



Universitatea Tehnică de Construcții București
**Facultatea
de Hidrotehnică**

INCIDENTE ÎN COMPORTAMENTUL BARAJELOR ȘI DIGURILOR INDUSE DE EROZIUNEA INTERNĂ

Cercetare științifică

Doctorand
Al Dulaimi Ali

Prof. coordonator:
Prof. univ. Dr. Ing. DAN STEMAIU

2019

1. Introducere

Eroziunea internă are loc atunci când particulele de sol din interiorul unui baraj de dig sau din fundația acestuia sunt transportate în aval de către fluxul de infiltrație.

Eroziunea internă este o cauză majoră de cedare a barajelor și digurilor din pământ. De fapt, cele mai multe dintre cedările care au avut loc la barajele mari construite între 1800 și 1986 au arătat că 94% dintre cazuri au fost legate de eroziune; iar eroziunea internă a fost responsabilă pentru aproximativ 48% dintre cazurile de cedare a barajelor din pământ [1], [2], [3]. Dacă se face o comparație între alunecările barajelor din pământ și cedările cauzate de cutremure; doar 4% reprezintă alunecările și 1,7% cedările cauzate de cutremure, în timp ce coroziunea internă reprezintă o amenințare mult mai mare pentru barajele de pământ actuale. Această cedare se produce prin eroziune internă introdusă de natura proceselor de eroziune internă, care se pot dezvolta în condiții specifice fiecărui caz în parte și care se produc ascuns în interiorul corpului barajului sau în fundația acestuia. Acest lucru face ca procesul de eroziune să fie invizibil până când fie a progresat suficient de mult pentru a fi vizibil sub forma unor doline la suprafața structurii, fie este detectat de instrumentele de monitorizare a barajului. Cu toate acestea, cedările în barajele din pământ se produc după prima umplere, iar eroziunea internă rămâne o amenințare pentru barajele existente, deoarece nu au fost proiectate pentru a rezista la sarcini extreme, cum ar fi nivelul extrem al apei și cutremurele (care provoacă fisuri). Fisurarea apare ca urmare a ciclurilor nivelului apei, a așezării diferențiale și a desecării; de asemenea, îmbătrânirea cauzează deteriorarea, în special a conductelor, a deversorilor și a altor structuri din baraje, la care poate fi inițiată eroziunea internă. În plus, este posibil ca acestea să nu fie protejate împotriva eroziunii interne prin filtre, sau dacă există filtre sau zone de tranziție, este posibil ca acestea să nu fi fost proiectate conform standardelor moderne și să fie ineficiente, [4]. În elaborarea abordării privind evaluarea riscurilor, cercetătorii au îmbunătățit înțelegerea mecanismelor care pot duce la cedarea barajului prin eroziune internă. Această înțelegere îmbunătățită, atunci când este adăugată la cunoștințele existente despre forțele de infiltrație și condițiile hidraulice dintr-un baraj de pământ și fundațiile sale, face posibilă evaluarea capacității unui baraj de a rezista forțelor impuse asupra sa care pot provoca inițierea, continuarea și evoluția spre cedare a eroziunii interne.

Recent, progresele în înțelegere au arătat că eroziunea internă are loc în digurile de reținere a apei în pământ atunci când forțele hidraulice furnizate de apa care curge prin deschideri sau se infiltrează prin pori depășesc capacitatea de rezistență a solurilor din diguri sau a fundațiilor acestora..

1.1. Importanța eroziunii interne pentru siguranța barajului

Eroziunea internă este o problemă de siguranță importantă pentru barajele mari și mici, digurile și stăvilare, după cum o arată statisticile privind cedările și incidentele istorice.

Statisticile privind incidentele legate de barajele de pământ arată că eroziunea internă este o cauză semnificativă a incidentelor și, într-o măsură mai mică, a cedărilor pentru barajele mai vechi. Incidentele includ infiltrații și scurgeri noi sau mai mari, doline și accelerarea tasării barajului. Există, de asemenea, dovezi că incidentele și cedările sunt mai probabile de-a lungul interfeței dintre umplutura digului și structuri precum canalele și pereții de deversare. Înțelegerea eroziunii interne este importantă pentru proprietarii de baraje, deoarece:

- a. Este necesară pentru a înțelege și interpreta comportamentul barajului;
- b. Este necesară pentru a evalua siguranța barajului și pentru a stabili dacă este suficient de sigur sau dacă sunt necesare lucrări de siguranță pentru ca acesta să devină sigur;
- c. Ar trebui să guverneze regimurile de supraveghere și monitorizare a siguranței barajului.

În ultimii ani au fost dezvoltate multe metode noi și potențial utile pentru monitorizarea și detectarea eroziunii interne și a infiltrațiilor. Aceste metode, cum ar fi inspecția vizuală, măsurarea scurgerilor și monitorizarea presiunilor din pori cu ajutorul piezometrelor, sunt instrumente valoroase pentru menținerea siguranței barajelor prin detectarea eroziunii interne la începutul procesului.

2. Descrierea parcursului cedării

Cedările și incidentele prin eroziune internă ale barajelor de dig și ale fundațiilor acestora sunt clasificate în trei moduri generale de cedare, după cum urmează:

- ✓ Eroziune internă prin dig, cum ar fi conductele asociate cu lucrările de evacuare, pereții deversorului sau adiacente unei structuri gravitaționale din beton care susține digul;
- ✓ Eroziune internă prin fundație;
- ✓ Eroziunea internă a terasamentului în sau la fundație. Inclusiv:
 - a. infiltrarea prin materialul de eroziune a terasamentului prin terasament în fundație,
 - a. infiltrarea în fundație la contactul cu terasamentul care erodează materialul din terasament.

2.1. Fazele eroziunii interne

Există patru faze ale procesului de eroziune internă, aceste faze sunt:

- Inițierea eroziunii;
- Continuarea eroziunii;
- Progresia până la formarea unei conducte sau, ocazional, provoacă instabilitatea suprafeței (desprindere);
- Inițierea unei breșe.

Figura 1(A) prezintă eroziunea internă prin terasament inițiată de o scurgere concentrată. În timp ce Figura 1 (B și C) arată procesele similare care se aplică pentru conductele prin fundație și de la terasament la fundație.

2.2. Mecanica eroziunii (separarea particulelor)

Prima condiție pentru ca eroziunea internă să apară este desprinderea particulelor. Apa care se infiltrează prin baraj sau curge prin fisuri trebuie să furnizeze suficientă energie pentru a desprinde particulele din structura solului.

Există patru mecanisme care au loc în inițierea eroziunii, acestea sunt:

- 1) Scurgeri concentrate;
- 2) Eroziunea regresivă;
- 3) Eroziunea de contact;
- 4) Sufuziunea.

2.2.1. Scurgeri concentrate

Scurgerile concentrate se pot produce printr-o fisură cauzată de o tasare diferențială în timpul construcției barajului sau în exploatare printr-o fractură hidrolică. De asemenea, se pot produce din cauza așezării prin colaps a umpluturii slab compactate din terasament, în jurul conductelor și

în apropierea pereților. De asemenea, pot apărea din cauza acțiunii animalelor care sapă în diguri și baraje mici și a rădăcinilor de copaci care putrezesc în baraje și formează găuri.

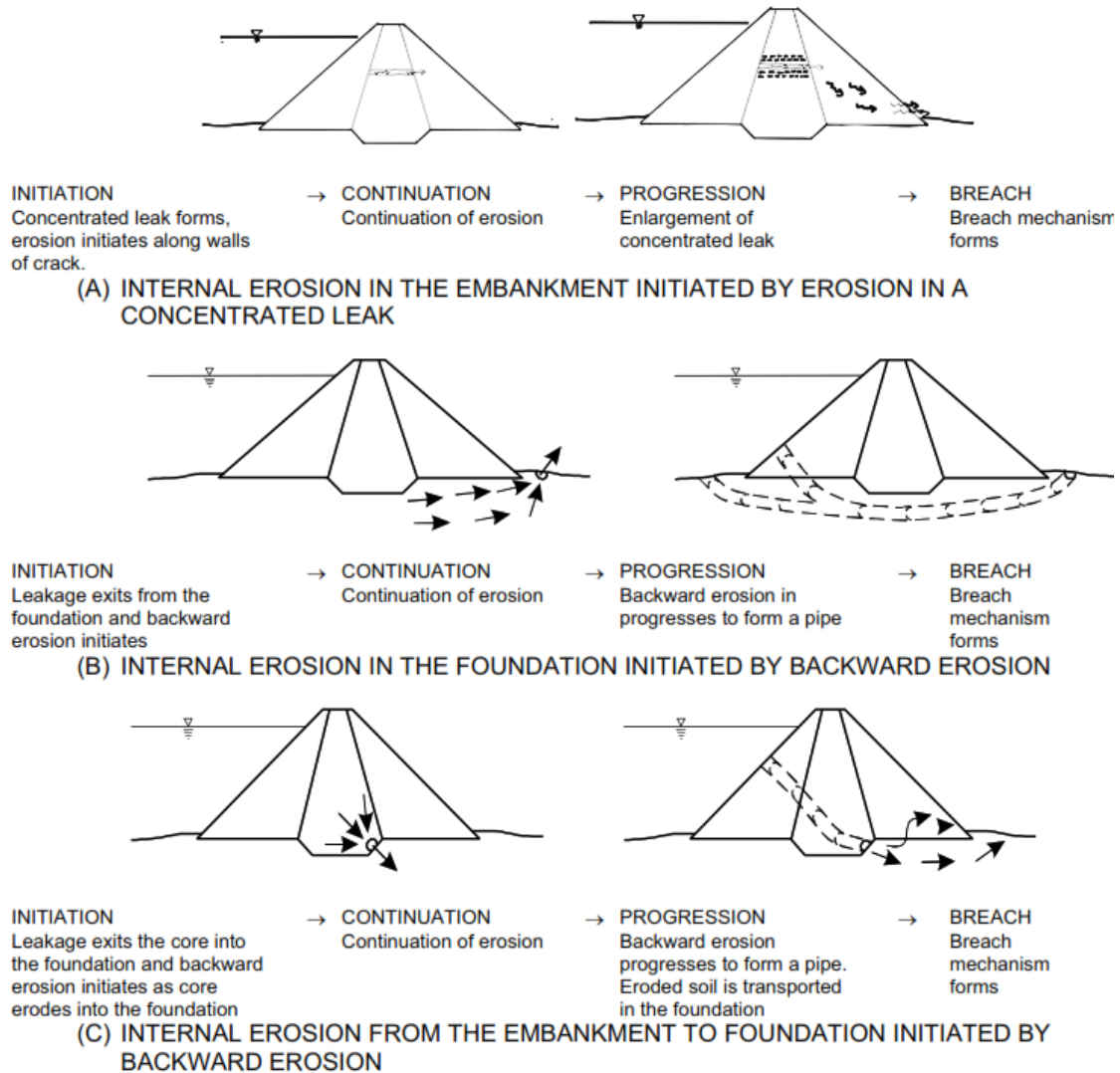


Figura 1. Modele de evoluție a cedării prin eroziune internă, [2].

2.2.2. Eroziunea regresivă

Există două tipuri de eroziune regresivă:

1. Conduțe de eroziune regresivă, la capătul din spate (în amonte) al unei conduite foarte mici, sub un "acoperiș", care lucrează "înapoi" de la vârf spre rezervor și, în cele din urmă, se rupe prin el. Se produce în principal în fundații, dar poate apărea în interiorul terasamentelor.
2. Eroziunea regresivă globală, care duce la dezvoltarea unei conduite aproape verticale în miezul unui dig.

2.2.3. Eroziunea de contact

Eroziunea de contact apare atunci când un sol grosier, cum ar fi pietrișul, este în contact cu un sol fin, iar curgerea paralelă cu contactul în solul grosier erodează solul fin.

2.2.4. Sufuziunea

Sufuziunea apare atunci când apa curge prin soluri neplastice cu gradare largă sau cu gradare lacunară, instabile în interior. Unele umpluturi și filtre din baraje au, de asemenea, gradări foarte largi sau cu goluri și conțin un conținut excesiv de finețe.

2.3. Continuarea și acțiunea filtrantă

- ✓ Odată inițiată, eroziunea va continua dacă forțele de eroziune nu sunt reduse sau dacă trecerea particulelor erodate nu este împiedicată în vreun fel. Filtrele și zonele de tranziție care sunt mai groasere decât cele cerute de metodele de proiectare bazate pe dimensiunea particulelor vor fi adesea destul de eficiente în controlul eroziunii. Chiar și umplutura de rocă din aval și zonele de nisip/ pietriș care nu au fost proiectate ca filtre pot oferi o anumită protecție împotriva continuării eroziunii.

2.4. Progresia

Progresia este faza de eroziune internă în care:

- a. Pentru eroziunea în cazul scurgerilor concentrate, eroziunea în fisură sau scurgerea concentrată duce la dezvoltarea unei conducte.
- b. Pentru eroziunea regresivă, procesul de eroziune se extinde în amonte de punctul de inițiere și se formează o rețea de mici canale de eroziune sub sol sau terasament care asigură acoperișul conductelor de eroziune. Dacă aceste mici canale de eroziune ajung la rezervor sau râu, atunci se formează o conductă. În cazul eroziunii regresive globale, se formează doline (conducte verticale).
- c. În cazul eroziunii de contact, eroziunea solului mai fin în solul mai grosier continuă. Acest lucru poate duce, în cazuri particulare, la dezvoltarea unei conducte în solul mai fin.
- d. Pentru sufuziune, o parte din fracțiunea mai fină este erodată, lăsând matricea grosieră a solului. Nu se formează nicio conductă, dar permeabilitatea solului poate fi crescută semnificativ.

2.5. Breșă

În aceste situații, întregul proces de eroziune internă s-a încheiat, detecția și intervenția au eșuat. Barajul se poate rupe prin unul dintre cele cinci mecanisme enumerate mai jos, în timp ce procesul de eroziune internă se va stabili. Fenomenele de rupere sunt enumerate în ordinea frecvenței de apariție observate.

- a. Extinderea grosieră a conductei.
- b. Surparea (de exemplu, din cauza tasării crestei prin sufuziune și/sau din cauza formării unei doline din cauza unei conducte din terasament).
- c. Instabilitatea pantei versantului din aval.
- d. Desprinderea versantului în aval.

- e. Lichefiere statică, care este o formă de instabilitate a versantului care poate include creșterea presiunii porilor și prăbușirea bruscă în zona erodată.

Primele patru sunt prezentate schematic în figurile 2 și 3.

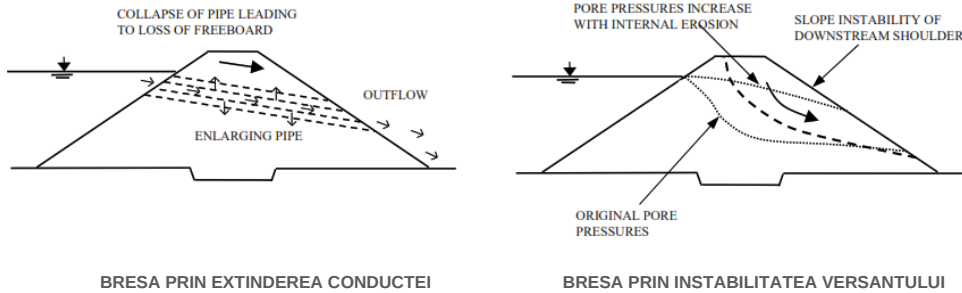


Figura 2.. Fenomene potențiale de breșă (cedare) - extinderea țevelor și instabilitatea versanților.

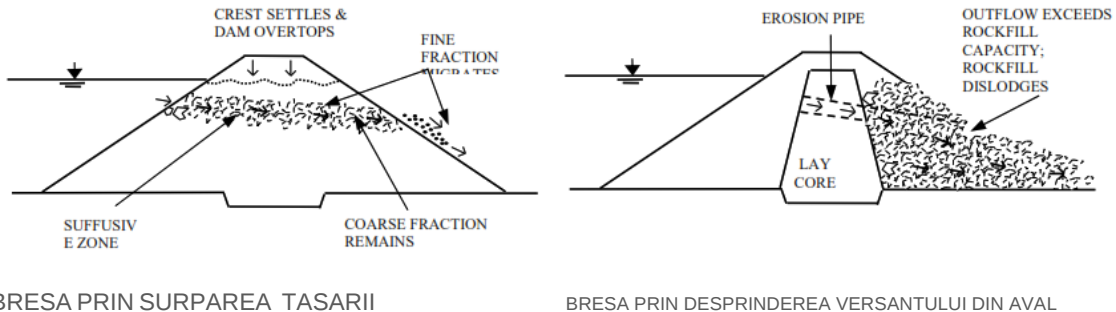


Figura 3. Fenomene potențiale de rupere (cedare) prin surparea prin așezarea și desfacerea frontului aval, [5].

3. Istorii de caz

3.1. Cedări și incidente cauzate de eroziunea prin scurgere concentrată

- **Cedare în corpul barajului și în fundație: (Barajul Teton):**

Barajul Teton este un baraj construit în Idaho, SUA. primul baraj a cedat în timpul primei umpleri la 5 iunie 1976. Nivelul apei era la aproximativ un metru sub creasta deversorului. Nu a existat niciun semn de cedare până când s-a văzut scurgerea încărcată de sedimente care curgea dinspre pilonul drept, Figura 4. Scurgerea și eroziunea s-au accelerat până când barajul a cedat, așa cum se arată în figurile (5 și 7). Barajul nu a fost reconstruit, iar rămășițele sale pot fi încă văzute la fața locului.

Barajul are un terasament de pământ de 93 m înălțime. Secțiunile sunt prezentate în figura 4 în fundul văii și în figura 6 în pilonul din dreapta, în jurul locului în care a fost observată prima dată scurgerea și a început cedarea. [6]

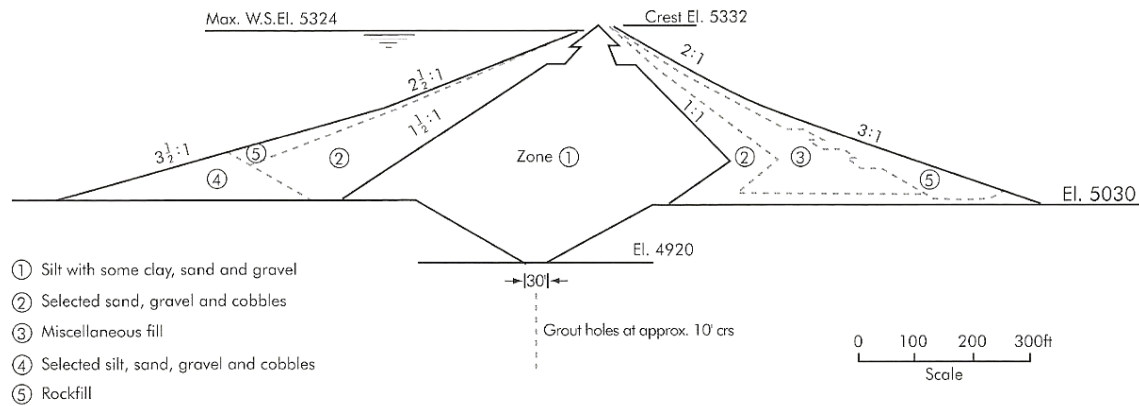


Figure 4. Diagramă schematică a barajului Teton: secțiune în fundul văii care arată zonele de umplutură și tăierea prin aluviuni, [6].



Figura 5. Fotografie a barajului Teton: în apropierea amiezii, scurgerea s-a extins și mai mult și s-a lărgit sub creastă [7].

Conform practicii de la acea vreme, nu au fost prevăzute filtre pentru a preveni eroziunea în umplutura de bază din Zona 1, care a fost purtată de vânt, neplastică sau ușor plastică. Mijloacele prevăzute pentru a opri eroziunea au fost injectarea de chit de fundație de la un capac de chit sub miez, într-un șanț tăiat prin aluviunile din fundul văii și în șanțuri cheie în părțile superioare ale zonei de contact a miezului (deasupra El 5.100-ft).

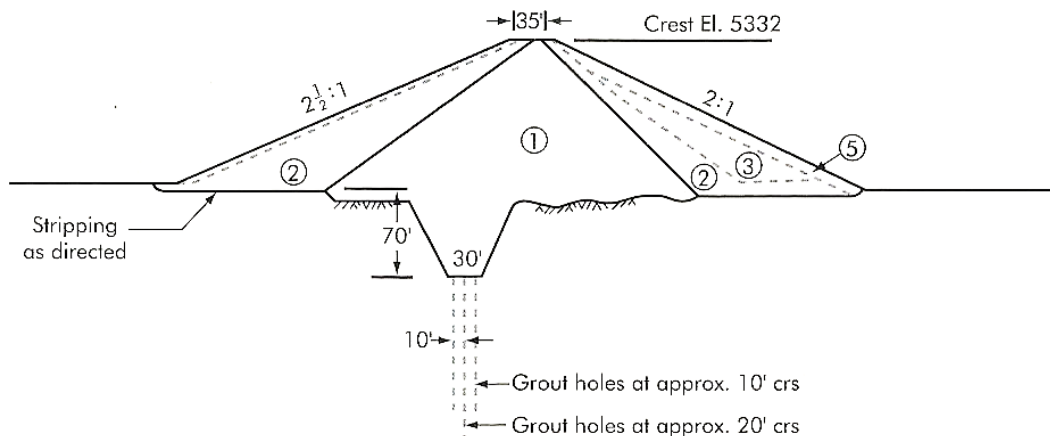


Figure 6. Diagramă schematică a barajului Teton: secțiune în fundul văii care arată zonele de umplură și tăierea prin aluviuni, [6].



Figura 7. Fotografie a barajului Teton: în apropierea amiezii, scurgerea s-a extins și mai mult și s-a lărgit sub creast, [7].

Domnul Chadwick a analizat cauza cedării barajului Teton și a concluzionat că cedarea barajului Teton a urmat ceea ce acum este recunoscut ca fiind cele patru faze de eroziune internă care duc la cedare, după cum urmează:

- **Inițiere:** În acest caz, prin eroziune în scurgeri concentrate prin umplutura zonei 1 în șanțul cheie al stâlpului din dreapta, aproximativ la locația este prezentată în figura 8. Fisurile și deschiderile s-au format, probabil, prin una sau ambele cauze: de jos, prin apa care curge prin rosturile deschise din fundația șanțului, neetanșate de betonul dentar, de chituiră cu suspensie sau de capacul și perdeaua de chit; și prin fracturi hidraulice rezultate din tensiunile

totale scăzute cauzate de "arcuirea" șanțului cheie adânc și cu laturi abrupte și, posibil, de profilurile nefavorabile ale fundației de la baza șanțului. Apa care curge în rosturile deschise în roca de fundație ar intra apoi în deschideri și ar iniția cu ușurință eroziunea umpluturii erozabile din zona 1.

- **Continuare:** prin rosturile deschise în roca de fundație la început, nefiind blocată în șanțul de decupare prin chituiture sau oprită de filtrele de acolo.
- **Progresie:** progresarea în sus prin umplutura zonei 1 și deasupra capacului de chit (care ulterior s-a constatat că a fost spălat în poziția de cedare). Umplutura era ușor de erodat, neplastică și mare parte nu era probabil saturată. A fost în mod evident capabilă să "țină un acoperiș" de o anvergură considerabilă, așa cum arată fotografiile din figura 5. Pe măsură ce "conducta" de eroziune s-a mărit și debitul a crescut, gaura expusă în mitralieră la joncțiunea dintre fața aval a barajului și pilonul de stâncă s-a mărit și a urcat pe pantă, apropiindu-se treptat de creasta barajului. O mică groapă a fost observată în creasta barajului cu puțin timp înainte ca (podul) care o traversează să se prăbușească, iar în această etapă târzie, au fost observate pentru prima dată vârtejuri în apa rezervorului deasupra feței din amonte, probabil deasupra capătului (capetelor) din amonte al (ale) conductei de eroziune.
- **Breșă:** conducta de eroziune a pătruns în rezervor cu puțin timp înainte de prăbușirea crestei (podului). Ulterior, apa care s-a scurs a erodat rapid umpluturile barajului, adâncind și lărgind breșa inițială, eliminând mai puțin sau mai mult decât în totalitate toate urmele umpluturilor barajului de la fața locului și expunând fundațiile. [6]

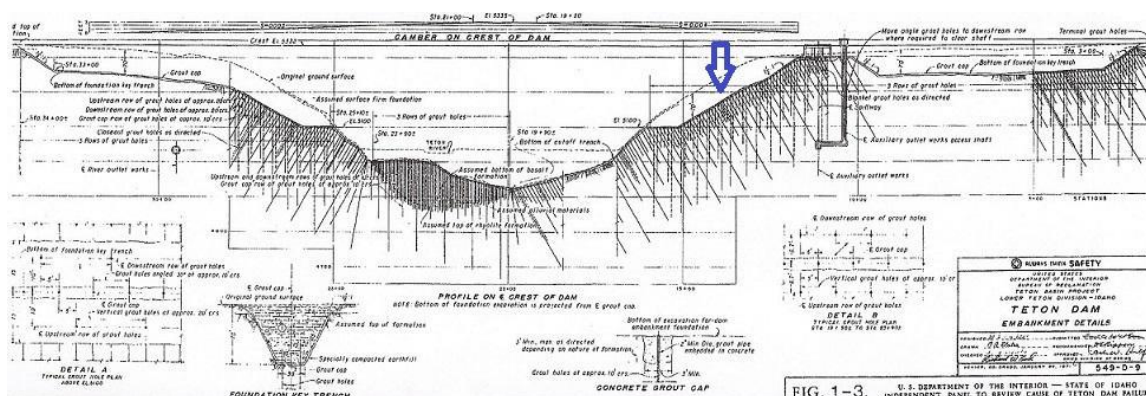


Figura 8. Secțiune longitudinală de-a lungul șanțului decupat care arată (săgeată) locația aproximativă în șanțul cheie de pe malul drept unde a început eroziunea concentrată a scurgerilor care a dus la cedare, [8].

Au existat multe examinări ulterioare ale cedării și s-au scris multe lucrări despre aceasta, care continuă până în prezent.

Un studiu preliminar realizat de Merino, [9] al abordării sale de referință pentru analizarea eroziunii interne a examinat cazul Teton, pe care USBR l-a analizat. Unul dintre rezultatele analizei a indicat că eroziunea ar fi putut începe înainte ca deschiderea eroziunii și descărcarea prin aceasta să fi devenit suficient de mare pentru a provoca scurgerea observată în mitra barajului la 5 iunie 1976 fiind nedetectată timp de mai multe zile. Acest lucru ar putea oferi stimulente pentru dezvoltarea unor dispozitive de monitorizare capabile să detecteze scurgeri sau deschideri în corpul unui baraj, care altfel nu ar fi vizibile. Cu toate acestea, în prezent, se confirmă faptul că nu există indicatori fiabili care să indice că eroziunea internă care ar putea duce la cedare este în curs de producere

până când aceasta nu a început. Prin urmare, este recomandabil să se investigheze, să se analizeze și să se evalueze vulnerabilitatea barajelor la eroziunea internă și să se remedieze, dacă este necesar, pentru a le proteja împotriva acestora.

3.2. Cedări și incidente cauzate de eroziunea regresivă și eroziunea regresivă globală

- conducte de eroziune regresivă care străpung păturile din amonte de sub barajul Shikwamkwa:

Barajul Shikwamkwa a fost finalizat în 1958 în Ontario, Canada, [10]. Secțiunea transversală este prezentată în figura 9. A fost un baraj de 35 m cu o cădere de pământ zonat de 35 m, cu un nucleu central impermeabil construit folosind un material fin de nămol (făină de rocă). Barajul a fost fondat pe un depozit de supraîncărcare glaciofluvială și glaciolacustriană interstratificată adâncă, permeabilă și foarte variabilă, care a variat de la nămoluri lipsite de coeziune la depozite grosiere de pietricele și bolovani. Apărarea principală împotriva infiltrațiilor din fundație a fost o pătură impermeabilă relativ scurtă (de aproximativ șase ori înălțimea de refulare) și subțire (aproximativ 3% din înălțimea hidrolică) care se conecta la nucleul central și la ceea ce s-a considerat a fi un strat relativ continuu de nisipuri relativ impermeabile în fundația barajului. [6]

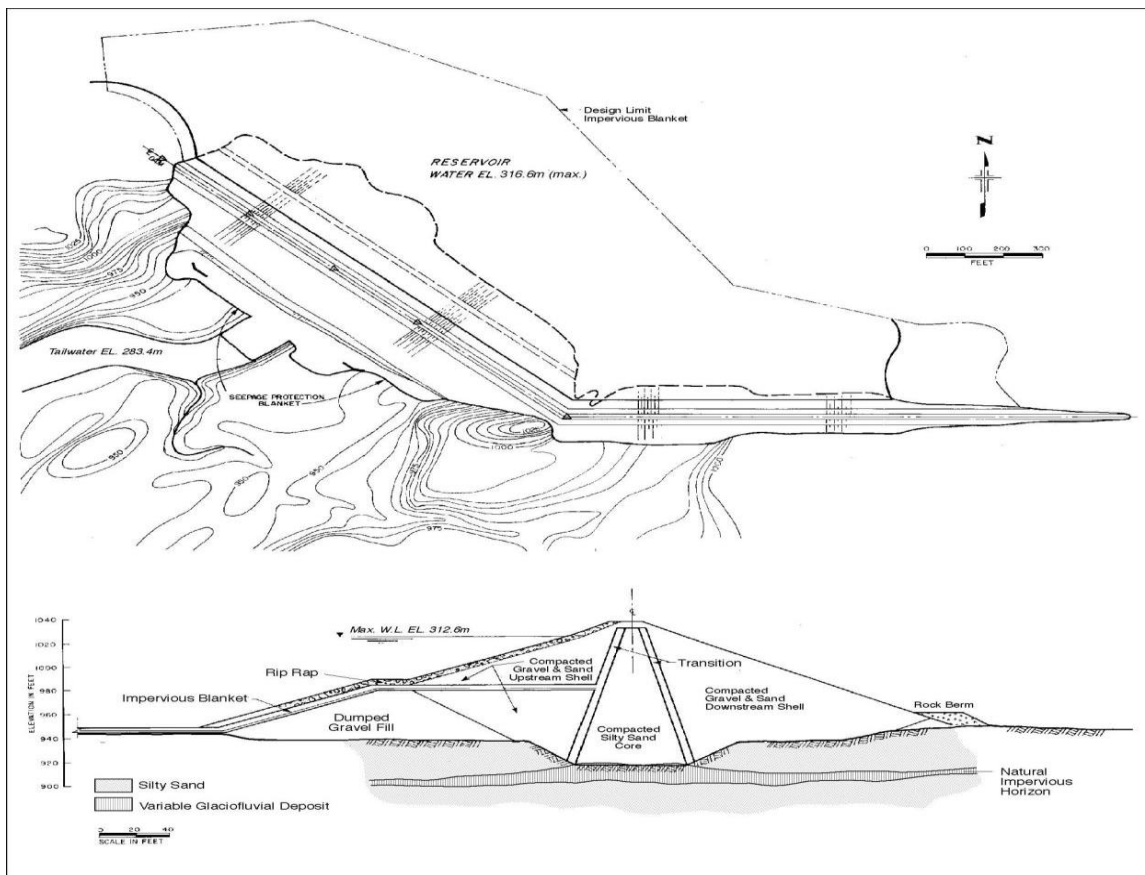


Figura 9. Barajul Shikwamkwa: secțiune și plan care arată întinderea păturii din amonte, [10].

În timpul realizării barajului din 1958 au avut loc numeroase incidente de infiltrare, cu scurgeri de până la 1,0 m³/s și instabilitate locală pe versantul aval. Au fost adăugate berme de sprijin și pături suplimentare, iar barajul a funcționat în mod satisfăcător timp de aproximativ zece ani. Apoi, au reînceput să se producă aluviuni de nisip în aval, incidente de canalizare și doline, inclusiv o dolină care, în 1971, s-a deschis la vârful versantului în amonte, provocând o cedare a versantului, care, din fericire, nu a străpuns creasta barajului. O înregistrare a acestui eveniment (care, după reparații, a lăsat o depresiune în creasta barajului) și a numeroaselor doline, rute de infiltrare, fierberea nisipului și alte daune care au avut loc este prezentată în figurile 10 și 11.

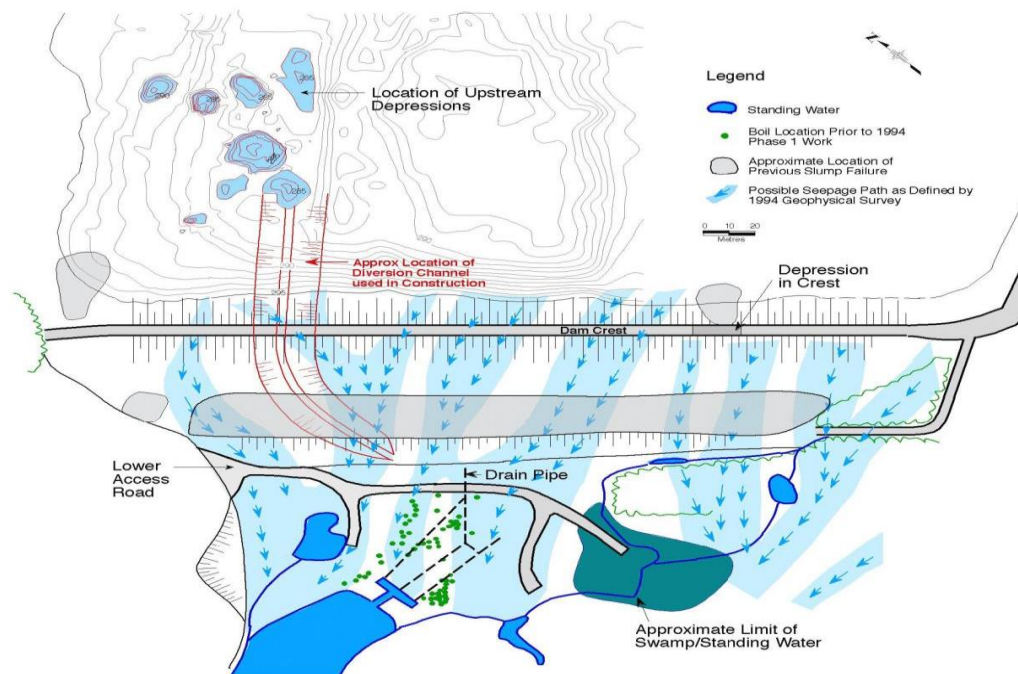


Figura 10, Barajul Shikwamkwa: o înregistrare a dolinelor din amonte, a traseelor conductelor de eroziune, a aluviunilor de nisip din aval și a depresiunii lăsată în creasta barajului după cedarea versantului cauzată de deschiderea unei doline la vârful din amonte, [10]

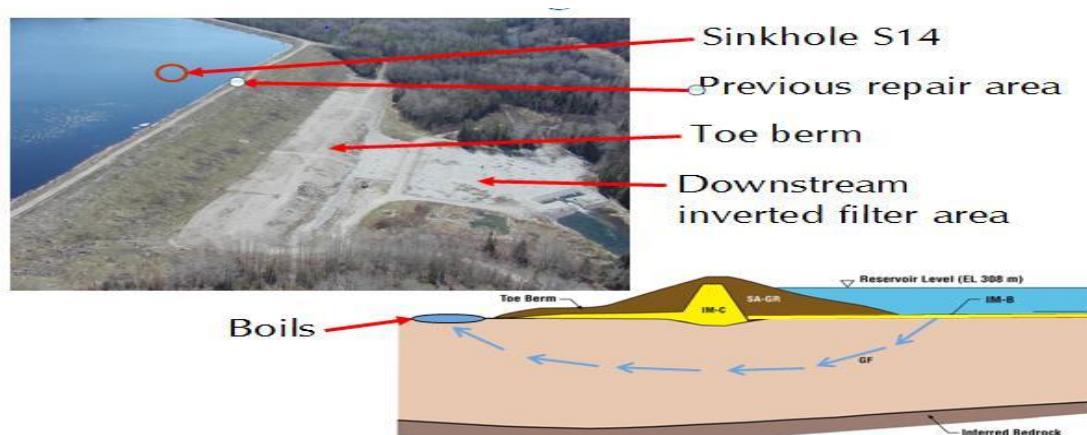


Figure 11. Barajul Shikwamkwa: prezentarea avariilor, a bermei filtrate de la vârful și a unei secțiuni de conducte de eroziune [10]

Au fost efectuate reparații pentru a permite prelungirea duratei de viață a barajului. Programul de reparații a inclus o pătură de filtrare în aval și un sistem de monitorizare complet automatizat format din piezometre, stăvilare și un turbidimetru.

De-a lungul anilor care au urmat instalării lucrărilor de remediere, barajul a fost inspectat și evaluat lunar, identificându-se zonele vulnerabile și efectuându-se reparații în etape, monitorizându-se cu atenție fiecare reparație înainte de a începe alta. În ciuda reparațiilor continue, incidentele au continuat, totuși, posibil din cauza faptului că fundația a fost grav afectată de îndepărtarea și perturbarea unor volume mari de material de către conducte timp de 40 sau mai mulți ani. [6]

Este posibil ca pătura din amonte să fi fost subțire și să se fi fisurat pe măsură ce se producea tasarea peste vechiul canal al râului, dar aluviunile de nisip din aval, conductele și depresiunile din amonte, confirmă faptul că se producea ceea ce astăzi se numește eroziune regresivă. Nu pare a fi vorba de eroziune înainte prin scurgeri concentrate, fisuri și deschideri, în pătură și fundație.

Păturile din amonte pot fi ineficiente în reducerea gradientului hidraulic general care inițiază eroziunea inversă, aproape sigur în acest caz deoarece materialele păturii erau fine și vulnerabile la eroziunea regresivă dinspre aval.

În cazul în care păturile din amonte sunt erozive, rezultatele sunt imprevizibile și pot fi grave.

La Shikwamkwa, capătul emergent din amonte al uneia dintre conductele de eroziune s-a aflat la vârful din amonte al barajului, provocând instabilitatea versantului, dar, din fericire, nu a tăiat creasta, evitând astfel, la limită, o breșă prin surpare.

Materialele de acoperire din amonte ar trebui să fie din plastic sau nisipuri și pietrișuri prea grosiere pentru a fi vulnerabile la eroziunea regresivă dinspre aval.

3.3. Cedări și incidente cauzate de eroziunea de contact

- Incidente de dolină pe diguri zonate, râul Rhone, Franța

Aproximativ douăzeci de cazuri de scurgeri asociate cu dezvoltarea unei doline sau a unei subsidențe au fost raportate în digurile de pe râul Rhone. Digurile sunt diguri construite cu aluviuni fine (nămol argilos până la nisip nisipos, adesea acoperite de umeri de aluviuni grosiere (pietriș nisipos) pe versanții din amonte și din aval. Digurile sunt adesea așezate pe fundații de aluviuni (un strat subțire de aluviuni fine pe un strat gros de aluviuni cu pietriș). [6]

Eroziunea de contact apare atunci când nivelurile ridicate ale râului provoacă viteze mari în fundația de pietriș, suficiente pentru a provoca eroziune la contactul cu umplutura nisipoasă a digurilor. Eroziunea umpluturii fine pare să aibă ca rezultat o tasare lentă a digurilor, astfel încât nu se așteaptă o cedare prin surparea acestora. După cum arată figura 12, eroziunea de contact are ca rezultat, în cele mai multe cazuri, apariția unor doline,

a) provoacă în cazuri extreme (dar niciodată observate la fața locului) formarea de conducte.

b) duce la instabilitate

c) particulele fine se acumulează și înfundă fundația de pietriș la vârf,

a) d) cauzând, eventual, fracturi hidraulice și alunecări de teren.

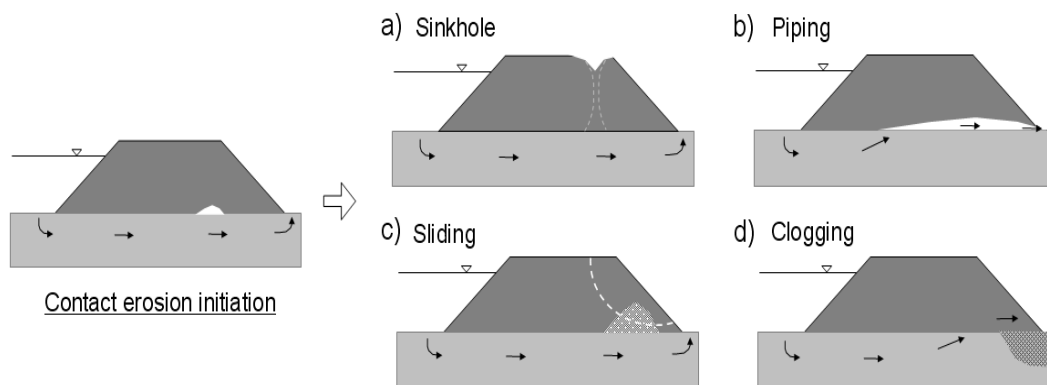


Figure 12. Consecințele eroziunii de contact. Săgețile negre indică o curgere a apei subterane printr-un strat mai permeabil (gri deschis) sub un baraj mai puțin permeabil (gri închis). a) ziua în care se formează o dolină b) începutul conductelor de eroziune regresivă c) crearea unei zone mai slabe care inițiază instabilitatea d) colmatarea stratului permeabil și creșterea presiunii apei din pori[11].

Nu au fost înregistrate incidente de prăbușire și cedare a digului. Acest lucru poate fi explicat deoarece vitezele Darcy au fost mai mici decât limitele critice (0,02 m/s), iar eroziunea nu a fost continuă.

Eroziunea întreruptă poate avea loc după asfaltări, când particulele fine de nămol sunt erodate lăsând particule groșiere care filtrează și rețin particulele fine nou erodate care se apropie, în condițiile unui nivel constant al apei și a unei viteze Darcy constante, care nu mai sunt suficient de mari pentru a susține o eroziune continuă, iar viteza Darcy nu mai rămâne suficient de ridicată pentru perioade suficient de lungi pentru a permite o eroziune continuă. Gropile se formează pe măsură ce solul fin este atras pentru a reface materialul pierdut prin eroziune intermitentă deasupra zonelor de fundație, acolo unde se atinge viteza critică de curgere în pietriș.

În urma incidentelor, au fost instalați pereți diafragmă prin terasamente și în fundațiile de pietriș pe lungimile afectate pentru a limita viteza de curgere a apelor subterane în pietriș, astfel încât aceasta să fie mai mică decât viteza critică la interfața cu solul fin din umplutură.

3.4. Cedări și incidente cauzate de sufuziune.

- **Sufuziunea în umplutura de sol rezidual: Barajul Saint Pardoux:**

Barajul Saint Pardoux (figura 13) este un baraj omogen (nezonat) de 19 m înălțime construit folosind sol rezidual de granit descompus ca umplutură cu un strat de material mai grosier pe versantul aval și o pătură orizontală de fundație pentru drenaj. [6]

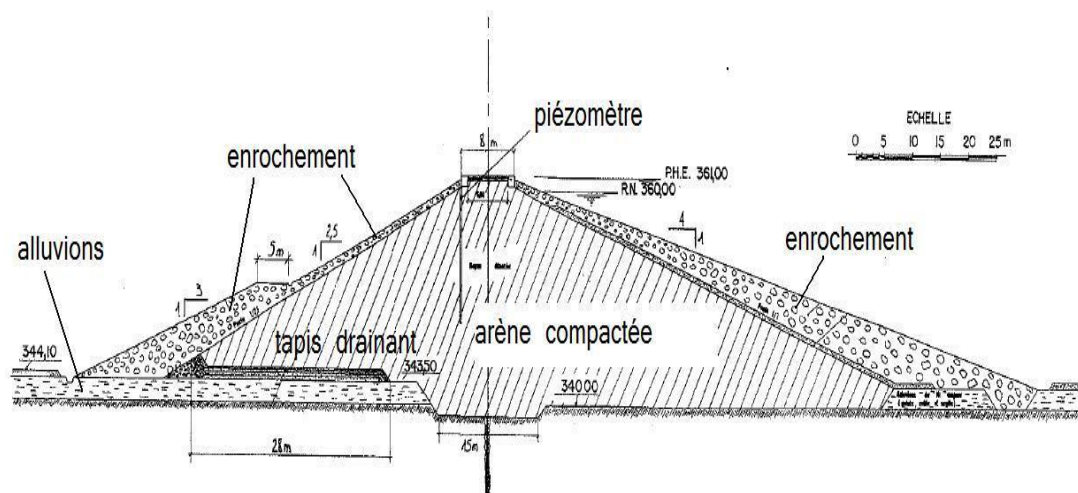


Figura 13. Barajul Saint Pardoux: umplutură de granit descompus cu material mai grosier pe versanții amonte și aval și un drenaj orizontal în aval.

Barajul a fost finalizat, iar rezervorul s-a umplut în 1976. O expertiză efectuată în 1991 a constatat presiuni porale ridicate și în creștere în versantul aval, zone umede pe versant și scurgeri care ieșeau pe versant și la piloni. De asemenea, a existat o creștere a infiltrațiilor colectate de sub taluzul din amonte.

Progresia conductelor ar putea fi interpretată ca însemnând o pierdere treptată de finețe și o creștere a infiltrațiilor, indică faptul că în umplutură avea loc o sufuziune și că exista un drenaj preferențial prin unele straturi nisipoase incluse în umplutură.

Pentru a corecta situația, a fost instalat un perete diafragmă de la creastă, perdeaua de chit de fundație a fost făcută mai adâncă și mai lată și a fost adăugat drenaj, iar alte lucrări au fost finalizate în piloni. [6]

4. Concluzii

1. Eroziunea internă se inițiază atunci când forțele hidraulice depășesc capacitatea materialelor din baraj și fundație de a le rezista.
2. Eroziunea internă poate fi oprită în barajele zonate dacă orice filtru este eficient. La barajele neomogene nu există zone, în consecință, dacă eroziunea se inițiază, ea nu poate fi oprită
3. Capacitatea unui baraj de a rezista forțelor erozive nu este constantă în timp. Acest lucru se datorează faptului că fisurarea din cauza unei tasări sau a unei fracturi hidraulice, sau a unor zone de tensiune scăzută, poate crea situri în care eroziunea se poate iniția chiar și la niveluri de apă experimentate anterior.

5. Referințe

- [1] M. Foster, M. Spannagle and R. Fell, "Analysis of embankment dam incidents," University of New South Wales, School of Civil Engineering, Sydney, 1998.
- [2] M. A. Foster, "The probability of failure of embankment dams by internal erosion and piping," University of New South Wales, Sydney, 1999.
- [3] M. Foster, R. Fell and M. Spannagle, "The statistics of embankment dam failures and accidents," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 5, no. 37, pp. 1000-1024, 2000.
- [4] ICOLD, "Volume 1: Internal Erosion Processes and Engineering Assessment," in *Internal Erosion of Existing Dams, Levees and Dikes, and Their Foundations*, International Commission on Large Dams, 2013, pp. 1-163.
- [5] R. Fell and J.-J. Fry, "The state of the art of assessing the likelihood of internal erosion of embankment dams, water retaining structures and their foundations," in *Internal Erosion of Dams and their Foundations*, London, Taylor and Francis, 2007, pp. 1-24.
- [6] N. C. ICOLD , "Volume 2: Case Histories, Investigations, Testing, Remediation and Surveillance, Bulletin 164," in *Internal Erosion of Existing Dams, Levees and Dikes, and Their Foundations*, CIGB ICOLD , 2016, pp. 1-199.
- [7] . R. Watts, . K. Burk, . M. McLaren, . J. Wolfe and K. Zander, "Failure of the Teton dam: geotechnical aspects," *International Water Power & Dam Construction*, pp. 30-31, 2002.
- [8] Independent Review Panel, "Report to the US Department of the Interior and the State of Idaho on the failure of Teton Dam," Idaho Falls, Idaho, 1979.
- [9] J.-J. Fry, "Erinoh Benchmark with Teton Failure Draft," Personal Communication, 2015.
- [10] C. Donnelly, S. Rigbey, B. Clarida, H. Walsh and A. Erzincinlioglu, "A phased approach to the rehabilitation of an aging northern dam," *Hydrovision-New Realities, New Responses*, vol. 8, pp. 8-11, 2000.
- [11] R. Beguin, " Multi-scale study of contact erosion in earthen hydraulic structures," France, Université Joseph Fourier, 2011.