroziunea este rapidă, în timp ce în umpluturile coezive (argile compactate) procesul este mai lent.

(20) *Cedările datorate infiltrațiilor* sunt cauzate fie de eroziunea internă, pe căi preferențiale de infiltrație, fie de saturarea prismului aval.

(21) *Eroziunea internă prin corpul barajului* este declanșată de infiltrații concentrate care apar fie în lungul conductelor sau galeriilor care străbat barajul, fie prin defecțiuni locale ale etanșării amonte din baraj, fie prin rosturile dintre corpul de umplutură și elementele de beton încorporate (descărcători, culei, prize, centrale etc.).

(22) *Eroziunea internă prin terenul de fundare* este declanșată tot de infiltrații concentrate, produse prin defecțiuni ale etanșării în profunzime sau în lungul unor orizonturi permeabile ce conțin materiale antrenabile. Eroziunea internă produce caverne în corpul barajului sau în terenul de fundare, care induc apoi prăbușiri sau tasări majore, prin care are loc deversarea cu dezvoltarea breșei.

4.5.2. Scenarii de cedare pentru barajele din beton

(23) Scenariile de cedare a barajelor de greutate din beton, incluzând stăvilarele, sunt alunecarea pe talpa de fundare, răsturnarea, alunecarea barajului împreună cu o parte din roca de fundare, alunecarea unei părți din baraj în lungul unei fisuri deschise sau a unui rost de lucru prost tratat, eroziunea internă sau dizolvarea unor orizonturi din terenul de fundare, instabilitatea versanților.

(24) *Ruperea prin alunecare în lungul conturului de fundare* se poate produce dacă subpresiunile cresc mult față de cele prognozate la proiectare sau dacă împingerea hidrostatică

crește ca urmare a ridicării semnificative a nivelului în lac. O asemenea situație se poate realiza la deversarea peste baraj.

(25) *Ruperea prin răsturnarea unor ploturi* se poate produce la deversarea peste coronament.

(26) *Pierderea stabilității prin alunecare pe orizonturi mai slabe din terenul de fundare* este posibilă în cazul unor terenuri de fundare eterogene, stratificate, la care discontinuitățile din masa de rocă creează planuri slabe din punctul de vedere al rezistenței la forfecare.

(27) *Ruperea prin alunecarea unei părți a corpului barajului* în lungul unei fisuri cvasiorizontale sau în lungul unui rost de lucru netratat se produce atunci când apa pătrunde pe discontinuitate și creează majorări ale subpresiunilor. Asemenea ruperi s-au produs la baraje din zidărie de piatră și nu sunt excluse în cazul barajelor de beton.

(28) Eroziunea internă sau dizolvarea unor orizonturi geologice prezente în adâncimea amprizei produce într-o primă fază tasări neuniforme și ieșirea din aliniamentul structurii a unor ploturi, cu ruperea etanșării și pierderi necontrolate ale apei din lac. Schimbarea sistemului de încărcări poate declanșa instabilitatea respectivelor ploturi și deci ruperea.

(29) Scenariile de cedare a barajelor arcuite sunt asociate pierderii rezemării asigurate de versanți sau de culei.

a) Deplasările excesive ale versanților de rocă, cauzate de o instabilitate generală sau de deplasări interne, produc ruperea structurală.

b) Ruperea structurală poate fi cauzată și de alunecarea produsă pe orizonturi slabe ale terenului de fundare, care antrenează și o parte din structură.

4.5.3. Scenarii de cedare induse de viituri

(30) În cazul viiturilor cedarea barajului se poate produce prin eroziunea provocată de deversarea peste coronament, prin formarea unor gropi erozionale la piciorul descărcătorului sau prin deversarea pereților de gardă ai canalului descărcătorului și spălarea umpluturii.

(31) Deversarea peste coronament conduce cel mai frecvent la rupere. La barajele de pământ mecanismul de rupere este eroziunea externă, iar la cele de anrocamente instabilitatea internă. Barajele de greutate și cu contraforți deversate își pierd stabilitatea la alunecare sau la răsturnare atunci când, prin creșterea nivelului apei, creșterea procentuală a sarcinii hidrostatice, față de sarcina corespunzătoare retenției normale, depășește 20...30%.

(32) Lipsa de funcționalitate a echipamentului hidromecanic al descărcătorului (lipsa de energie electrică, defectarea sistemului de manevră, blocarea în nișe) reprezintă un eveniment declanșator al cedării prin deversare peste coronament. Capacitatea de descărcare poate fi afectată de blocarea cu plutitori a deschiderilor evacuatorului.

4.5.4. Scenarii de cedare induse de cutremure

(33) Scenariile de cedare cele mai frecvent întâlnite sunt:

a) apariția de fisuri sau fracturi în materialele din structura barajului;

b) lichefierea umpluturilor din barajele de pământ sau a terenului de fundare;

- c) reactivarea sau declanșarea unor fenomene de eroziune internă ca urmare a răspunsului dinamic;
- d) avarierea sau blocarea stăvilor de la descărcătorii de ape mari;
- e) avarierea turnurilor de priză și golire, tip călugăr, conducând la pierderea controlului nivelului apei din lac și la deversare peste coronament;
- f) alunecarea în lac a unor mase mari din versant, care formează unde de impuls care deversează coronamentul sau blochează accesul către descărcători.

Cap. 5. CUANTIFICAREA RISCULUI

5.1. Etapele procesului de cuantificare

(1) Procesul de cuantificare se face pe elemente sau părți ale barajului, care pot să cedeze în mod independent și să producă pagube corespunzătoare. De exemplu, la un baraj-stăvilar pot ceda în mod independent stăvilarul (sau unele dintre ploturile sale) sau părți (tronsoane) ale digurilor laterale sau longitudinale de pe ambele maluri, care au adesea condiții de fundare și uneori și alcătuire constructivă diferită.

(2) Procesul de cuantificare cuprinde următoarele etape:

- a) pentru fiecare scenariu de cedare credibil pentru barajul analizat se calculează probabilitățile de cedare, prin metode statistice, probabiliste, atunci când cedarea are o exprimare matematică, sau folosind arborii evenimentelor.
- b) pentru scenariile de cedare selectate se determină hidrografele debitelor de rupere făcând ipoteze privind breșa creată și timpul de golire al lacului.
- c) se calculează propagarea undei de rupere în aval utilizând un model de scurgere și se definesc în regim tranzitoriu, explicitând factorul timp, zonele inundate aval de baraj și adâncimile și viteza apei în zonele inundate.
- d) se calculează pierderile de vieți omenești și pagubele ce se pot produce în cazul cedării, ca urmare a fiecărui scenariu analizat.
- e) Rata anuală a riscului pentru fiecare scenariu se calculează ca produs între probabilitățile de cedare ale scenariului și mărimea consecințelor în cazul materializării aceluși scenariu. Suma, pe elemente (părți) ale barajului și pe categorii de consecințe, a riscurilor aferente scenariilor selectate dă în final rata anuală a riscului barajului.

5.2. Calculul probabilităților de cedare

5.2.1. Metoda statistică

(3) Probabilitatea de rupere, determinată prin metode statistice, se definește ca fiind raportul dintre numărul de cedări înregistrate și produsul dintre numărul de lucrări și numărul de ani de exploatare al barajelor pentru care există observații. Dacă populația statistică conține N baraje de același tip, având durate de exploatare t_i ($i = 1, N$) iar în perioada de observație s-a înregistrat n_r ruperi, atunci probabilitatea anuală de rupere este :

$$P_r = \frac{n_r}{\sum_{i=1}^N t_i} \quad (5.1)$$

(4) Condițiile minimale care trebuie îndeplinite pentru utilizarea metodei statistice sunt:

a) populația statistică utilizată în evaluarea probabilității de rupere (mulțimea barajelor supuse observațiilor) trebuie să aparțină unui domeniu omogen; această condiție se traduce prin a avea baraje de același tip, cu înălțimi comparabile, cu vârste apropiate, cu condiții de fundare similare, cu același regim de torențialitate al bazinului hidrologic, supus în trecut unor evenimente extreme similare etc.;

b) numărul total de baraje similare analizate statistic să fie suficient de mare; numărul acestora trebuie să fie cu atât mai mare, cu cât omogeneitatea este mai slabă, dar încă acceptabilă.

(5) Statistica ruperilor poate fi utilizată pentru prognoza probabilităților de rupere numai în fazele preliminare, dat fiind faptul că barajele sunt construcții unice, amplasate în condiții naturale specifice pentru care existența unor populații statistice este practic imposibilă.

5.2.2. Abordarea probabilistă

(6) Abordarea probabilistă se poate utiliza atunci când condiția de cedare are o exprimare matematică.

(7) Pentru fiecare scenariu (mod) de cedare se definește un parametru semnificativ care are două valori caracteristice:

a) valoarea efectivă, numită „solicitare” sau *solicitare totală*, notată cu **S**- rezultat al acțiunilor exterioare și al condițiilor în care acestea se exercită;

b) valoarea capabilă, numită „capabilitate” sau *rezistență totală*, notată cu **R** - rezultat al rezistențelor și capacităților de preluare și redistribuire a solicitărilor.

(8) **S** și **R** sunt funcții care se exprimă pe baza unor elemente primare cu variabilitate definibilă. Spre exemplu, dacă cedarea are loc prin deversarea coronamentului, **S** depinde de debitele afluențe (variabile) și de capacitatea disponibilă a lacului de acumulare de preluare a unui volum din volumul total al viiturii (variabilă în funcție variația cotei apei din lac), iar **R** depinde de capacitatea de evacuare a descărcătorului (variabilă în funcție de posibilitatea de manevră a stavilelor și vanelor (variabilă).

(9) Probabilitatea de cedare corespunzătoare unui anumit scenariu (mod) de cedare este probabilitatea ca într-un interval de timp dat (de regulă un an) să se realizeze *condiția de cedare specifică* aceluia mod de cedare:

$$S > R \quad (5.2)$$

(10) Probabilitatea de cedare globală (totală) reprezintă suma probabilistică a probabilităților de cedare pe moduri de cedare particulare și se determină prin procedee specifice.

(11) Mărimile sintetice **S** și **R**, fiind funcții de variabile aleatoare sunt la rândul lor variabile aleatoare, descrise de funcțiile de distribuție $F_S(x)$ și $F_R(x)$, respectiv de derivatele acestora în raport cu x , funcțiile de densitate de probabilitate $f_S(x)$ și $f_R(x)$.

(12) Condiția de cedare se realizează în domeniul în care valorile minime extreme întâmplătoare ale rezistențelor sunt mai mici decât valorile maxime extreme întâmplătoare ale solicitărilor. Mărimea acestui domeniu în câmpul densității de probabilitate reprezintă *probabilitatea de cedare*, P_c . Valoarea sa se determină prin calculul integralei de convoluție a celor două distribuții, care pentru un mod de cedare „i” are expresia:

$$P_{C_i} = \int_0^{\infty} F_R(x) \cdot f_S(x) \cdot dx = \int_0^{\infty} [1 - F_S(x)] \cdot f_R(x) \cdot dx \quad (5.3)$$

(13) Dacă siguranța barajului se exprimă utilizând funcția de siguranță, condiția de cedare, respectiv $S > R$ capătă expresia:

$$E(S,R) > 0 \quad (5.4)$$

iar expresia probabilității de cedare, pentru un mod de cedare, devine:

$$P_c = 1 - F_E(0) = \int_0^{+\infty} f_E(x) \cdot dx \quad (5.5)$$

(14) În cazul în care determinarea funcțiilor de distribuție ale lui S , R sau E nu este posibilă, sau dacă expresiile funcțiilor $FS(x)$, $FR(x)$, $fS(x)$ și $fR(x)$ conduc la o formă a integralei de convoluție greu de rezolvat, se poate apela la o metodă numerică aproximativă. Se recomandă metoda compunerii probabilităților, în care pentru variabilele care intră în compunerea lui S , R , sau E funcția de densitate de probabilitate se înlocuiește cu o repartiție discretă de masă de probabilitate.

5.2.3. Arborele evenimentelor

(15) Arborele evenimentelor este o transpunere grafică ordonată a unei analize de cauze-efecte și constă într-o reprezentare grafică a combinațiilor logice a evenimentelor care conduc la un eveniment final nedorit (cedarea barajului) și apoi la un set de consecințe declanșate de respectivul eveniment (vezi fig. 5.1).

(16) Partea din arbore care este destinată analizei cauzelor este denumită *arborele evenimentelor adverse*, iar partea din arborele evenimentelor care este destinată analizei efectelor este denumită *arborele consecințelor*.

5.2.4. Arborele evenimentelor adverse

(17) Arborele evenimentelor adverse permite, prin cuantificare, determinarea probabilității de realizare a cedării sau a unei stări critice care afectează stabilitatea și/sau integritatea barajului.

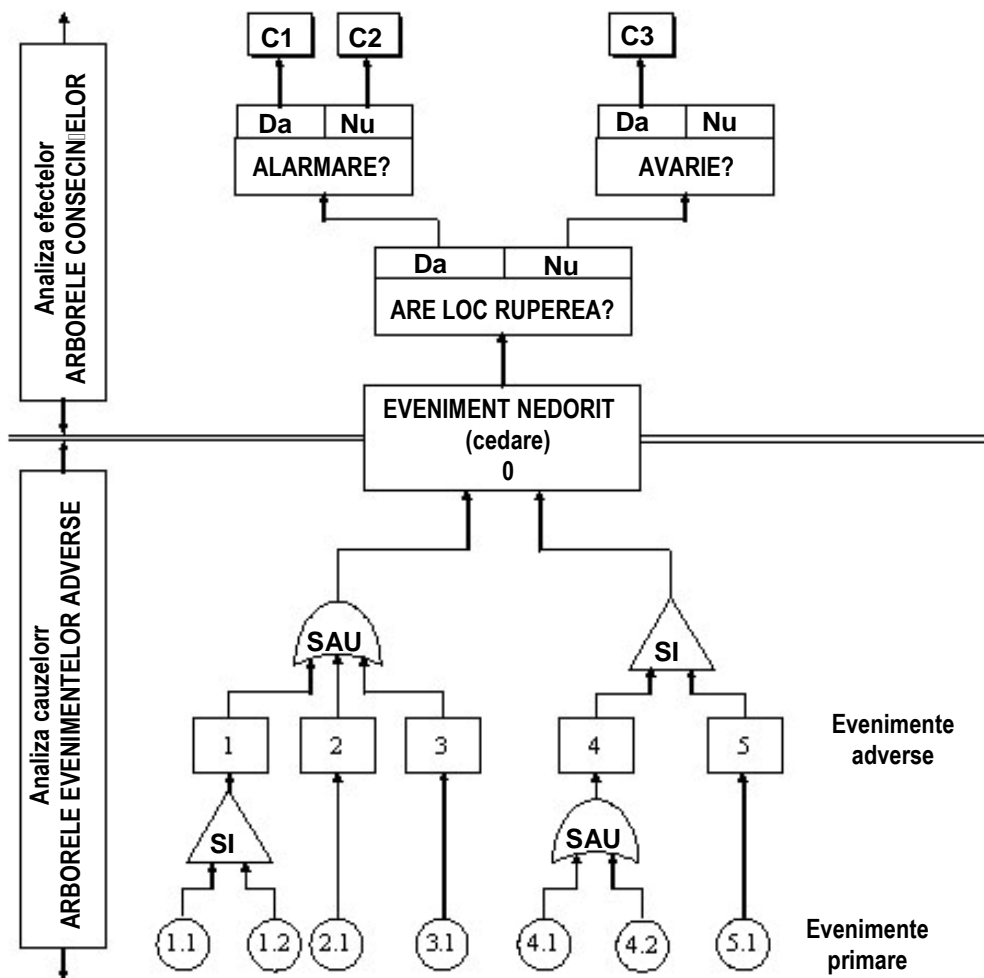


Figura 5.1. Arborele evenimentelor

(18) Construcția arborelui evenimentelor adverse se face pornind de la evenimentul final și se dezvoltă pe nivele inferioare succesive, căutând pentru fiecare eveniment advers identificat evenimentele adverse care îl declanșează. Arborele se alcătuieste utilizând un sistem deductiv și se încheie atunci când pe ultimul nivel se identifică evenimentele primare care inițiază mecanismul de cedare sau de rupere anterior definit. Combinarea evenimentelor este asigurată de funcțiile logice “ȘI” și “SAU” care au o reprezentare simbolică standard.

(19) Probabilitatea de apariție a unui eveniment final nedorit (stare critică, cedare etc.) se determină din sumarea probabilistă a probabilităților parțiale aferente evenimentelor din arborele evenimentelor adverse. Se pornește de la baza arborelui către vârf. La fiecare nivel imediat următor, probabilitatea de apariție a evenimentului advers este dată de:

- suma probabilităților evenimentelor atunci când acestea sunt independente și sunt legate prin operatorul logic SAU;
- produsul probabilităților evenimentelor atunci când acestea sunt condiționate și sunt legate prin operatorul logic ȘI.

(20) Probabilitățile evenimentelor primare se definesc ca probabilități anuale de realizare.

(21) Atunci când evenimentele primare sunt acțiuni cu revenire ciclică, așa cum sunt precipitațiile, viiturile sau cutremurele, definirea probabilităților anuale se bazează pe studiul statistic al maximelor anuale.

(22) Atunci când evenimentele primare nu sunt legate de factorii naturali și nu au nici repetabilitate ciclică, atribuirea probabilităților anuale se bazează pe cazuistica raportată pentru lucrări similare.

(23) În cazul evenimentelor primare pentru care nu există date statistice se recurge la aprecieri subiective ale probabilităților relative de apariție.

5.2.5. Arborele consecințelor

(24) Arborele consecințelor permite asocierea probabilității de apariție a ruperii barajului cu natura și mărimea consecințelor și constă într-o reprezentare grafică a secvențelor de evenimente defavorabile care sunt declanșate de evenimentul nedorit (stare critică sau rupere produsă la baraj).

(25) Eveniment inițiator este evenimentul nedorit iar evenimentele finale sunt consecințele care servesc evaluării riscului.

(26) Arborele se ramifică printr-un operator DA/NU la fiecare eveniment indus analizat și se dezvoltă pe niveluri succesive până la identificarea consecințelor finale - pierderi de vieți omenești, pagube materiale produse terților, pagube produse deținătorului etc.

(27) Ramurile arborelui consecințelor corespund tuturor secvențelor care pot decurge din evenimentul inițiator, ținând seama și de măsurile care se pot lua pentru salvarea lucrării sau pentru diminuarea consecințelor.

(28) Probabilitatea anuală de apariție a evenimentului inițiator se determină pe una din următoarele căi:

- a) prin calcul probabilist;
- b) prin evaluarea probabilității evenimentului final din arborele evenimentelor adverse, construit pentru investigarea cauzelor evenimentului inițiator;
- c) prin analiza statistică a evenimentelor inițiatore identice, înregistrate la un eșantion bogat de lucrări asemănătoare cu lucrarea analizată.

(29) În cazul în care datele disponibile pentru barajul analizat sunt insuficiente și deci nici una din căile de la punctul (e) pentru determinare a probabilității de apariție a evenimentului inițiator identificat nu se poate aplica, se recurge la asimilarea probabilității anuale de apariție pentru anumite stări critice care conduc la rupere utilizând statisticile globale realizate pe plan mondial (vezi tabelul 5.1).

Tabelul 5.1. Probabilității anuale de apariție a unei anumite stări critice

Starea critică	Probabilitate anuală
Viituri care depășesc	$1,24 \cdot 10^{-4}$

capacitatea descărcătorilor	
Reducerea capacității descărcătorilor	$0,04 \cdot 10^{-4}$
Eroziune internă	$0,04 \cdot 10^{-4}$
Alunecare	$0,075 \cdot 10^{-4}$
Cedarea fundației	$0,15 \cdot 10^{-4}$
Defecțiuni ale structurii	$0,2 \cdot 10^{-4}$

(30) Cuantificarea arborelui constă în atribuirea unei probabilități de realizare a ramurilor NU sau DA, după caz până la atingerea evenimentului final (consecință). Cunoașterea uneia dintre probabilități este suficientă, având în vedere că $P(DA) = 1 - P(NU)$.

(31) Atunci când mai multe secvențe conduc la aceeași consecință, probabilitatea totală aferentă acestora se obține din sumarea probabilităților evaluate pe fiecare secvență în parte.

(32) Probabilitățile parțiale aferente bifurcațiilor DA/NU se evaluează fie prin analiză statistică, atunci când se dispune de date suficiente privitoare la producerea evenimentului analizat la lucrări similare, fie pe baza judecății ingineresti a unui grup de experți.

(33) Atunci când probabilitățile de realizare a evenimentului indus se atribuie pe baza judecății ingineresti, se cuantifică păreri subiective, formulate pe baza experienței proprii a experților. Se descrie verbal *șansa* de producere a unui anumit eveniment și se utilizează echivalări numerice a acestor aprecieri (vezi tabelul 5.2).

(34) Probabilitatea atribuită evenimentului analizat se determină fie ca o medie a probabilităților atribuite individual de către experți, fie prin consens într-o analiză colectivă ulterioară primelor aprecieri. Judecata inginerescă și apoi cuantificarea sunt mult mai ușor aplicabile dacă arborele consecințelor este descompus în mai multe secvențe bine detaliate.

Tabelul 5.2. Conversia în probabilități a părerilor formulate

Descrierea verablă	Probabilitatea de apariție
Improbabil	0
Aproape improbabil	0,01
Puțin probabil	0,1
Posibil, dar în mică măsură	0,25
Greu de precizat (incert)	0,5
Destul de posibil	0,75
Foarte posibil	0,9
Aproape sigur	0,99
Cert	1

5.3. Determinarea hidrografelor ruperii

(35) Unda de rupere și viitura accidentală care îi urmează este inițiată de formarea unei breșe în frontul baraj. Timpul în care se formează breșa și dimensiunile breșei depind de tipul de baraj și de mecanismul prin care se produce breșa. Caracteristicile proprii ale lucrării intervin, de asemenea, cu o pondere semnificativă.

(36) Scenariul sau scenariile de formare a breșei corespund mecanismelor de rupere identificate și cuantificate prin probabilitățile anuale de apariție. Fiecărui scenariu îi corespunde un anumit hidrograf al ruperii, dependent de timpul de formare și de dimensiunile breșei.

5.3.1. Scenarii de formare a breșei

(37) În cazul barajelor din materiale locale, scenariile de formare a breșei sunt:

- a) *la ruperea produsă prin deversare peste coronament* apare o ravenare inițială, eroziunea progresaază formând întâi o breșă triunghiulară, aceasta ajunge trapezoidală până când eroziunea atinge nivelul terenului natural, după care se lărgeste prin eroziune laterală. Timpul de formare este relativ lent, depinzând de înălțimea lamei deversante;
- b) *la ruperea produsă prin eroziune internă în corpul barajului* calea preferențială de infiltrații se mărește prin antrenare de material până devine orificiu, apoi cavernă, umplutura se prăbușește și apare o breșă dreptunghiulară care se lărgeste prin eroziune laterală. În primele faze breșa nu poate fi sesizată, după care se produce o rupere rapidă;
- c) *la ruperea produsă prin eroziune internă în terenul de fundare* infiltrația cu antrenare de material prin terenul de fundare formează caverne, care prin prăbușire creează o breșă dreptunghiulară în baraj, dezvoltată ulterior prin eroziune laterală. Breșa se formează rapid.

(38) În cazul barajelor din beton, de greutate sau cu contraforți, scenariile de formare a breșei sunt:

- a) *la ruperea prin alunecare pe talpă* două-trei ploturi sunt antrenate spre aval după care breșa se poate extinde prin antrenarea succesivă a ploturilor vecine. Breșa inițială apare practic instantaneu;
- b) *la ruperea prin cedarea fundației* o parte din terenul de fundație, de obicei spre unul dintre versanți, este dislocată antrenând o serie de ploturi. Breșa apare practic instantaneu;
- c) *la ruperea prin deversare peste coronament* se produc eroziuni în aval, care destabilizează ploturile antrenând fie o alunecare spre aval, fie chiar răsturnarea. Breșa apare practic instantaneu, dar timpul de producere a ruperii este îndelungat.

(39) În cazul barajelor arcuite, indiferent de mecanismul de cedare, ruperea este completă și practic instantanee.

5.3.2. Dimensiuni și timpi de formare a breșei

(40) În cazul barajelor din pământ breșa are o formă trapezoidală cu profunzimea egală cu înălțimea barajului. Timpul de formare a breșei este în cele mai multe cazuri mai mic de 3 ore. Dimensiunea finală a breșei are o dezvoltare la coronament de circa 3 ori mai mare ca înălțimea barajului și pante laterale de 45° ... 60° .

(41) În cazul barajelor de beton ruperea afectează 20...30 % dintre ploturi, iar timpul de producere este sub 10 minute.

(42) Timpul de formare a breșei la ruperea prin deversarea coronamentului se determină ținând cont că barajele de pământ cu materiale coezive la coronament pot rezista la o deversare cu o lamă de 0,30 ... 0,50 m timp de câteva ore, iar barajele din anrocamente pot rezista la o deversare cu o lamă de până la 1 m, dar la acestea odată ce breșa s-a format aceasta crește foarte repede.

(43) Dimensiunile finale ale breșelor formate prin eroziune internă pot fi stabilite în funcție de adâncimea apei la baraj H_0 și de gradul de compactare al umpluturilor (vezi tabelul 5.3).

Tabelul 5.3. Parametri breșelor formate prin eroziune internă

Rezistența	Compactarea	Dimensiunea la bază a breșei (Heff)	Înclinarea pereților breșei (θ)
1	slabă	$H_0 / 5$	45^0
2	mediocră	$2 H_0 / 3$	30^0
3	bună	$4 H_0 / 9$	10^0

5.3.3. Determinarea hidrografului undei de rupere

(44) Hidrograful ruperii depinde de scenariul de formare a breșei, de timpul de dezvoltare a acesteia și de condițiile de curgere din aval. Aceste elemente depind la rândul lor de alcătuirea constructivă a barajului analizat, de istoricul comportării acestuia și de condițiile naturale din amplasament – regim hidrologic și geologie.

(45) Dacă breșa se formează ca urmare a deversării peste coronament debitul undei de rupere include și din debitul viiturii afluențe în lac. Dacă ruperea are loc prin celelalte mecanisme debitul undei de rupere este dat exclusiv de scurgerea prin breșă a apei din lac.

(46) Hidrograful debitelor produse de rupere se determină asimilând scurgerea apei din lac cu o curgere peste un deversor cu prag lat, a cărui sarcină și dimensiuni se reevaluează la timpi succesivi de calcul.

(47) În cazul barajelor de pământ omogene sau cu etanșare la paramentul amonte se admite ruperea progresivă. Se stabilesc viteza de creștere a adâncimii breșei și de extindere a acesteia considerând forma trapezoidală. Până la atingerea debitului maxim din hidrograful de rupere, care se produce relativ repede, se admite de cele mai multe ori că sarcina hidrolică se menține constantă, după care se ține seama și de scăderea nivelului apei din lac pe măsură ce se produce evacuarea apei. După atingerea dimensiunilor maxime prognozate, breșa se menține constantă în timp.

(48) În cazul barajelor de beton se atribuie un timp de rupere pentru un plot și se consideră că într-un interval scurt de timp (cca. 10 minute) breșa se dezvoltă după o lege liniară unică sau biliniară. Ruperea succesivă a celorlalte ploturi se face după o lege propusă, care ține seama de numărul total de ploturi afectate și de timpul total de rupere ales.

5.4. Calculul propagării undei de rupere

(49) Propagarea în aval a viiturii create de unda de rupere are un pronunțat caracter tridimensional. Modificările albiei majore în lungul curgerii (tronsoane mai înguste alternante cu altele largi, afluenții, podurile, structurile de control) produc accelerații cu componente orizontale și verticale pe axa curgerii. Apa poate curge lateral extinzându-se în degajamente sau spre albiile afluenților.

(50) Modelarea bidimensională este metoda de rezolvare recomandată pentru situațiile curente, cu albiile meandrate și cu localități în vecinătatea cursului de apă analizat.

(51) Determinarea prin calcule a zonei inundate și a caracteristicilor scurgerii în această zonă trebuie să țină seama de:

- a) valorile mari ale vârfului curgerii și a adâncimilor de apă asociate;
- b) inundarea rapidă a albiei majore, cu efecte bidimensionale semnificative;
- c) forma foarte neregulată a suprafeței libere și prezența șocurilor oblice;
- d) curgerea peste terenuri normal uscate, cu efecte disipative specifice;
- e) transportul în suspensie a materialului erodat din lac și eventual a fragmentelor din baraj;
- f) efectele de graniță la confluența cu afluenții.

(52) Rezultatele studiului de inundabilitate se prezintă atât tabelar, cât și prin reprezentare pe hartă. Tabelele se întocmesc pentru fiecare secțiune transversală (localizată pe hartă) și cuprind cel puțin debitul inițial al curgerii înainte de sosirea undei de rupere, debitul maxim, momentul la care se produce debitul maxim, nivelul inițial al apei, nivelul maxim atins, momentul la care se produce nivelul maxim, viteza maximă de curgere. Harta de inundabilitate trebuie să indice:

- a) pozițiile secțiunilor de calcul;
- b) conturul zonei inundate, ca o înfășurătoare a nivelelor maxime atinse în secțiunile de calcul;
- c) conturile zonelor inundate la intervale succesive de 0,5 h după producerea ruperii;
- d) timpul în care se atinge nivelul maxim în secțiunea de calcul, măsurat de la producerea breșei.

(53) Rezultatele studiului de inundabilitate pot fi mai bine utilizate dacă sunt integrate într-un model SIG (**S**istem **I**nformatic **G**eografic). Prin tehnica *over lay*-urilor, toate datele de interes pot fi stocate, cu reprezentări specifice pentru nivele, viteze, timpi etc.

5.5. Cuantificarea consecințelor

(54) Evaluarea consecințelor trebuie diferențiată în funcție de scenariul de rupere. Dacă ruperea este produsă ca urmare a viiturilor, consecințele ruperii se exprimă ca diferență între pierderile de vieți omenești și respectiv pagubele materiale provocate de unda de rupere și aceleași categorii de efecte produse de viitura tranzitată în aval în cazul în care barajul rezistă. Dacă ruperea se produce în condiții hidrologice normale, consecințele ruperii sunt egale cu cele produse de unda de rupere.

(55) Dacă barajul analizat face parte dintr-o amenajare în cascadă, la consecințe se adaugă efectele din aval prin ruperea barajelor care nu pot prelua trecerea undei de rupere în condiții normale sau excepționale de exploatare. Dacă timpul o permite, se poate face pregolirea lacurilor din aval, care ușurează condițiile de tranzitare a undei de rupere.

5.5.1. Evaluarea pierderilor de vieți omenești

(56) Pentru evaluarea pierderilor de vieți omenești potențial produse (PVO) în urma unei ruperi de baraj sunt necesare:

- a) determinarea populației expuse riscului (PER);
- b) aprecierea timpului disponibil pentru evacuare, în condițiile în care există sisteme de avertizare-alarmare și planuri de evacuare (T_e).

(57) Populația expusă riscului (PER) este populația aflată la momentul ruperii în interiorul zonei inundabile. Dacă ruperea se datorează unor viituri excepționale PER este populația aflată în zona delimitată de cota nivelului maxim natural al râului și nivelul catastrofal rezultat în urma ruperii. Populația expusă riscului se estimează în funcție de populația rezidentă (PR). Populația rezidentă în zona inundabilă se determină din datele de evidența populației. Dacă în zona inundabilă sunt stațiuni sau zone turistice cunoscute (eventual campinguri), atunci în populația rezidentă trebuie incluse, în funcție de sezon și persoanele sezoniere. Dacă ruperea se produce în cursul zilei

$$PER = 0,6 PR + \frac{1}{10} 0,6 PR_f$$

al doilea termen corespunzând populației flotante, celor care lucrează în zona sau celor aflați în tranzit (PR_f). Dacă ruperea se produce noaptea:

$$PER = PR$$

(58) Relațiile dintre pierderile de vieți omenești (PVO) și populația expusă riscului în funcție de timpul disponibil pentru evacuare T_e sunt date în tabelul 5.4.

Tabelul 5.4. Evaluarea pierderilor de vieți omenești în funcție de populația expusă riscului și de timpul de evacuare

Timp evacuare T_e	PVO	
	Ziua	Noaptea
Fără alarmare $T_e = 0$	90% PER	100% PER
$T_e < 15$ min	$\frac{1}{3}$ PER	$\frac{1}{2}$ PER
15 min $< T_e < 1,5$ ore	PER ^{0,6}	PER ^{0,6}
$T_e > 1,5$ ore	0,0002 PER	0,0002 PER

(59) Timpii disponibili pentru evacuare T_e se apreciază din datele privind intervalul de timp scurs de la declanșarea alarmei și până la rupere și respectiv din timpii de sosire ai undei de rupere, pe zone.

(60) Utilizând rezultatele calculelor de tranzitare a undei de rupere se delimitează, în interiorul zonei inundate, zonele cu $T_e < 15'$, $15' < T_e < 1,5$ h și respectiv $T_e > 1,5$ h.

(61) Pierderile de vieți omenești se apreciază pe baza relațiilor din tabelul 5.4, defalcând populația expusă riscului pe zonele astfel delimitate.

5.5.2. Evaluarea pagubelor materiale

(62) Evaluarea pagubelor materiale directe se face pe baza datelor furnizate de studiul de inundabilitate și de inventarul bunurilor economice ale zonei potențial inundabile.

(63) Inventarul bunurilor economice se face pe sectoare, cuprinse între secțiunile de calcul utilizate în studiul de inundabilitate. El cuprinde:

- a) numărul și valoarea clădirilor (se excud clădirile construite fără autorizație în zone inundabile la viituri naturale);
- b) dotările și estimarea valorică a acestora;
- c) industriile, cu valoarea de inventar și valoarea producției;
- d) animalele;
- e) suprafețele de teren, pe tipuri de folosințe cu valoarea apreciată a recoltei pentru cele cultivate;
- f) rețelele de utilități (apă, canal, gaze, telefonie etc.) și valorile lor;
- g) căile de comunicație și valorile unitare și totale.

(64) Se definesc trei zone de gravitate a avariilor aduse bunurilor din zona inundată în funcție de produsul dintre adâncimea apei h și viteza de curgere v :

- | | | |
|--------------------------|--|----------------------|
| a) distrugere totală: | $h \cdot v > 7 \text{ m}^2/\text{s};$ | $v > 2 \text{ m/s};$ |
| b) distrugere parțială: | $3 \text{ m}^2/\text{s} < h \cdot v < 7 \text{ m}^2/\text{s};$ | $v > 2 \text{ m/s};$ |
| c) pagube din inundație: | $h \cdot v < 2 \text{ m}^2/\text{s};$ | $v < 2 \text{ m/s}.$ |

(65) În zona de distrugere totală se consideră că pagubele sunt egale cu valoarea de inventar a bunurilor, în zona de distrugere parțială pagubele sunt de 40...60% din valoarea de inventar, în timp ce în zona cu viteze și înălțimi reduse evaluarea pagubelor se face extrapolând datele înregistrate la inundații naturale în același bazin sau în bazine similare.

(66) Pagubele indirecte, produse asupra zonei afectate dar și asupra zonelor limitrofe (dezorganizarea vieții sociale, îngreunarea transportului, afectarea comerțului și producției industriale etc.) sunt diferențiate pe tipuri de activitate:

- a) pentru mediul rural: 20% din totalul pagubelor directe;
- b) pentru industrie și comerț: 120-150% din totalul pagubelor directe;
- c) pentru căile de comunicație: 100% din totalul pagubelor directe.

5.5.3. Evaluarea efectelor asupra mediului

(67) Evaluarea monetară a efectelor asupra mediului este obligatorie și posibilă în cazul inundării de către unda de rupere a zonelor protejate sau a siturilor cu valoare istorică și, respectiv, dacă unda de rupere provoacă poluarea accidentală a zonei prin inundarea depozitelor de deșeuri sau a stațiilor de tratare a apelor uzate.

(68) Valorile monetare sunt atribuite pe baza valorii de patrimoniu în primul caz, respectiv pe baza costurilor depoluării și tratării efectelor asupra sănătății publice în al doilea caz.

(69) Cuantificarea celorlalte efecte asupra mediului natural se poate face prin înțelegere între autoritățile de mediu și deținătorii de utilități cu baraje ținând seama că:

- a) multe efecte nu sunt explicite și imediate;
- b) efectele asupra ecosistemelor sunt uneori subtile și greu de cuantificat;
- c) atribuirea unor valori monetare este lipsită de temei în lipsa unei piețe;
- d) incertitudinile în evaluarea consecințelor de ordinul doi sunt mai mari decât cele asociate pierderilor economice.

Cap. 6. EVALUAREA RISCULUI

(1) Evaluarea riscului este etapa în care se decide dacă riscul estimat este în limite tolerabile și barajul se poate exploata fără restricții, sau, dimpotrivă, nivelul riscului este inacceptabil și se impun în primă urgență restricții de exploatare și ulterior intervenții constructive.

(2) Riscul tolerabil, sau acceptat, este riscul exprimat explicit pe care societatea îl tolerează și îl impune prin reglementări speciale.

(3) Evaluarea riscului pentru barajele aflate în fază de proiectare sau de execuție se face în paralel cu evaluare siguranței pe baze deterministe, utilizând normele și standardele în vigoare. Încadrarea exigențelor de performanță în limitele prescrise de norme conduce la „siguranță normată „ și, prin extensie, la „riscul normat”.

6.1. Riscului acceptat ca rată anuală a pierderilor de vieți omenești

(4) Riscul acceptat se definește prin limitele trasate în diagram 6.1 care are în abscisă pierderile de vieți omenești (N) în cazul avarierii sau ruperii barajului și în ordonată probabilitatea anuală de producere a evenimentului (F). Limitele sunt mai severe în cazul accidentelor care implică un număr mare de decese.

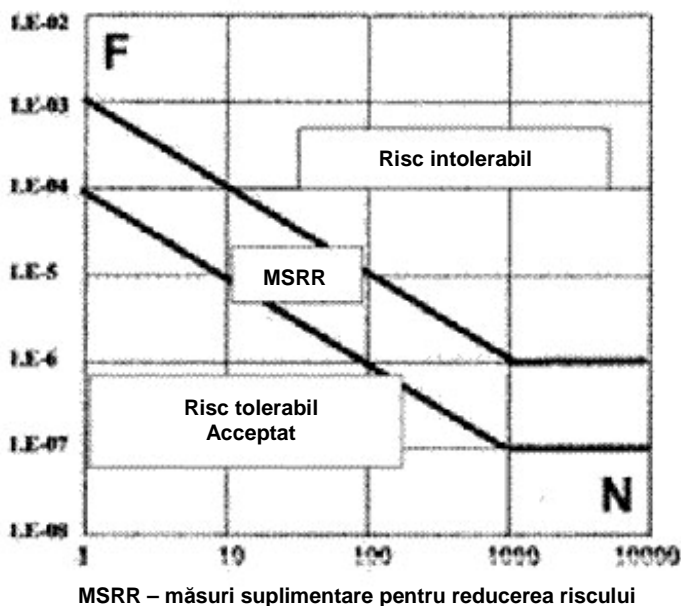


Diagrama 6.1. Limitele riscului tolerabil

(5) Zona MSRR din diagramă semnifică faptul că deținătorul trebuie să ia măsuri suplimentare de reducere a riscului pentru al aduce, dacă nu în limitele celui tolerabil, cel puțin la nivelul *risc atât de mic cât este rațional posibil să se obțină*. Se recomandă ca în situația în care riscul barajului se situează în zona MSRR să se detalieze studiul de risc pentru fundamentarea deciziilor.

6.2. Riscul acceptat ca rata anuală a pagubelor materiale

(6) Riscul acceptat se stabilește prin comparație cu pagubele înregistrate la alte accidente grave din domeniul ingineriei civile.

(7) Se consideră acceptabilă o rată anuală a riscului de 10000 EURO/an, ceea ce revine a impune o probabilitate de cedare egală sau mai mică de 10^{-4} dacă pagubele produse terților sunt de ordinul a 100 milioane de EURO și respectiv de 10^{-6} dacă pagubele produse terților sunt de ordinul a 10 miliarde EURO.

(8) Dacă consecințele ruperii barajului sunt numai pierderi economice, exprimabile în unități monetare, atunci riscul acceptat se determină pe baza unor analize economice. Costurile implicate în reducerea riscului se compară cu rata așteptată a pagubelor, iar riscul acceptabil rezultă dintr-un proces de minimizare a cheltuielilor totale sau de maximizare a beneficiului pentru societate.

Cap.7. CONTROLUL RISCULUI

(1) Controlul riscului constă în adoptarea măsurilor ce asigură menținerea riscului în limite tolerabile.

(2) Reducerea riscului la un minim rațional este o obligație legală și morală a deținătorilor de baraje și amenajări hidrotehnice precum și a administrației publice locale și centrale.

(3) Reducerea riscului se poate realiza prin măsuri care să acționeze asupra celor două componente majore ale riscului:

- a) *Reducerea probabilității de producere a cedării*, prin măsuri structurale sau activități legate de managementul siguranței, cum ar fi urmărirea comportării în exploatare (monitoringul), inspecțiile periodice, etc.
- b) *Reducerea consecințelor în cazul ruperii barajului*, prin măsuri de avertizare-alarmare-evacuare, sau prin relocarea permanentă a populației expuse riscului.

(4) Direcțiile majore de acțiune în controlul riscului sunt creșterea siguranței structurale, urmărirea comportării (supravegherea) construcțiilor și avertizarea, alarmarea și evacuarea populației în caz de rupere iminentă.

(5) Pentru lucrările noi creșterea siguranței structurale se realizează prin proiectare competentă, bazată pe studii adecvate și prin calitatea execuției lucrărilor.

(6) Pentru lucrările existente, pe lângă premisele asigurate de proiectare și execuție trebuie asigurate întreținerea și reparațiile curente, precum și lucrările de creștere a gradului de siguranță, prin intervenții constructive, atunci când acestea sunt necesare.

7.1. Creșterea siguranței structurale

(7) Creșterea siguranței structurale se poate realiza numai printr-un sistem integrat de măsuri structurale și non-structurale.

(8) Pentru barajele noi dimensionarea și detaliile constructive trebuie să respecte normele tehnice atât în conținut cât și în spirit. În funcție de condițiile hidrologice, seismice și de fundare, precum și în funcție de caracteristicile proprii ale barajului se identifică mecanismele de rupere și se prevăd detalii constructive adecvate, care aduc creșteri semnificative ale siguranței. Pe lângă exigențele generale de calitate impuse pentru execuție și modul de verificare și evidență a acestora, specificațiile tehnice trebuie să evidențieze și categoriile de lucrări a căror calitate condiționează nemijlocit siguranța lucrării.

(9) La barajele existente, siguranța structurală se menține prin lucrări de întreținere și de reparații curente și/sau prin intervenții constructive, atunci când performanțele funcționale ale lucrărilor sunt afectate de o comportare nesatisfăcătoare a barajului sau de producerea unor deteriorări sau distrugerii ale lucrărilor datorită unor factori care nu au putut fi anticipați corect la proiectare.

(10) Măsurile non-structurale se referă la intervenții în bazinul hidrografic pentru diminuarea viiturilor sau pentru reducerea transportului aluvionar, la exploatarea corectă, în acord

cu caracteristicile lucrării și eventual cu prognoza, incluzând și restricțiile în exploatare impuse de anumite mecanisme de rupere depistate ulterior, la organizarea unui sistem de prognoză fiabil referitor la hidrologia de exploatare etc.

7.2. Urmărirea comportării barajelor

(11) Reducerea riscului prin urmărirea continuă a comportării barajului și a mediului lui eficient este operantă numai dacă respectiva activitate este realizată de un personal competent și este integrată într-un sistem organizatoric care prevede competențe și responsabilități clare.

(12) Detalierea activității de urmărire a comportării barajelor se face conform prevederilor *STAS 7883-90 Construcții hidrotehnice. Supravegherea comportării în timp. Prescripții generale*, precum și în actele normative și reglementările tehnice privind urmărirea comportării construcțiilor hidrotehnice, în vigoare.

(13) O evaluare completă a stării și comportării barajului poate fi realizată prin controale vizuale, măsurători cu ajutorul aparatului de măsură și control (AMC), precum și prin manevre profilactice ale echipamentelor electro-hidro-mecanice și verificări ale sistemelor de alimentare cu energie electrică, inclusiv ale generatoarelor de avarie.

(14) Urmărirea comportării barajului în timpul construcției și exploatării curente, printr-un sistem adecvat de instrumente și aparatură de supraveghere, reprezintă o condiție esențială de îmbunătățire a condițiilor de siguranță ale lucrării. Fiind o componentă integrantă a proiectului, sistemul de supraveghere trebuie proiectat odată cu barajul, de preferat de aceeași echipă de ingineri. Sistemul AMC trebuie privit ca un sistem dinamic, care poate cere montarea unei aparaturi suplimentare în funcție de simptomele lucrării sau chiar renunțarea la măsurarea anumitor parametrii atunci când valorile lor se dovedesc a fi evident eronate sau lipsite de semnificație.

7.3. Avertizare- alarmare- evacuare

(15) Deținătorul cu orice titlu al unui baraj are obligația de a elabora:

- a) un plan intern pentru răspuns de urgență specific barajului, care include intervențiile deținătorului barajului ca răspuns la condiții neobișnuite sau de urgență;
- b) un plan de pregătire pentru situații de urgență pentru acțiuni în exteriorul sistemului propriu al barajului;

(16) Alarmarea și evacuarea reprezintă o parte integrantă a ansamblului de măsuri de urgență declanșat de depistarea unor fenomene periculoase sau situații critice.

(17) Obiectivul urmărit de sistemul de alarmare și evacuare este de a evacua populația expusă înainte de producerea evenimentului catastrofal, pentru salvarea populației din zona afectată de avarierea barajului.

(18) Pentru întocmirea planurilor de alarmare-evacuare sunt necesare:

- a) sistemul de prognoză și avertizare în cazul situațiilor critice;
- b) hărțile de inundabilitate în cazul formării undei de rupere, în care sunt specificate nivelurile maxime și timpul în care acestea se realizează;

c) hărți de detaliu ale zonei potențial afectate, în care sunt figurate cotele și căile de comunicație;

d) recensământul recent al populației din zona potențial afectată.

(19) Planurile de alarmare-evacuare trebuie să conțină două variante, care să diferențieze cazul unor ruperi produse de viituri excepționale de cazul ruperii neașteptate (provocată de cutremur sau de fenomene adverse nedetectate).

(20) Funcționarea sistemului de avertizare–alarmare și a planului de avertizare – alarmare – evacuare se verifică împreună cu comitetul pentru situații de urgență.

(21) Existența planurilor de alarmare-evacuare precum și probabilitatea funcționării lor conform prevederilor va fi luată în considerare la calculul efectelor și pagubelor produse de ruperea barajelor

Referințe tehnice

McDonald L., 1994 – ANCOLD risk assessment guidelines - Seminar “Acceptable Risk for Extreme Event in the Planning and Design of Major Infrastructure” – Sydney.

Fry, J.J., 1998 - Risk analysis, risk management and data bases - Progress report, European Working Group, Barcelona.

ICOLD, 1995 - Dam Failures - Statistical Analysis - Bulletin 99.

ICOLD, 2006 - Risk Assessment in Dam Safety Management. ICOLD Bulletin 130. Paris.

Oosthuizen, C., Hattingh, C., L.- 2007 - Dam Safety Risk Assessment – A South African Perspective – Proc. of ICOLD Symposium: «Dam Safety Management. Role of State, Private Companies and Public in Designing, Constructing and Operating of Large Dams», Saint Petersburg

Rettemeier, K., 2000 - Risk Assessment- New Trends in Germany - Proceedings of 20th ICOLD Congress, Q76, R41, Beijing.

Smith, D.I., 1992 – Damage estimation and preparedness for dam failure flooding - ANCOLD Bulletin No. 50.

Zielinski, P., A., 2009 – Dam safety management - Proceedings of 23rd ICOLD Congress Q91, General report , Brasilia.

Normativ

**PRIVID ANALIZA ȘI EVALUAREA RISCULUI
ASOCIAT BARAJELOR**

ANEXE

ANEXE

I. Exemplu de calcul a probabilității de cedare prin aplicarea metodei statistice

II. Exemplu de calcul a probabilității de cedare prin aplicarea arborelui evenimentelor adverse

III. Exemple de calcul a probabilităților de apariție a consecințelor prin aplicarea arborilor consecințelor

IV. Exemplu de calcul a hidrografului ruperii

VI. Exemplu de apreciere a pierderilor de vieți omenești produse de ruperea unui baraj

Anexa I.

Exemplu de calcul a probabilității de cedare prin aplicarea metodei statistice

(1) Exemplul se referă la analiza probabilității de rupere a unui baraj stăvilar, având drept mecanism de cedare deversarea peste coronament datorită *blocării stăvililor*.

(2) Conform articolului din normativ 5.2.1. Metoda statistică, punctul (a). probabilitatea de rupere se definește ca fiind raportul dintre numărul de cedări înregistrate și produsul dintre numărul de lucrări și numărul de ani de exploatare al barajelor pentru care există observații.

(3) Dacă populația statistică conține N baraje de același tip, având durate de exploatare t_i ($i = 1, N$) și în perioada de observație s-a înregistrat n_r ruperi, atunci probabilitatea anuală de rupere este :

$$P_r = \frac{n_r}{\sum_{i=1}^N t_i} .$$

(4) Admițând că în exemplul ales numărul de stăvilare monitorizate este 112, cu perioade de exploatare cuprinse între 2 și 40 de ani, iar numărul de cazuri de blocare a stăvililor este 2, atunci:

$$P(\text{cedare prin blocarea stăvililor}) = \frac{2}{2464} = 0,000811 = 8.11 \cdot 10^{-4} ,$$

unde 2464 este numărul de stăvilare an la care se referă cazuistica, rezultat din $\sum_{i=1}^N t_i$, cu t_i perioadele de exploatare a fiecăruia dintre stăvilarele i .

Anexa II.

Exemplu de calcul a probabilității de cedare prin aplicarea arborelui evenimentelor adverse

(5) Exemplul de calcul are ca suport barajul Poiana Uzului. Este un baraj cu contraforți, de 80 m înălțime, dat în exploatare în 1972, pentru a crea o acumulare de 90 mil. m³ în scopul alimentării cu apă a zonei industriale din aval.

Date privind barajul

(6) Barajul este format din 33 de ploturi de 15 m lățime, dintre care trei sunt de construcție masivă, la versanți, trei sunt deversante, în zona centrală și restul sunt de tip curent (fig. AII.1). Plotul de tip curent este alcătuit dintr-o ciupercă de formă poligonală, de 15 m lățime, înclinată în elevație cu 1:0,5 și rezemată pe toată înălțimea pe un contrafort lat de 5 m. Contrafortul reazemă la rândul lui pe un soclu (talpă) de fundare de 15 m lățime, egală cu a ciupercii. În acest fel barajul are o fundație continuă, similară cu aceea a barajelor de greutate clasice la care subpresiunea se manifestă pe întreaga suprafață de contact. Soclul servește totodată ca suport al unei lestări cu materiale locale, lestare care aduce un aport suplimentar la asigurarea stabilității la alunecare. La contactul cu roca de fundare, în lungul rosturilor dintre ploturi, sunt prevăzute galerii de drenaj și vizitare.

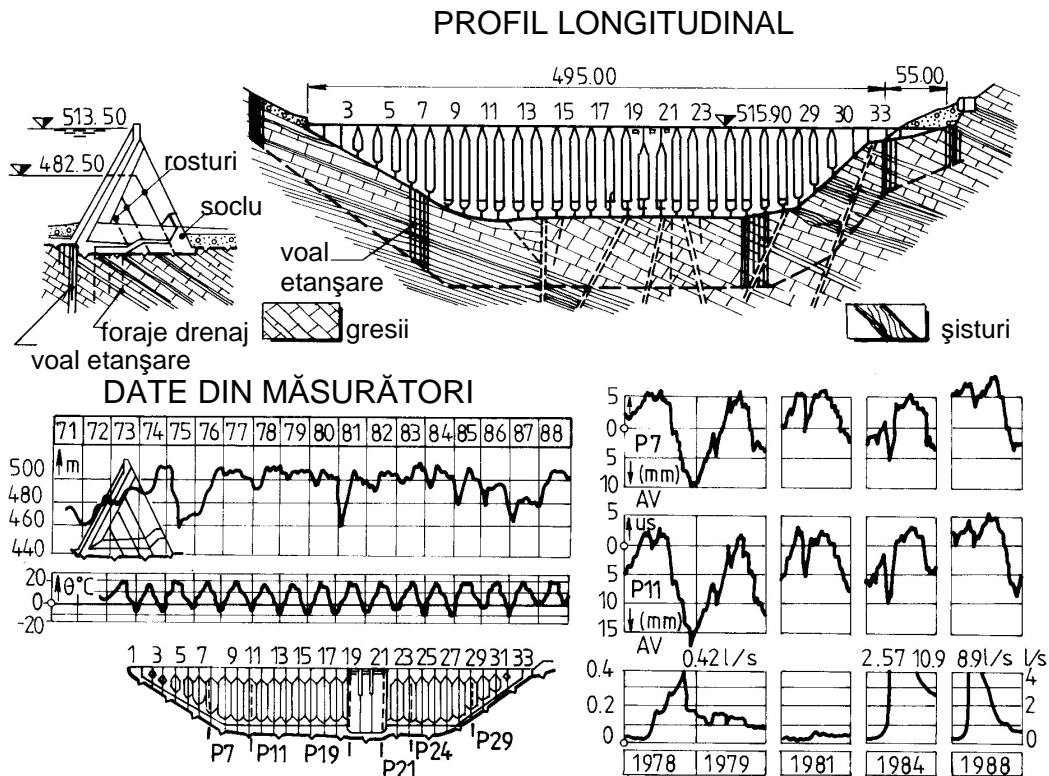


Figura AII.1. Barajul Poiana Uzului: elemente constructive și date din măsurători.

(7) Roca de fundare este alcătuită din gresii în strate metrice, între care se găsesc intercalații de șisturi argiloase. Impermeabilizarea terenului de fundare s-a realizat printr-un voal de etanșare, executat pe trei șiruri. Drenarea fundației s-a realizat, pentru fiecare plot, prin foraje de 20 m adâncime, poziționate la 10 m în aval de voal.

(8) Mecanismele de cedare s-au stabilit pornind de la particularitățile (incidentele) de comportare a barajului.

Incidente în exploatare

(9) Comportarea particulară, atipică, a barajului a fost înregistrată în anii 1979, 1981, și în special s-a manifestat prin creșterea bruscă a debitelor drenate în foraje, cu precădere la versantul drept, și deplasări anormale ale ploturilor 4...14, cu maxime în zona ploturilor 7...11. Față de tendința generală de deplasare spre amonte, indusă de variația de temperatură, apar brusc o deplasare spre aval și o ridicare a plotului. Infiltrațiile crescute și deplasările atipice au fost atribuite, în mod corect, creșterii de subpresiune pe talpă. Analiza ulterioară a datelor din măsurători au pus în evidență dependența debitelor drenate de nivelul din lac, dar și faptul că la același nivel de apă din lac debitele drenate se reduc pe măsură ce temperatura contrafortului crește. S-a constatat astfel că permeabilitatea rocii și a voalului depinde de starea de efort din zona piciorului amonte. În sezonul cald și/sau la nivele reduse în lac în zona amonte sunt compresiuni și permeabilitatea este mai redusă. La nivele ridicate în lac, asociate cu temperaturi scăzute ale contraforturilor, în zona piciorului amonte apar întinderi, care deschid fisurația, afectează voalul și produc creșteri ale debitelor infiltrate, care, neputând fi drenate imediat creează majorarea subpresiunilor.

(10) Un al doilea element particular de comportare îl constituie fisurarea barajului. Fisurile și deschiderile de rosturi interlamelare sunt grupate în vecinătatea rosturilor permanente de contracție din contraforți. Ele se dezvoltă cu precădere spre versantul drept (ploturile 4...16) și sunt asociate cu incidentele semnalate, punând în evidență faptul că nu sunt datorate execuției, ci comportării structurale. Măsurătorile din exploatare au semnalat de altfel deplasări relative importante între fețele rosturilor permanente.

Mecanismele de cedare selectate

(11) Din analiza particularităților constructive și de fundare, precum și din interpretarea incidentelor din exploatare s-au reținut trei mecanisme care pot conduce la avarierea barajului:

- a) alunecarea pe talpa de fundare a ploturilor, în special a celor din zona versantului drept;
- b) alunecarea unor mase de rocă din versantul drept împreună cu ploturile aferente, pe orizonturile de șisturi argiloase dintre pachetele de gresii;
- c) dezvoltarea fisurației existente, cu străpungere spre amonte și pătrunderea apei în fisuri cu exercitarea de presiuni pe fețele acestora.

(12) Cele trei mecanisme conduc fiecare către o stare critică, definită generic *avarie*, care poate evolua către rupere. Investigând cauzele care pot conduce la declanșarea mecanismelor de avariere a rezultat arborele evenimentelor adverse din figura AII.2.

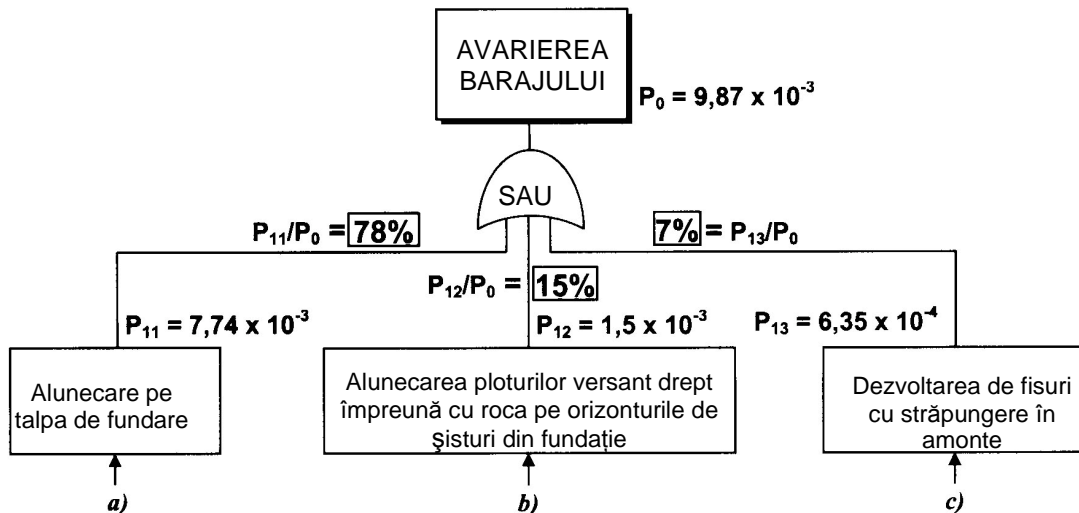


Figura AII.2. Arborele probabilistic al evenimentelor adverse pentru barajul Poiana Uzului. Principalele mecanisme care pot duce la avarie.

(13) Pentru evenimentul advers “alunecare pe talpa de fundare” arborele se dezvoltă în figura AII.2, a. Cauzele posibile ale evenimentului pot fi fie creșterea excesivă a subpresiunilor, fie pierderea forțelor stabilizatoare date de greutatea leștului de pe talpa contraforților.

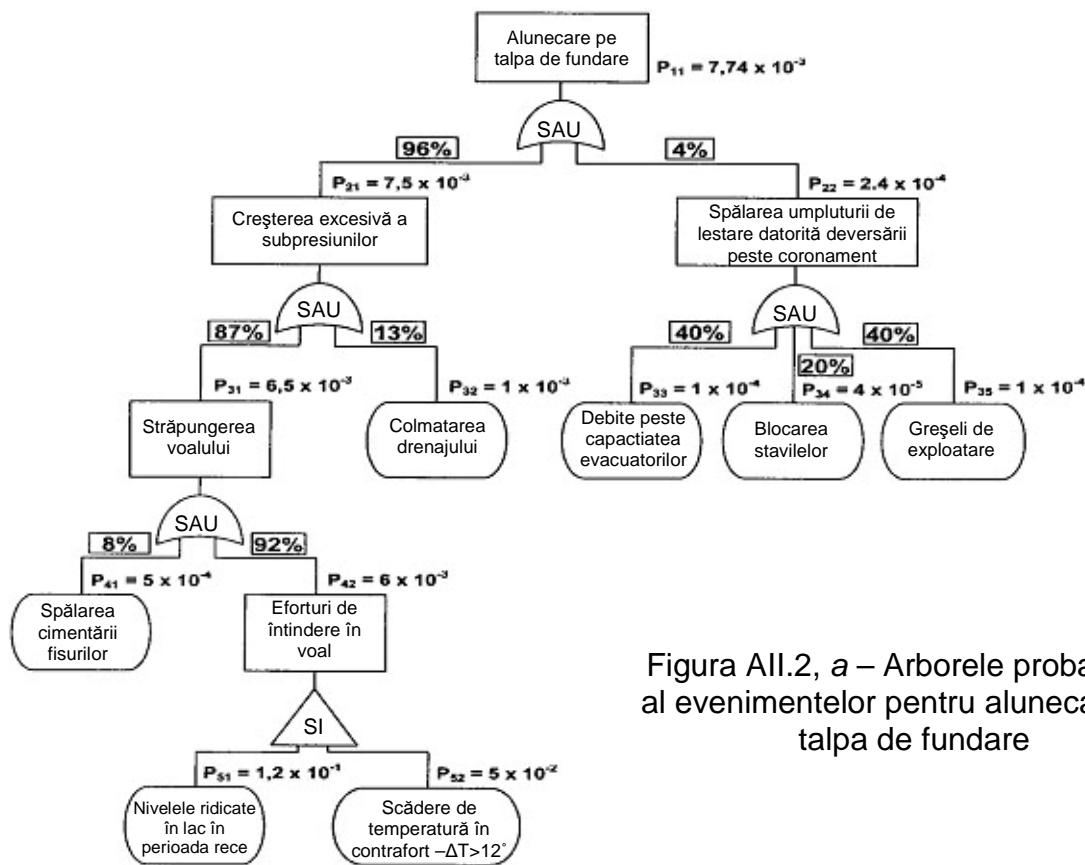


Figura AII.2, a – Arborele probabilistic al evenimentelor pentru alunecarea pe talpa de fundare

(14) Pentru cel de al doilea eveniment advers “alunecarea unor mase de rocă din versantul drept” arborele se dezvoltă în figura AII.2, b.

(15) Alunecarea versantului drept poate fi indusă fie de cedarea ancorajelor existente, specifice lucrării, fie de creșterea excesivă a presiunii interstițiale pe fețele de strat cu permeabilitate scăzută.

(16) Dezvoltarea presiunilor interstițiale se poate datora unei combinații defavorabile între precipitații excesive și ineficiența drenurilor suborizontale care ar trebui să intercepteze interstratele în cauză.

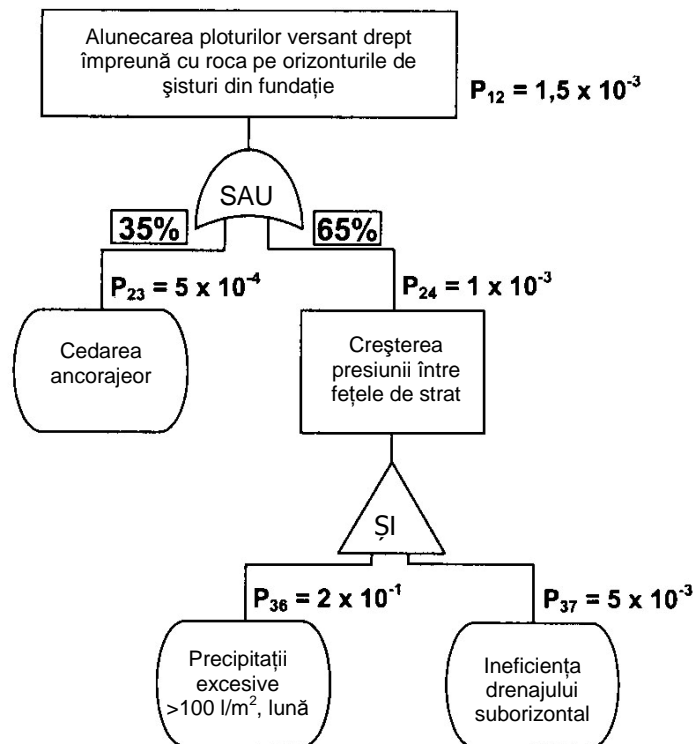


Figura AII.2, b - Arborele probabilistic al evenimentelor pentru alunecări la versantul drept.

(17) Pentru evenimentul advers ”dezvoltarea fisurației existente, cu străpungere spre amonte” arborele evenimentelor adverse se dezvoltă în figura AII.2, c.

(18) Dezvoltarea fisurilor se poate produce fie datorită unor deplasări relative mari între coloanele decupate în contrafort de rosturile permanente, fie datorită unor concentrări de eforturi la limita din amonte a fisurilor. Deplasările relative pot fi induse de un seism violent, produs în condițiile unor niveluri ridicate în lac. Concentrările de efort pot fi induse de deformațiile terenului de fundare din zona aval, concomitent cu scăderea conlucrării dintre coloanele contrafortului datorată deschiderii rosturilor în sezoanele foarte reci.

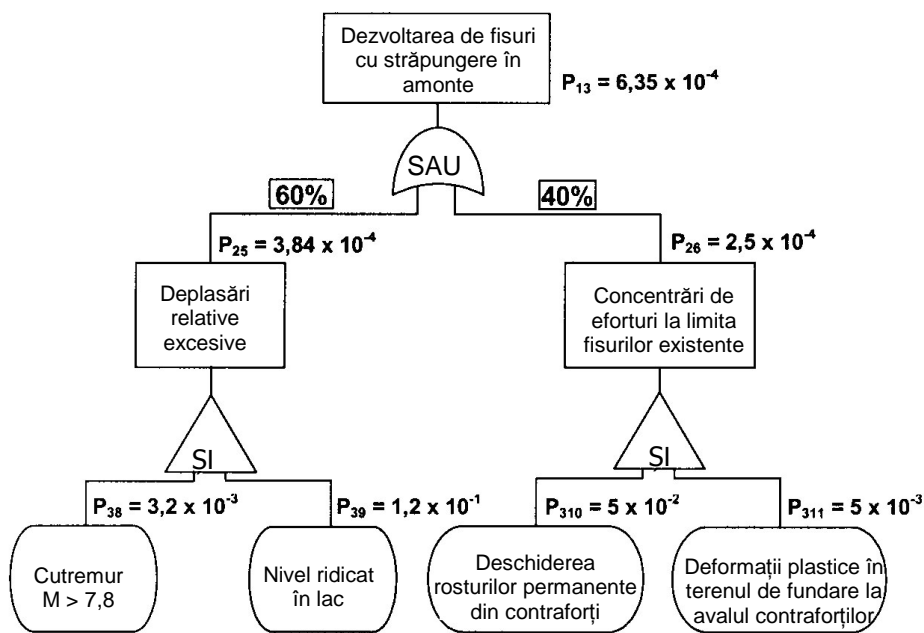


Figura AII.2, c - Arborele probabilistic al evenimentelor pentru dezvoltarea fisurilor.

(19) Cuantificarea probabilităților anuale de apariție a evenimentelor din arbore s-a realizat, conform prevederilor articolului 5.2.4 (c) din normativ, pe baza sumării probabiliste a probabilităților evenimentelor primare.

(20) Probabilitățile evenimentelor primare s-au determinat pe baza datelor statistice oficiale (debite peste cele de verificare, cutremure cu $M > 7,8$) sau din prelucrări ale datelor din monitorizare (nivele ridicate în lac în sezonul rece, scăderea temperaturii contraforților cu mai mult de 1° , la fel cu deschiderea rosturilor din contraforți în sezonul rece, precipitații excesive mai mari de 100l/m^2 , lună). Pentru alte evenimente primare probabilitățile anuale au fost apreciate sau asimilate cu date din literatură (spălarea cimentării, colmatarea drenajului, blocarea stavilelor, greșeli în exploatare etc.).

(21) În baza evaluării cantitative a arborelui a rezultat o probabilitate totală de avarie $P_0 = 9,87 \cdot 10^{-3}$, semnificativ mai mare decât media consemnată în statisticile mondiale ($1,5 \cdot 10^{-4}$). Pentru a se putea evidenția contribuția diferitelor mecanisme în producerea avariei potențiale, precum și a ponderii cu care intervin evenimentele primare, în arbore s-au figurat și probabilitățile relative aferente fiecărei ramuri. Astfel, probabilitatea relativă a alunecării pe talpă P_1 / P_0 a rezultat de 78% față de numai 7% corespunzătoare dezvoltării fisurației (P_{13} / P_0).

Comentarii

(22) Probabilitatea anuală de apariție a unei avarii la barajul Poiana Uzului este mai mare decât media întâlnită la barajele de beton. Rezultatul este perfect explicabil dacă se ține seama de faptul că fundarea este realizată pe un teren dificil și că soluția constructivă face ca barajul să fie mai sensibil decât cele uzuale de același tip: talpă continuă de fundare, care permite dezvoltarea subpresiunilor, lestarsă suplimentară cu materiale locale peste talpa continuă, fragmentarea contrafortului în coloane independente prin rosturile permanente paralele cu paramentul aval.

(23) Analiza atentă a arborelui evenimentelor adverse pune în evidență și căile de reducere a probabilității anuale de avarie. Urmărind probabilitățile relative rezultă clar că ramura alunecare pe talpa de fundare cauzată de creșterea subpresiunilor, indusă la rândul ei de străpungerea voalului, are contribuția majoră în producerea avariei. Dacă prin planul de exploatare se impune ca ridicarea nivelului în lac să se facă după luna aprilie, sau condiționat de temperatura contraforturilor, probabilitatea de apariție a eforturilor de întindere în zona amonte poate scade cu un ordin de mărime cel puțin, conducând la $P_{42} = 1 \cdot 10^{-4}$ și la o probabilitate de realizare a alunecării pe talpă de numai $P_{11} = 1,84 \cdot 10^{-3}$.

(24) În urma analizei riscului asociat barajului Poiana Uzului, bazat pe evaluarea probabilității de cedare cu arborele evenimentelor adverse prezentat, s-a decis declanșarea unui amplu program de punere în siguranță a barajului. Până la materializarea măsurilor constructive, barajul este exploatat cu restricții privind nivelul în acumulare, conform celor de mai sus.

Anexa III.

Exemple de calcul a probabilităților de apariție a consecințelor prin aplicarea arborilor consecințelor

(25) *Exemplul 1. Arborele consecințelor realizat pentru un baraj la care evenimentul declanșator îl constituie apariția unei viituri a cărei debite maxime depășesc semnificativ capacitatea evacuatorilor de ape mari*

a) În cele ce urmează se prezintă explicit modul de alcătuire a arborele consecințelor prezentat în figura AIII.1.

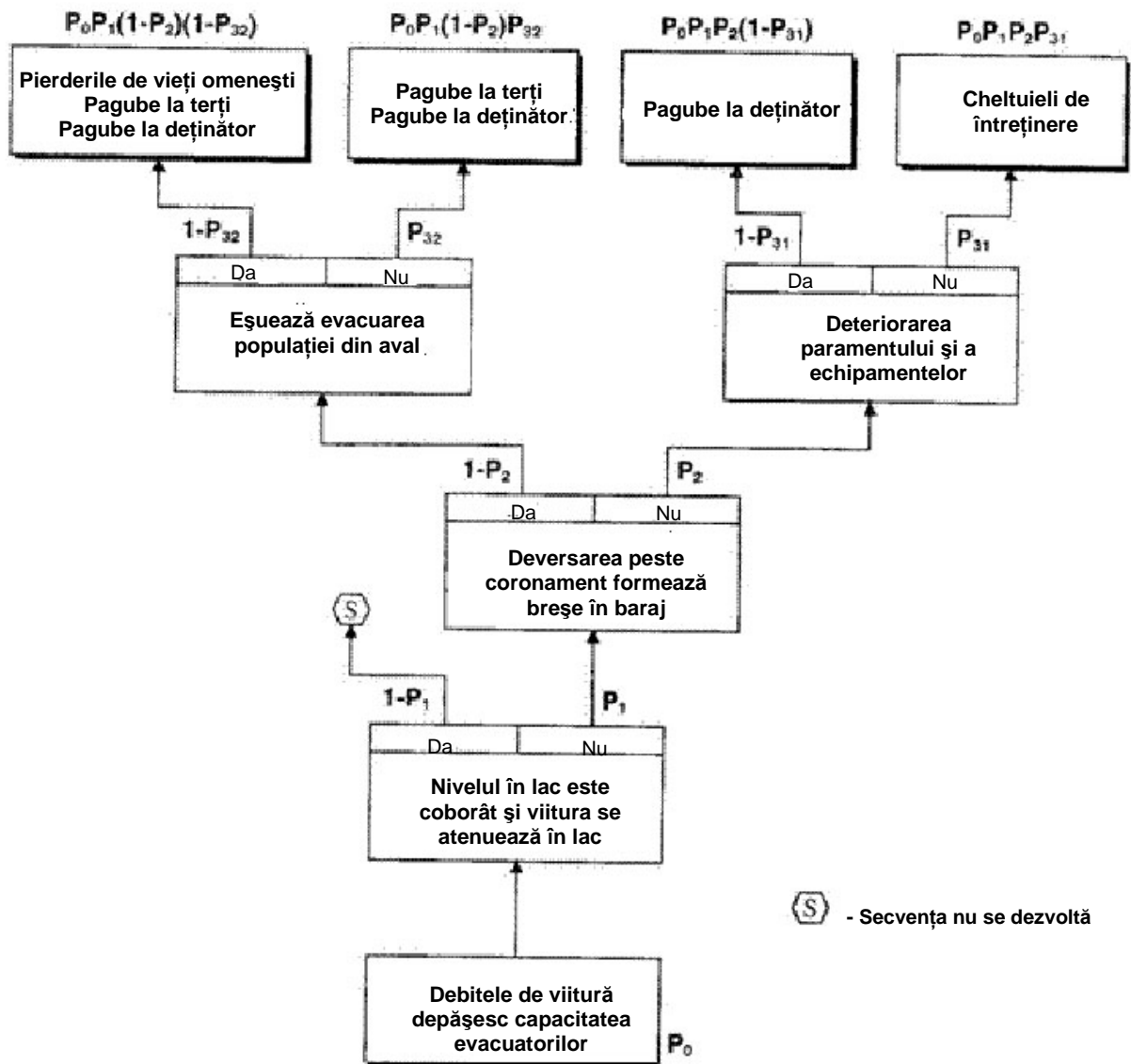


Figura AIII.1. Arborele consecințelor declanșate de o viitură care depășește capacitatea de evacuare a descărcătorilor

b) Dacă nivelul în lac este suficient de coborât și viitura este înmagazinată sau atenuată în lac până la capacitatea evacuatoarelor atunci secvența se oprește. În caz contrar, are loc deversarea peste coronament care poate produce sau nu ruperea barajului. În condițiile în care deversarea nu creează prin eroziune directă sau regresivă o breșe în baraj, se analizează măsura în care incidentul produce avarii la baraj și la echipamente. În funcție de ramura departajată de operatorul DA/NU o secvență se încheie cu pagube la deținător, iar cealaltă numai cu cheltuieli întreținere și reparații curente.

c) Secvențele care urmează ruperii barajului sunt diferențiate de operatorul DA/NU adresat eficacității evacuării populației din zona inundată. Dacă evacuarea eșuează apar pe lângă pagubele la terți și la deținător și pierderi de vieți omenești. Dacă evacuarea populației se realizează, rămân la capătul secvenței numai pagubele materiale.

(26) Exemplul 2. Arborele consecințelor realizat pentru un baraj la care evenimentul declanșator îl constituie străpungerea voalului la un baraj de beton

a) Arborele consecințelor este prezentat în figura AIII.2. Arborele pune în evidență condițiile în care se dezvoltă secvențele critice (care conduc la consecințe severe) și permite, atunci când este suficient de detaliat și evidențierea măsurilor structurale sau nonstructurale care împiedică dezvoltarea secvențelor critice.

b) În studiul de caz ales utilizarea directă a operatorului DA/NU nu este suficient de explicită pentru ca să permită cu ușurință cuantificarea probabilistă. Ca urmare, operatorul logic simplu a fost înlocuit cu echivalente de forma EFICIENT/INEFICIENT sau NORMAL/DEFECTOS.

c) Ramificațiile arborelui sunt create de eficiența sau ineficiența sistemului de drenaj, de efectul produs asupra subpresiunilor în cazul ineficienței drenajului, de capacitatea sistemului de supraveghere (UCC) de a depista semnele premergătoare avariei, de promptitudinea factorilor de decizie în a dispune golirea lacului, de disponibilitatea și capacitatea evacuatoarelor de a realiza golirea și de timpul în care această golire se produce.

d) De această dată evenimentele finale, consecințe ale stării critice (evenimentului nedorit) sunt ruperea barajului sau producerea unui incident cu pagube numai în sistemul propriu al deținătorului. Evident, secvențele pot fi continuate până la consecințele finale, exprimate ca și până acum în pierderi materiale sau pierderi de vieți omenești.

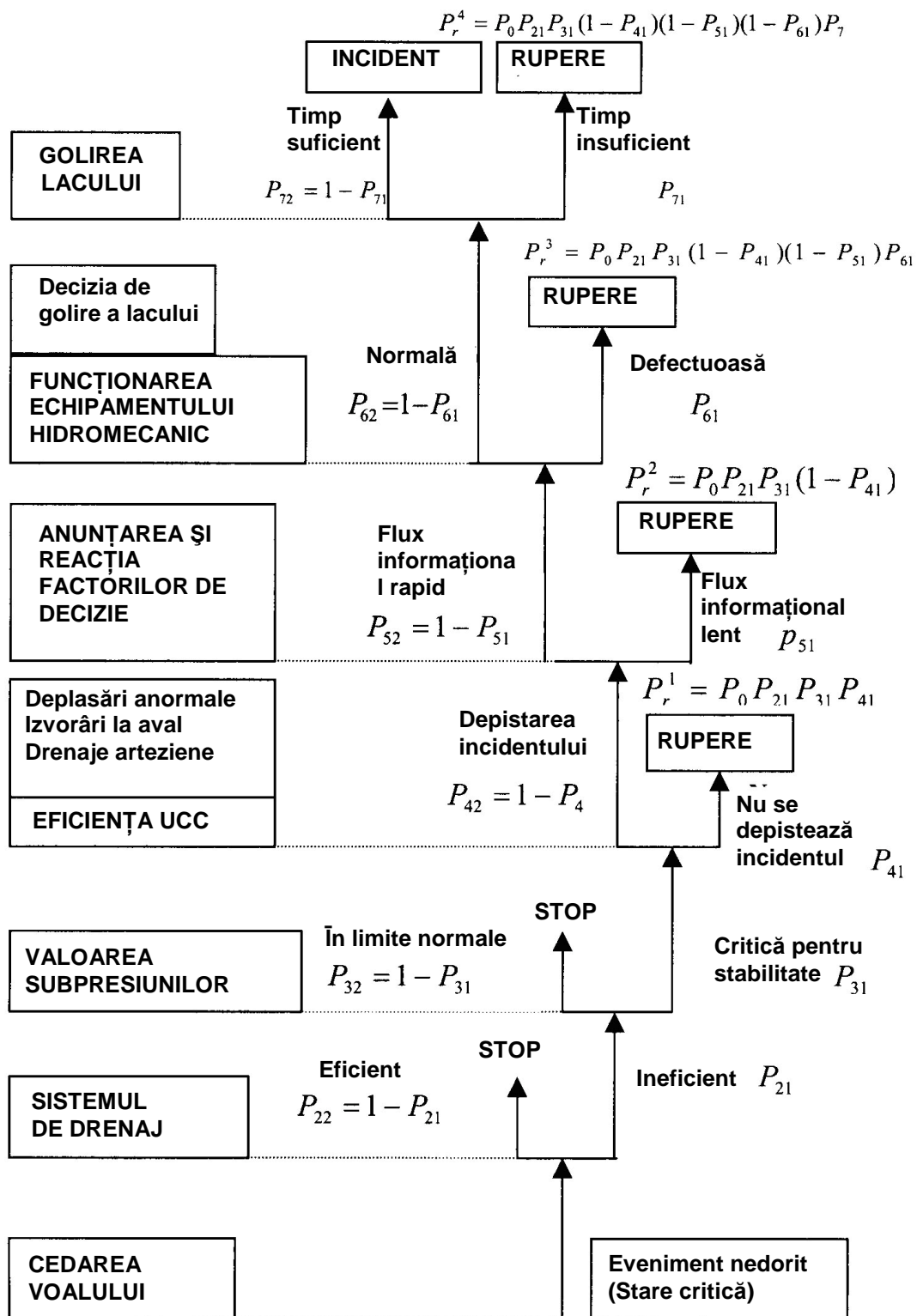


Figura AIII.2 Arborele consecințelor declanșate de străpungerea voalului de etanșare la un baraj de beton.

Anexa IV.

Exemple de calcul a a hidrografului ruperii

(27) Prezentul studiu de caz definește scenariile posibile de rupere a frontului barat al barajului Dridu plecând de la caracteristicile proprii ale lucrării și de la incidentele de comportare din perioada de exploatare. Scenariile de cedare analizate sunt prezentate în figura AIV.3.

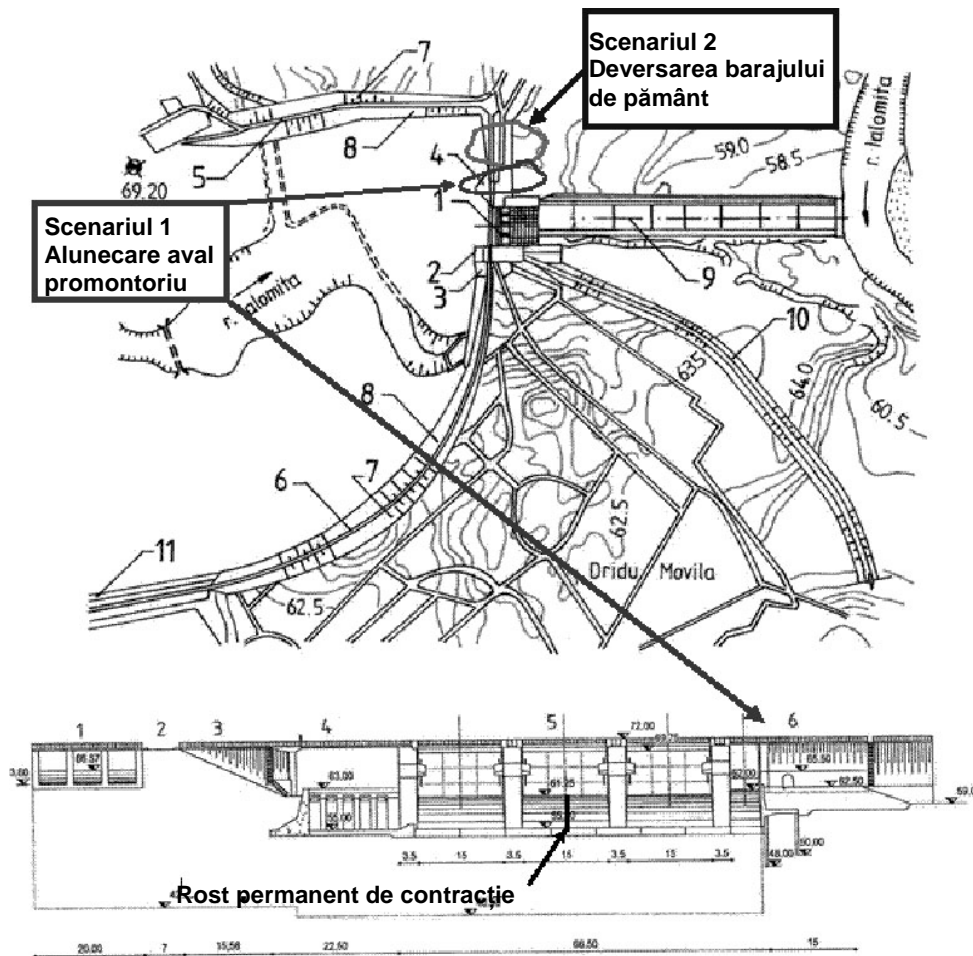


Figura AIV.1. Dispoziție generală și scenariile de cedare analizate

Descrierea barajului

(28) Frontul barat se compune dintr-un baraj stăvilă, din beton, care constituie descărcătorul de ape mari al barajului și baraje de pământ frontale, continuate cu baraje laterale, denumite impropriu diguri. În frontul barat se mai află priza canalului Ialomița –Mostiștea.

(29) Barajul stăvilă este o construcție de beton armat cu dimensiunile în plan de 65 x 125 m și înălțimea de 20 m, alcătuită din pile și culei. Barajul are trei deschideri principale, cu lățimea de 15m fiecare, echipate cu stavile segment cu clapet 15x (6 + 2) m și o deschidere care poate descărca debitul pentru irigații, cu dimensiunile 5 x 2,25 m, echipată cu vană segment.

(30) Barajul de pământ mal stâng (tronsonul I) închide albia râului și completează pe înălțime malul înalt din stânga evacuatorului de ape mari (promontoriul natural format din pământuri argiloase). Are o lungime de 1000 m și o înălțime de la fundație de 18 m. Barajul de pământ mal drept (tronsonul II) închide albia râului din partea dreaptă a evacuatorului de ape mari și apără gospodăriile din zona joasă a localității. Are o lungime de 1170 m și înălțimea de la fundație de 13 m.

Incidente de exploatare avute în vedere la definirea scenariilor de cedare

(31) În exploatarea barajului Dridu au apărut o serie de incidente, dintre care se prezintă pe scurt cele care au relevanță în definirea scenariilor de cedare.

- a) urmare a viiturilor din mai și iunie 1991 când a fost necesară o funcționare mai îndelungată a evacuatorului cu nivele ridicate în lac la drenajele din galeria de vizitare mal stâng și la izvoarele de la digul I, au rezultat debite crescute și antrenări de material nisipos.
- b) în februarie 2001 a apărut fenomenul de antrenare hidrodinamică la drenuri. S-a estimat un volum de 4-5 m³ material solid colectat din rigolă și conducta colectoare.
- c) taluzului aval al promontoriului a fost afectat de alunecări de profunzime medie. Pentru stabilizarea promontoriului și a barajului de pământ mal stâng în zona izvoarelor și a alunecării de teren, s-au executat bretele drenante. Înainte de finalizarea bretelelor, pe taluzul aval al promontoriului a avut loc o alunecare mai profundă, stabilizată prin blocare cu refuz de ciur pe geotextil.

Scenariile de cedare

(32) S-au identificat două mecanisme de cedare (fig. AIV.1). Cel mai probabil scenariu, calificat ca fiind *destul de posibil* (probabilitate de producere 0,75) este cel produs prin declanșarea și dezvoltarea unei alunecări a zonei aval a promontoriului de la malul stâng al descărcătorului de ape mari. Prin colmatarea drenajelor practicate în perioada de exploatare se poate produce saturarea piciorului aval, declanșarea unor alunecări progresive cu dezvoltare spre amonte și apoi o alunecare profundă, generând deversarea cu formare de breșe evolutivă.

(33) Cel de al doilea scenariu corespunde deversării peste coronamentul barajului de pământ mal stâng, care are înălțimea maximă. Este calificat ca fiind de asemenea *destul de posibil* (probabilitate de producere 0,75). Deversarea este cauzată de o viitură (în cadrul scenariului s-a considerat viitura cu asigurarea de 0,1%) care nu poate fi tranzitată prin acumulare datorită blocării stavilelor. Starea stavilelor și fenomenele de umflare a betoanelor, care au produs în trecut blocarea batardourilor în nișe, precum și tipul de baraj, din material necoeziv, justificau un asemenea scenariu. Formarea efectivă a breșei se datorează eroziunii externe. Eroziunea se inițiază la piciorul aval și se dezvoltă regresiv până când se formează breșa. În umpluturile necoezive (balast, pietriș și nisip) eroziunea este destul de rapidă.

(34) Pe baza acestor scenarii și a ipotezelor privind formarea și evoluția breșei se evaluează apoi hidrografele de rupere. Sunt tratate distinct două situații: ruperea produsă ca urmare a viiturilor și ruperea produsă în condiții hidrologice normale (*suny day*).

Ipotezele privind formarea breșei și hidraulica scurgerii

(35) În figura AIV.2 sunt prezentate pentru scenariile de rupere 1 și 2 evoluția în timp a nivelului apei în lac și a cotei inferioare a breșei, hidrograful debitului afluent (acolo unde este cazul) și hidrograful ruperii.

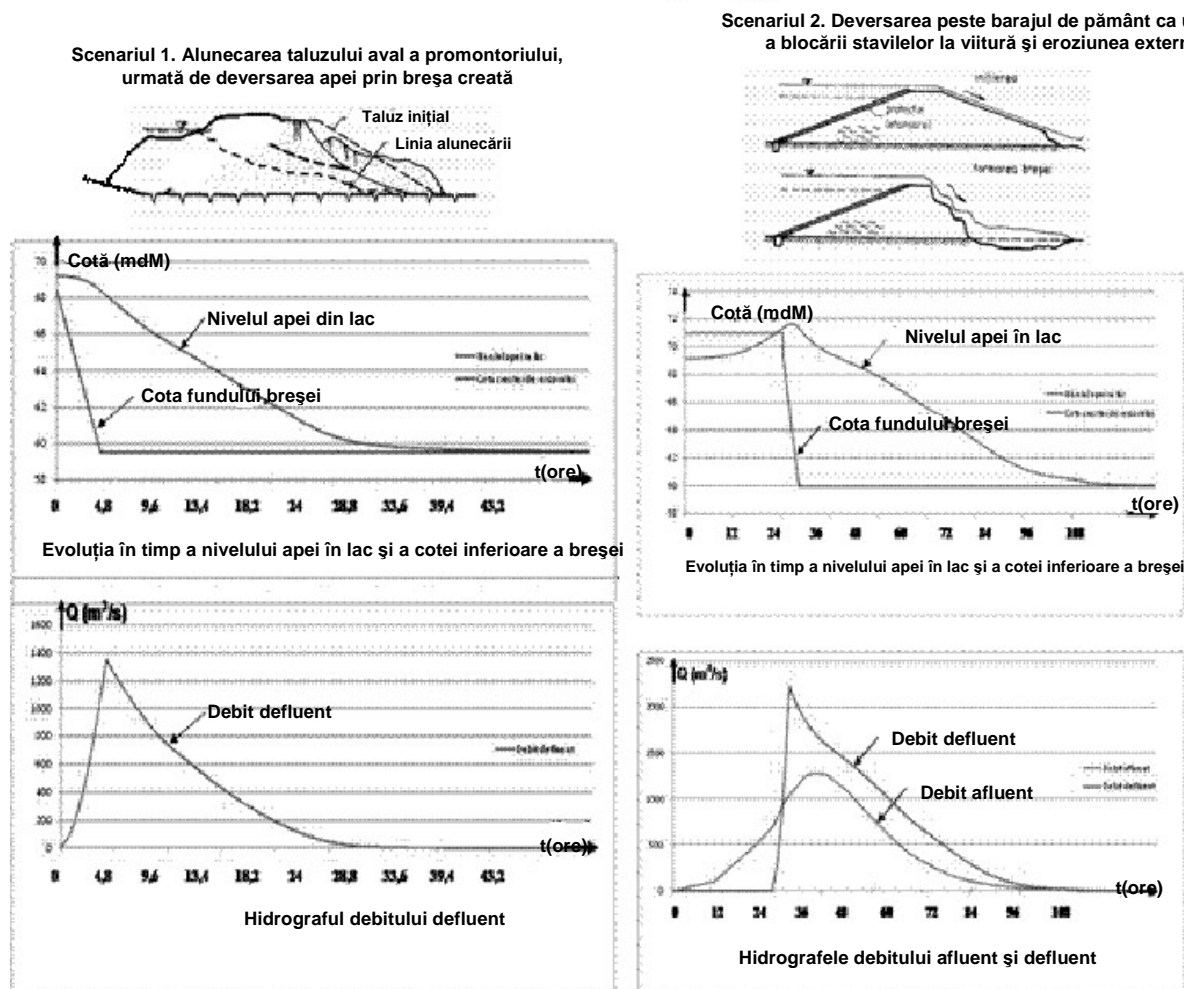


Figura AIV.2. Detalierea scenariilor de cedare și hidrografele ruperii pentru cele două scenarii

a) **În cazul scenariului 1**, timpul de formare a breșei este de 240 minute. Lățimea breșei la nivelul coronamentului variază de la 20 m la 50 m. Adâncimea breșei atinge în final înălțimea barajului de pământ mal stâng și variază de la 2.5 la 12 m. Hidraulic, curgerea prin breșe se face ca deversare pe prag lat. Unghiul taluzelor (pereților) breșei este de 45° și ca urmare lățimea pragului deversor variază de la 15 la 26 m. Toate variațiile sunt considerate liniare. Debitul afluent este neglijabil. Nivelul inițial în lac este la NNR.

b) **În cazul scenariului 2**, ruperea este inițiată de viitura de 0,1%. Stavilele fiind considerate blocate, formarea breșei începe atunci când prin acumularea în lac a viiturii nivelul atinge nivelul coronamentului + 40 cm. Timpul de formare a breșei este de 240 minute. Lățimea breșei formate de deversarea peste coronament variază de la 15 m la 50 m la nivelul coronamentului. Adâncimea breșei variază de la 0.5 m la 11 m (până la terenul natural). Unghiul

laturilor breșei este de 45° , iar lățimea pragului deversor variază de la 14 m la 28 m. La sosirea viiturii ce produce deversarea peste coronament nivelul în lac este la NNR. Hidrografului afluent are durată de cca 160 ore și debit maxim de $1280 \text{ m}^3/\text{s}$.

(36) Debitul maxim evacuat corespunde scenariului de rupere nr. 2, cu $2230 \text{ m}^3/\text{s}$, mai mare decât debitul cu asigurarea de 0,01%, de $2020 \text{ m}^3/\text{s}$. Acest scenariu are și probabilitatea de producere mai mare și ca urmare se recomandă ca hidrograful asociat să fie utilizat pentru calculul propagării undei de rupere.

Anexa V.

Exemplu de apreciere a pierderilor de vieți omenești produse de ruperea unui baraj

(37) Se consideră cazul unei acumulări, realizată cu un baraj de pământ, care are în zona aval la circa 400 m de baraj o așezare cu 12 case și la 1,5 km un sat de 1200 familii. După confluența râului barat cu un curs de apă important, la cca 12 km, se află într-un degajament al albiei majore o așezare urbană cu 21000 locuitori. Barajul de pământ, cu înălțimea de 29 m, are o alcătuire omogenă din balast, fiind etanșat la paramentul amonte cu un ecran de beton armat.

(38) S-a admis că, indiferent de mecanismul de rupere, breșa se formează pe toată înălțimea și are o extindere la coronament de circa 180 m. Studiul de inundabilitate a arătat că unda de rupere ajunge în sat în circa 12 minute și la orașul din aval în circa 1,2 h.

(39) În cele ce urmează se utilizează metodologia și tabelele de calcul din normativ, paragraful 5.5.1. *Evaluarea pierderilor de vieți omenești.*

(40) În funcție de limitele zonei inundate s-a estimat populația rezidentă în zona afectată și anume: pentru cele 12 case din aval $PR_1 = 42$, pentru sat, integral inundat $PR_2 = 3800$, iar din așezarea urbană care ar avea circa 40% din suprafața construită sub apă cu adâncimi peste 2 m, $PR_3 = 8600$. Populația expusă riscului, defalcată, de asemenea, pentru cele trei așezări este:

a) în cazul în care ruperea se produce ziua:

$$PER_1 = 19; \quad PER_2 = 2508; \quad PER_3 = 5676;$$

b) în cazul în care ruperea se produce noaptea:

$$PER_1 = 42; \quad PER_2 = 3800; \quad PER_3 = 8600.$$

(41) În cazul în care ruperea se produce prin deversare peste coronament, în urma unei viituri excepționale, sistemul de avertizare-alarmare-evacuare este deja operativ și alarma se dă imediat ce nivelul în lac atinge nivelul coronamentului. Intervalul de timp între declanșarea alarmei și ruperea efectivă se apreciază la circa 1,5 ore. Ca urmare, timpii disponibili pentru evacuare sunt: pentru gruparea de case aval $T_{e1} \cong 1,5$ ore; pentru sat $T_{e2} = 1,7$ ore; pentru așezarea urbană $T_{e3} = 2,7$ ore. Utilizând relațiile din tabelul 7.7 și considerând că ruperea are loc ziua, rezultă:

$$PVO = 19^{0,6} + 0,0002 \cdot (2508 + 5676) = 8.$$

(42) În cazul în care ruperea se produce prin eroziune internă, fără depistarea fenomenelor incipiente ruperii, sistemul AAE devine operativ după deschiderea breșei și se declanșează alarma la circa 10...15 minute după primele evacuări de apă din lac. Intervalul de timp între declanșarea alarmei și ruperea efectivă, cu breșe totală, se apreciază la circa 20 minute. Ca urmare, timpii disponibili pentru evacuare sunt: pentru gruparea de case aval $T_{e1} = 20$ minute;

pentru sat $T_{e2} = 32$ minute; pentru așezarea urbană $T_{e3} = 1,53$ h. Utilizând din nou relațiile din tabelul 6.2 și considerând că ruperea are loc spre amurg rezultă:

$$PVO = (19+2508)^{0,6} + 0,0002 \cdot 5678 = 112.$$

(43) Din aceste estimări, se observă diferențele foarte mari ale potențialelor pierderi de vieți omenești în funcție de mecanismul de rupere și scenariul de formare a breșei. O dată în plus, se subliniază că riscul se evaluează independent pe mecanisme de rupere, cu probabilități de producere și consecințe stabilite individual.

(44) Datorită diferențelor mari între PVO estimate în funcție de momentul zilei în care se presupune că se produce ruperea, evaluarea PVO pentru calculul ratei riscului se face prin sumare probabilistă. Se atribuie probabilități relative pentru ruperea produsă ziua și respectiv noaptea ($p_z/p_n = 0,5/ 0,5$ sau $0,3/ 0,7$ etc.), iar PVO se estimează sub forma $PVO = p_z \cdot PVO_z + p_n \cdot PVO_n$.