



MINISTERUL MEDIULUI,
APELOR ȘI PĂDURILOR

Interreg
Danube Region



Co-funded by
the European Union



PROIECT SAFETY4TMF

*Activități coordonate de prevenire și gestionare a
dezastrelor asociate depozitelor de deșeuri miniere
(TMF) de către autorități, municipalități și alți factori
interesați pentru soluții de reducere a riscurilor și
hazardurilor transnaționale - Cod DRP 0200484*

MODULUL I

Direcția Generală Ape
Simona PĂTRUȚ, expert tehnic proiect
Ștefania DRAGOMIR, expert tehnic proiect

Altan ABDULAMIT
Manager proiect

DESPRE SAFETY4TMF: Linie de finanțare

Proiectul este finanțat prin **Programul pentru Regiunea Dunărea 2021-2027**

Axa prioritară 2 – Europă mai verde, fără emisii de carbon:

(iv) Promovarea adaptării la schimbările climatice și a prevenirii riscurilor de dezastre, a rezilienței, luând în considerare abordările bazate pe ecosistem

Proiectul are o perioadă de implementare de 34 de luni, respectiv : **1 ianuarie 2024 - 31 octombrie 2026**

Bugetul total al proiectului este de **2,458,382 EURO**

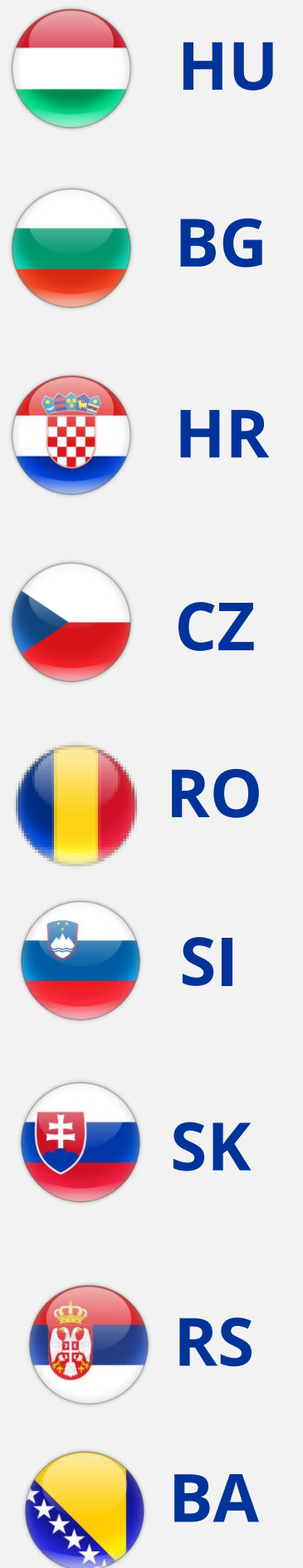
din care **80%** este finanțat de Fondul European de Dezvoltare Regională (FEDR)

DESPRE SAFETY4TMF: Parteneri

În proiect participă **15 parteneri** din **9 țări**.

Din **România** participă 3 parteneri:

- **Universitatea Babeș-Bolyai**, alături de **Inspectoratul General pentru Situații de Urgență** (Partener Strategic).
- **Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor**
- **Consiliul Județean Harghita**, alături de **Asociația Pompierilor Voluntari din Județul Harghita** ca Partener Strategic al proiectului.



OBIECTIVE SPECIFICE

Obiectivul 1:

Cartografierea „ecosistemelor” de cooperare pe probleme privind iazurile miniere precum și politici și proceduri de la nivel local până la macro-regional.

Obiectivul 2:

Creșterea capacităților transnaționale de îmbunătățire a siguranței și a capacității de management al dezastrelor asociate iazurilor miniere).

Obiectivul 3:

Inovații în procesele și procedurile privind siguranța iazurilor miniere și testarea aplicabilității și relevanței pentru bazinul hidrografic al fluviului Dunărea.

Structura cursului:

Capitolul 1 - Introducere

- Iazurile
 - elemente specifice
 - scurt istoric
 - tipuri, exemple

Normative si standarde

Cicluri de viață ale iazurilor, reglementări naționale

Capitolul 2 - Siguranța iazurilor

Moduri specifice de cedare

Incidente, accidente, avarii

Abordarea problemei siguranței iazurilor -modelări statistice

Urmărirea comportării în timp, monitorizare

Structura cursului:

Capitolul 3 - Riscul asociat iazurilor

Definire risc, criteriu, componente

Risc asociat - criteriile de proiectare

Risc asociat – efecte, micșorare vulnerabilitate

.



Interreg
Danube Region



Co-funded by
the European Union



Context istoric și situri istorice

În urma dezastrului cu cianură de la Baia Mare din ianuarie 2000, România a dezvoltat unul dintre cele mai cuprinzătoare sisteme de clasificare a iazurilor de decantare (TMF) din regiune.

Conform Direcției de Resurse Minerale din cadrul Ministerului Economiei:

- Aproximativ 100 de iazuri de decantare și peste 1.000 de halde de steri rămân din operațiunile miniere închise după 1990;
- Prin 11 Hotărâri de guvern din 1998, a fost aprobată închiderea definitivă pentru 556 de mine din 227 de comunități din 28 de județe;
- 78 de iazuri de decantare cu un volum total de 341,31 milioane m³ pe o suprafață de cca. 1.770 ha au fost asociate cu aceste operațiuni închise;
- 675 de haldele de steril minier cu 3.101,92 milioane m³ pe o suprafață de cca. 9.260

Noțiuni de bază:

- *steril*
- *iazuri de decantare*
- *hidromasă*
- *hidrociclulare*

lazurile de decantare

Utilizare

Depozitare steril din
industria minieră

depozitarea nămolurilor din
decolmatarea lacurilor de
acumulare

depozitarea șlamului roșu
de la transformarea bauxitei
în aluminiu

depozitarea materialului
dragat pentru menținerea
șenalelor navigabile

depozitarea zgurei și cenușei
de la termocentrale

Componentele principale ale unui iaz de decantare

1. Structurile de Reținere (Baraje și Diguri)

Barajul/Digul de amorsare

Barajul de picior (Contradig)

Digurile de contur

2. Sistemul de Transport și Distribuție

Conducte de hidrotransport

Sistem de distribuție

3. Sistemele de Evacuare și Drenaj

Sistemul de evacuare a apei limpezite:

Sistemul de drenaj

Descărcător de ape mari (Deversor)

4. Alte Elemente

Depozitul de steril

Echipamente de monitorizare

Caracteristicile barajelor și digurilor de la iazurile de decantare

Barajele iazurilor de decantare pot fi realizate din:

- materiale de împrumut locale,
- din sterilul adus la iaz

Sistemele de distribuție a hidromasei

- în cazul iazurilor formate de *baraje* din materiale locale, construite din materiale de împrumut

descărcarea se face:

- concentrat
- distribuit

- în cazul iazurilor la care înălțarea barajului sau a digului de contur se face utilizând ca material de construcție chiar sterilul, descărcarea se face prin:

- orificii de distribuție
- prin intermediul hidrocicloanelor
- utilizând descărcarea în compartimente perimetrale de sedimentare.

Tipuri de iazuri de decantare din industria minieră

Până în prezent sunt inventariate 109 iazuri de decantare din care:

- 65 iazuri de decantare care **nu au atins capacitatea de depozitare proiectată**;
- 18 iazuri de decantare a căror **capacitate a fost depășită**;
- 25 iazuri de decantare **capacitatea de depozitare proiectată a fost atinsă**.

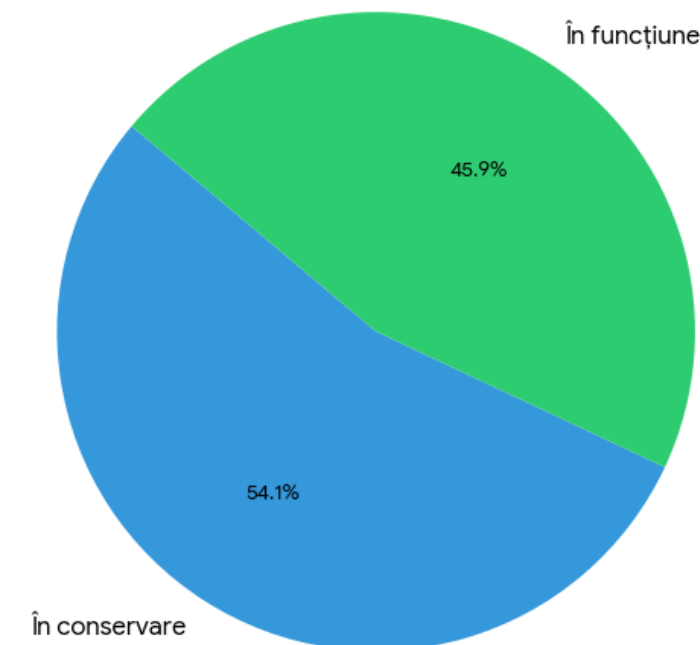
Iazuri în care se depozitează hidromasa:

- **59** iazuri de decantare sunt **în conservare**
- **50** iazuri de decantare sunt **în funcțiune**.

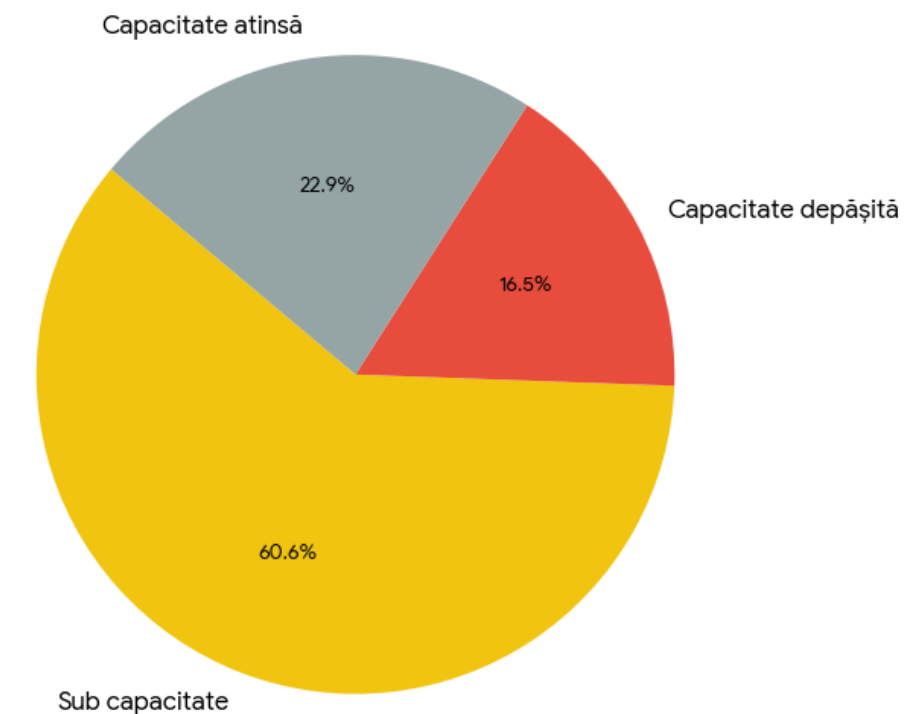
După **amplasare**:

- 40 iazuri **de vale**;
- 23 iazuri **de șes sau de câmp**;
- 46 iazuri de **coastă sau de versant**

Distribuția după starea de operare



Distribuția după gradul de umplere



lazuri de vale

După amplasare: - **iazurile de vale**, foarte comune în regiunile montane sunt realizate prin bararea unei văi naturale



lazu de decantare Valea Șesei



lazu de decantare principal al carierei Roșia Poieni, jud. Alba

lazuri de vale



laz decantare NOVĂȚ, Borșa

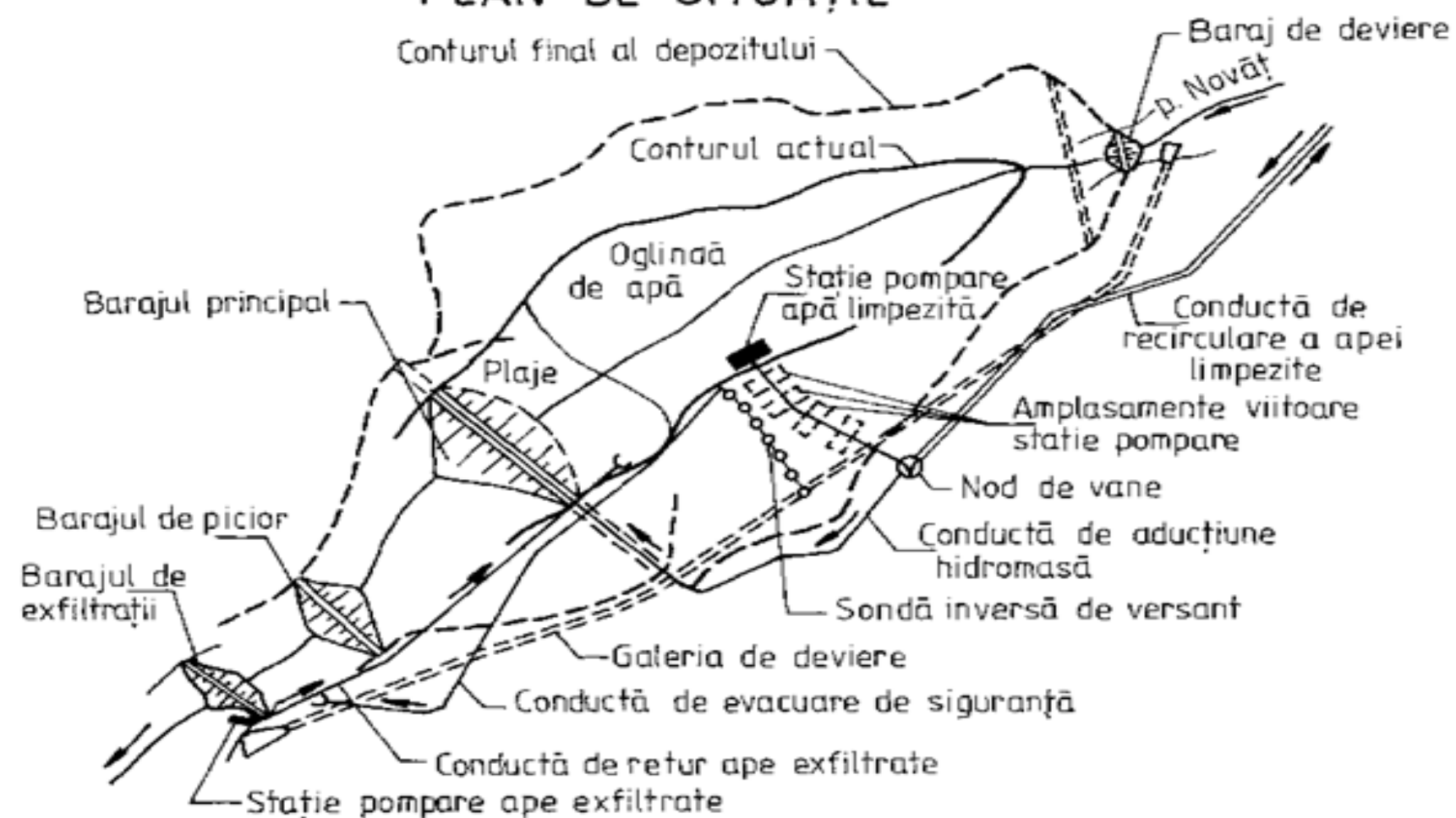
Interreg
Danube Region



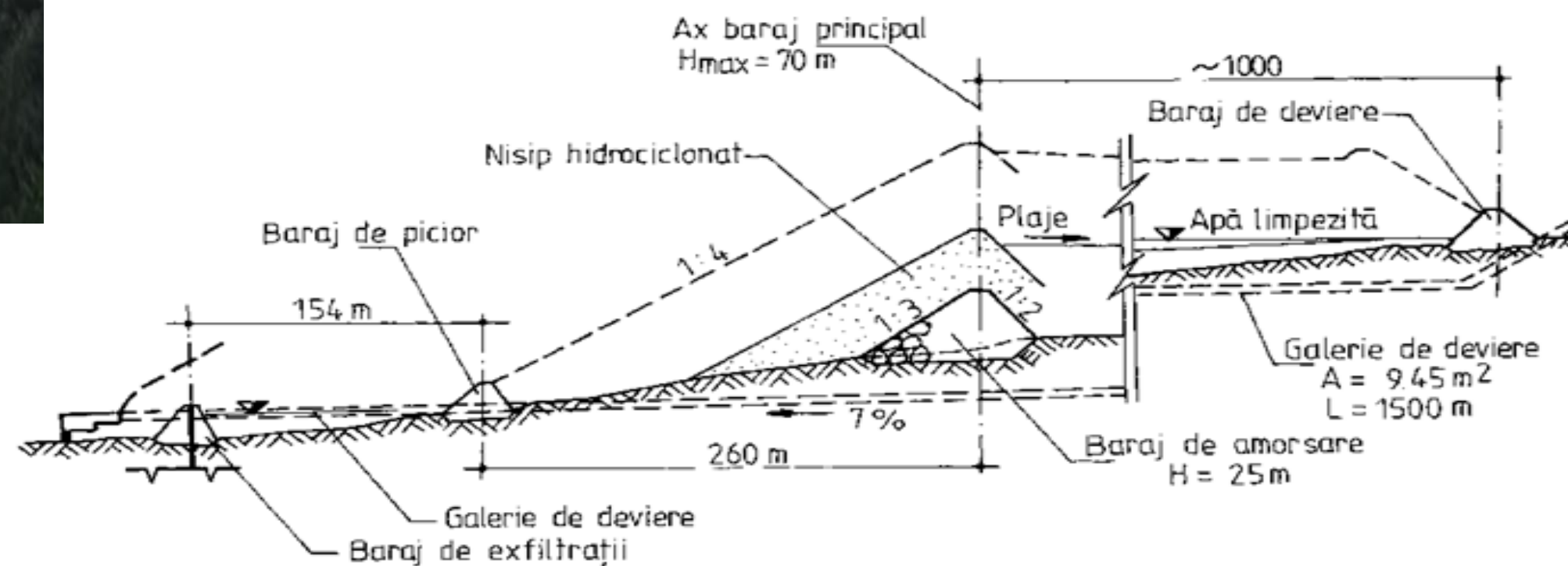
Co-funded by
the European Union

SAFETY4TMF

PLAN DE SITUAȚIE



PROFIL LONGITUDINAL



lazuri de șes

lazurile de șes, amplasate pe terenuri orizontale sau ușor înclinate, la care incinta este formată de digul de contur, care se înalță odată cu creșterea cotei depunerilor



laz de decantare Tauții de Sus,
jud. Maramureș

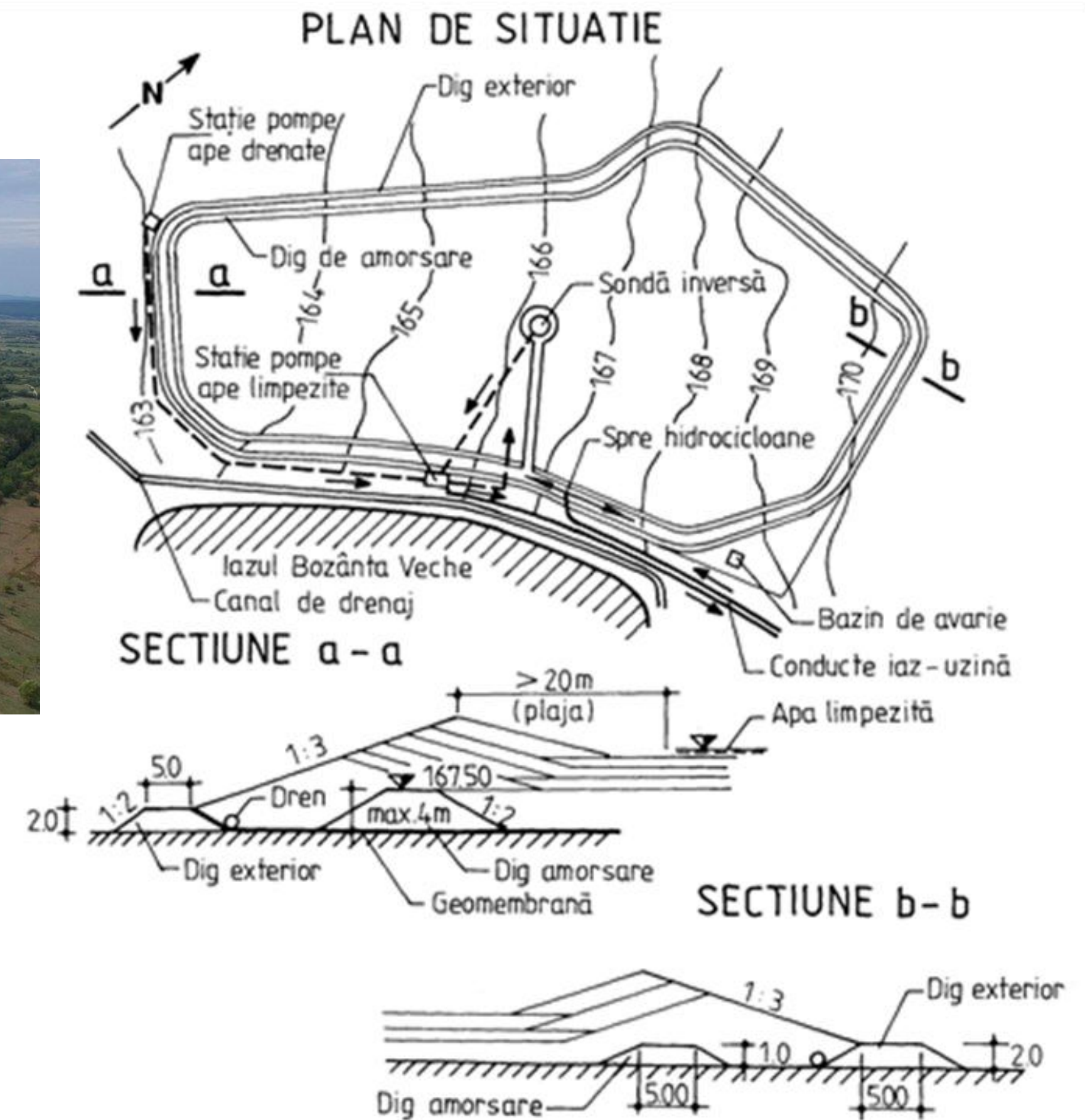
lazul de decantare Aurul (Baia Mare)



lazuri de șes



lazul de minereuri neferoase
Bozânta Mare, jud. Maramureș



lazuri de coastă

lazurile de coastă sunt amplasate la baza unui versant; digurile de contur pornesc și se închid în versant acesta din urmă formând o latură a iazului;



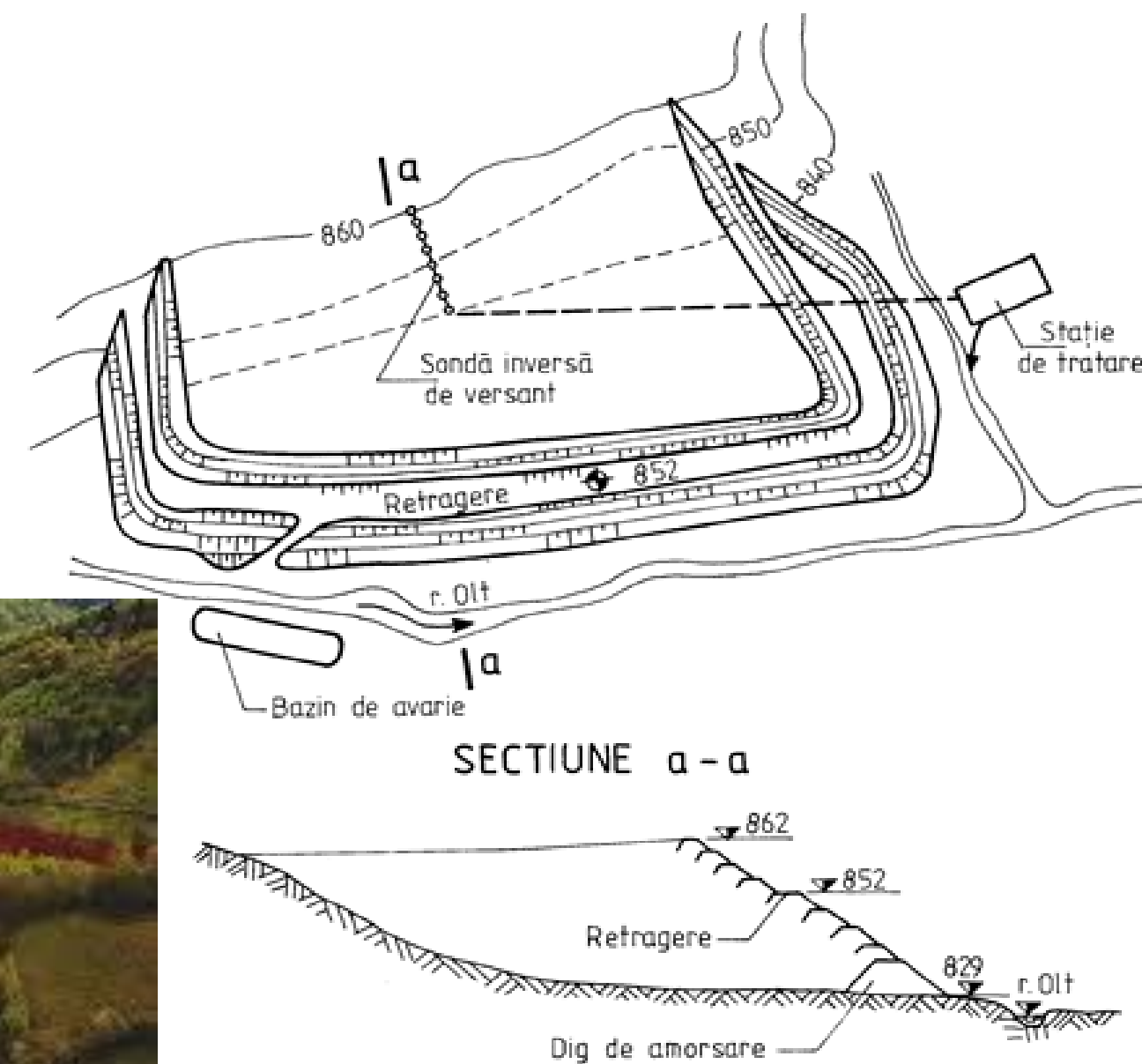
lazul de decantare Geamăna,
jud. Alba

Interreg
Danube Region



Co-funded by
the European Union

SAFETY4TMF



lazul de decantare Bălan 2,
județul Harghita

Clasificarea barajelor (1)

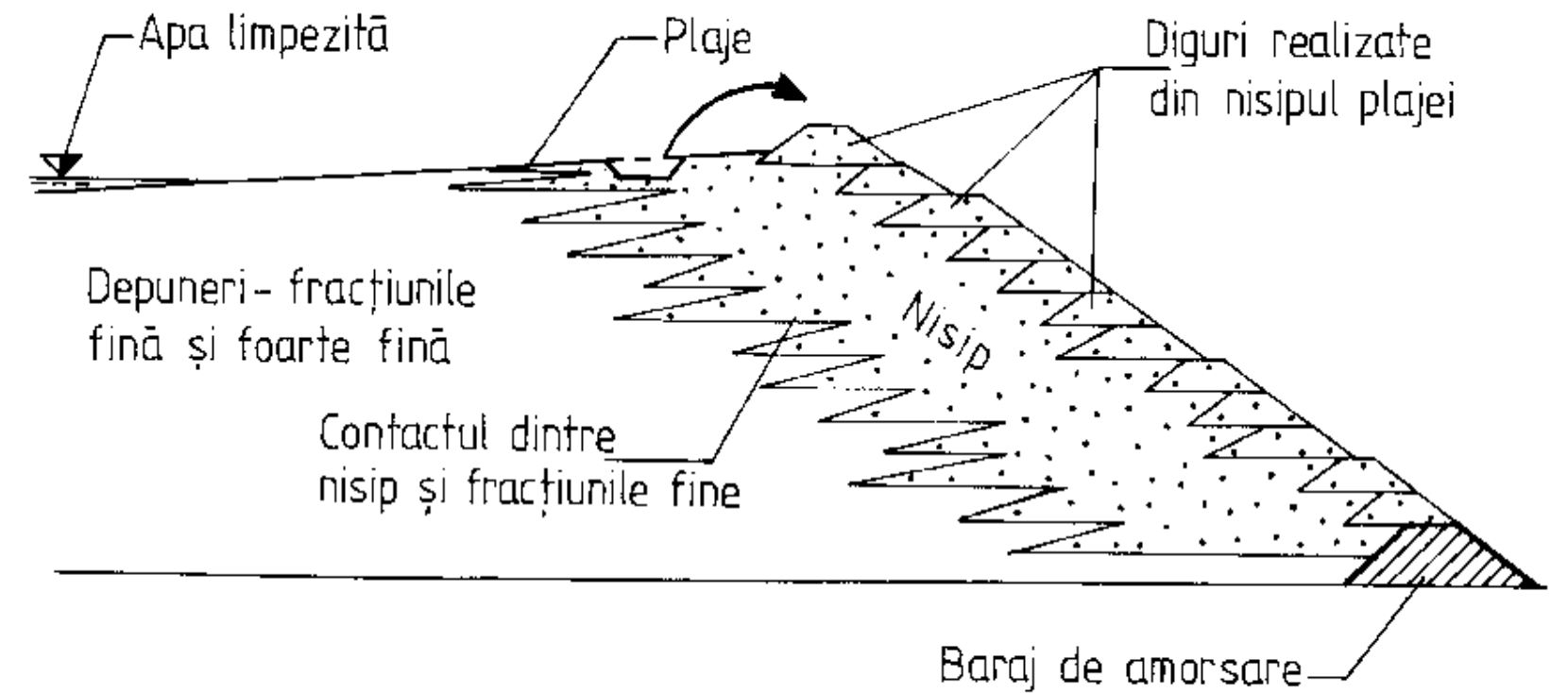
După direcția în care se mută axul coronamentului pe măsură ce barajul se înalță:

1. baraje cu înălțare spre amonte:

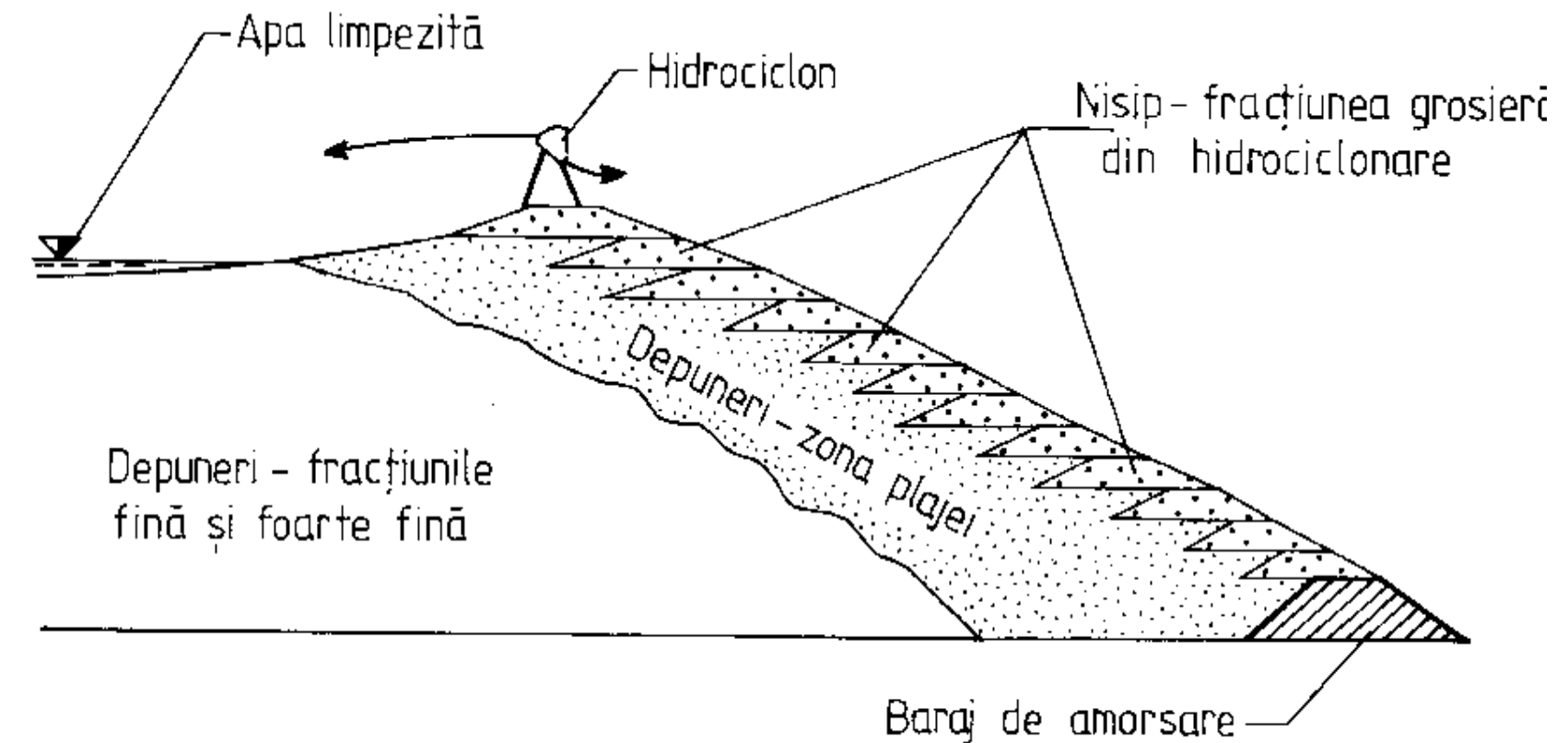
a) în cazul depunerii distribuite prin orificii;

b) în cazul distribuției prin hidrociclone.

a



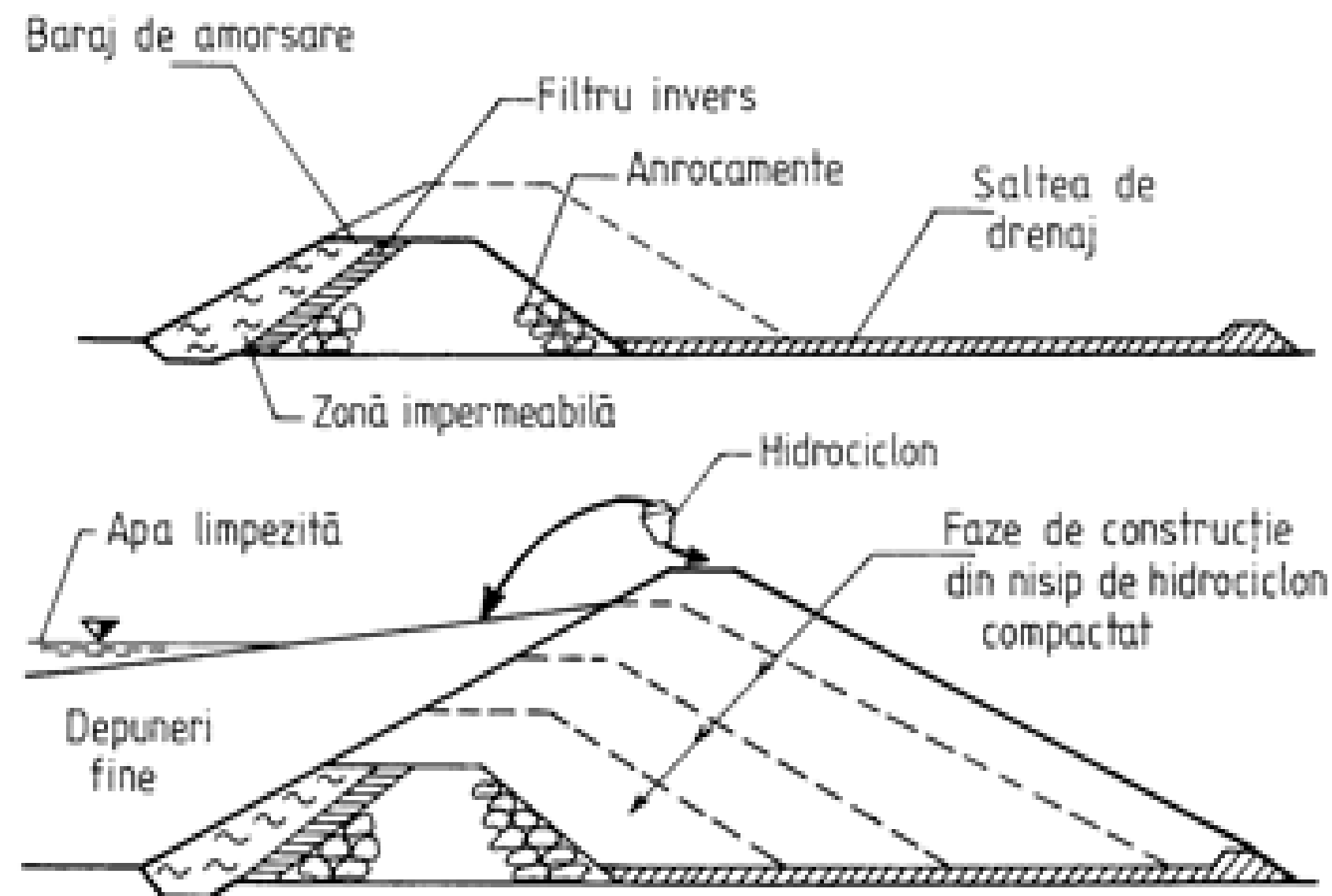
b



Clasificarea barajelor (2)

2. baraje cu înălțare spre aval,
ridicarea cotei coronamentului se face prin plasarea părții grosiere separate de hidrocicloane pe paramentul aval:

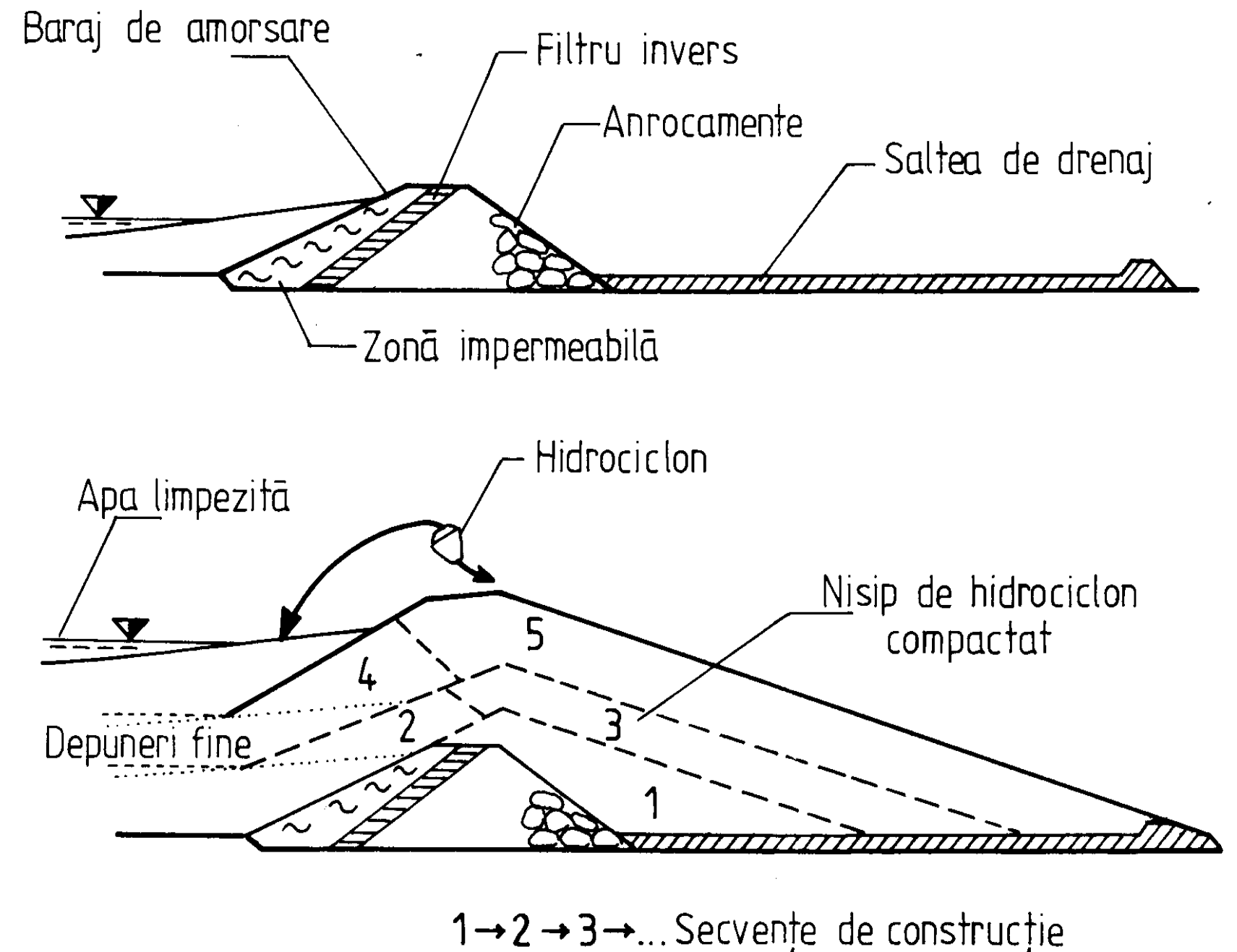
- a) în cazul depunerii distribuite prin orificii;
- b) în cazul distribuției prin hidrociclonaire.



Clasificarea barajelor (3)

3. baraje cu înălțarea în ax a căror realizare este condiționată de depunerea prin hidrociclonaire;

- secvențele de construcție alternează;
- depunerea nisipului de hidrociclon debutează pe paramentul aval al barajului de amorsare, după care se fac depuneri alternative pe plaje și pe paramentul aval.



Cicluri de viață ale iazurilor, reglementări naționale:



➤ Etapa de
proiectare

➤ Etapa de
construcție

➤ Etapa de
exploatare

➤ Etapa de
închidere

➤ Etapa post-
închidere

Elemente și cerințe de proiectare

- **Etapele de Proiectare și Construire** necesită un **Plan de Gestionare a Deșeurilor** aprobat de **Agencia Națională pentru Resurse Minerale (ANRM)** și o **autorizație de construire** conform Legii nr. 50/1991.
- **Etapa de Exploatare** se realizează pe baza **Programelor Anuale de Exploatare și a normelor tehnice ANRM** care vizează stabilitatea digurilor și monitorizarea impactului asupra mediului.
- **Etapa de Închidere și Ecologizare** - procesul include deshidratarea (remediere uscată) sau inundarea controlată, urmată de monitorizare post-închidere. Guvernul a aprobat recent continuarea finanțării pentru ecologizarea iazurilor din sectorul minier de stat până în 2028.

Elemente și cerințe de proiectare (cont.)

- *Finanțarea lucrărilor de închidere a iazurilor de decantare din sectorul minier va continua până în 2028, prin Fondul pentru Mediu.*
- **Ordinul nr. 757/2004** este un act normativ emis de Ministerul Mediului și Gospodăririi Apelor, publicat în Monitorul Oficial al României nr. 86 din 25 ianuarie 2005, care aprobă **„Normativul tehnic privind depozitarea deșeurilor”**. Acesta stabilește cerințele tehnice, condițiile de proiectare, exploatare, închidere și monitorizare post-inchidere pentru depozitele de deșeuri. Normativul aprobat prin ordin cuprinde cerințe de proiectare (etansare, drenaj, izolare); condiții de exploatare și întreținere; proceduri de închidere și reabilitare a amplasamentelor; reguli pentru monitorizarea post-inchidere a mediului (ape subterane, emisii de gaze); anexe tehnice privind testele de acceptare a deșeurilor.
- **Ordinul ANRM nr. 103/2002** reglementează ***Norme tehnice privind proiectarea, construirea și exploatarea iazurilor de decantare.***

Legislație de sprijin

- Hotărârea Guvernului nr. 856/2008 – transpunere primară a Directivei UE 2006/21/CE privind gestionarea deșeurilor din industriile extractive;
- Ordinul nr. 2042/2010 – stabilește criterii de clasificare pentru instalațiile de gestionare a deșeurilor extractive în conformitate cu Decizia Comisiei 2009/337/CE;
- ❑ Legea Minelor Nr.85/2003;
- ❑ Legea Apelor Nr.107/1996 cu modificările și completările ulterioare;
- ❑ Legea siguranței barajelor nr. 466/2001;
- ❑ HG 1034/2010 și HG 181/2020 – programe de finanțare pentru închiderea iazului de decantare;
- ❑ Protecția mediului și legislația EIM;

Normative și standarde

- ❖ NTLH-021/2002 (Metodologia privind stabilitatea categoriilor de importanță a barajelor) – metodologie pentru stabilirea categoriilor de importanță ale barajelor, aplicabilă terasamentelor iazului de decantare;
- ❖ NTLH-023/2002 (Metodologia privind evaluarea stării de siguranță în exploatare a barajelor și digurilor care realizează depozite de deșeuri industriale) – metodologie pentru evaluarea siguranței barajelor și terasamentelor pentru depozitele de deșeuri industriale, inclusiv iazurile de decantare minieră;
- ❖ NTLH-033 (Procedură de trecere în conservare, postutilizare sau abandonare a barajelor).

Programe de închidere actuale

HG 1034/2010 și HG 181/2020 – programe de finanțare pentru închiderea iazului de decantare

Începând cu 2025, România continuă implementarea programelor de închidere a iazurilor de decantare finanțate prin Fondul pentru Mediu.

Recenta **Hotărâre de Guvern 1098/2025**, autorizează continuarea finanțării până la **31 decembrie 2028** pentru **lucrări de închidere și remediere** la:

- Mina Certej (bălți Valea Mireșului și Valea Mealu) – județul Hunedoara
- Mina Teliuc (bălți 1, 2, 3) – județul Hunedoara
- Mina Baia Sprie (balta Tăuții de Sus) – județul Maramureș

Sistem de clasificare

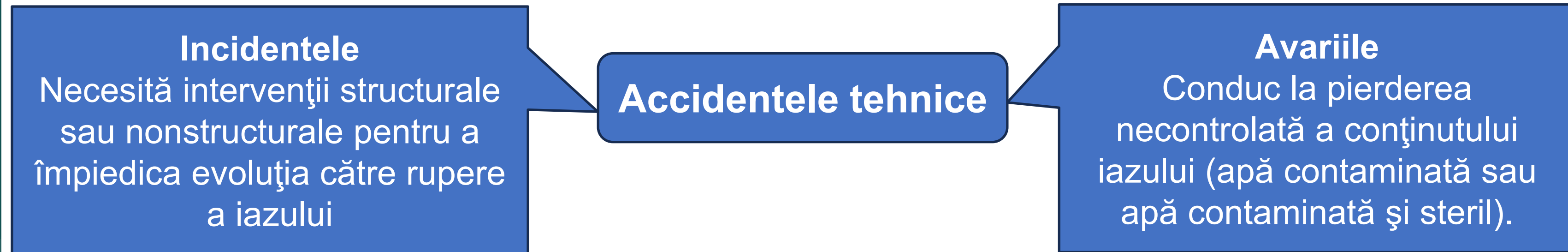
România aplică un sistem cuprinzător de clasificare în categoria A / non-categoria A, complet aliniat cu Directiva 2006/21/CE și Decizia Comisiei 2009/337/CE.

În plus, digurile iazurilor de decantare sunt supuse reglementărilor naționale de siguranță a barajelor prin normele tehnice NTLH-021 (clasificarea pe categorii de importanță în categoriile A, B, C, D, bazata pe evaluarea riscului asociat) și NTLH-023 (evaluare periodică a siguranței specifică pentru barajele de depozitare a deșeurilor industriale, inclusiv iazurile de decantare a sterilului minier).

O instalație primește clasificarea în **categoria A** atunci când:

- Prezintă **Risc de accident major**: Defectarea sau funcționarea incorectă ar putea provoca un accident grav, pe baza evaluării riscurilor
- Exista **Prag de deșeuri periculoase**: Conține deșeuri periculoase peste limitele de concentrație definite
- Exista **Prag de substanțe periculoase**: Conține substanțe sau preparate periculoase peste limitele de concentrație

Incidente, accidente, avarii



Clasificarea factorilor de risc care duc la producerea de avarii, incidente, accidente

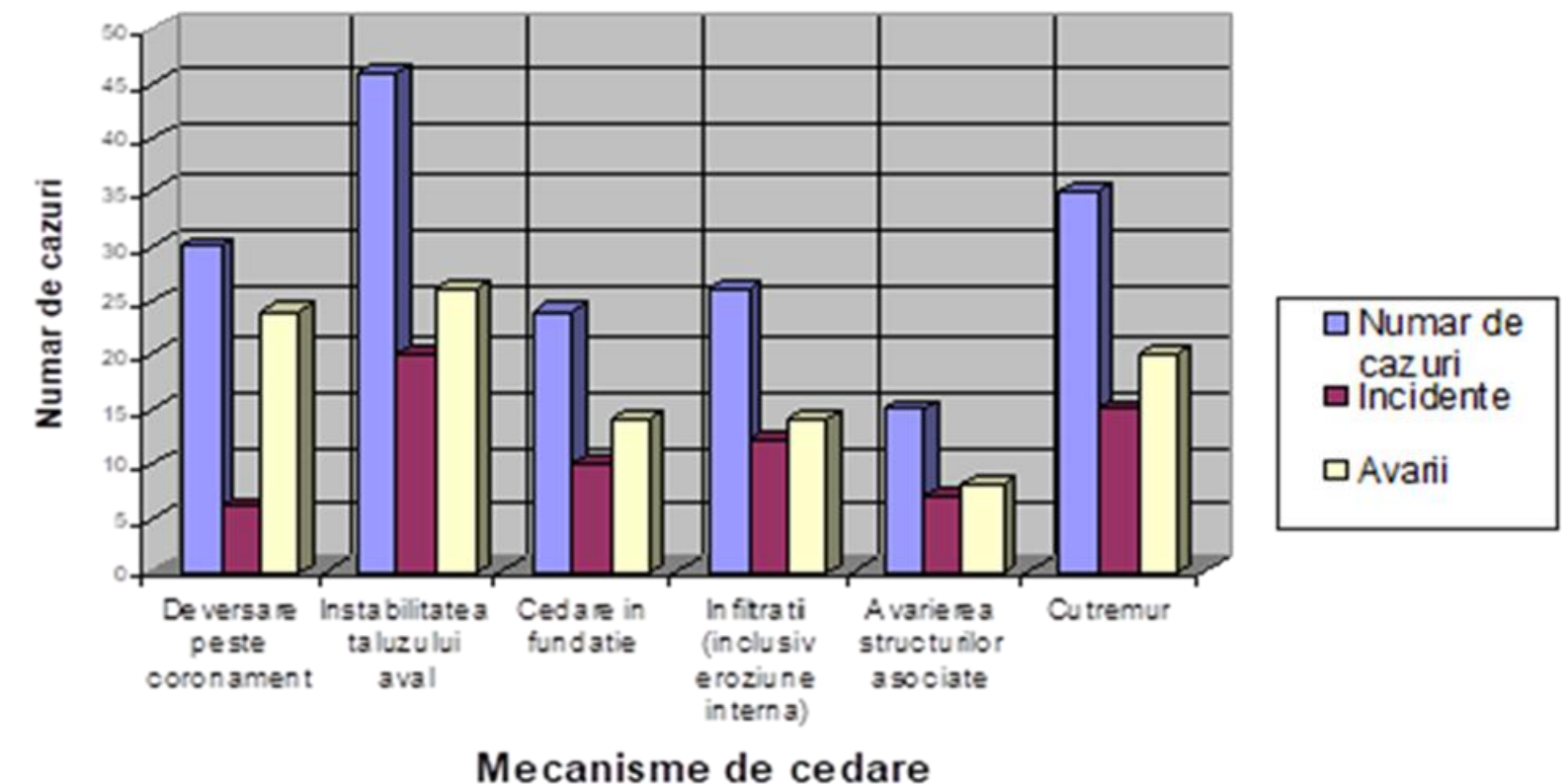
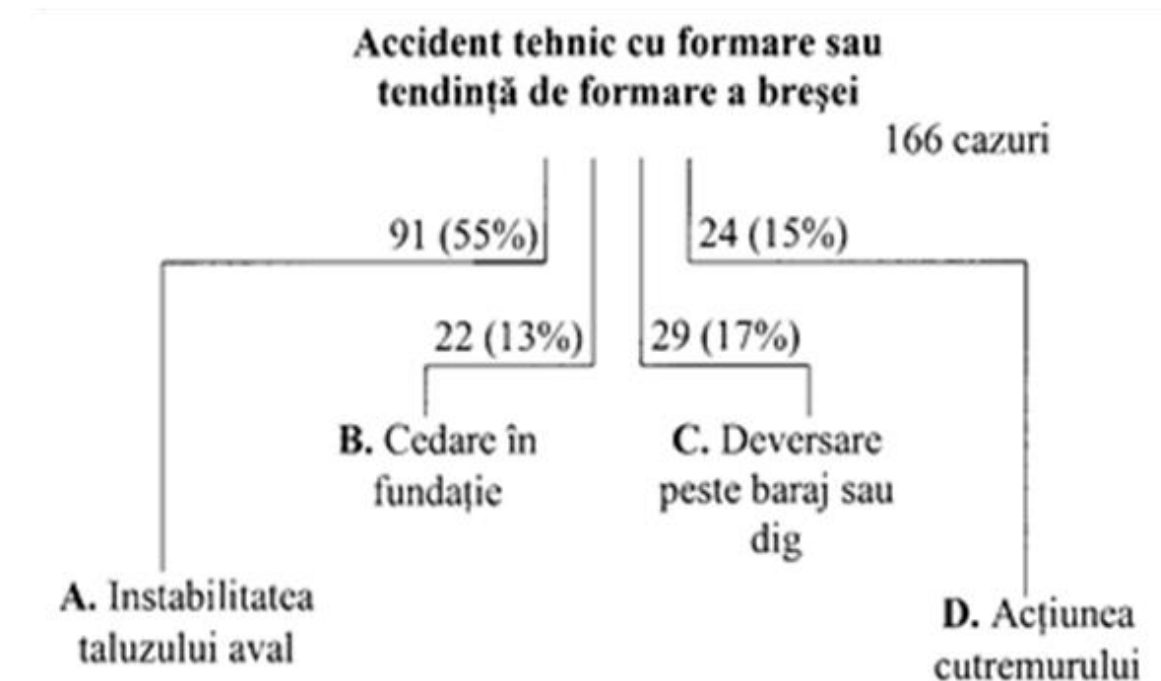
Conform metodologiilor de analiză a siguranței, riscurile sunt evaluate pe baza:

- **Indexului de cedare NATECH**
- **Parametrilor de modelare**

Siguranța iazurilor- moduri de cedare

Mecanismele de cedare

1. instabilitatea (alunecarea) taluzului aval;
2. cedarea conturului de reținere prin alunecare sau tasări excesive în terenul de fundare;
3. eroziunea taluzului aval și formarea breșei prin antrenare de material ca urmare a deversării peste coronament;
4. cedarea conturului de reținere ca urmare a acțiunii seismice, prin lichefiere sau prin alunecare inițiată de crăpături longitudinale.



Moduri de cedare

Cedarea prin instabilitatea taluzurilor

Este cel mai frecvent mod de cedare și poate apărea sub mai multe forme:

- **Alunecarea suprafețelor de rupere:** Cedarea are loc atunci când forțele de forfecare depășesc rezistența materialului din corpul barajului sau din fundație.
- **Lichefierea statică:** Apare în cazul depunerilor de steril saturate și afânate. O perturbare minimă poate crește presiunea apei în pori, transformând masa solidă într-un fluid care curge rapid.
- **Lichefierea dinamică:** Declanșată de evenimente seismice (cutremure) care duc la pierderea totală a rezistenței materialului.

Moduri de cedare

Cedarea prin fenomene hidraulice

- **Eroziunea internă:** Antrenarea particulelor fine de către curentul de apă care se infiltrează prin baraj sau prin fundație. Aceasta creează "tunele" (pipe-uri) care se lărgesc până la prăbușirea structurii.
- **Colmatarea sistemului de drenaj:** Dacă filtrele sistemului de drenaj se colmatează, nivelul apei (curba freatică) în corpul barajului crește, reducând stabilitatea acestuia și favorizând cedarea frontului de retenție.
- **Subspălarea:** Eroziunea la baza barajului cauzată de infiltrații necontrolate sau de cursuri de apă adiacente.

Moduri de cedare

Cedarea prin deversare

- **Capacitate insuficientă de stocare:** Apare atunci când nivelul apei depășește cota coronamentului barajului, de obicei în timpul unor precipitații extreme. Apa care curge peste baraj erodează rapid pământul sau sterilul, ducând la ruperea totală în câteva ore.
- **Valuri Natech:** Valuri provocate de alunecări de teren în interiorul iazului sau de impactul unor obiecte mari, care forțează trecerea apei peste baraj.

Avarierea sistemului de evacuare

- **Ruperea sondelor sau a galeriilor de evacuare:** Defecțiunile structurale la sistemele de evacuare a apelor decantate pot permite apei să erodeze interiorul barajului sau să creeze goluri care duc la prăbușire.

Mina Los Frailes, Spania, aprilie 1998



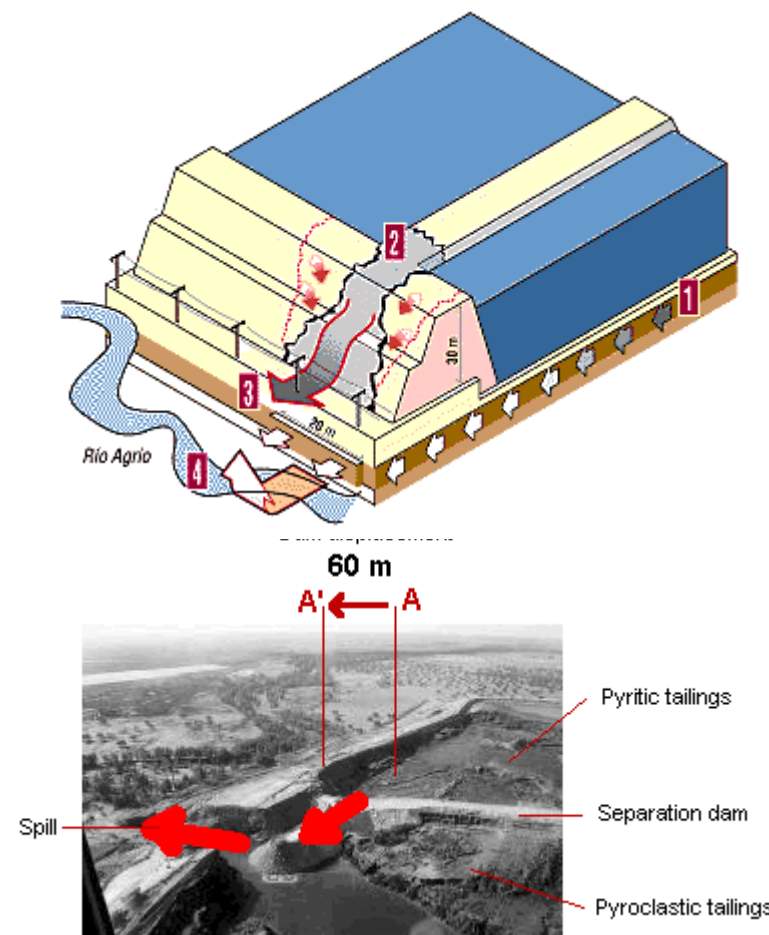
Accidentul ecologic de la mina Los Frailes (cunoscut și sub numele de Dezastrul de la Aznalcóllar) a avut loc pe 25 aprilie 1998 în Andaluzia, Spania

Cauza: Ruperea unui baraj de steril aparținând minei de zinc, argint și plumb;

Substanțele deversate: Aproximativ 5 milioane de metri cubi de nămol toxic și apă acidă

Impactul geografic: Poluarea a afectat râurile Agrio și Guadiamar,

Consecințe ecologice și economice



Mina Omai, Guyana, august 1995

Cauza: Cedarea unui baraj de steril (iaz de decantare) construit pentru a reține deșeurile procesului de extracție a aurului.

Substanța toxică: Aproximativ 4 milioane de metri cubi de reziduuri contaminate cu cianură și metale grele s-au deversat în râul Omai.

Impactul dezastrului

- Scurgerea a provocat moartea masivă a peștilor și a altor animale sălbatice (cum ar fi porcii sălbatici) de-a lungul râului.
- Peste 18.000 de persoane (în principal indigeni, tăietori de lemne și mineri) au fost afectate direct. Guvernul a interzis utilizarea apei pentru băut, gătit sau pescuit pe o distanță de zeci de kilometri.



Mina Brumadinho, Brazil, January 2019



Brazilia, 25 ianuarie 2019

Brazilia, 25 ianuarie 2019 (2)



Iazul Ajka, Ungaria, octombrie 2010



THE AJKA TAILINGS DAM FAILURE, 2010



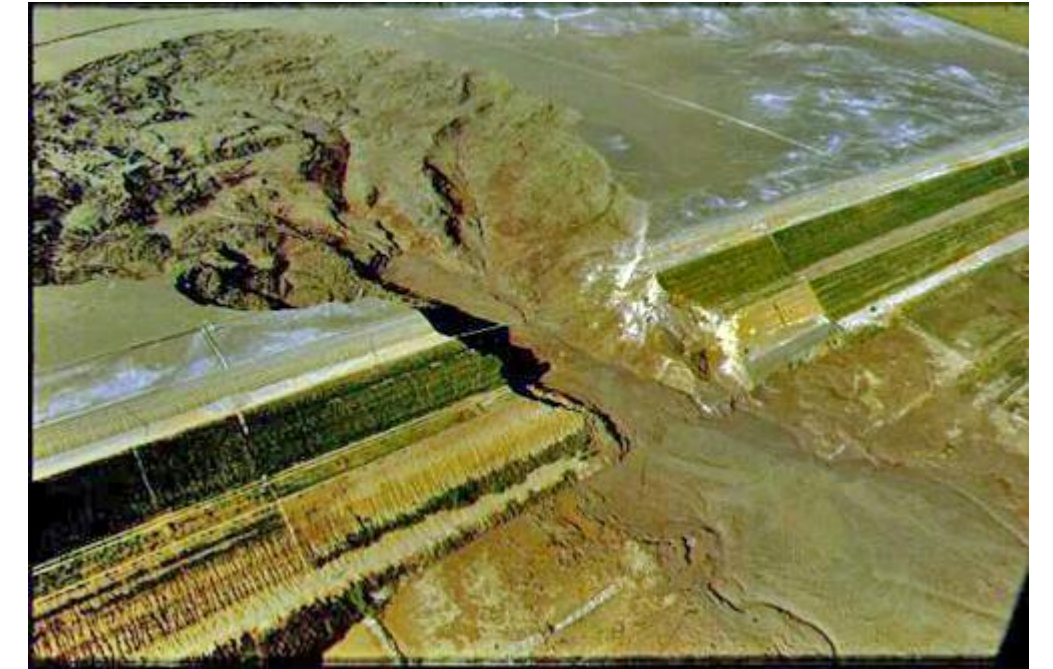
[Ajka, Hungary, 4 octombrie 2010](#)



Alte exemple....:



**Virginia, South Africa,
Merriespruit,
22nd February 1994**



Certej, România, 1971:



Urmărirea comportării în timp, monitorizare (1)

Urmărirea comportării trebuie să asigure:

- 1 - depistarea oricăror semne de instabilitate a barajului sau a digurilor de contur;
- 2 - verificarea respectării condițiilor impuse parametrilor condiționați pentru stabilitate;
- 3 - verificarea ipotezelor privind proprietățile și comportarea materialelor puse în operă sau depozitate;
- 4 - obținerea datelor necesare pentru reverificarea stabilității barajului sau a digurilor de contur în fazele de evoluție a lucrării, ori de câte ori configurația iazului se modifică semnificativ.

Monitorizarea exploatarei cuprinde:

- ✓ măsurarea concentrației hidromasei,
- ✓ măsurarea debitelor și presiunilor pe ramurile sistemului de distribuție, măsurarea presiunii de intrare în hidrocicloane,
- ✓ determinarea raportului între conținutul de material grosier și cel de fin din sterilul depozitat

Urmărirea comportării în timp (2)

1. Depistarea oricăror semne de instabilitate a barajului sau a digurilor de contur se realizează prin inspecțiile vizuale zilnice și prin inspecțiile tehnice periodice:

- apariția de fisuri/crăpături paralele cu coronamentul (eventual și perpendiculare pe acesta);
- tasări locale mari la coronament, de umflări la baza taluzului aval, de deplasări orizontale și ridicări ale piciorului aval sau ale rigolei aval;
- umectările paramentului aval, apariția de izvoare, saturarea unor zone la baza taluzului.

2. Parametrii care caracterizează stabilitatea și care se măsoară prin sistemul AMC sunt:

- lățimea plajei;
- garda;
- poziția curbei de depresie;
- debitele drenate;
- deplasările orizontale și verticale ale paramentului aval;

Urmărirea comportării în timp (3)

Verificarea ipotezelor privind proprietățile și comportarea materialelor necesită monitorizarea următorilor parametri:

- granulometria materialului depus atât în zona prismului de rezistență cât și în interiorul iazului, în vecinătatea prismului;
- rezistența la forfecare a materialelor din zona prin care trec suprafețele potențiale de alunecare;
- mărimea și evoluția presiunii apei din pori din zona interioară, în vecinătatea prismului de rezistență;
- evoluția tasărilor din corpul de umplutură în zona paramentului aval

Urmărirea comportării în timp (4)

Datele necesare reverificării stabilității barajului sau digului de contur se obțin din măsurarea unor parametri deja prezentați (curba de depresie, presiunea apei din pori, granulometria, rezistența la forfecare), dar necesită în plus și evaluarea următoarelor mărimi:

- configurația geometrică reală a iazului la finalul unor etape de înălțare (uzual de 3...4 m);
- panta efectivă a paramentului aval, pe porțiuni și pe ansamblul paramentului;
- distribuția în adâncime a stării de îndesare a materialului depus, însoțită de corelări între caracteristicile mecanice și starea de îndesare;
- seismograme și/sau accelerograme ale unor cutremure înregistrate în amplasament sau în zone adiacente amplasamentului.

Riscul asociat iazurilor

Riscul este produsul dintre probabilitatea apariției unui eveniment advers și mărimea consecințelor care apar dacă respectivul eveniment se produce.

Risc = Probabilitatea anuală de cedare a barajului x Mărimea consecințelor dacă se produce cedarea

sau:

$$Risc = P_c \times C \quad (6.1)$$

Studiile de urmărire a comportării construcțiilor de acest tip au fost realizate:

- 71 iazuri de decantare
- 38 iazuri de decantare nu au fost realizate astfel de studii.

În cazul celor **59 iazuri de decantare trecute în conservare**, situația realizării **proiectelor de punere în siguranță și reconstrucție ecologică** este:

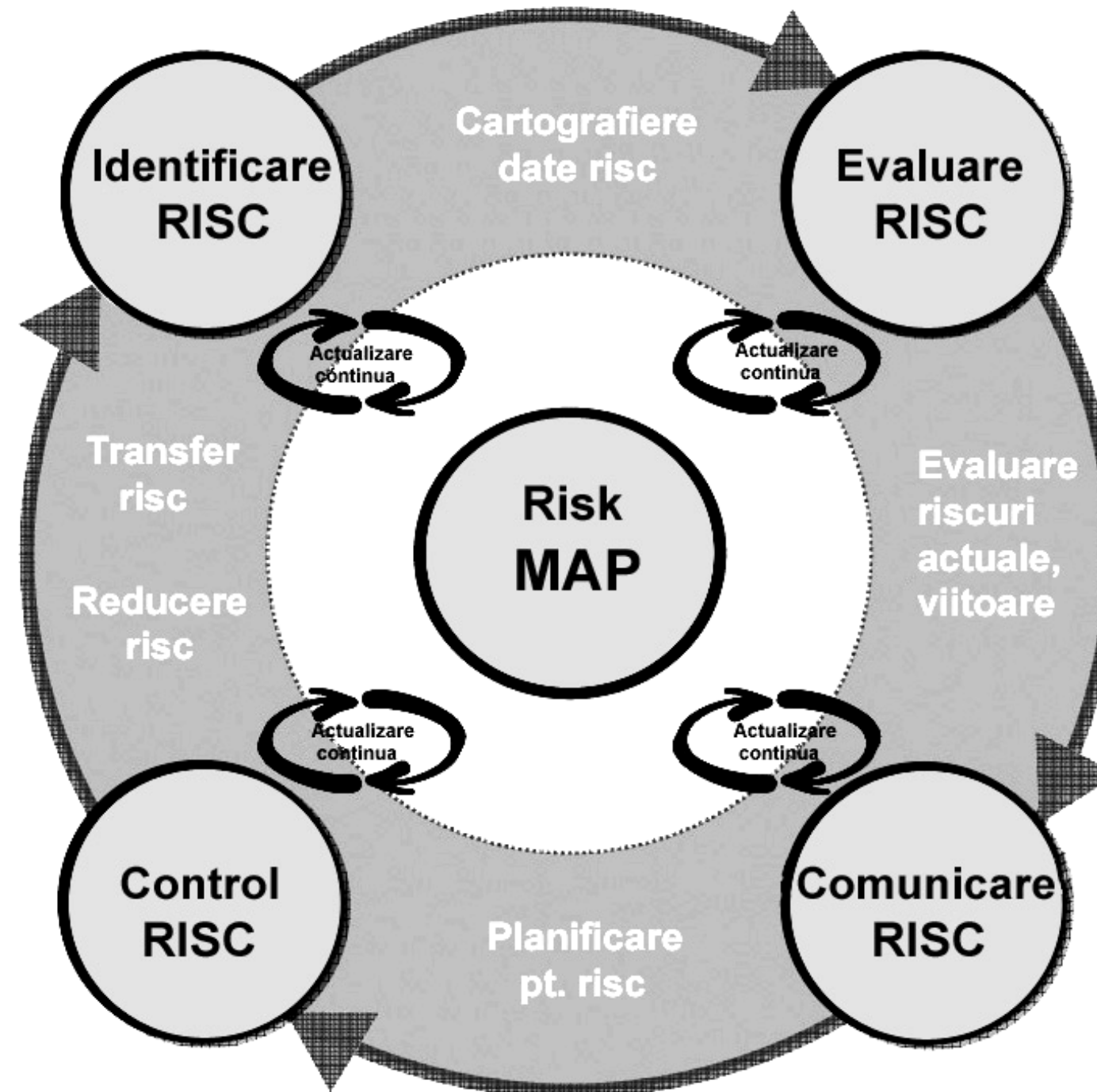
- 32 iazuri de decantare nu au realizate astfel de proiecte;
- 27 iazuri de decantare au realizate astfel de proiecte.

Zona de siguranță este stabilită pentru **72 iazuri de decantare** din cele 109 iazuri de decantare

Managementul riscului



Managementul riscului



Conceptul de dezvoltare ciclică Risk MAP (după FEMA)

Conceptul de management al riscului pentru iazuri de decantare

Riscuri de stabilitate și riscuri structurale

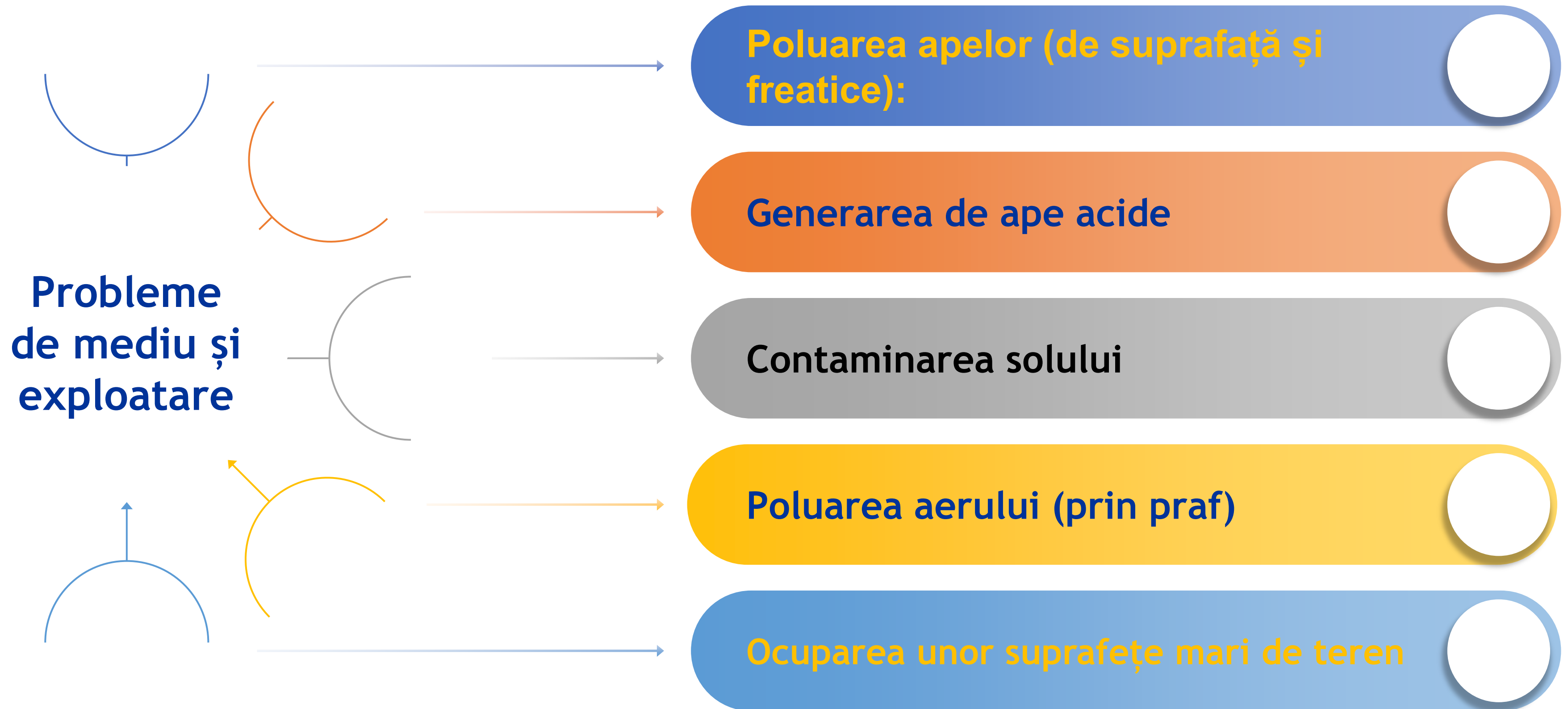
**Cedarea
barajului**

**Exfiltrații
necontrolate**

**Eroziunea
digurilor**

**Instabilitate
din cauza
fenomenelor
climatice**

Probleme de mediu și exploatare



Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

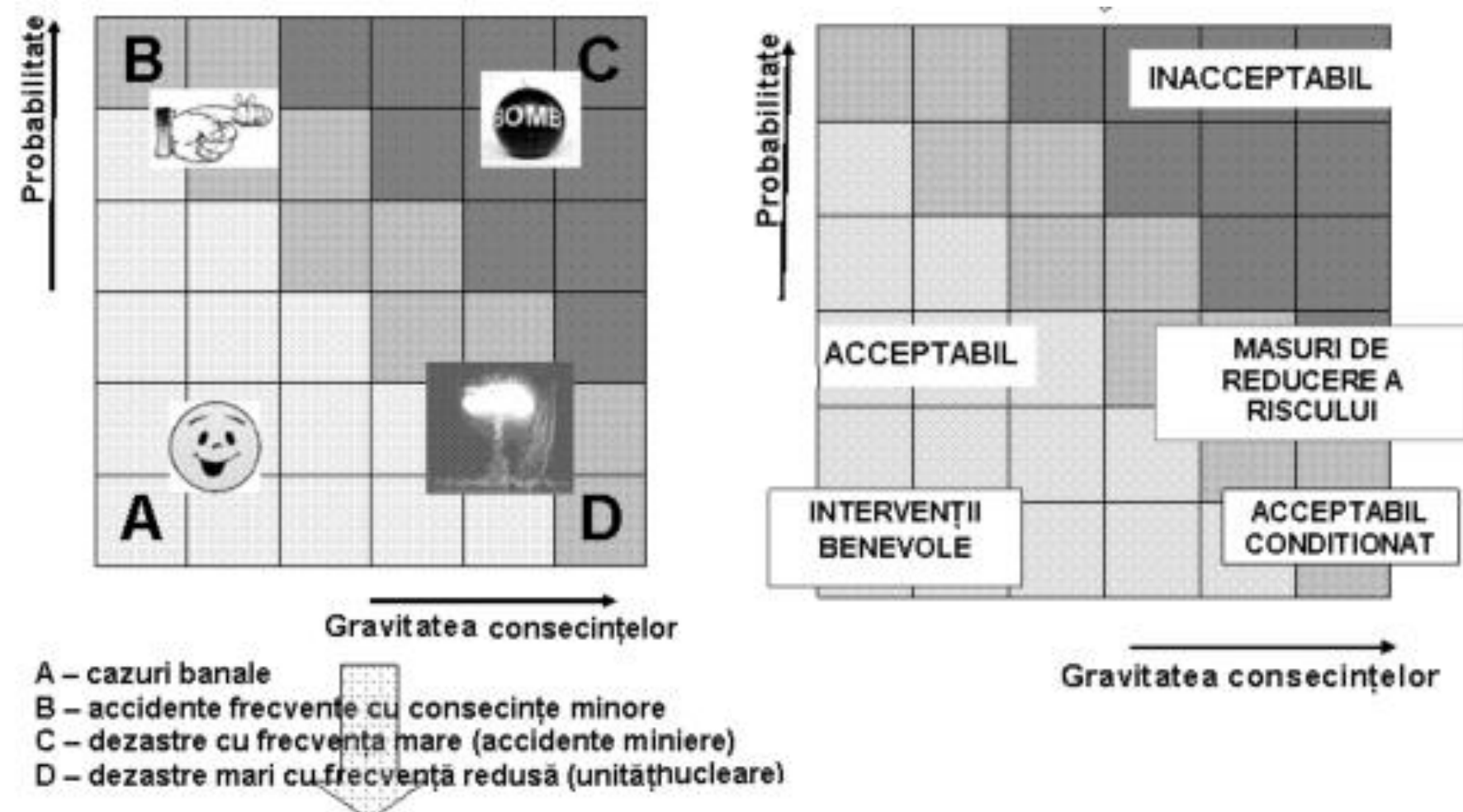
1. Abordările indirecte au la bază clasificarea barajelor în clase sau categorii de importanță (sau în clase și categorii de importanță cum este cazul în România). Sistemele de clasificare reflectă atât caracteristicile barajului și indirect siguranța acestuia, cât și efectele cedării barajului (efecte asupra populației, pierderi economice, pagube în zona aval etc.). O clasă sau categorie superioară corespunde unui risc sporit. Ca urmare, încărcările, debitele de calcul și verificare, coeficienții de siguranță se aleg diferențiat, cu exigențe mai mari pentru clasele sau categoriile superioare.

Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

2. **Abordările calitative** tratează explicit riscul, dar fără a-l cuantifica și se limitează la ierarhizări bazate pe risc între diferitele variante de barare sau între componente ale sistemului structură - teren de fundare – lac de acumulare.

- Cea mai simplă abordare folosește **matricele de risc**, de tipul celor din figura. Poziționarea în matrice a unui baraj anume se bazează pe aprecieri calitative, eventual traduse în indici numerici printr-un sistem de corespondență dintre descrierea situației și scara indicilor.

Analiza calitativă - analiza modurilor de cedare și a efectelor acestora (Failure Mode and Effect Analysis - FMEA)



Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

- O abordare calitativă explicită o constituie analiza modurilor de cedare și a efectelor acestora (Failure Mode and Effect Analysis - FMEA). Barajul este tratat ca un sistem compus din componente relevante din punct de vedere al siguranței. Prin FMEA nu se obține o cuantificare a riscului asociat barajului dar se identifică și se ierarhizează componentele sistemului pornind de la efectele pe care le au asupra siguranței defectarea sau cedarea unei anumite componente.
- Extensia acestei abordări o constituie analiza criticalității modurilor de cedare și a efectelor acestora (Failure Mode Effects and Criticality Analysis - FMECA). Față de FMEA, FMECA conduce la o cuantificare empirică a riscului (Sandilands și Findlay, 2000; Penman ș.a., 2000). Cuantificarea se bazează pe aprecierea prin indici a gravității pe care o au evenimentele inițiatore constituite din defectarea sau cedarea unei componente în declanșarea mecanismului cedării.

Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

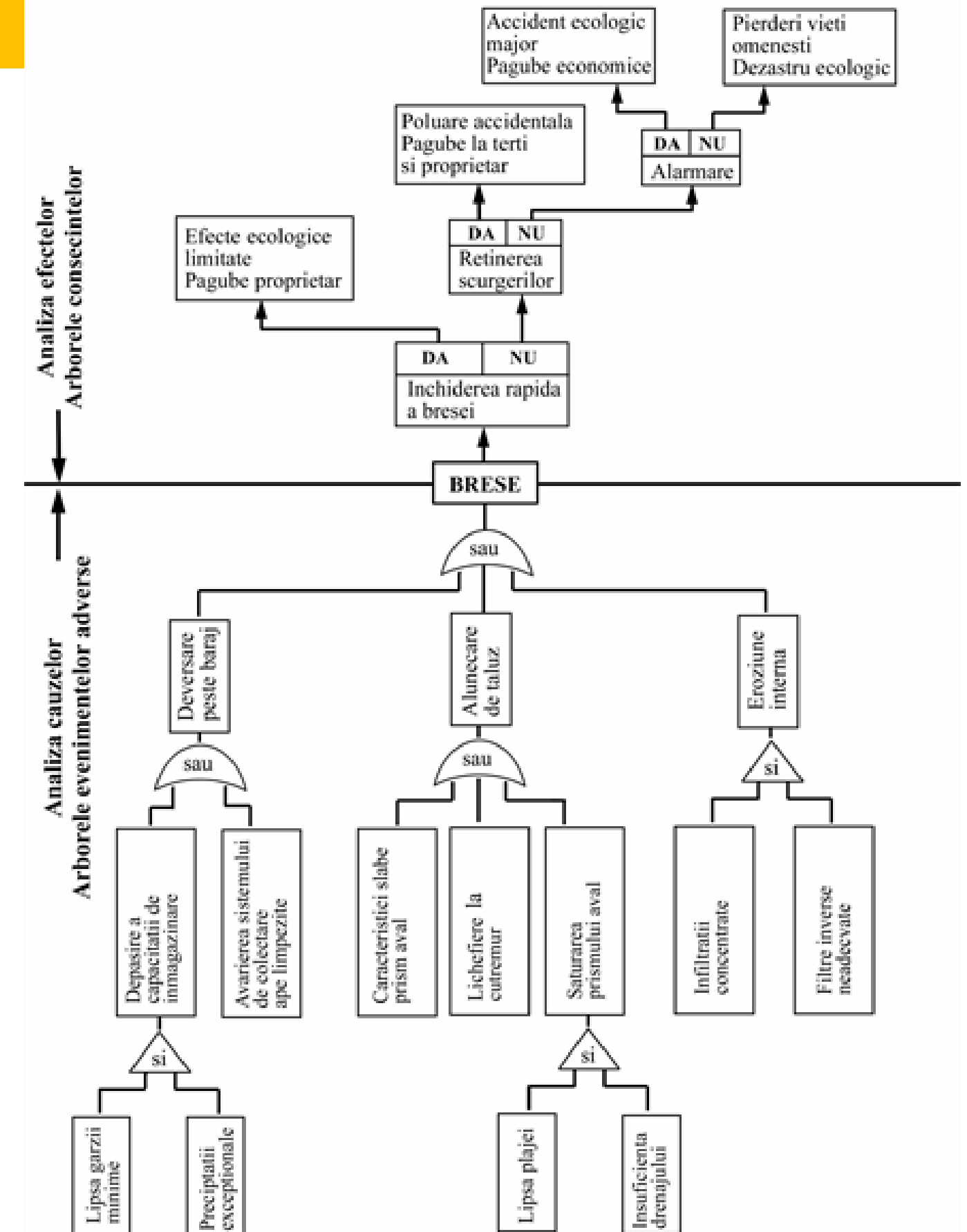
Aplicarea corectă a celor două metode, FMEA și FMECA necesită ca pentru fiecare componentă identificată să se consemneze într-un format predefinit următoarele informații și considerații:

- o scurtă descriere a rolului componentei în prevenirea (sau potențarea) unor moduri de cedare;
- cauzele care pot duce la defectarea sau cedarea componentei analizate;
- efectele pe care defectarea sau cedarea componentei îl au asupra siguranței barajului
- mijloacele prin care se pot detecta în stare incipientă defectarea sau cedarea componentei;
- deciziile de exploatare sau intervențiile constructive care pot preveni cedarea barajului în situația în care componenta analizată se defectează sau cedează.

Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

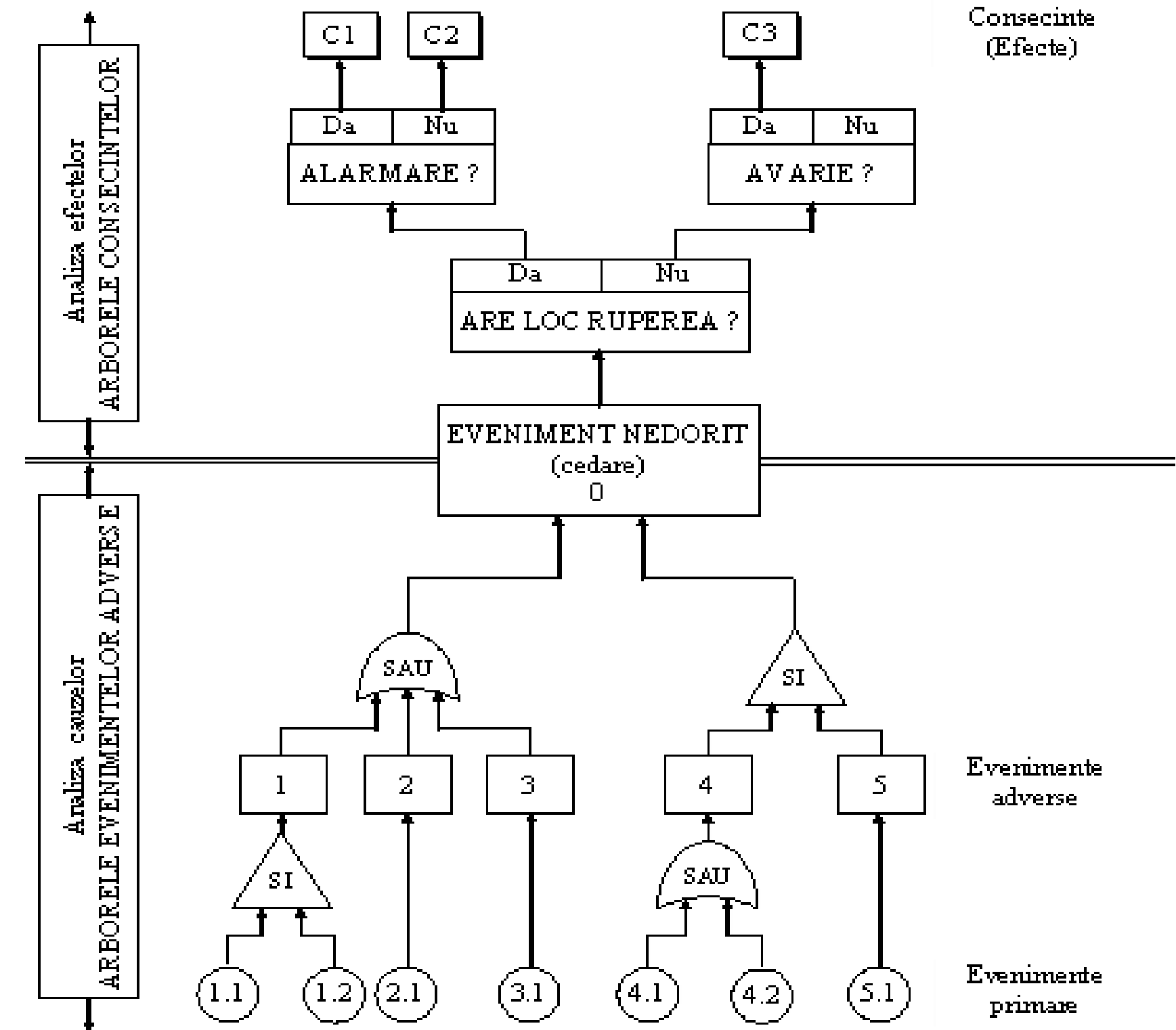
Analiza cantitativă - Arbori probabilistici

Arbori probabilistici pentru analiza riscului asociat unui iaz de decantare



Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

Analiza cantitativă - Arbori probabilistici



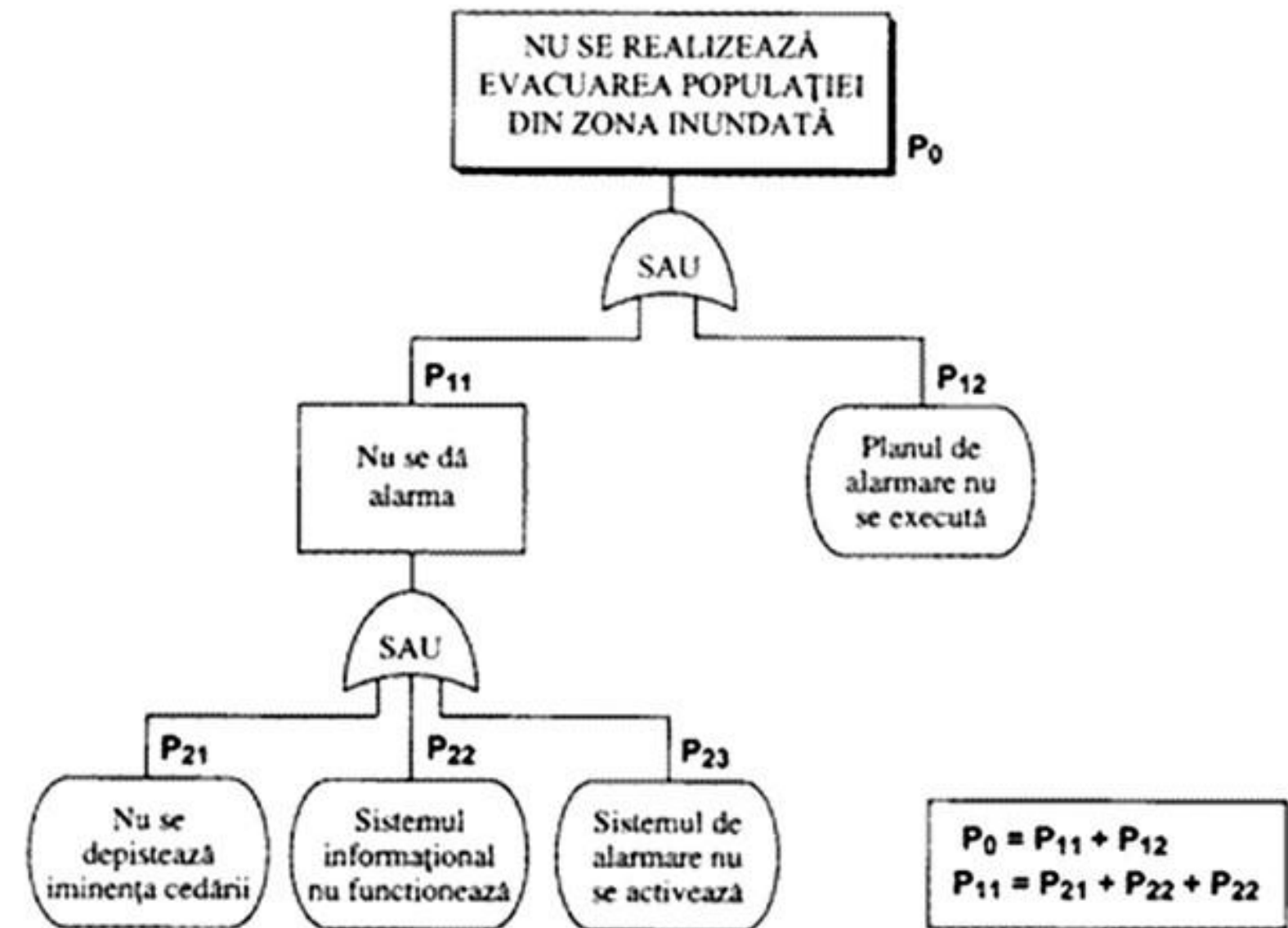
Arborele evenimentelor și departajarea analizelor cauze-efecte

Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

- **Arborele defectiunilor** constă într-o reprezentare grafică a combinațiilor logice de evenimente care conduc la un eveniment final, predefinit. Combinarea evenimentelor este asigurată de funcțiile logice “ȘI”, “SAU” care au o reprezentare simbolică standard. În analiza siguranței barajelor evenimentul final poate fi chiar cedarea barajului, sau o stare critică capabilă să întrerupă funcționalitatea lucrării sau să degenereze într-o avarie, sau o rupere. Pornind de la evenimentul final arborele se dezvoltă pe nivele inferioare succesive, căutând pentru fiecare eveniment advers identificat evenimentele adverse care îl declanșează. Arborele se alcătuiește 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.
- Arborele evenimentelor adverse servește, de obicei, la evaluarea cauzelor și probabilităților de apariție a stărilor critice pentru structură. Construcția unui asemenea arbore este însă posibilă și pentru evenimentele cauzatoare unor alte situații nedorite.

Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

- Ilustrarea unei asemenea alternative apare în figura următoare, în care evenimentul final al arborelului este neevacuarea persoanelor din avalul unui baraj, o situație care intervine în cadrul arborilor consecințelor. Se admite că, în conformitate cu legislația în vigoare, deținătorul, împreună cu inspecoratul pentru situații de urgență și autoritățile locale au întocmit un plan de avertizare-alarmare-evacuare. Evacuarea efectivă a populației nu se realizează fie pentru că nu s-a dat alarma, fie pentru că planul de evacuare întocmit nu se execută.



Arborele evenimentelor adverse pentru analiza cauzelor ce pot conduce la eșuarea evacuării persoanelor din zona afectată de o undă de rupere

Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

- Exemplul prezentat arată procedura de construcție a arborilor evenimentelor adverse. Acești arbori reprezintă o ordonare logică a evenimentelor și fenomenelor identificate și în fapt sunt numai un instrument al cărui utilizare corectă depinde de utilizator. Există însă o serie de reguli care, dacă se respectă, asigură acuratețea și succesul construcției arborilor (A E C , 1991).
- În prima etapă este necesară definirea corectă a evenimentului final nedorit. Definirea trebuie să includă, direct sau indirect, și mecanismul global prin care aceasta se dezvoltă.
- La construcția conexiunilor logice dintre evenimentele adverse trebuie să se respecte următoarele reguli:
 - arborii se construiesc întotdeauna de la vârf în jos și nu invers;
 - la construcția nivelurilor inferioare se urmărește principiul cauzei imediate, până când se ating limitele sistemului, care corespund cauzelor primare;
 - nu se admit scurtături, scurtcircuitări sau pași mari;
 - în arbore nu pot exista în succesiune două porți logice;
 - prescurtările sau abrevierile pentru evenimentele din arbore trebuie evitate, iar atunci când se practică trebuie să se evite confuzia între evenimente distincte sau diferențierea între evenimente identice.

Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

- Arborii evenimentelor adverse sunt utili pentru identificarea mecanismelor de cedare sau de rupere, dar mai ales pentru cuantificarea probabilităților de apariție a unor asemenea evenimente finale nedorite.
- Evaluarea probabilităților pentru fiecare mecanism de cedare în parte și pentru evenimentele adverse care îl favorizează permite în plus și cunoașterea modurilor dominante, iar prin evaluarea probabilităților relative se pot depista măsurile cele mai eficace pentru reducerea probabilității evenimentului final la minimum posibil.
- Trecerea de la analiza calitativă a secvențelor de cauze la analiza cantitativă este o operațiune cu un anumit grad de dificultate. Construcțiile hidrotehnice și în special barajele sunt unicate și cauzistica care reprezintă baza cuantificării în cazul sistemelor cu componente de serie este puțin concludentă în acest caz și uneori, când nu este corect folosită, conduce la rezultate eronate.

Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

Arborele consecintelor

- **Arborele consecințelor (evenimentelor)** constă într-o reprezentare grafică a secvențelor de evenimente defavorabile care sunt declanșate de un eveniment nedorit (o stare critică, o cedare sau o rupere produsă la baraj).
- 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.
- Produsul dintre probabilitatea de realizare a consecinței de la finalul unei secvențe cu mărimea consecinței respective (număr de decese, valoare monetară a pagubelor produse în aval, sumele necesare pentru remedierea barajului etc.) este riscul cuantificat al secvenței.
- Sumarea riscurilor aferente unei aceleași tip de consecințe dau în final rata anuală a riscului exprimat în unitățile de măsură ale consecințelor de același tip – pierderi de vieți omenești, unități monetare etc.

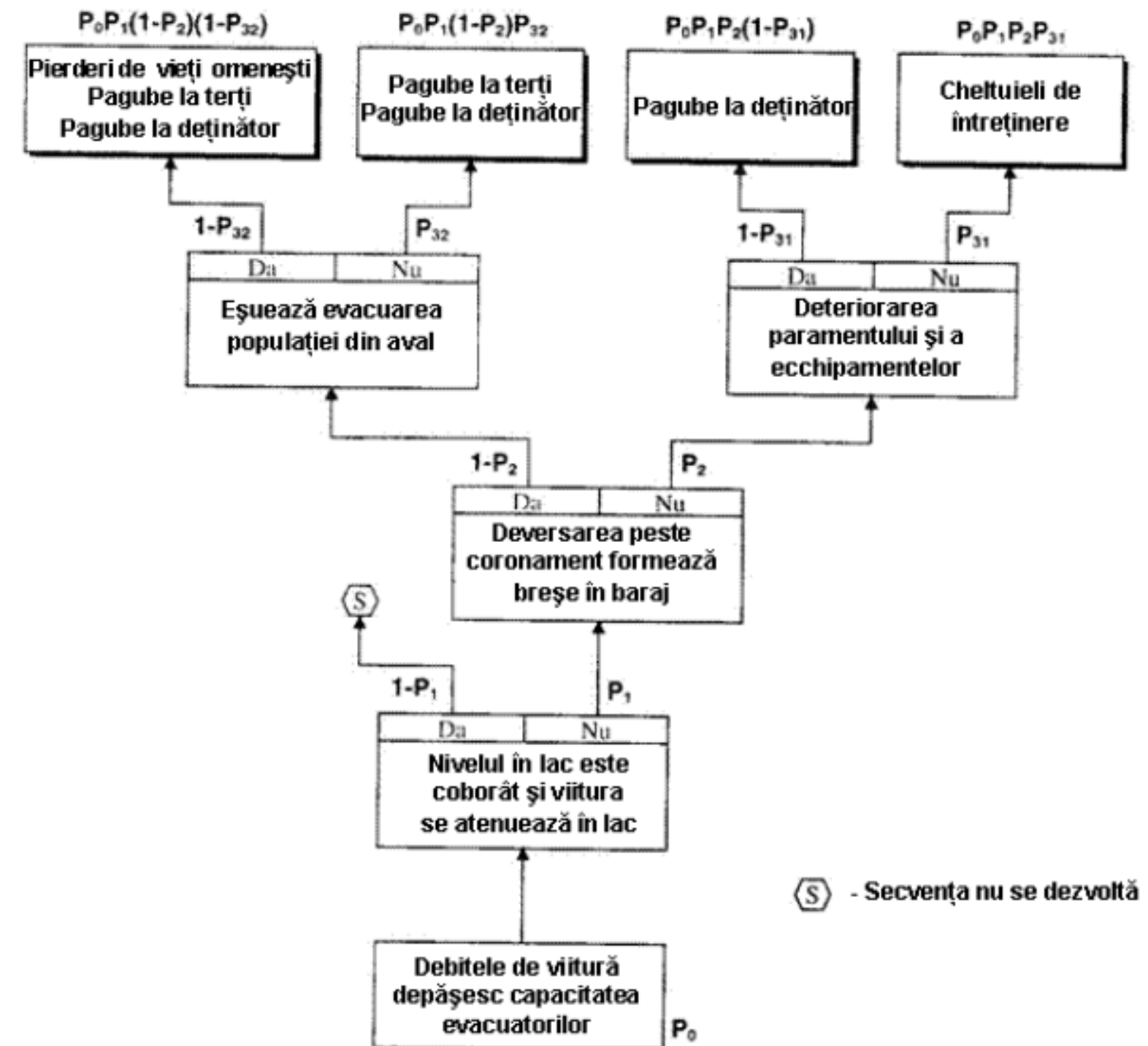
Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

- Arborele se alcătuiește utilizând un sistem inductiv, urmând principiul consecinței imediate.
- În analiza succesiunilor de evenimente posibile se ține seama și de influența pe care o pot avea măsurile de intervenție (pentru un baraj golirea lacului, avertizarea-alarmarea-evacuarea populației aval etc).
- În egală măsură, prin arborele consecințelor se evidențiază și consecințele negative ale unor posibile erori umane, cum ar fi incapacitatea sistemului de supraveghere de a depista o comportare atipică evolutivă, lipsa de realism a planurilor de exploatare în condiții critice, indisciplina sau incompetența personalului etc.

Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

■ Exemplu:

Arborele consecințelor realizat pentru un baraj la care evenimentul nedorit (situația critică) îl constituie apariția unei viituri a cărei debite maxime depășesc semnificativ capacitatea evacuatorilor de ape mari (Grutter și Schnitter, 1982). Dacă nivelul în lac este suficient de coborât și viitura este înmagazinată sau atenuată în lac până la capacitatea evacuatorilor atunci secvența se oprește. Dacă nu, 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 breșă 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 celaltă numai cu cheltuieli de întreținere și reparații curente (figura 7.11). 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.



Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

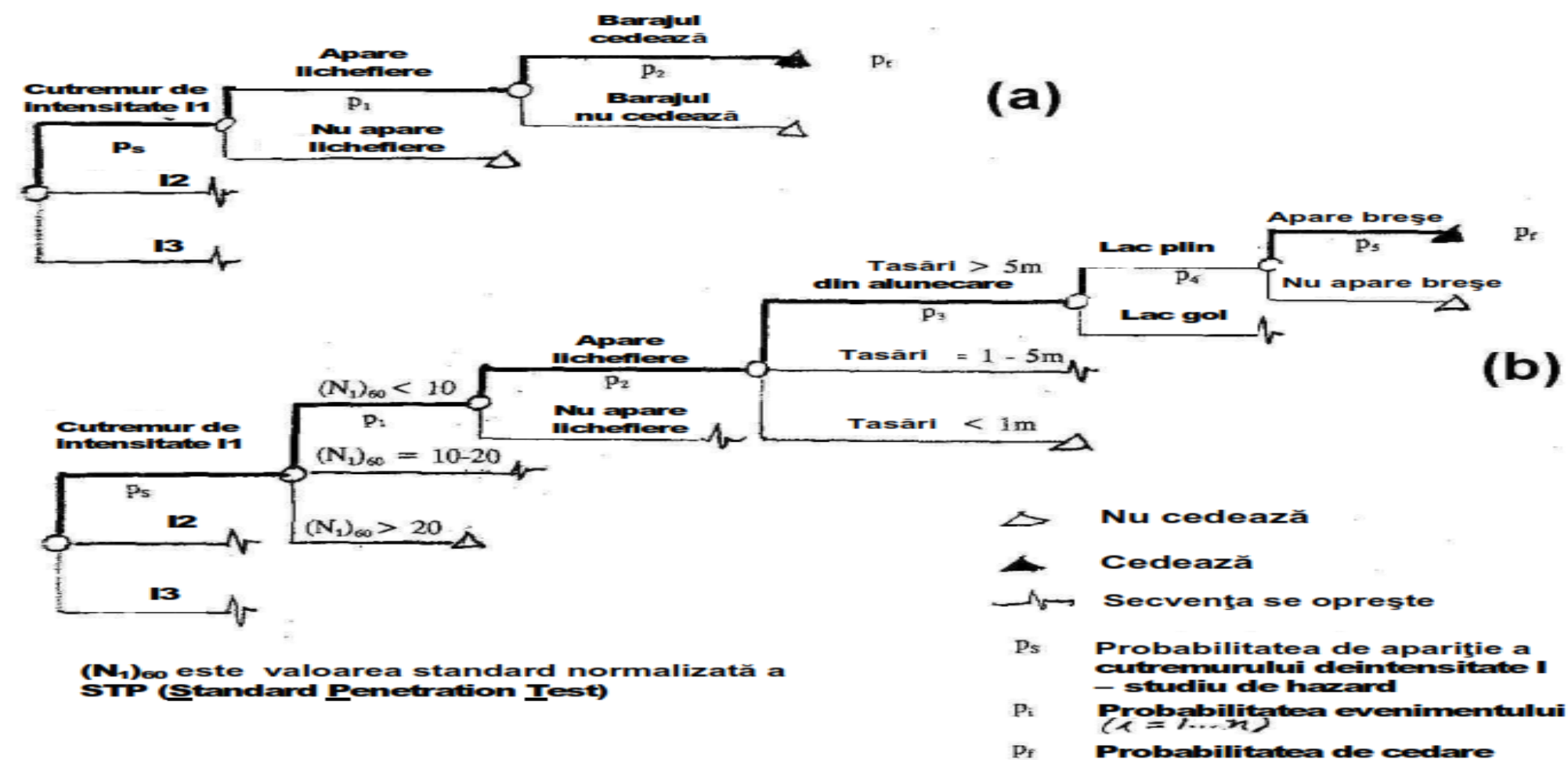
- Evenimentul inițiator de la care se ramifică arborele consecințelor, denumit și eveniment nedorit, joacă în acest caz rolul de eveniment primar.
- Probabilitatea anuală de apariție a evenimentului inițiator se determină pe una din următoarele căi:
 - prin calcul probabilist, urmând procedurile prezentate în capitolele 3 și 4;
 - prin evaluarea probabilității evenimentului final din arborele evenimentelor adverse, construit pentru investigarea cauzelor evenimentului inițiator;
 - prin analiza statistică a evenimentelor inițiatoare identice, înregistrate la un eșantion bogat de lucrări asemănătoare cu lucrarea analizată.
- În cazul în care datele disponibile pentru lucrarea analizată sunt insuficiente și deci nici una din căile de determinare a probabilității de apariție a evenimentului inițiator identificat nu se poate aplica, se recurge la asimilarea probabilității anuale de apariție utilizând statisticile globale realizate pe plan mondial.

Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

- Arborii consecințelor pornesc de la evenimentul nedorit sau de la starea critică cuantificate probabilistic și parcurg o serie de secvențe care se ramifică în funcție de răspunsul dat la o succesiune de întrebări. Consecințele, care încheie arborele, au probabilități de producere diferite, în funcție de probabilitățile atribuite răspunsurilor care creează ramificațiile. Cunoașterea probabilității de apariție a unor anumite consecințe este obligatorie în orice analiză de risc, fie că se apreciază riscul propriu al deținătorului, fie că se apreciază riscul impus de deținător asupra oamenilor și proprietăților din aval de lucrare.
- În arborele consecințelor fiecare ramificare este dată de operatorul DA/NU pentru evenimentul indus analizat, iar cuantificarea presupune atribuirea unei probabilități de realizare a ramurei NU sau DA, după caz. Evident, cunoașterea uneia dintre probabilități este suficientă, având în vedere relația $P(DA) = 1 - P(NU)$. Probabilitățile atribuite ramurilor sunt probabilități parțiale în raport cu procedura de cuantificare a arborelui.

Analiza riscurilor -estimarea probabilității și a impactului

- Având în vedere faptul că experiența proprie și modul de interpretare diferă de la un expert la altul, probabilitatea atribuită evenimentului analizat se determină fie ca o medie a probabilităților atribuite individual, fie prin consens într-o analiză colectivă ulterioară primelor aprecieri.
- Ca regulă generală, trebuie avut în vedere faptul că judecata inginerească și apoi cuantificarea sunt mult mai ușor aplicabile dacă arborele consecințelor este descompus în mai multe secvențe bine detaliate. Pentru a se reliefa importanța acestei reguli, în cele ce urmează se prezintă în figura un studiu de caz.



Evaluarea riscului - Cuantificarea riscului prin indici și ponderi

Cuantificarea empirică a riscului - **Metoda analizei criticalității modurilor de cedare și a efectelor acestora (Failure Mode Effects and Criticality Analysis - FMECA).**

Măsura în care avarierea sau neîncadrarea în specificațiile date ale unei componente poate contribui la ruperea iazului este caracterizată printr-un

Indice de gravitate IG:

$$IG = CM * PC * DC$$

CM - indice parțial care exprimă ponderea defectării componentei în declanșarea ruperii;

PC - indice parțial care exprimă probabilitatea de defectare a componentei;

DC - indice parțial care exprimă măsura în care defectarea componentei poate fi detectată în avans.

Evaluarea indicilor de gravitate

Componenta	<i>CM</i>	<i>PC</i>	<i>DC</i>	<i>IG</i>
Garda	5	3	1	15
Sistemul de colectare a apei limpezite	5	3	4	60
Caracteristici geotehnice ale materialelor depuse în prismul aval	3	4	3	36
Plaja	4	4	1	16
Sistemul de drenaj	5	2	4	40
Filtrele inverse	4	2	3	24

Cuantificarea probabilității de rupere pe baza arborilor evenimentelor

Probabilitatea de apariție a ruperii (a formării breșei) = sumarea probabilității a probabilităților parțiale aferente evenimentelor din **arborele evenimentelor adverse**.

Se pornește de la baza arborelui către vârf. La fiecare nivel imediat superior 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 ȘI.

În mod obișnuit, măsura riscului este dată de rata anuală a riscului și ca urmare probabilitățile *sunt probabilități anuale de realizare a evenimentelor*.

CUANTIFICAREA CONSECINȚELOR RUPERII

Pierderea rapidă și necontrolată a conținutului unui iaz de decantare poate avea următoarele categorii de consecințe:

- Pierderi de Vieți Omenеști (PVO);
- Efecte asupra Mediului biologic și fizic (EM);
- Pagube Materiale aduse Terților din zona afectată (PMT);
- Pagube Materiale ale Deținătorului, prin costul lucrărilor de reparații și prin întreruperea producției pe durata remedierilor (PMD);
- Efecte asupra Imaginii societății deținătoare a iazului (cotație la bursă, regimul autorizării etc.) (EI).

Indicele CG_i - gravitatea consecințelor:

5.

Categoria de consecințe	i = 1 PVO	i = 2 EM	i = 3 PMT	i = 4 PMD	i = 5 EI
CG_i	105	103	102	10	102

Vulnerabilitatea

Vulnerabilitatea - gradul în care o comunitate poate fi afectată de un hazard.

Scăderea vulnerabilității presupune creșterea capacității de rezistență, adaptare și răspuns.

Măsurile pentru scăderea vulnerabilității

- a) La nivelul populației** se realizează prin educație privind comportamentul în caz de urgență, pregătirea pentru evacuare (kit de urgență), cunoașterea rutelor de evacuare.
- b) La nivel infrastructural** prin evitarea construcțiilor în zone inundabile, consolidarea clădirilor, realizarea digurilor și lucrărilor de protecție.
- c) La nivel de mediu** prin protecția surselor de apă, refacerea ecosistemelor (zone tampon), controlul poluării.
- d) La nivel instituțional** prin realizarea unor planuri de intervenție bine organizate, instruirea personalului, cooperare între instituții.

REDUCEREA CONSECINȚELOR UNEI POTENȚIALE AVARI

Reducerea consecințelor reprezintă ansamblul măsurilor adoptate pentru a diminua impactul unui eveniment nedorit după producerea acestuia. În cazul iazurilor de decantare, consecințele pot include pierderi de vieți omenești, poluarea mediului și pagube economice semnificative.

Măsuri importante pentru scăderea vulnerabilității: îmbunătățirea legislației și a standardelor de siguranță, implementarea sistemelor de monitorizare continuă, elaborarea planurilor de intervenție și evacuare, creșterea gradului de informare a populației, dezvoltarea cooperării internaționale. Reducerea vulnerabilității a devenit un obiectiv esențial în managementul riscului.

Interreg
Danube Region



Co-funded by
the European Union



Exemplu: **accidentul ecologic produs în anul 2000 la Baia Mare**, considerat unul dintre cele mai grave dezastre de acest tip din Europa care evidențiază importanța rolului autorităților și a măsurilor de reducere a vulnerabilității. Accidentul poate fi explicat prin interacțiunea mai multor componente ale riscului:

Hazardul este înregistrat prin existența iazului de decantare cu conținut de cianuri.

Probabilitatea de cedare a fost crescută în contextul unor precipitații abundente și al topirii zăpezii.

Vulnerabilitatea a fost determinată de o configurație a iazului din zona ruperii, neconformă cu fazele de dezvoltare preconizate prin concepția de proiectare. Digul de contur nu era dezvoltat între digul de amorsare și digul exterior, pantele taluzului aval erau mult mai abrupte, local lipsea garda, iar apele limpezite erau în vecinătatea coronamentului, plaja fiind practic inexistentă.

Lipsa urmăririi speciale. Condițiile de siguranță specificate în proiect și în regulamentul de exploatare (plaje, gardă, panta taluzului aval etc.) nu au fost urmărite și înregistrate. Dacă nerespectarea parametrilor impuși de menținerea siguranței ar fi fost sesizată ca proces evolutiv și s-ar fi alertat autoritățile, accidentul tehnic ar fi putut fi evitat prin schimbarea regimului de exploatare (cu evacuări în afara sistemului).

Consecințele reprezentate de o poluare masivă și impact transfrontalier.

Cauzele principale ale producerii accidentului au fost depășirea capacității iazului, condiții meteorologice nefavorabile, deficiențe tehnice și operaționale, cu consecințe importante, având un impact semnificativ pe mai multe paliere:

ecologic: prin distrugerea ecosistemelor acvatice și mortalitate piscicolă masivă.

social: afectarea populației din România, Ungaria și Serbia.

economic: cu pierderi importante în domeniul pescuitului și agriculturii și costuri ridicate de remediere.