

Normativ privind evaluarea stabilității la alunecare a barajelor de beton. Indicativ NP - 136/1-2014

CUPRINS

1. Prevederi generale.
2. Obiectul normativului.
3. Domeniul de aplicare.
4. Terminologii și definiții.
5. Investigații geologice în terenul de fundare.
6. Evaluarea rezistențelor la forfecare și întindere pe suprafețele potențiale de alunecare.
7. Combinații de încărcări pentru evaluarea stabilității la alunecare.
8. Stabilitatea la alunecare la încărcări statice și seismice.
9. Stabilitatea terenului de fundare și a versanților.
10. Tratarea terenului de fundare pentru îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice.

Anexa nr.1:Reglementări tehnice, ghiduri, practici curente în diverse țări–anexă informativă.

Anexa nr.2:Exemplu de calcul-evaluarea stabilității la alunecare a unui baraj de greutate–anexă informativă.

Anexa nr.3: Exemplu de calcul-evaluarea stabilității la alunecare a unui stăvilă–anexă informativă.

Anexa nr.4: Referințe tehnice și legislative.

Lista figuri

Nr.crt.	Denumirea
Figura nr. 6-1.	Histogramă a rezistențelor la întindere pe rosturile dintre lamelele barajelor de beton.
Figura nr. 6-2.	Rezistența la întindere pe rosturile dintre lamelele barajelor de beton în funcție de tipul de tratare a rosturilor.
Figura nr. 6-3.	Histogramă a rezistențelor la întindere pe interfața baraj-fundație .
Figura nr. 6-4.	Rezistența la forfecare pentru carote intacte și fisurate de-a lungul suprafeței cu rezistență redusă.
Figura nr. 6-5.	Variația rezistenței la forfecare (τ) funcție de efortul normal (σ_n).
Figura nr. 6-6.	Rezistența la forfecare de vârf pe rosturile dintre lamele (1 psi = 70.32 kPa).
Figura nr. 6-7.	Rezistența la forfecare reziduală pe rosturile dintre lamele (psi=70.32 kPa).
Figura nr. 6-8.	Rezistența la forfecare pe rosturile dintre lamele în funcție de modul de tratare a rostului.
Figura nr. 8-1.	Suprafețe critice de alunecare (S-S, S'-S', S''-S'') pentru diverse moduri de alcătuire a fundației.
Figura nr. 8-2.	Model constitutiv idealizat pentru eforturile de forfecare.
Figura nr. 8-3.	Domeniile rezistențelor idealizate în planul σ_n - τ .
Figura nr. 9-1.	Model tridimensional de analiză a stabilității versanților în amplasamentul barajelor arcuate.
Figura nr. 10-1.	Diverse tipuri de tratamente dentale realizate în terenuri de fundare din fliș carpatic.
Figura nr. 10-2.	Schemă de tratare a faliiilor la barajul Nagawado (Japonia):
Figura nr. 10-3.	Sistemul de precomprimare al rocii din zona nașterilor barajului Nagawado.
Figura nr. 10-4.	Sisteme de realizare a injecțiilor de legătură.
Figura nr. 10-5.	Secțiune transversală prin barajul Alcantara (Spania) cu exemplificarea forajelor pentru injecții de consolidare în profunzime.
Figura nr. 10-6.	Schemă de executare a injecțiilor de suprafață în etape succesive.
Figura nr. 10-7.	Sistem de etanșare și drenaj la un baraj de greutate.
Figura nr. 10-8.	Dispunerea forajelor pentru un voal de etanșare P – foraje pilot; 1, 2, 3 – foraje executate în etapele 1, 2 și respectiv 3; C – foraj de control.
Figura nr. 10-9.	Voalul de etanșare de la barajul Poiana Uzului (România).
Figura nr. A1-1.	Schema de calcul pentru evaluarea stabilității la alunecare.
Figura nr. A2-1.	Elemente geometrice și schema încărcărilor pentru verificarea profilului barajului de greutate.
Figura nr. A3-1.	Elemente geometrice și schema încărcărilor pentru verificarea profilului stăvilor.

Lista tabele

Nr.crt.	Denumirea
Tabelul nr. 6-1.	Rezistența la forfecare de vârf.
Tabelul nr. 6-2.	Rezistențe la forfecare de vârf pe interfața beton-rocă.
Tabelul nr. 6-3.	Rezistențe la forfecare reziduală pe interfața beton-rocă.
Tabelul nr. 7-1.	Coeficienții încărcării (γ, γ^{d*}) funcție de starea limită la care se face calculul și categoria grupărilor de încărcări (acțiuni).
Tabelul nr. 7-2.	Valorile coeficienților încărcărilor „ γ ”.
Tabelul nr. 7-3.	Valorile coeficienților încărcărilor „ γ ” în cazul încărcărilor temporare cvasipermanente de lungă durată.
Tabelul nr. 7-4.	Valorile coeficienților încărcărilor „ γ ” și „ γ^d ” în cazul încărcărilor temporare variabile de scurtă durată.
Tabelul nr. 8-1.	Coeficienți de siguranță la alunecare în cazul $c=0$.
Tabelul nr. 8-2.	Siguranța la alunecare prin reducerea forțelor de frecare și coeziune în cazul $c \neq 0$.
Tabelul nr. A1-1.	Sinteză a reglementărilor tehnice.
Tabelul nr. A1-2.	Tipul de încărcări.
Tabelul nr. A1-3.	Valorile minime pentru F.
Tabelul nr. A1-4.	Factorul de siguranță.
Tabelul nr. A1-5.	factorii parțiali de siguranță.
Tabelul nr. A1-6.	Factorii de reducere a parametrilor de rezistență
Tabelul nr. A1-7.	Factorul de reducere a rezistenței.
Tabelul nr. A1-8.	Combinațiile de încărcări.
Tabelul nr. A1-9.	Proprietățile materialului
Tabelul nr. A1-10.	Rezistența la alunecare - valori minime.
Tabelul nr. A1-11.	Factor de ponderare (γ_m).
Tabelul nr. A1-12.	Valorile factorilor parțiali de siguranță.
Tabelul nr. A2-1.	Evaluarea încărcărilor care acționează în profilul barajului.
Tabelul nr. A3-1.	Evaluarea încărcărilor care acționează în profilul stăvilărilor.

1. Prevederi generale

(1) Barajele ca structură și terenul lor de fundare alcătuiesc un sistem unitar inseparabil. Dacă la această interacțiune se adaugă acțiunea apei cu efectele ei mecanice, fizico-chimice și biologice deopotrivă asupra barajului și terenului de fundare se obține un tablou mai complet al problemelor complexe care trebuie rezolvate în proiectarea barajelor. Proiectarea trebuie să rezolve problemele de siguranță a barajelor pe toată durata lor de existență (execuție, exploatare, conservare-demolare) și să ia în considerație reducerea sau evitarea unor efecte negative pe care marile acumulări create de baraje le pot avea asupra mediului ambiant.

(2) Stabilitatea la alunecare a structurii barajului, a terenului de fundare și a versanților din amplasament și lacurilor de acumulare este o condiție vitală pentru siguranța construcției. Prezentul normativ tratează problemele de stabilitate la alunecare ale barajelor de beton, sintetizând experiența națională și internațională care există în prezent în acest domeniu. Normativul se referă la barajele noi proiectate cât și la cele existente, proiectate după reglementările tehnice din perioada de realizare a lor care urmează să fie examinate dacă îndeplinesc criteriile de siguranță actuale. Acest normativ se aplică atât la barajele de beton clasic cât și la cele de beton cilindrat.

(3) Normativul tratează succesiv: investigațiile geologice-geofizice necesare pentru proiectarea barajelor de beton, proceduri de evaluare a rezistenței la forfecare a rocii de fundare, evaluarea stabilității la alunecare a corpului barajelor de beton, a terenului de fundare și a versanților la combinații de încărcări fundamentale și speciale. Un capitol special din normativ este rezervat tratării terenului de fundare al barajelor de beton pentru îmbunătățirea caracteristicilor lor fizico-mecanice.

2. Obiectul normativului

(1) În normativ se stabilesc condițiile și metodologiile care trebuie aplicate pentru evaluarea stabilității la alunecare a structurii, a terenului de fundare și versanților barajelor de beton (de greutate, cu contraforți, arcuite) și lacurilor de acumulare atât pentru barajele noi proiectate cât și pentru cele existente.

(3) Normativul reflectă experiența actuală națională și internațională din domeniu, materializată în documente tehnice (standarde, normative, ghiduri cu caracter de recomandare și practica inginerescă curentă, etc),

3. Domeniul de aplicare

(1) Prezentul normativ se aplică la proiectarea barajelor de beton noi (de greutate, cu contraforți, arcuite) și la verificarea celor existente privind îndeplinirea condițiilor de siguranță de stabilitate la alunecare. Normativul poate fi adaptat pentru verificarea stabilității la alunecare și pentru alte construcții amplasate în frontul baraj:

- a) centrale hidroelectrice tip baraj,
- b) ecluze,
- c) descărcători de ape mari de tip stăvilă, etc.

(2) Normativul se adresează tuturor factorilor implicați în procesul investițional: proiectanți, verificatori de proiecte, experți tehnici atestați, executanți, responsabili tehnici cu execuția, investitori, proprietari, administratori și utilizatori, personalul responsabil cu exploatarea obiectivelor, operatori/agenți economici, din domeniul construcțiilor hidrotehnice și domeniul apelor, precum și autorităților administrației publice și organismelor de verificare și control (verificarea și/sau expertizarea proiectelor, verificarea, controlul și/sau expertizarea lucrărilor).

4. Terminologie și definiții

I, II, III, IV, V - Clase de importanță ale construcțiilor hidrotehnice conform STAS 4273-83.

A, B, C, D - Categoriile de importanță ale construcțiilor hidrotehnice de retenție conform NTLH-021.

k - coeficient de siguranță la alunecare.

k_1, k_2 - coeficienți parțiali de siguranță la alunecare prin reducerea forțelor de frecare și respectiv de coeziune.

$f(\operatorname{tg} \phi)$ - coeficient de frecare de alunecare.

ϕ - unghi de frecare pe suprafața de alunecare.

c - coeziune.

OBE - cutremurul de bază de exploatare.

SEE - cutremurul de evaluare a siguranței.

σ_n - efort normal pe suprafața de alunecare.

τ - efort tangențial (de forfecare) pe suprafața de alunecare.

P - acțiune permanentă: acțiune continuă pentru care variația în timp este neglijabilă sau pentru care variația este mereu în aceeași direcție (monotonă) până când acțiunea atinge o anumită valoare limită.

T – acțiune temporară: acțiune cu o intensitate variabilă în timp sau în mod intermitent și care în anumite perioade poate să lipsească.

C – acțiune cvasipermanentă de lungă durată: acțiune care se aplică pe durate lungi sau în mod frecvent, cu intensități variabile sau practic egală cu valoarea caracteristică

V – acțiune variabilă de durată scurtă: acțiune a cărei intensitate variază sensibil în timp sau care poate lipsi pe intervale lungi de timp.

E – acțiune excepțională: acțiune care are intensități semnificative dar care apare foarte rar, eventual chiar niciodată pe durata de exploatare a construcției hidrotehnice.

Acțiune statică – acțiune care nu provoacă efecte inerțiale structurii sau elementelor structurale

Acțiune dinamică – acțiune care provoacă efecte inerțiale structurii sau elementelor structurale.

Valoare caracteristică a unei acțiuni – valoare principală reprezentativă a unei acțiuni.

γ, γ^d - coeficienți de încărcare care se aplică valorii caracteristice a unei acțiuni pentru a obține valoarea ei de calcul în diverse combinații de încărcări (acțiuni).

Grupări de încărcări (acțiuni) – set de valori de calcul care permite evaluarea siguranței structurale la o stare limită sub influența simultană a unor acțiuni diferite.

NRN – nivelul maxim al retenției în condițiile exploatării normale a acesteia.

NRM – nivelul maxim al apei în lacul de acumulare în situații limită de exploatare (la tranzitarea viiturii de verificare).

5. Investigații geologice în terenul de fundare

(1) În cadrul prezentului normativ prin investigații geologice se înțeleg lucrările care se efectuează pentru cunoașterea și caracterizarea condițiilor naturale geologice, geotehnice, hidrogeologice, a proprietăților fizico-mecanice ale rocilor ca materiale de construcție din zona amplasamentului barajului și acumulării.

(2) Investigațiile geologice se desfășoară continuu în paralel și progresiv cu programul de realizare a barajului. Ele preced primul studiu preliminar și se continuă până la realizarea finală a construcției și umplerii lacului. În timpul exploatării amenajării, investigațiile se materializează printr-un program de inspecții periodice și de supraveghere a comportării barajului și terenului de fundare. În toate fazele de proiectare și execuție, proiectul se adaptează progresiv cu cunoștințele curente despre terenul de fundare și pe baza datelor disponibile într-o anumită fază se orientează investigațiile terenului de fundare pentru necesitățile viitoare ale proiectului.

(3) Investigațiile geologice din amplasamentul barajului și zonele adiacente se vor direcționa pentru a furniza următoarele date necesare proiectării:

- a) litologia și petrografia, natura rocilor, alterarea și alterabilitatea lor, acțiunea agenților externi asupra rocilor ;
- b) tectonica și microtectonica: falii, zone de zdrobire, materialul de pe falii, suprafețe de discontinuitate (fisuri, stratificații, șistuoșitate) și de minimă rezistență la solicitările construcției;
- c) releveul rocilor de bază și al diverselor straturi din depozitele acoperitoare: adâncimea zonei de alterare și zonei cu roci impermeabile.

(4) Datele geologice necesare din zona aferentă sau de influență a lacurilor sunt următoarele:

- a) etanșeitatea chiuvetei lacului de acumulare, evaluarea preliminară a pierderilor de apă din lac și a posibilităților de circulație subterană a apelor, fenomene carstice, izvoare;
- b) stabilitatea versanților; prezența alunecărilor active și stabilizate; riscul producerii și amploarea fenomenelor de alunecare; rezistența malurilor la acțiunea valurilor și a gheții (dacă este cazul);
- c) sursele de debit solid și natura petrografică a acestuia; granulometria sedimentelor din râu și din lacul de acumulare;
- d) chimismul apei din lac și agresivitatea asupra betoanelor, zăcăminte minerale în lac sau în zona de influență a lacului;
- e) seismicitatea amplasamentului și zonarea microseismică, în mod deosebit pentru barajele mai înalte de 100 m; riscul de producere a unor fenomene seismice induse de lacurile de acumulare în primii ani de la intrarea în exploatare.

(5) Investigațiile hidrogeologice din amplasamentul barajelor și lacurilor de acumulare vor furniza următoarele date pentru proiectare:

- a) starea apelor subterane, orizonturi acvifere, niveluri de apă și variația lor în timp, căi de alimentare și drenare a apelor (existente și posibile după intrarea în exploatare a barajului), chimismul apelor subterane, agresivitatea asupra betoanelor și metalelor ;
- b) permeabilitatea depozitelor acoperitoare și a rocilor din fundația barajului.

(6) Caracteristicile geotehnice ale rocilor din fundația barajelor de interes pentru proiecte sunt următoarele:

- a) caracteristici de clasificare și de identificare generală, caracteristici petrografice, rezistențe monoaxiale și triaxiale, granuloșitate, duritate, densitate ;
- b) caracteristici fizico-mecanice la solicitări rapide și lente ;
- c) deformabilitate pe parcursul lucrărilor de execuție (decomprimarea rocii ca urmare a excavațiilor), forfecări pe interfața beton-rocă și în masa rocii pe suprafețe de discontinuitate sau cu rezistență redusă;
- d) scăderea rezistențelor la diverse solicitări în funcție de umiditate și de starea de saturație cu apă;
- e) influența factorilor climatici (uscare, umezire, îngheț-dezgheț, cedare și absorbție de apă), eforturi interne în masa rocii, presiuni interstițiale ;
- f) influența încărcărilor și descărcărilor repetate asupra caracteristicilor de deformabilitate și forfecare;
- g) necesitatea unor măsuri constructive pentru îmbunătățirea caracteristicilor rocii de fundare (creșterea rezistențelor, reducerea permeabilității).

(7) Nivelul investigațiilor geologice în fazele preliminare ale unui proiect de baraj (faza de prefezabilitate) va consta din determinări generale a geologiei amplasamentului barajului și lacului de

acumulare ca parte a geologiei globale și regionale, identificarea condițiilor critice și a dificultăților de construcție, a zonelor cu caracteristici incerte necesitând explorări viitoare suplimentare. Tot în această fază se va efectua prima estimare a grosimii stratului de acoperire (aluviuni, deluvii), a adâncimii zonelor alterate și a excavațiilor necesare pentru fundarea barajului.

(8) Investigațiile se vor baza pe studiul hărților și al rapoartelor geologice existente, inspecții și cartografii în teren, interpretarea fotografiilor aeriene relevând structura geologică, inclusiv a fotografiilor prin satelit cu culori diferențiate în infraroșu, examinarea relievelor geologice și cartografice. Numai în cazuri speciale se vor face prospecțiuni geofizice (seismice, geoelectrice, etc), foraje, galerii de prospecțiuni și încercări de teren.

(9) În faza de fezabilitate a unui proiect de baraj investigațiile vor permite identificarea completă a tuturor caracteristicilor geologice majore care pot afecta tipul, dispoziția și concepția barajului precum: falii, fisuri, rosturi sau alte discontinuități în formațiile de rocă, zone slabe sau cu permeabilitate ridicată, alunecări existente sau potențiale, etc. Tot în această fază se vor furniza informații existente asupra grosimii stratului de acoperire și a excavațiilor în rocă, evaluări ale parametrilor de calcul pentru analize preliminare de stabilitate și stări de eforturi, recomandări asupra tehnologiilor de tratare a terenului de fundare dacă sunt necesare.

(10) Metodele de investigare vor consta din revizuirea și completarea hărților geologice pe bază de foraje de prospecțiuni (incluzând teste de caracterizare fizico-mecanică a rocilor, permeabilitate), tranșee, puțuri și galerii de prospecțiuni. investigații geofizice, teste uzuale de încărcări în laborator și în teren.

(11) În faza de proiect tehnic investigațiile geologice vor permite determinarea precisă a geologiei amplasamentului (lacului) și prezentarea detaliată în rapoarte, hărți, secțiuni sau modele tridimensionale a tuturor datelor referitoare la:

- a) litologia amplasamentului;
- b) grosimea, tipul și caracteristicile terenului de acoperire;
- c) orientarea și extinderea spațială a fracturilor și a planurilor de stratificație; orientarea planurilor de șistuoșitate, grosimea și tipul materialelor de umplură în falii sau crăpături, aprecierea timpului trecut de la ultima mișcare tectonică și a riscului potențial de reactivare a unor falii prin umplerea lacului sau datorită activității seismice;
- d) nivelul apelor subterane, permeabilitatea (fenomene carstice), prognozări de subpresiuni pe baraj și suprafețe potențiale de rupere, drumuri de infiltrații, injecții și drenaje necesare;
- e) limitele maselor de rocă potențial nestabile delimitate pe baza planurilor de discontinuitate, ruperi potențiale provocate de încărcările transmise de baraj și acumulare, eforturi reziduale;
- f) parametrii ingineresti pentru cuantificarea rezistenței, deformabilității și permeabilității.

(12) Metodele de investigare vor consta din studii geologice în detaliu pe bază de foraje suplimentare cu orientări specifice, tranșee, puțuri sau galerii pentru clasificarea incertitudinilor rămase din faza anterioară, încercări în teren în decopertări exploratorii și teste complementare de laborator.

(13) În faza de execuție proiectul se va adapta pe baza elementelor geologice, geotehnice, hidrogeologice noi identificate pe măsura dezvoltării lucrărilor de construcție: realizarea excavațiilor

pentru fundație, excavarea diverselor galerii de deviere, de acces, de aducțiune sau a altor lucrări subterane, realizarea forajelor și a injecțiilor pentru voalul de etanșare.

(14) În faza de exploatare a acumulărilor create de baraje activitățile de natură geologică, hidrogeologică, morfologică, structurală vor cuprinde:

- a) observații periodice cu privire la stabilitatea versanților și a construcțiilor, în special după variații mari de nivel în acumulare;
- b) observații și măsurători cu privire la deformațiile terenului și la nivelurile apelor subterane în piezometrele instalate în galeriile din baraj, terenul de fundare și versanții din bieful aval;
- c) observații asupra funcționării rețelei de drenaj;
- d) observații și măsurători batimetrice privind depunerea sedimentelor în acumulare ;
- e) observații și măsurători asupra recesiunii (colmatării) albiilor din aval de baraje ;
- f) supravegherea activității seismice din amplasament, eventual a fenomenelor de seismicitate indusă la barajele cu înălțimi mai mari de 80 de metri realizate în terenuri cu frământări tectonice;
- g) măsurători periodice ale chimismului apelor de infiltrație și al materialului depus în forajele de drenaj ;
- h) măsurători periodice geofizice (seismice, geoelectrice, etc) pentru urmărirea comportării sistemului unitar baraj-fundație sub efectul acțiunilor mediului ambiant: variațiile nivelurilor în acumulare, temperaturi, viituri, cutremure etc.

(15) Volumele lucrărilor de studii geologice pentru fiecare etapă de realizare a barajului sau din timpul exploatarea lui se stabilesc prin reglementări geologice specifice.

6. Evaluarea rezistențelor la forfecare și întindere pe suprafețele potențiale de alunecare

(1) În scopul evaluării stabilității la alunecare a barajelor de beton se vor determina încărcările și rezistența în toate secțiunile unde s-ar putea produce sau ar putea influența acest mecanism, respectiv: rosturile dintre lamelele din corpul barajului, contactul baraj-fundație, rosturi, discontinuități, fisuri, intercalații cu rezistență slabă în masa de rocă din fundație și versanți.

(2) În cazul proiectelor pentru baraje noi din clasele de importanță I și II, respectiv categorii de importanță A și B, rezistențele la forfecare și întindere pe suprafețele potențiale de alunecare se vor determina pe bază de experimente în laborator și măsurători în amplasament. În celelalte cazuri inclusiv pentru barajele existente se pot folosi date din literatura de specialitate sau din recomandările cuprinse în prezentul capitol.

(3) Rezultatele unor studii cuprinzătoare de evaluare experimentală a rezistențelor la alunecare și întindere pe suprafețe potențiale de alunecare din corpul barajelor de beton și de pe interfața cu fundația efectuată în S.U.A și alte țări, sunt prezentate în continuare ca bază de date pentru eventuala lor utilizare.

(4) Rezistența la întindere poate fi determinată prin teste directe de întindere (metoda braziliană) sau teste de încovoiere. În general, testele directe de întindere sunt cele mai recomandate pentru suprafețe plane așa cum sunt rosturile dintre lamele și interfața beton-rocă, pentru că testele de despicare

la întindere a unei carote pot să conducă la rupere într-un plan longitudinal care să nu coincidă cu suprafața rostului investigat. De asemenea rezistențele la întindere determinate prin metoda despicării sunt uzual mai mari și mai împrăștiate decât cele determinate prin metoda directă. Testele de întindere directă sunt mai dificil de realizat și nu sunt standardizate. În consecință, rezultatele testelor de despicare sau de încovoiere vor fi corectate cu un factor egal cu 0.9 pentru a estima rezistența la întindere axială.

(5) Rezultatele care se prezintă în continuare au fost obținute din încercarea a 107 carote cu diametre de la 50 la 250 mm extrase din betoane de baraje cu vârsta între 1 și 75 de ani.

(6) În figura 6-1 se prezintă histograma rezistențelor la întindere pe rosturile dintre lamelele barajelor de greutate din beton. Rezistența medie la întindere pe rosturi este de 1.2 MPa, corespunzând la circa 80...90% din rezistența betonului monolit. În circa 60% din teste ruperea s-a produs în alte secțiuni decât cele ale rosturilor. În asemenea cazuri rezistența la întindere pe rosturi a fost subestimată. Nu a fost găsită nici o corelație evidentă între rezistența pe rosturile dintre lamele și vârsta betonului.

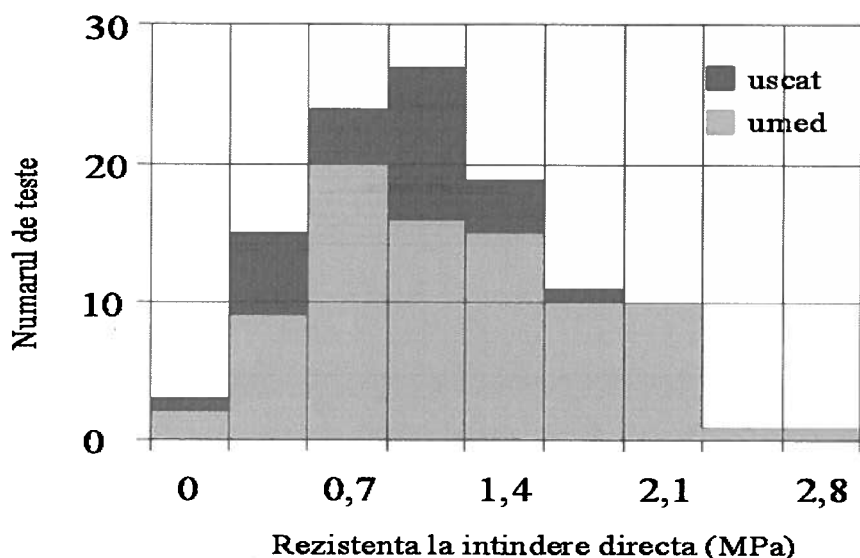
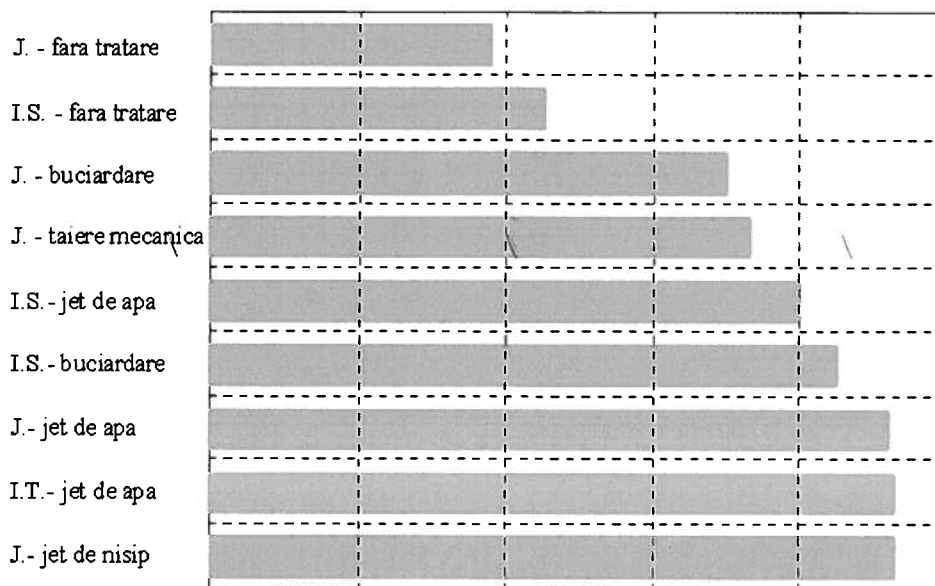


Fig. nr.6-1 Histogramă a rezistențelor la întindere pe rosturile dintre lamelele barajelor de beton.



J. - barajul JUPIA, I.S. - barajul ILHA SOLTEIRA, I.T. - barajul ITUMBIARA, Rezistenta la intindere (procent din valoarea in betonul monolit) DOZAJUL DE COMENT = 112-160 Kg/mc beton (ciment+cenusa zburatoare)

Fig. nr.6-2 Rezistența la întindere pe rosturile dintre lamelele barajelor de beton în funcție de tipul de tratare a rosturilor

(7) Rezultatele unor teste de rezistență la întindere pe rosturile dintre lamele efectuate la trei baraje de beton pe durata construcției lor (1962...1988) sunt ilustrate în figura nr.6-2. Rezultatele evidențiază influența tipului de tratare a rostului asupra rezistenței lui, respectiv: netratat, tratare mecanică, cu jet de aer sub presiune, cu jet de nisip sub presiune, cu sau fără mortar de legătură, cu suprafața rostului plană sau rugoasă. Testele au fost realizate pe diferite tipuri de probe (carote cilindrice cu diametre de 200...250 mm, blocuri de beton cu suprafața de 0,40 x 0,40 m² și cu diferite metode (despicare, întindere directă, încovoiere).

(8) În baza rezultatelor din figura nr. 6-2 se desprind următoarele concluzii:

- rezistența la întindere pe rosturile netratate corespunde la 40...80% din rezistența betonului monolit (procentul cel mai mic corespunde rosturilor fără mortar de legătură);
- rezistența la întindere pe rosturile tratate corespunde la 50...100% din rezistența betonului monolit (procentul cel mai mic corespunde rosturilor fără mortar de legătură).

(9) Tratarea cu jet de apă sub presiune are efecte similare cu tratarea cu jet de nisip sub presiune iar îndepărtarea laptelui de ciment de pe suprafața lamelei pentru formarea unei suprafețe rugoase are efecte similare cu tratarea cu jet de apă sub presiune.

(10) În cazul proiectelor de noi baraje este obligatoriu tratarea rosturilor dintre lamele cu jet de apă + aer sub presiune de 2...4 atmosfere imediat după terminarea prizei și începerea procesului de întărire a betonului. În cazurile când din diverse motive nu s-a putut efectua tratarea cu jetul de apă + aer la momentul oportun, se va recurge la buciardarea suprafeței rosturilor pentru realizarea unei suprafețe

rugoase a lamelei în care agregatul mare să fie la zi cu circa 5 mm. Înainte de începerea betonării unei noi lamele, pe stratul suport se va întinde un strat de mortar de legătură cu grosimea de 2 cm.

(11) Rezistența la întindere pe rosturile tratate în condițiile menționate mai înainte se va considera de maximum 90% din rezistența betonului monolit.

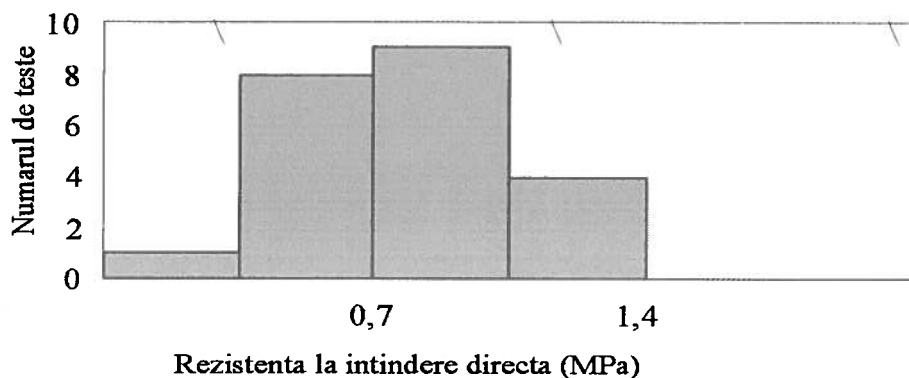


Fig. nr.6-3 Histogramă a rezistențelor la întindere pe interfața baraj-fundație

(12) Histograma rezistențelor la întindere pe interfața baraj-rocă determinate pe 74 carote cu diametre de 50...120 mm extrase de la baraje cu vârste cuprinse între 30-80 de ani se prezintă în figura 6-3. Rezistența medie la întindere pe interfața baraj-rocă este de 0.8 MPa corespunzând la circa 50...60% din rezistența betonului monolit. Domeniul de variație al rezistențelor la întindere pe contact a variat de la 0.30 MPa la 1.30 MPa.

(13) În cazul proiectelor noi tratarea terenului de fundare va consta din îndepărtarea zonelor de rocă fracturată, a petelor galbene de argilă și roșii de pirită, spălarea succesivă cu jet de apă + aer sub presiune la 2...4 atmosfere și în final evacuarea apei din intrândurile din masa de rocă. Înainte de începerea betonării pe stratul de rocă suport se va întinde un strat de mortar cu grosimea de 2 cm.

(14) Rezistența la întindere pe interfața baraj-fundație în cazurile în când operațiile tehnologice menționate mai înainte au fost realizate cu conștiinciozitate se va considera de maximum 60% din rezistența betonului monolit.

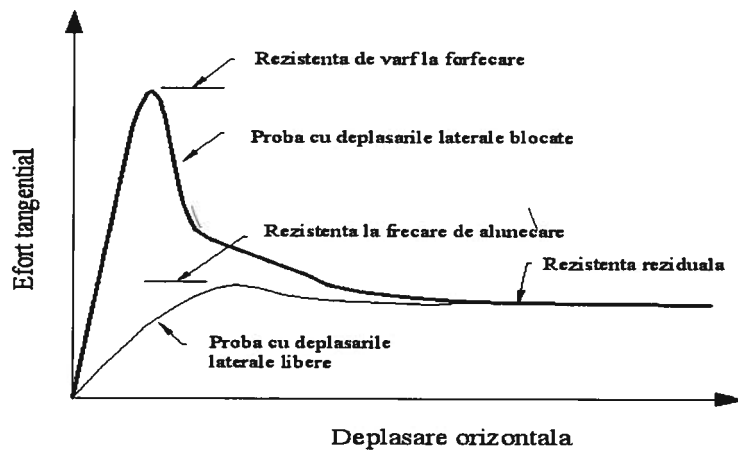


Fig. nr.6-4 Rezistența la forfecare pentru carote intacte și fisurate de-a lungul suprafeței cu rezistență redusă

(15) Curbele tipice privind rezistența la forfecare pe rosturile dintre lamele, interfața beton-rocă, suprafețe slabe în masivul de rocă care trebuie determinate din încercările de laborator pe carote sunt ilustrate în figura nr. 6-4. Carotele având o suprafață cu rezistențe mecanice mai reduse sunt considerate „lipite” (bonded) dacă ele sunt intacte și „nelipite”, dacă ele sunt fisurate de-a lungul planului cu rezistențe scăzute.

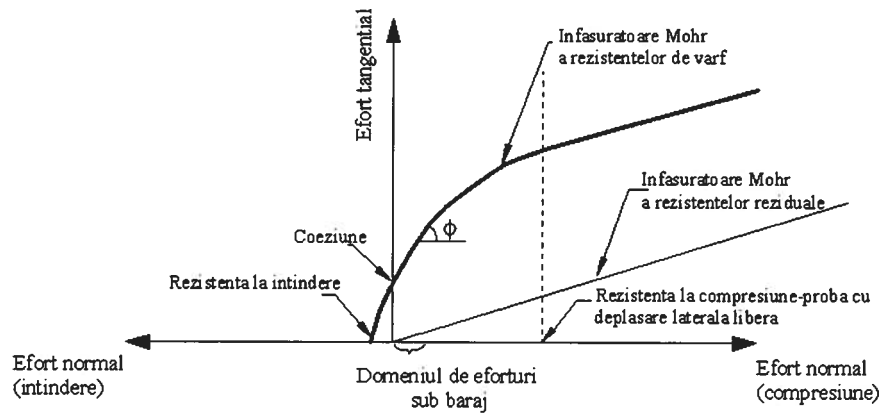


Fig. nr 6-5 Variația rezistenței la forfecare (τ) funcție de efortul normal (σ_n).

(16) Rezistența la forfecare pe rosturile dintre lamele și pe interfața beton-rocă se va exprima funcție de criteriul de rupere Mohr-Coulomb bazat pe coeziune (c) și unghi de frecare internă (ϕ) (fig. nr. 6-5). Relația reală între rezistența de forfecare de vârf și efortul normal este curbă pentru că ϕ nu este constant.

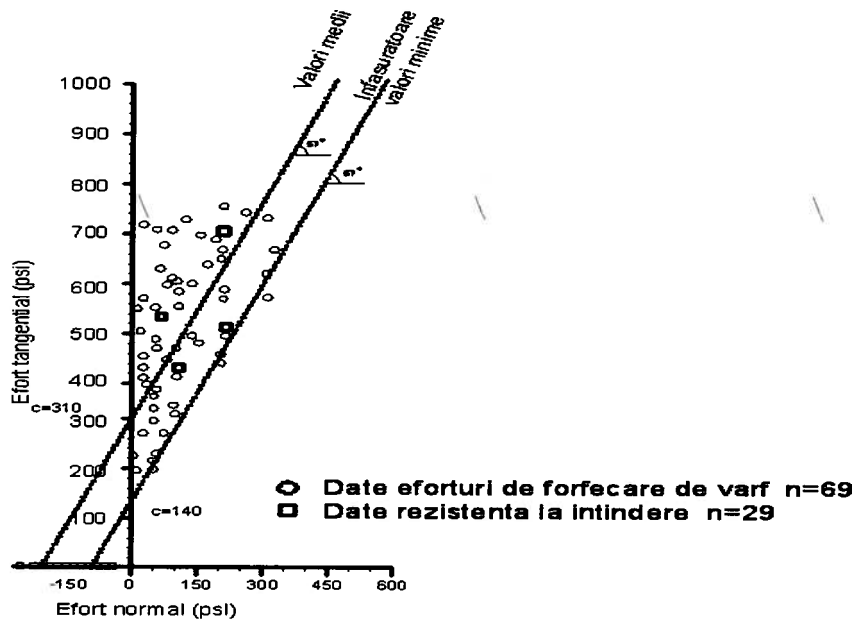


Fig. nr.6-6 Rezistența la forfecare de vârf pe rosturile dintre lamele (1 psi = 70.32 kPa)

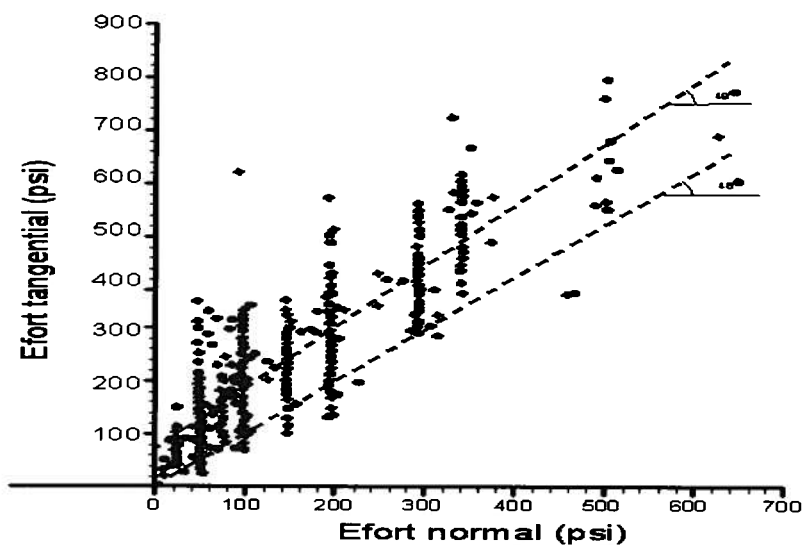


Fig. nr.6-7 Rezistența la forfecare reziduală pe rosturile dintre lamele (1 psi=70.32 kPa)

(17) În figurile nr.6-6 și 6-7 se prezintă rezultatele unor teste de determinare pe carote a rezistenței pe rosturile dintre lamele la forfecare de vârf și respectiv reziduală. Carotele au fost prelevate în perioada 1978-1992 de la 10 baraje construite în perioada 1906-1973. Ele au fost încercate după procedurile standard. Au fost încercate în total 223 carote (69 lipite, 154 nelipite). Concluziile testelor au fost următoarele :

Rezistența la forfecare de vârf (69 rosturi lipite) (fig. nr.6-6);

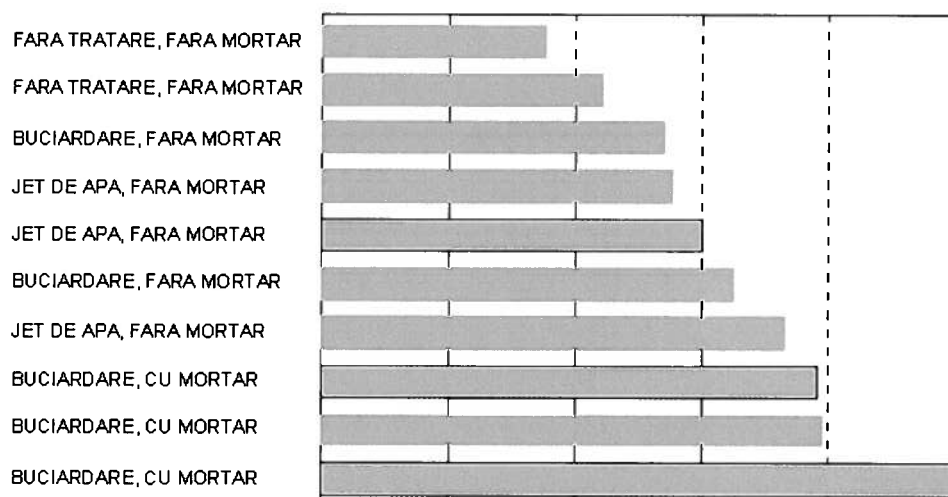
- a) valori medii : $\phi = 57^0$, c = 2.1 Mpa.
 b) valori la limita inferioară (90% din rezultate) $\phi = 57^0$, c = 1.0 MPa.

Rezistența la forfecare reziduală (154 rosturi nelipite) (fig. nr.6-7) :

- a) valori medii (linia dreaptă) $\phi = 49^0$, c = 0.5 MPa (coeziune aparentă).
 b) valori medii (două linii drepte) $\phi = 68^0$, c = 0 MPa pentru $\sigma_n \leq 0.3$ MPa.
 $\phi = 49^0$, c = 0.5 MPa pentru $\sigma_n \geq 0.3$ Mpa.
 c) valori la limita inferioară (90% din rezultate) $\phi = 48^0$, c = 0 MPa.

(18) În cazul carotelor nelipite coeziunea aparentă este rezultatul asperităților mici cu unghiuri mari pe suprafața fisurată. Ea poate rezulta dacă o înfășurătoare liniară de cedare este folosită. În cazul eforturilor normale reduse o înfășurătoare biliniară este mai adecvată.

TIPUL DE TRATARE



REZISTENTE LA FORFECARE (procente din valoare in betonul monolit)

DOZAJUL DE COMENT = 134 Kg/m³ beton Granula maxima = 152 mm

Fig. nr.6-8 Rezistența la forfecare pe rosturile dintre lamele în funcție de modul de tratare a rostului

(19) Rezistența la forfecare ca procent din rezistența la forfecare a betonului monolit funcție de modul de tratare a rostului dintre lamele se prezintă în figura nr.6-8. Determinările au fost făcute pe carote de 250 mm prelevate din rosturile de la barajul Itaipu. Concluziile asupra rezistențelor de forfecare pe rosturile dintre lamele au fost următoarele :

- a) rosturi netratate: 40% din rezistența betonului monolit ;
 b) rosturi tratate: 50...100% din rezistența betonului monolit (cele mai mici valori s-au înregistrat în cazul absenței stratului de mortar)

(20) În tabelul nr.6-1 sunt date rezistențele la forfecare pe interfața beton-rocă rezultate în urma unui program experimental derulat la LNEC – Lisabona în 1964. Circa 70 de blocuri de beton de 70 x 70

x 35 cm au fost turnate pe 6 amplasamente diferite de baraje pe diferite tipuri de rocă. Toate încercările pe teren au fost realizate în condiții similare. Multe din rocile din testări aveau un grad ridicat de alterare. Cele mai multe ruperi s-au produs prin alunecare în roca de fundație de-a lungul unor suprafețe paralele cu interfața baraj-fundație. În consecință parametrii prezentați în tabel subestimează rezistența reală la forfecare pe interfața beton-rocă.

Tabelul nr.6-1

Tipul de rocă / Denumirea barajului	Numărul de teste	Parametrii de forfecare	
		Coeziunea c MPa	Unghiul de frecare internă ϕ^0
Granit alterat/Alto Rabagao	8	0.2	56 ⁰
Șisturi/ Bemposta	8	0.2	60 ⁰ -63 ⁰
Șisturi/Valdecanas	3	0.4	62 ⁰
Șisturi/ Miranda	16	0.4...0.7	60 ⁰ -62 ⁰
Șisturi/ Alcantara	28	0.1	56 ⁰
Gresii/Cambambe	4	0.2	53 ⁰

(21) Studii aprofundate asupra rezistenței la forfecare pe contactul baraj-fundație au fost efectuate în S.U.A. în perioada 1978-1992 pe baraje construite în perioada 1912-1965. În total au fost încercate după proceduri similare standard 65 de carote cu diametre de la 50 mm la 150 mm corespunzând la opt tipuri de roci din fundație. De asemenea în date sunt incluse rezultatele a două încercări la scară mare efectuate în teren. În tabelele nr.6-2 și 6-3 sunt prezentate rezultatele încercărilor atât pentru rezistența de forfecare de vârf cât și rezistența de forfecare reziduală. Concluziile au fost următoarele:

Rezistența la forfecare de vârf :

- a) unghiuri de frecare $\phi = 54^0 \dots 68^0$
- b) coeziune pentru majoritatea tipurilor de rocă $c=1.3\dots 1.9$ MPa (media 1.7 MPa)
- c) coeziune pentru șisturi $c = 0.1$ MPa

Rezistența la forfecare reziduală

- a) unghiuri de frecare $\phi = 24^0 \dots 30^0$
- b) coeziune $c= 0.0\dots 0.2$ MPa (media 0.1 MPa)

(22) Rezultatele obținute în cele două teste în situ la scară mare s-au situat la limita superioară a valorilor determinate pe carote în laborator atât în privința rezistenței de forfecare de vârf cât și a rezistenței reziduale.

Tabelul nr. 6-2

Rezistențe la forfecare de vârf pe interfața beton-rocă

Tipul rocii de contact	Numărul de teste	Rezultate medii			Rezultate la limita inferioară	
		Coeziune MPa	Unghi de frecare Φ^0	Coefficient de corelație	Coeziune MPa	Unghi de frecare Φ^0
Granit	6	1.26	54	0.84	0.66	53
Granit-gnais	4	1.30	57	0.87	0.48	57
Calcar/dolomit	9	1.92	68	0.49	1.14	68
Filite	3	1.66	62	0.84	0.48	62
Gresii	15	1.79	65	0.80	0.34	65
Șisturi	9	0.12	60	0.79	0	48

Tabelul nr. 6-3

Rezistențe la forfecare reziduală pe interfața beton-rocă

Tipul rocii de contact	Numărul de teste	Rezultate medii			Rezultate la limita inferioară	
		Coeziune MPa	Unghi de frecare Φ^0	Coefficient de corelație	Coeziune MPa	Unghi de frecare Φ^0
Granit	6	0.08	35	0.93	0	32
Granit-gnais	4	0.03	34	0.99	0	31
Calcar/dolomit	12	0.12	35	0.58	0	23
Filite	5	0	39	0.89	-	-
Gresii	46	0.18	29	0.60	0	27
Șisturi	13	0	34	0.75	0	13
Gresii prăfoase	13	0.11	24	0.83	0	22

(23) Datele experimentale prezentate mai înainte asupra rezistențelor la forfecare și întindere pe suprafețele potențiale de alunecare reprezintă o bază de date care se vor folosi pentru stabilirea parametrilor de calcul (ϕ , c) în situațiile când normativul nu impune ca ei să fie determinați pe bază de experimente în laborator și măsurători în amplasament.

7. Combinații de încărcări pentru evaluarea stabilității la alunecare

(1) Combinațiile de încărcări pentru evaluarea stabilității la alunecare, se stabilesc conform prevederilor Normativului privind stabilirea încărcărilor și a grupărilor de încărcări pentru construcții hidrotehnice de retenție. Indicativ NP 130-2013.

(2) Combinațiile de încărcări pentru evaluarea stabilității la alunecare prevăzute în acest normativ sunt obligatorii dar nu limitative. Proiectantul are responsabilitatea de a verifica stabilitatea la alunecare a barajelor de beton, a terenului de fundare și a versanților din amplasamentul barajelor și lacurilor de acumulare și la alte combinații de încărcări pe care le consideră necesare pentru a îndeplini condițiile de siguranță a construcției:

(3) Acțiunile asupra sistemului unitar baraj de beton-teren de fundare se clasifică în următoarele categorii:

- *Permanente (P)* - acțiuni pentru care variația în timp a mărimii este neglijabilă sau pentru care variația este mereu în aceeași direcție (monotonă) până când acțiunea atinge o anumită valoare limită.

- *Temporare (T)* - acțiune cu o intensitate variabilă în timp sau în mod intermitent și care în anumite perioade poate să lipsească. Ele pot fi:

Cvasipermanente de lungă durată (C) – acțiune care se aplică pe durate lungi sau în mod frecvent cu intensități variabile sau practic egale cu valoarea caracteristică.

Variabile de scurtă durată (V) – acțiune a cărei intensitate variază sensibil în timp sau care poate lipsi pe intervale lungi de timp.

- *Excepționale (E)* – acțiune care are intensități semnificative dar care apare rar eventual chiar niciodată pe durata de exploatare a construcției hidrotehnice

(4) Evaluarea stabilității la alunecare se face conform cl. stări limită care includ:

a) stări limită ultime care implică securitatea oamenilor și/sau securitatea structurii; în unele cazuri în această categorie se includ și stări limită care implică protecția bunurilor;

b) stări limită de exploatare care implică funcționarea structurii sau a elementelor structurale în condiții normale de exploatare.

(5) Valoarea de calcul a unei acțiuni (încărcări) se determină prin înmulțirea valorii caracteristice cu coeficientul încărcării (γ). Valoarea caracteristică a unei acțiuni este o valoare reprezentativă a acesteia care trebuie specificată ca valoare medie, valoare superioară/inferioară sau valoare nominală. Valorile caracteristice ale încărcărilor și distribuțiile lor se determină conform prevederilor din normativul NP 130-2013.

(6) În tabelul nr.7-1 se prezintă coeficienții încărcării (γ, γ^{d*}) funcție de starea limită la care se face calculul și categoria grupărilor de încărcări (acțiuni) (γ^d - corespunde grupărilor de încărcări care includ mai multe încărcări temporare variabile de scurtă durată V).

Tabelul nr.7-1

Stări limită de calcul	Coeficientul încărcării	Verificările la care se utilizează
Stări limită ultime	γ	Verificări la stările limită ultime de rezistență și stabilitate în cazul grupărilor fundamentale
Stări limită de exploatare - încărcările se consideră de regulă cu valorile lor caracteristice; - în cazurile de grupări care includ mai multe încărcări temporare variabile de scurtă durată (V)	1.00 $\gamma^d < 1.00$	Verificări la stările limită unde intervin efecte de durată și verificări la acțiunea grupărilor speciale.

(7) În cazul încărcărilor permanente (P) valorile coeficienților încărcărilor „ γ ” se determină conform tabelului nr.7-2.

Tabelul nr.7-2

Nr.crt.	Tipul încărcării	γ^*	
		maxim	minim
1.	Greutatea proprie a construcției de retenție și a echipamentelor tehnologice	1.05	0.95
2.	Greutatea proprie a cămășuielii golirilor de fund sau a tunelelor de acces	1.10	0.90
3.	Greutatea umpluturilor	1.10	0.90
4.	Efectul precomprimării prin tensionarea ancorelor	1.10	0.90
5.	Eforturi inițiale la închiderea rosturilor	1.10	0.90

*) La determinarea valorilor de calcul limită ale acțiunilor pentru coeficientul încărcării „ γ ” se alege valoarea maximă sau minimă, astfel ca în cadrul grupării de încărcări să se obțină combinația cea mai defavorabilă.

(8) În cazul încărcărilor temporare cvasipermanente de lungă durată (C) valorile coeficienților încărcărilor „ γ ” se aleg conform tabelului nr.7-3

Tabelul nr.7-3

Nr.crt.	Tipul încărcării	γ
1.	Presiunea apei (hidrostatică din bieful amonte și bieful aval, subpresiunea, presiunea din infiltrația apei prin sistemul baraj-fundație, presiunea apei din conducte și galerii de golire, etc.) în condiții normale de exploatare.	1.00
2.	Împingerea activă a pământului	1.20
3.	Efectul variațiilor climatice de temperatură	1.10
4.	Încărcări tehnologice și încărcări utile	1.20*
5.	Tasări și deplasări neuniforme	1.20
6.	Încărcări produse de efectul deformațiilor împiedicate, fenomene de contracția betonului, umflarea betonului	1.10

*) Coeficientul încărcării „ γ ” corespunde numai pentru încărcări statice.

(9) În cazul încărcărilor temporare variabile de scurtă durată (V) valorile coeficienților încărcărilor „ γ ” și „ γ^d ” se aleg conform tabelului nr.7-4.

Tabelul nr.7-4

Nr.crt.	Tipul încărcării	γ^*	γ^{d*}
1.	Presiunea apei (hidrostatică, subpresiunea, presiunea din infiltrația apei prin sistemul baraj-fundație și din pori, presiunea în conducte și galerii de golire, etc.), în condițiile nivelului apei din bieful amonte corespunzător debitului maxim evacuat în condițiile normale de exploatare	1.00	1.00
2.	Presiunea hidrodinamică a apei asupra deversorului	1.00	1.00
3.	Împingerea gheții	1.00	0.60
4.	Presiunea datorită acțiunii valurilor	1.00	0.60
5.	Împingerea corpurilor plutitoare și a navelor	1.20	0.80

*) Coeficienții încărcărilor „ γ ” și „ γ^d ” corespund numai pentru încărcări statice.

(10) Valorile caracteristice ale încărcărilor (acțiunilor) cu caracter dinamic se vor determina prin metode de analiză dinamică (pseudostatică, modală, integrare în timp) în conformitate cu reglementările tehnice specifice, aplicabile, în vigoare.

(11) Acțiunile (încărcările) excepționale (E) care se includ numai în grupările speciale se consideră cu coeficientul încărcării $\gamma = 1$.

(12) Coeficienții încărcărilor pentru acțiuni (încărcări) care nu au fost specificați în tabelele 7-1...7-4 vor fi stabiliți în tema de proiectare odată cu valoarea caracteristică a acțiunilor.

(13) Stabilitatea la alunecare a structurii barajelor de beton și terenului de fundare se determină pe perioada de execuție și de exploatare. Stabilitatea la alunecare a versanților amplasamentului barajelor de beton se determină pe perioada de execuție și de exploatare în ipotezele lac plin și la variații rapide ale nivelului apei în acumulare. Stabilitatea la alunecare a versanților lacurilor de acumulare se determină pe perioada de exploatare în ipotezele umplerii lacului, lacului plin pe o perioadă îndelungată și variațiilor bruște ale nivelului în lacul de acumulare.

(14) Grupările de încărcări la care se fac calculele de stabilitate la alunecare sunt de două categorii:

- a) grupări fundamentale și
- b) grupări speciale

(15) În grupările fundamentale se includ: încărcările permanente (P) (greutatea proprie a barajului și a echipamentelor tehnologice, greutatea leșturilor pentru asigurarea stabilității, forțelor din precomprimări, eforturile inițiale la închiderea rosturilor), încărcări cvasipermanente de lungă durată (C) a căror acțiune simultană este posibilă (presiunea apei în condiții normale de exploatare cu lacul la

NNR, împingerea activă a pământului), încărcări temporare de scurtă durată (V) a căror acțiune simultană cu a celor cvasipermanente este posibilă (împingerea gheții).

(16) În grupările speciale se includ: încărcările permanente (P), încărcări cvasipermanente de lungă durată (C), încărcări temporare de scurtă durată (V) și o singură încărcare excepțională (E) (presiunea apei pentru nivelul maxim din bieful amonte în condiții speciale de exploatare, presiunea apei de infiltrație inclusiv subpresiunea pe talpa barajului în cazul nefuncționării normale a lucrărilor de etanșare și drenaj, acțiunea seismică OBE și SEE). Incluziunea încărcărilor C, V, E într-o grupare specială se bazează pe posibilitățile de producere simultană a lor.

(17) Încărcările temporare cvasipermanente de lungă durată (C) și temporare variabile de scurtă durată (V) a căror acțiune simultană este posibilă se iau în considerare atunci când efectele lor sunt defavorabile pentru calculul la starea limită respectivă.

(18) În cazurile când într-o grupare de încărcări se includ mai multe încărcări variabile de scurtă durată (V), valorile lor de calcul se obțin din valorile caracteristice corectate cu coeficienții de încărcare γ^d din tabelul nr.7-4.

(19) Grupările de încărcări se includ în relațiile de calcul specifice pentru evaluarea stabilității la alunecare a structurii, terenului de fundare și a versanților barajelor de beton și lacurilor de acumulare.

(20) În cazul unor construcții de retenție de importanță deosebită (clase de importanță I sau II, categorii de importanță A sau B) se pot stabili prin tema de proiectare și alte grupări de încărcări pe baza unor justificări tehnice corespunzătoare.

8. Stabilitatea la alunecare la încărcări statice și seismice

(1) Stabilitatea la alunecare a barajelor de greutate, evidate și cu contraforți se verifică de-a lungul unor suprafețe slabe din corpul barajelor (interfața dintre lamele), pe contactul baraj-fundație și pe suprafețe slabe din terenul de fundare. În cazul barajelor de greutate calculele de stabilitate se pot face pentru 1 ml în lungul coronamentului sau pentru un bloc. În cazul barajelor evidate și cu contraforți calculele de stabilitate se fac pentru un bloc. În figura nr.8-1 se prezintă suprafețele critice de alunecare (S-S, S'-S', S''-S'') pentru diverse moduri de alcătuire a fundației.

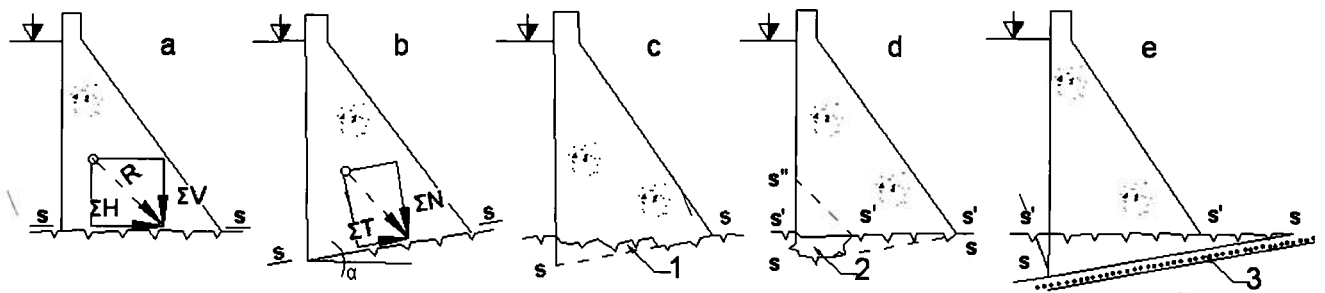


Fig. nr.8-1- Suprafețe critice de alunecare ($S-S$, $S'-S'$, $S''-S''$) pentru diverse moduri de alcătuire a fundației: a – orizontală, b – înclinată, c – în trepte înclinate spre amonte, d – cu pinten, e – strat slab în terenul de fundare: 1 – trepte înclinate, 2 – pinten, 3 – strat slab (falia umplută cu argilă).

(2) În cazul suprafețelor de alunecare orizontale (fig. nr.8-1 a) relația de evaluare a stabilității la alunecare are forma :

$$k \sum H = f \sum V \quad (8-1)$$

unde k este coeficientul de siguranță la alunecare, $\sum H$ – suma forțelor orizontale care activează pe suprafața de alunecare, f – coeficientul de frecare pe suprafața de alunecare, $\sum V$ – suma forțelor verticale care acționează pe suprafața de alunecare.

(3) În cazul suprafețelor de alunecare înclinate (fig. 8-1b) relația de evaluare a stabilității la alunecare are forma:

$$k \sum T = f \sum N \quad (8-2)$$

unde $\sum T$ este suma forțelor tangențiale pe suprafața de alunecare și $\sum N$ suma, forțelor normale pe suprafața de alunecare.

(4) Dacă se consideră în mod simplificat că în cazurile ilustrate în figura 8-1, rezultanta forțelor R rămâne constantă, se obține:

$$\begin{aligned} \sum T &= \sum H \cos \alpha - \sum V \sin \alpha \\ \sum N &= \sum H \sin \alpha + \sum V \cos \alpha \end{aligned} \quad (8-3)$$

unde α este înclinarea spre amonte a suprafeței de alunecare, iar relația (8-2) devine:

$$k (\sum H \cos \alpha - \sum V \sin \alpha) = f (\sum H \sin \alpha + \sum V \cos \alpha) \quad (8-4)$$

care după prelucrări se poate scrie sub forma:

$$k \frac{\sum H}{\sum V} - \operatorname{tg} \alpha = f \quad (8-5)$$

$$1 + \frac{\sum H}{\sum V} \operatorname{tg} \alpha$$

(5) Suplimentar față de relațiile 8-1 și 8-2, stabilitatea la alunecare pe suprafețele cu risc de alunecare va fi evaluată și cu considerarea coeziunii (c) pe partea de arie comprimată a suprafeței de alunecare (A_c) și aplicând coeficienți de siguranță diferențiați pentru forța de rezistență datorită frecării ($f \sum V$) și forța de rezistență datorită coeziunii ($c \cdot A_c$). Relația de verificare are forma:

$$\sum H \leq \frac{f \sum V}{k_1} + \frac{c A_c}{k_2} \quad (8-6)$$

sau în cazul suprafețelor de alunecare înclinate

$$\sum T \leq \frac{f \sum N}{k_1} + \frac{c \cdot A_c^i}{k_2} \quad (8-7)$$

unde k_1 și k_2 sunt coeficienții de siguranță la alunecare față de forța de rezistență datorită frecării și respectiv față de forța de rezistență datorită coeziunii, A_c^i este aria comprimată a suprafeței de alunecare înclinate.

(6) În cazul proiectelor noi de baraje încadrate în clase de importanță I și II sau categorii de importanță A și B verificarea stabilității la alunecare pe suprafețele cu risc de alunecare se va face și prin metoda elementelor finite (MEF) pentru ansamblul unitar discretizat baraj-teren de fundare.

(7) Coeficientul de frecare (f) sau unghiul de frecare (ϕ) corespunde raportului între rezistența reziduală (τ_r) și efortul normal (σ_n) pe suprafața de alunecare (fig. nr.6-4, nr.6-5, nr.8-2 și nr.8-3), respectiv :

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\tau_r}{\sigma_n} \quad (8-8)$$

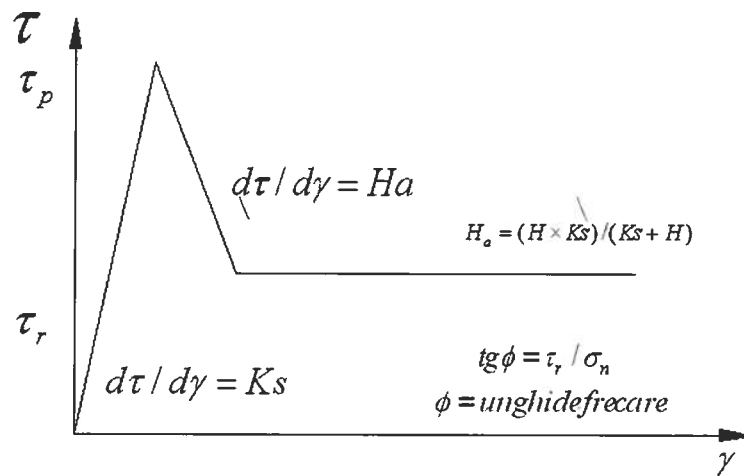


Fig. nr.8-2. Model constitutiv idealizat pentru eforturile de forfecare.

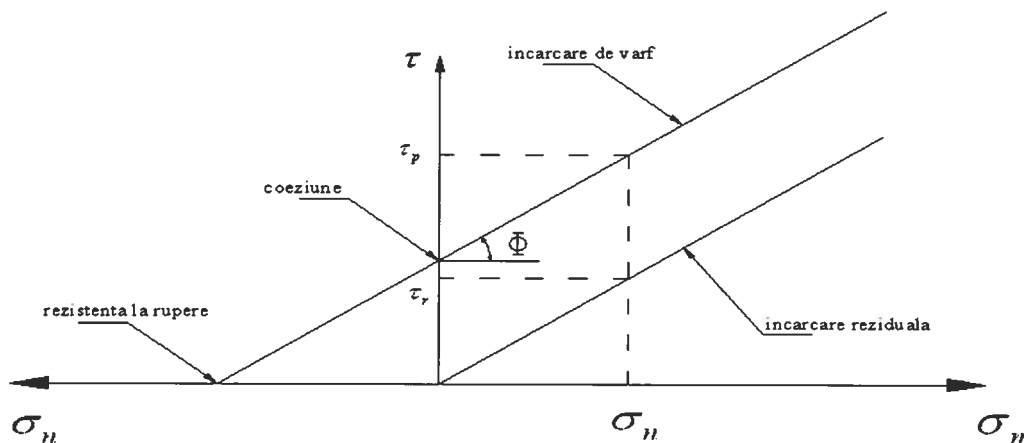


Fig.nr.8-3. Domeniile rezistențelor idealizate în planul σ_n - τ .

(8) În cazul proiectelor noi de baraje încadrate în clase de importanță I și II sau categorii de importanță A și B coeficientul de frecare (unghiul de frecare ϕ) și coeziunea (c) se vor determina pe baza unor încercări de rezistență la forfecare pe suprafețele potențiale cu risc de alunecare din amplasament sau a unor experimente în laborator. În celelalte cazuri se pot folosi datele din prezentul normativ (capitolul 6) sau alte date din literatura consacrată domeniului (Buletine ICOLD, Rapoarte ale Clubului European al ICOLD etc).

(9) În cazul unor studii preliminare se pot accepta următoarele valori orientative pentru coeficientul de frecare f (unghiul de frecare ϕ) și coeziune (c):

- a) terenuri stâncoase: roci eruptive 0.65...0.75;

- roci sedimentare (calcare, gresii) 0.50...0.65 ;
- b) terenuri semistâncoase: marne, șisturi argiloase etc. 0.30...0.50;
- c) terenuri nestâncoase: pietrișuri și bolovănișuri cimentate 0.50; pământuri nisipoase 0.40...0.50; argile 0.20...0.30;
- d) eforturi de coeziune (c) (aderență) pe interfața beton-rocă de fundație 100...3000 kPa.

(10) Efectele tridimensionale favorabile în îndeplinirea condițiilor de stabilitate la alunecare pot fi luate în considerație mai ales în evaluarea stabilității la alunecare a barajelor existente în următoarele cazuri:

- a) baraje arcuite sau baraje de greutate ușor arcuite;
- b) s-au prevăzut măsuri constructive de conlucrare între blocurile (ploturile) de beton: rosturi injectate, rosturi verticale șicanate, rosturi verticale tridimensionale (helicoidale etc);
- c) deformațiile laterale ale blocurilor prin efecte termice sezoniere (creșteri de temperatură) sau datorită unor eforturi verticale de compresiune importante care pot contribui la activarea efectelor tridimensionale chiar în cazul rosturilor plane de contracție dintre blocuri;
- d) fenomene de umflare a betoanelor, prezente mai ales la unele baraje vechi datorită reacțiilor AAR (alcalii-silicați, alcalii-carbonați).

(11) Acțiunea seismică în evaluarea stabilității la alunecare a barajelor de beton se va considera conform prevederilor Normativului de proiectare, execuție și evaluare la acțiuni seismice a lucrărilor hidrotehnice din frontul barat. indicativ NP 076-2013.

- a) În cazul barajelor de beton încadrate în clasele de importanță III, IV și V sau categoriile de importanță C și D verificarea stabilității la alunecare se face pentru un singur nivel de intensitate al cutremurului de proiectare, respectiv cutremurul de bază de exploatare (OBE).
- b) În cazul barajelor de beton încadrate în clasele de importanță I și II sau categorii de importanță A și B verificarea stabilității la alunecare se face pentru două niveluri de intensitate a cutremurului de calcul, respectiv cutremurul de bază de exploatare (OBE) și cutremurul de evaluare a siguranței (SEE).

(12) Acțiunea seismică la nivel OBE se va considera uzual prin forțele inerțiale din masa barajului și forțele hidrodinamice induse de cutremur pe paramentul amonte al barajului. Forțele seismice pot fi determinate prin metoda pseudostatică sau prin analiză spectrală. Evaluarea stabilității la alunecare se va face prin metoda echilibrului limită.

(13) În cazul barajelor de beton încadrate în clasele de importanță I și II sau categoriile de importanță A și B metoda echilibrului limită se va aplica numai în fazele inițiale ale proiectului (prefezabilitate, fezabilitate). În fazele de proiect final acțiunea OBE se va evalua pe bază de analiză dinamică prin integrare numerică în timp în sistemul unitar baraj-teren de fundare – lac de acumulare discretizat în elemente finite și interpretarea stării de eforturi la combinația de încărcări care include OBE.

(14) Acțiunea seismică la nivel SEE se va considera prin deplasările de alunecare remanente pe care le produce (de exemplu cu metoda Newmark) și evaluarea degradărilor induse de cutremur pe bază de analiză dinamică în sistemul baraj – teren de fundare – lac de acumulare discretizat în elemente finite la combinația de încărcări care include SEE. În cazul unor avarii importante, după cutremur se va verifica îndeplinirea condițiilor de stabilitate la alunecare prin metoda echilibrului limită de către

structura avariata, la combinatia de incarcari fundamentale in ipoteza $c=0$, in vederea realizarii unor eventuale lucrari de consolidare sau restrictiunii nivelului de exploatare a acumularii.

(15) Combinatiile de incarcari la care se fac evaluari ale stabilitatii la alunecare pe suprafetele cu risc de alunecare din ansamblul baraj de beton – teren de fundare au fost prezentate in capitolul 7. Coeficientii de siguranta minimi de stabilitate la alunecare care trebuie indepliniti depind de ipotezele in care se efectueaza calculele si sunt prezentati in tabelele nr. 8-1 si 8-2.

Tabelul nr.8-1
Coeficienti de siguranta la alunecare in cazul $c=0$

Tipul gruparii	Coeficientul de siguranta la alunecare k	
	Baraje clasa I, II categoria A, B	Baraje clasa III, IV, V Categoria C, D
Grupari fundamentale	1.4	1.3
Grupari speciale	1.1	1.05

Tabelul nr.8-2

(16) Siguranta la alunecare prin reducerea fortelor de frecare si coeziune in cazul $c \neq 0$

Tipul gruparii	Factorul de reducere a fortei de frecare (k_1)		Factorul de reducere a fortei de coeziune (k_2)	
	Baraje clasa I,II Categoria A,B	Baraje clasa III, IV, V Categoria C,D	Baraje clasa I, II Categoria A,B	Baraje clasa III, IV, V Categoria C,D
Grupari fundamentale	1.5	1.4	5	4
Grupari speciale	1.2	1.1	4	3

(17) In cazurile cand actiunea seismică a fost evaluata prin metodele analizei spectrale sau analizei dinamice, coeficientii de siguranta la grupari speciale (k) din Tabelul nr. 8-1 pot fi reduși cu maximum 5%.

9. Stabilitatea terenului de fundare și a versanților

(1) Verificările stabilității la alunecare a terenului de fundare și versanților se vor face în adâncimea fundației (versanților) dacă există planuri structurale slabe (falii, diaclaze, brecii etc), roci slabe, fisuri cu unghiuri reduse față de orizontală, suprafețe expuse ca urmare a unor eroziuni regresive din aval.

(2) Evaluarea stabilității la alunecare se va face prin metoda echilibrului limită cu aplicarea relațiilor de calcul prezentate în capitolele 7 și 8. Coeficienții de siguranță minimi care trebuie îndepliniți în calculele de stabilitate la alunecare pe interfața beton-rocă sunt valabili și pentru calculele de stabilitate la alunecare a terenului de fundare și versanților. Rezistența la forfecare pe planurile de discontinuitate din terenul de fundare care se consideră în calculele va fi rezistența reziduală ($\varphi = \varphi_r, c = 0$).

(3) Rezistența masivului de rocă din aval care se mobilizează împotriva alunecării poate fi considerată în calcule dacă este importantă, dar numai până la valorile împingerii pământului în stare de repaus. În cazul stării de deformație plane, presiunea mobilizată (p_m) în stare de repaus asupra unei structuri rigide cu parametru vertical se determină cu relația :

$$p_m = \gamma'_r \cdot y \frac{\mu}{1 - \mu} \quad (9-1)$$

unde $\gamma'_r = \gamma_r - \gamma (1-n)$ cu γ'_r - greutatea volumetrică a rocii în stare submersată, γ_r - greutatea volumetrică a rocii în stare uscată, γ - greutatea volumetrică a apei, n - porozitatea rocii; y - nivelul apei în aval considerat a fi cel puțin la nivelul terenului; presiunea hidrostatică a apei din aval se consideră până la nivelul suprafeței pe care se face calculul de stabilitate la alunecare; μ - coeficientul Poisson.

(4) Aplicarea metodei elementelor finite pentru calculul stării de deformații și eforturi respectiv a stabilității la alunecare pe suprafețele vizate din ansamblul baraj-teren de fundare este opțională dar recomandată mai ales în cazul barajelor de clase de importanță I și II sau categorii de importanță A și B.

(5) Calculele de stabilitate tridimensională la alunecare ale versanților barajelor și lacurilor de acumulare se vor efectua pe volume de rocă decupate din versanți în funcție de suprafețele geologice de separare din masivul de rocă (stratificații, șistuoziități, falii, diaclaze, brecii, fisuri etc). Alunecarea de-a lungul unor suprafețe sau muchii din volumul decupat trebuie să fie posibilă cinematic.

(6) Încărcările care se consideră pentru calculul stabilității la alunecare a volumului de rocă decupat sunt următoarele: greutatea proprie a volumului de rocă, împingerea transmisă din baraj (dacă este cazul), forțe provenite din infiltrații pe toate fețele volumului. După caz se pot de asemenea considera forțele inerțiale seismice. Verificările la alunecare se fac succesiv pe fiecare suprafață și muchie care prezintă risc de a produce desprinderea volumului de rocă decupat din masiv. Metoda de calcul care se aplică este a echilibrului limită.

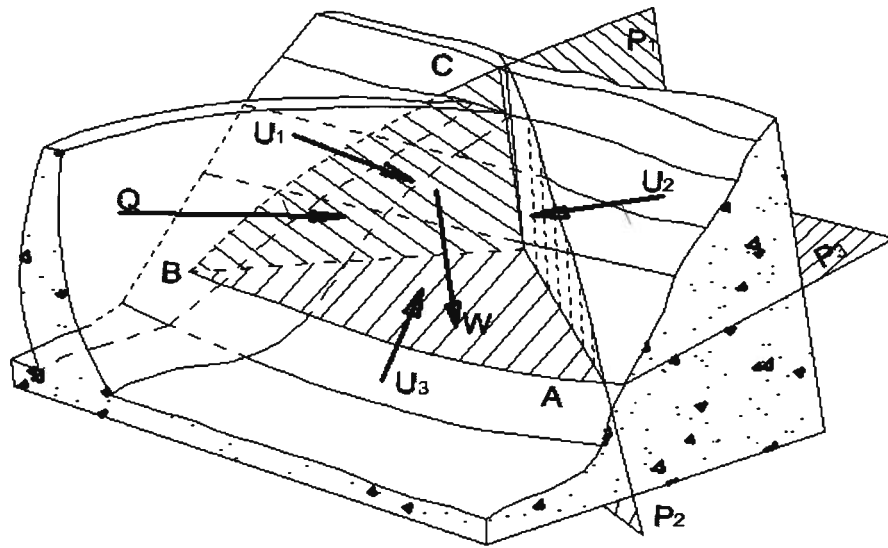


Fig.nr.9-1 Model tridimensional de analiză a stabilității versanților în amplasamentul barajelor arcuite (Londe, 1973): OABC – tetraedru; P_1, P_2, P_3 - planele de separare geologică, U_1, U_2, U_3 - forțe din presiunea apei de infiltrație, W – greutatea proprie, Q – rezultanta împingerilor din baraj.

(7) În figura nr.9-1 pentru exemplificare se prezintă un model tridimensional de analiză a stabilității la alunecare a unui tetraedru decupat din zona nașterilor unui baraj arcuit.

(8) Coeficienții de siguranță la alunecare tridimensională care trebuie realizați pe planurile sau muchiile de separare ale volumului de rocă verificat trebuie să se încadreze în domeniul 1.6...2.0 la combinațiile de încărcări fundamentale și 1.25...1.50 la combinațiile de încărcări speciale.

10. Tratarea terenului de fundare pentru îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice

(1) Terenul de fundare al barajelor de beton trebuie să preia încărcările transmise de baraj, lac și structurile adiacente în condiții de siguranță pentru întreg sistemul unitar baraj-lac de acumulare-teren de fundare.

(2) Lucrările de excavații pentru profilarea fundațiilor realizate cu explozivi se vor face cu cantități limitate de explozivi pentru a proteja de degradări roca de fundație.

(3) În lucrările de excavații se recomandă aplicarea unor tehnologii de forare și împușcare care să conducă la obținerea unor suprafețe excavate cât mai conforme cu proiectul. O astfel de tehnologie este de excavații prin predecupaj.

(4) Excavațiile de finisaj (0.50...1.00 m deasupra liniei definitive barajului) se vor face fără folosire de explozibil întotdeauna când este posibil (dacă tăria rocii nu impune folosirea de explozibil pentru dizlocare).

(5) Terenurile de fundare alcătuite din roci sensibile la degradare în contact cu aerul și apa (șisturi argiloase, calcare cretacice, argilite și gresii) excavate la cota definitivă vor fi protejate prin așternerea unui strat de mortar de protecție de 2...3 cm grosime, dacă nu este posibil să fie acoperite cu betonul din lamela adiacentă în termen de cel mult 3...5 zile.

(6) Pregătirea pentru acoperirea cu beton a suprafețelor de fundare se face prin spălarea lor succesivă cu jet de apă și aer la presiuni de 3...4 atmosfere până când apa se scurge limpede. Alternativ între spălări, petele roșii de pirită, petele galbene de argilă și alte impurități existente pe suprafața de fundare se curăță cu perii metalice.

(7) Tratamentele speciale locale sau pe amprize largi din terenul de fundare pentru îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice au următoarele scopuri: reducerea deformațiilor, creșterea rezistențelor, reducerea debitelor de infiltrații.

(8) În cazurile când după excavațiile finale terenul de fundare conține falii, intercalații de materiale slabe, zone zdrobite de rocă extinse la adâncimi care fac imposibile sau neeconomice soluțiile de îndepărtare a lor din terenul de fundare se vor aplica tratamente dentale. Acestea constau în realizarea unor excavații locale a zonelor respective până la o anumită adâncime și umplerea golurilor rezultate cu beton sau mortar.

(9) Conform prescripțiilor BUREC (SUA) dimensiunile și adâncimile tratamentelor dentale se pot calcula cu relațiile:

$$\begin{array}{lll} d = 0.002 bH_b + 5 & \text{pentru} & H_b \geq 46 \text{ m} \\ d = 0.300 b + 5 & \text{pentru} & H_b < 46 \text{ m} \end{array}$$

unde H_b este înălțimea barajului în metri peste nivelul general al fundației, b – lățimea în metri a zonei slabe și d – adâncimea în metri a excavației în zona slabă măsurată de la nivelul rocii sănătoase adiacente. În intercalațiile de filoane de argilă d trebuie să nu fie mai mic decât $0.1 H_b$.

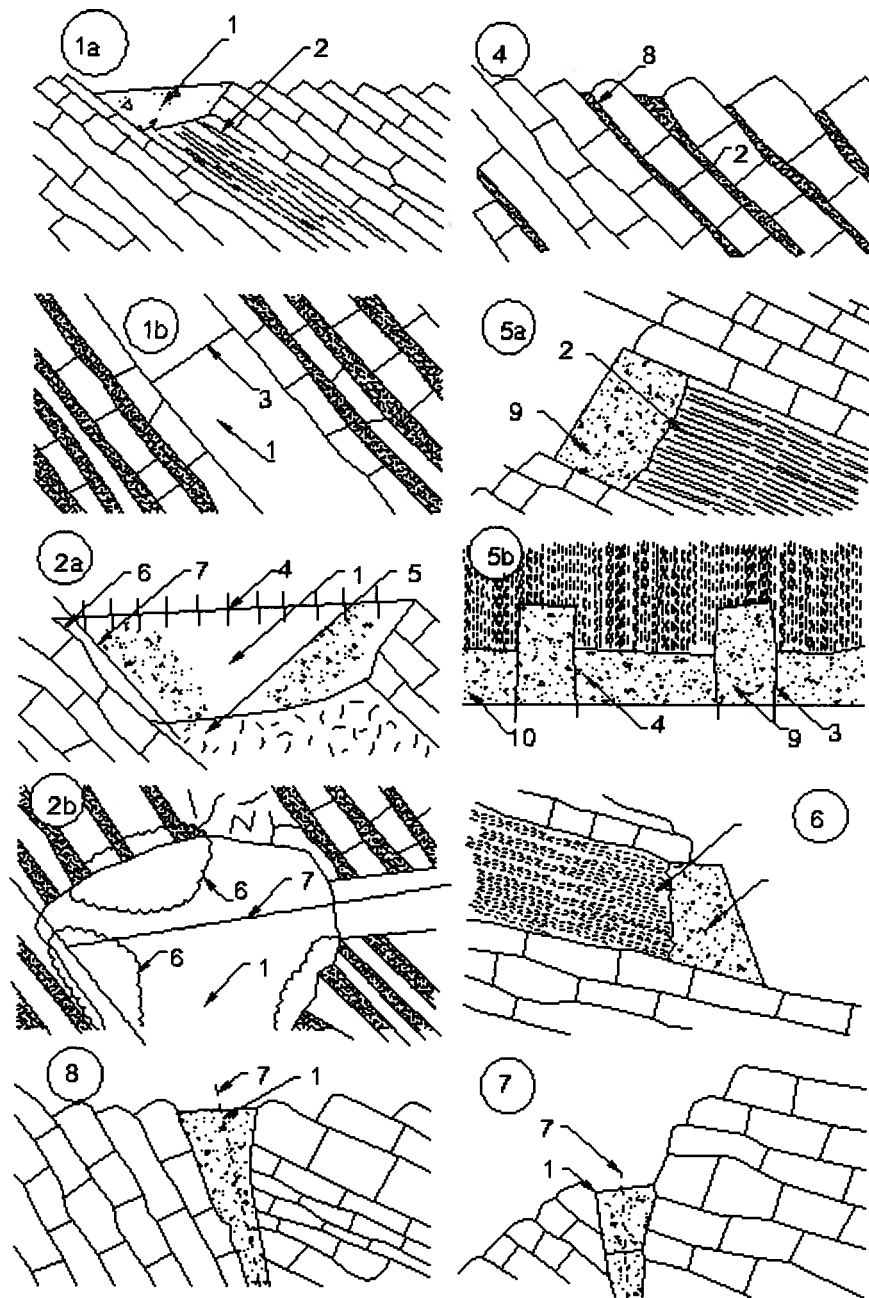


Fig. nr.10-1. Diverse tipuri de tratamente dentale realizate în terenuri de fundare din fliș carpatic: 1 – plombă de beton, 2 – șisturi marnoase, 3 – rost, 4 – mustăți de armătură, 5 – zonă brecifiată, 6 – rocă sănătoasă, 7 – falie, 8 – plombă din mortar de ciment, 9 – stâlpi de sprijinire de beton, 10 – zid de beton.

(9) În figura nr.10-1 se exemplifică mai multe tipuri de lucrări de plombare realizate în teren de fundare din fliș carpatic cu numeroase zone de roci grezoase degradate și pachete de marne deformabile.

- a) Plombele de tip 1 (marcate cu cercuri în figura nr.10-1) se aplică pentru pachetele de marne cu grosimi mai mari de 50 cm. Betonarea lor se face odată cu execuția excavațiilor. Plombele trebuie prevăzute cu rosturi la intervale de 5...10 m pentru a preveni fisurarea lor.
- b) Plombele de tip 2 sunt specifice zonelor brecifiate sau de gresii degradabile în contact cu apă și aerul, având rolul primei lamele de beton. În vederea creșterii rezistenței la forfecare la fața lor superioară se prevăd mustăți de armătură.
- c) Plombele de tip 3 se aplică în zona faliiilor cu material degradat și permeabil. Adâncimea lor este limitată în funcție de posibilitățile de a fi excavate manual.
- d) Plombele de tip 4 corespund zonelor de gresii sănătoase cu intercalații de marne argiloase cu gresii de 1...5 cm. Intercalațiile se înlătură pe adâncimi de 10...20 cm cu jeturi de aer comprimat iar golurile formate se umplu cu beton cu granulație fină.
- e) Zidurile de sprijin de tip 5 se aplică în pachete de șisturi marnoase cu grosimi de 2...3 m. Fisurația rocii adiacente necesită o execuție în două etape, prima constând dintr-o serie de stâlpi la distanțe de 2...4 m care să pătrundă pe o adâncime de circa 1 m. Sub protecția stâlpilor se excavează șisturile pe adâncimi de 30...40 cm și se execută zidurile de sprijin din etapa a doua.
- f) Zidurile de tip 6 se execută în mod similar cu zidurile de tip 5 dar pe tronsoane mai lungi de 5.00...7.50 m.
- g) Plombele de tip 7 sunt specifice zonelor de falii. Ele se realizează din mortar de ciment.

(10) În cazul unor falii numeroase și discontinuități majore consolidarea zonei se poate face prin betonarea unei rețele dreptunghiulare de galerii și puțuri excavate în planul discontinuităților. După încheierea lucrărilor de betonare masivul de rocă adiacent poate fi injectat, pentru umplerea golurilor, presiunea de injectare fiind de maximum 1 MPa. În final zonele tratate pot fi precomprimate cu ancore pretensionate. Scopul final este de a se asigura o bună stabilitate a terenului de fundare atât din punct de vedere mecanic cât și hidraulic. Pentru exemplificare în figurile nr.10-2 și 10-3 se prezintă schema de tratare a faliiilor și de precomprimare a nașterilor barajului arcuit Nagawado.

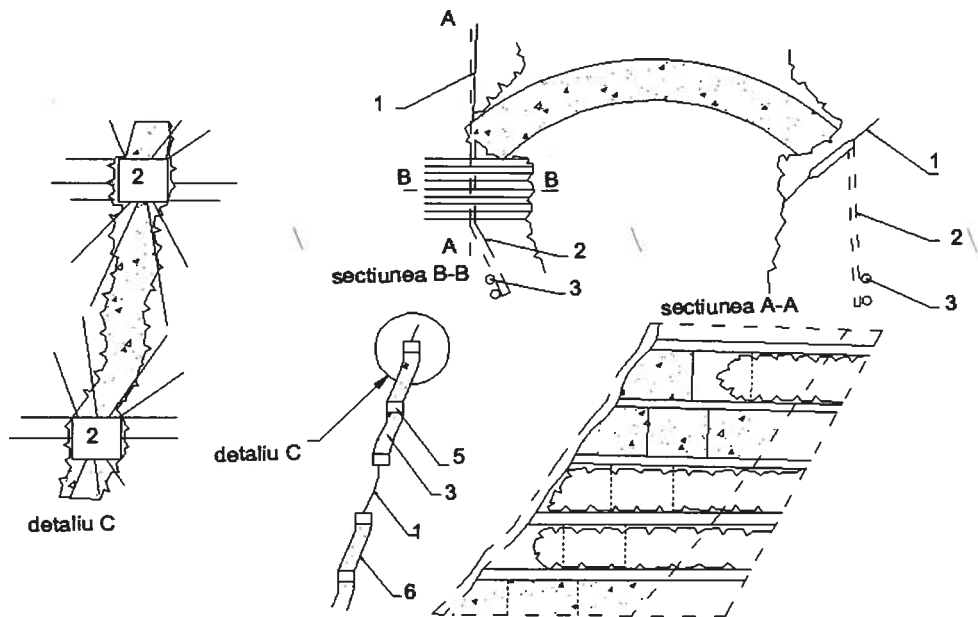


Fig. nr.10-2. Schemă de tratare a faliiilor la barajul Nagawado (Japonia): 1 – falie, 2 – tunel de acces, 3 – puțuri și suitoare de acces, 4 – ancore pretensionate, 5 – tronson de falie betonat, 6 – tronson de falie excavat, 7 – foraje pentru injecții de consolidare.

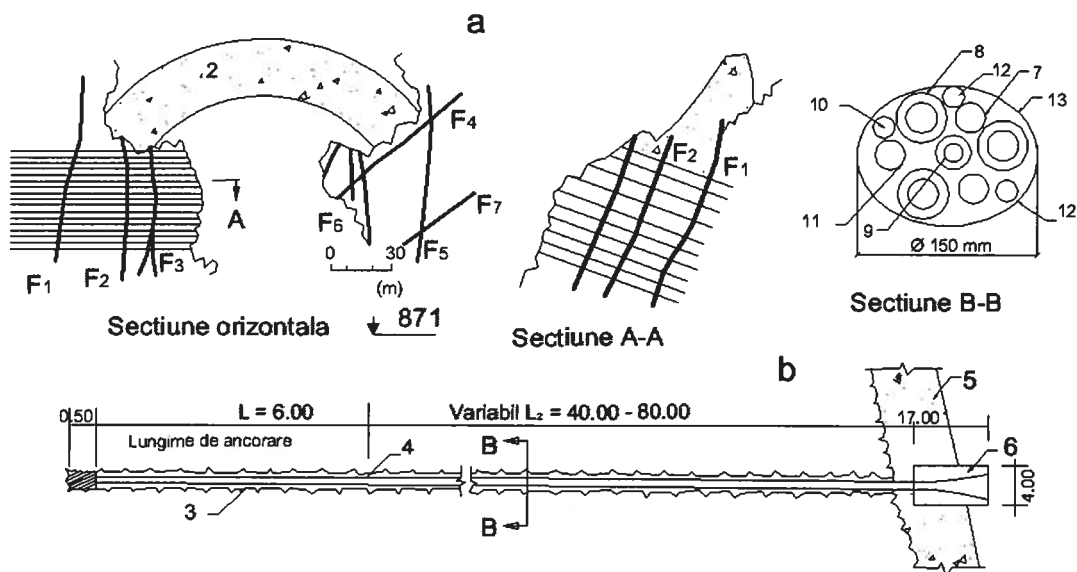


Fig. nr.10-3. Sistemul de precomprimare al rocii din zona nașterii barajului Nagawado: a – secțiuni caracteristice; b – detaliu de ancoră, F₁...F₇ falii, 1 – ancore pretensionate, 2 – corp baraj, 3 – capăt ancorat, 4 – pachet de etanșare, 5 – zid de sprijin, 6 – cap ancoră, 7 – bare de oțel, 8 – sistem de cuplare bare de oțel, 9 – conductă de injecție a capătului ancorei, 10 – conductă de injecție a găurii după pretensionare, 11 – rozetă de distanțare a barelor, 12 – conducte return pentru injecții, 13 – conductă de aer.

(11) În cazul rocilor injectabile, cu fisuri deschise și porozități consolidarea zonei de rocă situată imediat sub cota de excavare se va face prin injecții. Fluidul de injectare este compus dintr-o suspensie sau mortar pe bază de ciment sau în cazuri speciale din geluri de silicați, rășini sintetice etc. Scopul acestor injecții este să reducă partea ireversibilă a deformațiilor rocii și să mărească modulul ei de elasticitate. Lucrările de injecții se încadrează în trei categorii: de consolidare superficială (legătură), de consolidare profundă și de umplere.

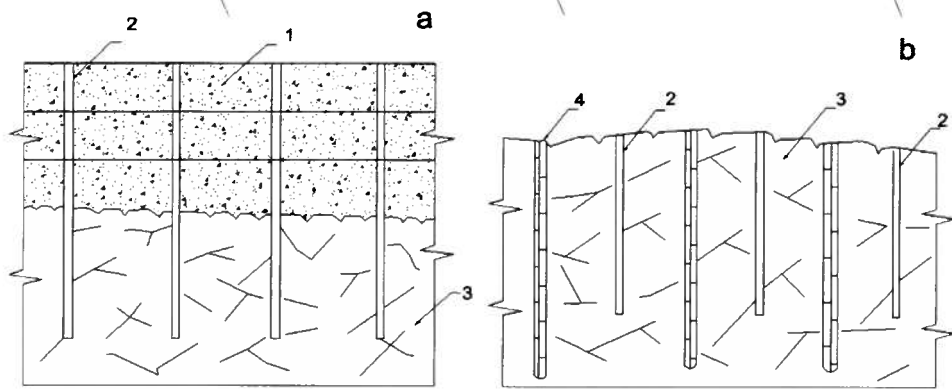


Fig. nr.10-4. Sisteme de realizare a injecțiilor de legătură: a – pe lamele de beton turnate anterior, b – după bulonarea rocii, 1 – lamele de beton, 2 – foraje pentru injecții, 3 – rocă, 4 – buloane de ancoraj cimentate.

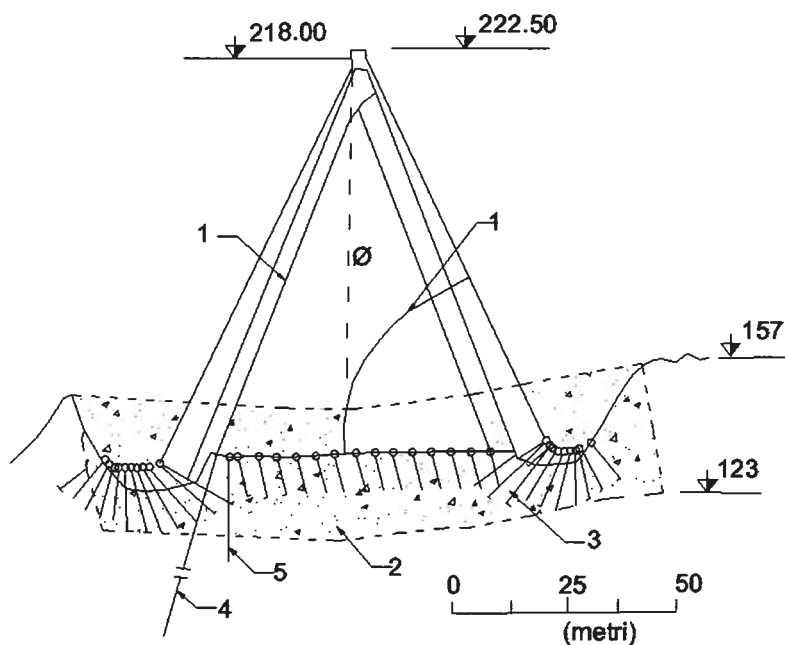


Fig. nr.10-5. Secțiune transversală prin barajul Alcantara (Spania) cu exemplificarea forajelor pentru injecții de consolidare în profunzime: 1 – rosturi de construcție, 2 – zona injecțiilor de preconsolidare, 3 – foraje pentru injecțiile de consolidare, 4 – voal de etanșare, 5 – rețea de drenaj.

(12) Injecțiile de consolidare superficială (legătură) se vor executa după turnarea a 2...3 lamele de beton sau după bulonarea rocii la adâncimi care să depășească nivelul de injectare (fig. nr.10-4) pentru mărirea presiunii de injectare și obținerea unui grad sporit de penetrare a fluidului de injectare în fisurile din masivul de rocă. Adâncimea forajelor în rocă va fi de 3...5 m iar presiunea de injectare va fi de cel mult presiunea litostatică din tronsonul injectat. Injecțiile de consolidare superficială (legătură) au scopul să reducă neomogeneitatea și permeabilitatea stratului de rocă de la suprafață și să asigure un contact bun cu fundația.

(13) Densitatea forajelor pentru injecțiile de legătură se va situa în condiții normale de 1 foraj la 6...10 m² suprafață de fundare. Densitatea forajelor depinde de natura și starea de fisurare-alterare a rocii din fundație și poate varia în același amplasament în funcție de starea locală a rocii.

(14) Injecțiile de consolidare în profunzime vor avea adâncimi în rocă de 5...20 m, în funcție de caracteristicile rocii, lățimea fundației, mărimea încărcărilor și direcția de transmitere a încărcărilor. Ele au scopul să amelioreze caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor, iar suprafața de rocă consolidată poate depăși ampriza fundației barajului, extinzându-se în zone adiacente de rocă cu calități geomecanice nesatisfăcătoare (fig. nr.10-5).

(15) Densitatea forajelor pentru injecțiile de consolidare profundă se va situa uzual la 1 foraj la 9...20 m² de suprafață consolidată ca urmare a presiunilor de injectare mai mari care se pot aplica.

(16) Injecțiile de umplere vor avea adâncimi în rocă de 5...15 m și au scopul de a umple golurile și cavernele, crăpăturile, crevasele care pot exista în terenurile de fundare, în special în cele carstice. Injecțiile de umplere pot lipsi în amplasamentele în care studiile geologice nu au identificat fenomene de tipul celor menționate mai înainte. Injectarea în roci foarte permeabile se va face la presiuni mici și cu fluide ieftine, cu înlocuitori de ciment sau materiale inerte grosiere (nisip, cenușă). În roci cu permeabilitate medie se folosesc suspensii cu ciment și adaosuri inerte fine.

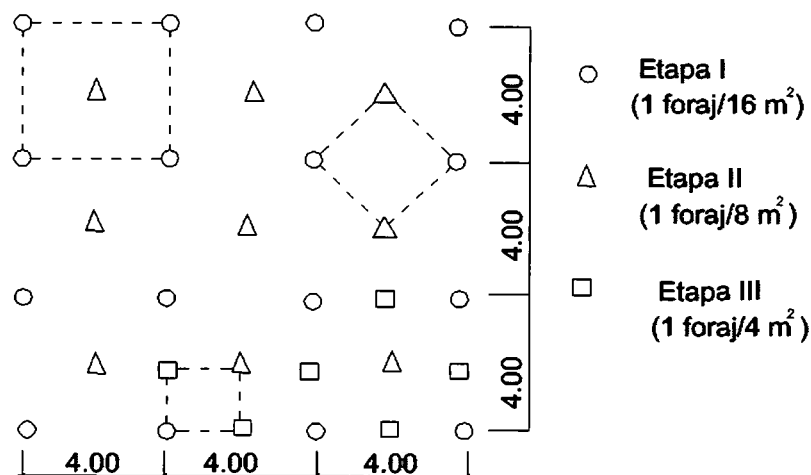


Fig. nr.10-6. Schemă de executare a injecțiilor de suprafață în etape succesive.

(17) Densitatea optimă a forajelor pentru cele trei tipuri de injecții va fi determinată experimental prin îndesirea forajelor injectate în etape succesive (fig. nr.10-6) (două sau trei etape de îndesire a forajelor). În cadrul aceluiași amplasament densitatea optimă a forajelor poate varia în funcție de tipul de rocă tratată.

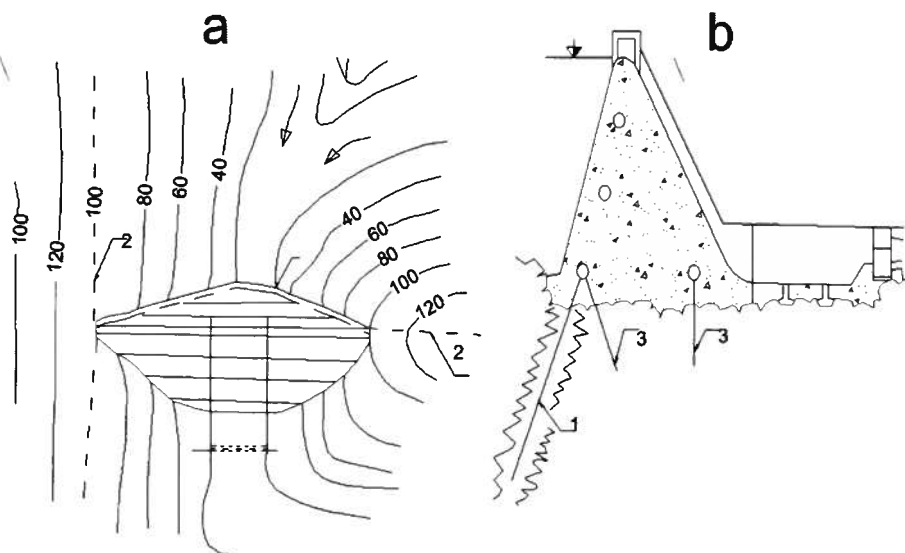


Fig. nr.10-7. Sistem de etanșare și drenaj la un baraj de greutate : a – vedere în plan, b – secțiune transversală; 1 – voal de front, 2 – voal de larg, 3 – rețea de drenaj.

(18) În scopul reducerii permeabilității terenului de fundare și respectiv a infiltrațiilor din lac la valori tehnic acceptabile se vor face injecțiile pentru voaluri de etanșare care pot fi de front sau de larg (fig. nr.10-7). În mod uzual voalul de etanșare va fi completat spre aval cu o rețea de drenaj, având în vedere că gradientii hidraulici rezultați din infiltrațiile prin sistemul voal de etanșare-rețea de drenaj să nu producă eroziuni interne (spălări de fracțiuni fine de materiale din falii, brezii etc.).

(19) În proiectarea voalurilor de etanșare se va avea în vedere îndeplinirea în condiții cât mai bune a următoarelor funcții: micșorarea debitelor de infiltrație din lac, reducerea subpresiunilor pe talpa de fundație a barajului, diminuarea riscului de antrenare hidrodinamică a fracțiunilor de rocă fină, orientarea cât mai favorabilă pentru construcție a forțelor hidrostactice și hidrodinamice din apa infiltrată prin terenul de fundare.

(20) În proiectarea rețelelor de drenaj se va avea în vedere îndeplinirea în condiții cât mai bune a următoarelor funcții: amplificarea efectelor favorabile ale voalurilor de etanșare, reducerea presiunilor din fisurile sau porii rocilor și pe talpa de fundație a barajului, drenarea apei care circulă prin masa rocii reducând umiditatea ei și măbind coeficienții de frecare de-a lungul fisurilor și faliilor, prevenirea antrenării particulelor fine de rocă, controlul funcționării și a stabilității fizico-chimice a voalului permițând intervenții operative în caz de necesitate.

(21) Voalurile de etanșare se vor extinde în adâncime și lateral până în zona unde roca neinjectată îndeplinește criteriul de 1 Lugeon. Criteriul de 1 Lugeon (Lu) definește limita unei roci

impermeabile. Astfel, debitul de apă pierdut pe 1 ml de foraj sub o presiune de apă de 10 at. timp de 10 minute nu trebuie să depășească 1 l/min. În timpul forării voalului se fac succesiv teste Lugeon și forajul este oprit când s-a îndeplinit criteriul de 1 Lu. În terenuri de fundare dense, rezistente, adâncimea voalului poate rezulta de 0.3...0.4 din sarcina hidrostatică. În terenurile de fundare în condiții medii, adâncimea voalului poate ajunge la 0.7...0.8 din sarcina hidrostatică.

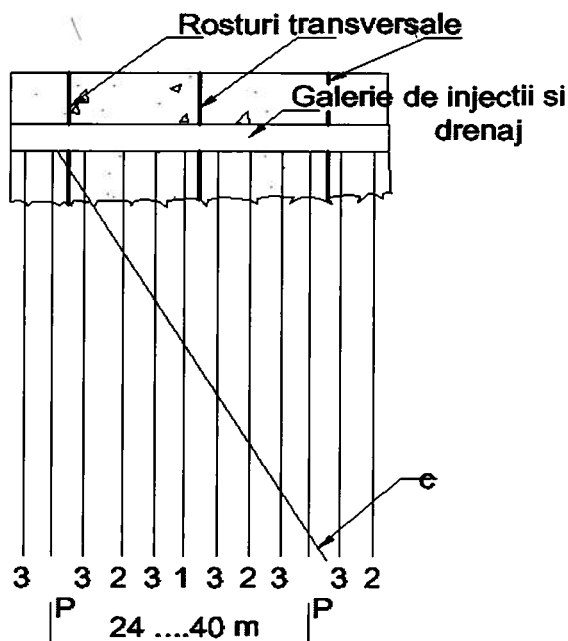


Fig. nr.10-8. Dispunerea forajelor pentru un voal de etanșare P – foraje pilot; 1,2,3 – foraje executate în etapele 1, 2 și respectiv 3; C – foraj de control.

(22) Forajele pentru voalurile de etanșare se îndesesc în etape succesive în funcție de rezultatele injectărilor (fig. nr.10-8). În condiții de rocă normală voalul de etanșare va fi alcătuit dintr-un singur rând de foraje situate la distanțe de 3...6 m. În cazul unor pierderi mai mari de apă la proba de permeabilitate, distanțele între foraje pot scădea până la 0.50...1.00 m și dacă pierderile sunt în continuare mari se vor prevedea două sau mai multe rânduri de perdele de etanșare.

(23) Direcția forajelor pentru voal va fi în mod obișnuit verticală. Totuși în rocile cu sisteme de rosturi, fisuri cu orientări dominante, forajele se recomandă să intersecteze aceste sisteme cu unghiuri mai mari de 30°. Într-un voal de etanșare se vor prevedea cel puțin două direcții diferite pentru foraje. Verificarea continuității voalului se face cu foraje de control având o înclinare de 30° față de cele care alcătuiesc voalul.

(24) Presiunea maximă de injectare se va stabili în funcție de adâncimea voalului și înălțimea barajului. Rata presiunii (I) exprimată ca raportul între presiunea maximă de injectare și înălțimea maximă a barajului poate varia în condiții normale între 3.5 și 7.0. Valori maxime înregistrate la baraje de greutate fundate pe granit au atins $I = 14$.

(25) Diametrul forajelor se va alege între 45...76 mm. Consistența laptelui de ciment de injecții măsurată prin raportul în greutate apă-ciment (a/c) va varia de la 10:1 la 1:1. Injecția va începe cu suspensia cea mai fluidă (a/c = 10...8) pentru colmatarea fisurilor fine și se va încheia cu o suspensie groasă (a/c = 1.0...0.8). Tehnologia de injecțare obișnuită este în tronsoane ascendente.

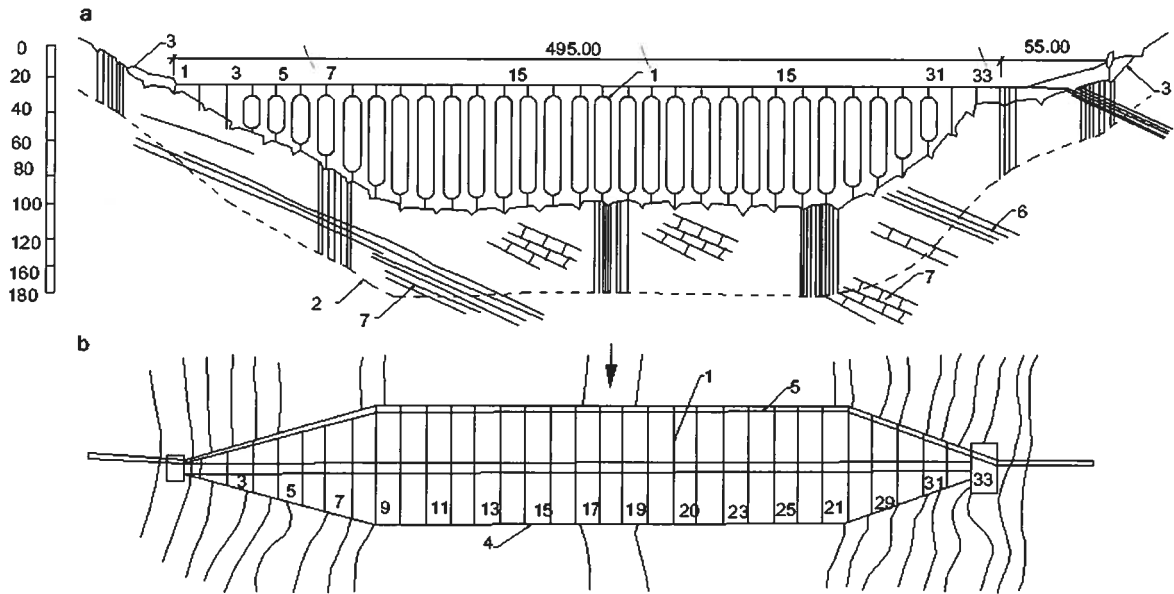


Fig. nr.10-9. Voalul de etanșare de la barajul Poiana Uzului (România): a – profil longitudinal; b – vedere în plan; 1 – baraj, 2 – limita voalului de etanșare, 3 – deluviu, 4 – limita barajului, 5 – traseul voalului, 6 – gresii, 7 – intercalații de șisturi argiloase.

(26) Pentru exemplificare în figura nr.10-9 se prezintă profilul în lung și vederea în plan a unui voal de etanșare.

Anexa nr. 1- anexă informativă.

Reglementări tehnice, ghiduri, practice curente în diverse țări

În anexă se prezintă reglementările tehnice, ghidurile și practicile curente privind evaluarea stabilității la alunecare a barajelor de beton în curs de proiectare sau existente din diverse țări; în special țări europene din Uniunea Europeană.

O sinteză a acestor reglementări tehnice, ghidurile și practicile curente în diverse țări în ordinea în care se descriu în anexă se prezintă în tabelul A-1.

Tabelul nr.A1-1

Nr. crt.	Țara	Reglementări tehnice	Ghiduri Practici curente
1.	Austria		•
2.	Elveția		•
3.	Franța		•
4.	Italia	•	
5.	Spania	•	
6.	Portugalia	•	
7.	Anglia		•
8.	Germania	•	
9.	Suedia		•
10.	Norvegia	•	
11.	U.S.A. – Burec		•
12.	Canada		•
13.	China	•	
14.	India	•	

1. Austria

1.1. Reglementări tehnice

Reglementări tehnice speciale și proceduri se aplică la baraje cu înălțimi mai mari de 15 m peste nivelul fundației sau lacuri cu volum mai mare decât 500.000 mc. Pentru evaluarea siguranței barajelor există un număr relativ mic de ghiduri tehnice. Problema se transferă către persoane cu cunoștințe profesionale excelente și experiență profundă. Acest concept este enunțat de R. Melbinger în lucrarea „Modalități în Austria privind siguranța barajelor: o simbioză între reglementări și judecata inginerească” Proceedings International Symposium on Dam Safety, Barcelona, 1998.

Nu există reglementări pentru aprecierea siguranței la alunecare a barajelor de beton existente. Pentru analize de siguranță a barajelor din umpluturi există recomandări.

În 2001 au fost elaborate de Comisia Austriacă a Barajelor recomandări pentru evaluarea siguranței la cutremur a barajelor de beton și din umpluturi.

1.2. Practica uzuală

Evaluarea siguranței la alunecare a barajelor de greutate se efectuează pe contactul baraj-fundație și pe rosturi de lucru din corpul barajului. Subpresiunea este luată în considerație și în general nu se admit eforturi efective de întindere. Această analiză este realizată în conformitate cu Lieckfeldt.

Următoarele ipoteze sunt în general aplicate pentru subpresiuni cel puțin în condiții de încărcări normale:

- 85% din înălțimea coloanei de apă pe paramentul amonte, respectiv la limita fisurii;
- 100% în rosturi deschise;
- zero sau nivelul apei la piciorul aval al barajului;
- descreștere liniară de la amonte sau de la limita fisurii către aval.

Reduceri ale subpresiunilor sunt admise de exemplu în aval de o rețea de drenaj. În asemenea cazuri, valorile mai mici ale subpresiunilor trebuie să fie verificate prin măsurători.

În evaluarea siguranței la alunecare se consideră numai partea din secțiunea transversală care rămâne în contact cu fundația, adică zona unde pe contact eforturile normale sunt de compresiune. Eforturile de pe direcția normală la suprafață sunt reduse de subpresiunile din rostul deschis și secțiunea de contact baraj-fundație. Rezistența la forfecare se bazează fie pe investigații în situ fie pe asimilarea unor investigații la alte baraje în condiții echivalente:

În funcție de combinațiile de încărcări se aplică următorii coeficienți de siguranță la alunecare:

- încărcări normale (uzuale) $s = 1.5$
- încărcări neuzuale; viitură $s = 1.35$
- încărcarea seismică OBE $s = 1.2$
- încărcarea extremă MCE $s = 1.1$

2. Elveția

2.1. Reglementări tehnice

Baza legală privind barajele și acumulările din Elveția se găsește în articolul 3 bis al Legii Federale din 22 iunie 1877 asupra politicii apei (RS 721.10) și în Ordonanța din 7 decembrie 1998 asupra siguranței structurilor de retenție (OSOA, „Ordonance sur la Securite des Ouvrages d'Accumulation”). Ordonanța stabilește cerințele de îndeplinit pentru siguranța tuturor structurilor de retenție, atât cele noi cât și cele existente.

Articolul 3 punctul 1 din OSOA stabilește în legătură cu siguranța structurală următoarele: „Structurile de retenție trebuie să fie dimensionate și construite considerând tehnicile actuale astfel încât să fie îndeplinită siguranța la orice caz de încărcare previzibil pe durata de folosință.”

Siguranța structurală este evaluată pentru a garanta performanța barajului solicitat de diverse tipuri de încărcări: permanente, variabile, excepționale și accidentale.

Diferite scenarii de exploatare trebuie să fie considerate: niveluri ale apei în acumulare, aspecte induse de întreruperi în exploatare cauzate de revizia echipamentelor hidromecanice, defecțiuni la descărcători și goliri de fund, întreținere turbine, etc.

În Elveția nu există normative, reglementări sau standarde; inginerul are autonomie pentru a satisface cerințele stabilite în articolul 3 din OSOA/1998 menționat mai înainte.

2.2. Ghiduri

Ordonanța privind siguranța structurilor de retenție permite ca Biroul Federal al Apei și Geologiei să elaboreze ghiduri în colaborare cu reprezentanții autorităților cantonale, universităților, societăților profesionale și organizațiilor economice (Art. nr.26 OSOA). Mai multe ghiduri sunt în curs de elaborare.

Scopul primar al acestor ghiduri este de a prevedea metodologii pentru aplicarea diferitelor articole din OSOA. Ghidurile prezintă proceduri recomandate de a fi aplicate în domeniul siguranței barajelor din Elveția luând în considerație stadiul actual al cunoștințelor științifice.

Ghidurile sunt mai restrictive decât recomandările, dar nu sunt obligatorii precum ordonanțele. Unele derogări de la ghiduri sunt posibile demonstrând că cerințele de siguranță din ordonanțe sunt îndeplinite la un nivel echivalent.

Ghidurile referitoare la siguranța structurală, siguranța curgerii și siguranța seismică dau informații precise asupra încărcărilor și evaluării lor, după cum urmează:

- Încărcările permanente sunt acele încărcări care acționează tot timpul. Ele pot să crească după un timp de exploatare și după aceea valoarea lor nu se mai modifică. În această categorie se includ: greutatea proprie, presiunea sedimentelor, presiunea pământului, presiunea hidrostatică și subpresiunea (dacă acumularea este totdeauna plină).

- Încărcările vii (de exploatare) sunt acele încărcări dependente de condițiile de exploatare și de condițiile naturale climatice. Ele cuprind: presiunea hidrostatică, subpresiunea, temperatura, zăpada, încărcarea din gheață, presiunea sedimentelor, presiunea pământului, încărcări din trafic și altele.

- Încărcările excepționale sunt provocate de evenimente excepționale care pot avea intensități ridicate. Efectele lor sunt instantanee sau de durată limitată. Ele includ: viituri, cutremure, avalanșe, scurgeri de lavă.

- Încărcări incidentale: explozii

Următoarele combinații de încărcări sunt considerate:

- situație normală care include încărcările normale pe structură;
- situație excepțională care include încărcările excepționale care pot să se producă pe durata de serviciu a structurii;

- situație extremă care include cele mai severe cazuri de încărcare care pot să se producă pe durata de serviciu a structurii.

În general asigurarea siguranței constă în verificarea stabilității la alunecare, la răsturnare și dacă este cazul la ridicare de pe fundație.

Stabilitatea la alunecare este definită prin raportul între suma forțelor verticale și suma forțelor orizontale. Poziția rezultantei forțelor care acționează în profilul transversal al barajului și tensiunile la paramentul amonte sunt de asemenea evaluate.

Stabilitatea la alunecare se bazează pe unghiul de frecare internă (φ) și eventual pe coeziune (c) conform următoarei relații:

$$FS = \frac{\sum V \cdot \text{tg } \varphi + c \cdot A}{\sum H}$$

unde: FS este coeficientul de siguranță;

$\sum V$ - suma tuturor forțelor verticale acționând la nivelul fundației sau la nivelul considerat al suprafeței de alunecare;

$\sum H$ - suma tuturor forțelor orizontale acționând peste nivelul fundației sau al nivelului considerat pentru suprafața de alunecare;

A - aria suprafeței de contact baraj-fundație sau a suprafeței de alunecare considerate.

În principiu coeziunea poate fi considerată numai dacă în mod real este mobilizată și dacă unghiul de frecare internă este mic. Valorile coeziunii se stabilesc prin teste in situ sau pot fi asimilate pe baza datelor din literatură.

Suprafețele de alunecare considerate trebuie să ia în considerație structura geologică a fundației, iar parametrii φ și c depind de condițiile suprafeței de alunecare.

În cazul când nu se consideră coeziunea, următorii coeficienți de siguranță trebuie realizați funcție de tipul combinațiilor de încărcări:

Tabelul nr.A1-2

Tipul de încărcări		
Normale	Excepționale	Extreme
1.5	1.3	1.1

În cazurile când se consideră coeziunea, coeficienții de siguranță la alunecare trebuie majorați pentru a ține cont de reducerea coeziunii din cauza deplasării. FS minimi vor fi, respectiv 5, 4 și 3.

Ghidurile permit considerarea unor factori de siguranță diferiți, conform relației :

$$\sum H < \frac{\sum V \cdot \operatorname{tg} \varphi}{FS_1} + \frac{c \cdot A}{FS_2}$$

unde FS_1 este egal cu FS dacă s-a neglijat coeziunea
și FS_2 este egal cu 5, 4 sau 3 funcție de tipul de încărcări (normale, excepționale sau extreme)

3. Franța

3.1. Reglementări tehnice

Un grup de lucru asupra barajelor de greutate al Comitetului Francez al Marilor Baraje a finalizat o lucrare de referință asupra reglementărilor și practicilor aplicate în Franța pentru analiza deterministică a barajelor de greutate.

În lucrare s-a arătat că în Franța nu existau nici standarde nici alte reglementări privind analiza stabilității barajelor. Practicile curente derivau din următoarele referințe:

a – Tehnica barajelor în amenajări rurale – Ministerul Agriculturii, 1989.

b – Baraje mici – Recomandări pentru concepție, realizare și exploatare.

Cemagref ENGREF/CFGB, Paris, 1997.

c – Practica EdF.

d – Practica Coyne & Bellier.

Notând aceste practici diferite, Comitetul Francez al Marilor Baraje a dat un al doilea mandat grupului de lucru asupra barajelor de greutate de a armoniza practicile curente din Franța și a pune bazele unui ghid asupra evaluării stabilității barajelor de greutate. Acest ghid urma să se încadreze în format determinist, dar să adopte de asemenea concepte în format semi-probabilistic (terminologie, notații, combinații de încărcări, acțiuni, rezistențe, etc.).

3.2. Practici curente

Pentru evaluarea siguranței combinațiile de încărcări uzuale, neuzuale și extreme sunt luate conform referințelor *b*, *c* și *d* (punctul 3.1) :

- combinația de încărcări uzuale (frecvențe și quasi-permanente): acumularea la NNR cu subpresiunile corespunzătoare și alte încărcări permanente uzuale ;
- combinația de încărcări neuzuale (cu frecvență redusă): acumularea la cota maximă din proiect și încărcările uzuale corespunzătoare;
- combinația de încărcări accidentale (extreme) : încărcările uzuale și acțiunea seismică.

În referința *a* (punctul 3.1) se prevăd numai două combinații de încărcări: uzuale și excepționale.

Proprietățile de rezistență la forfecare (c , φ) ale betonului convențional pot fi obținute din teste de laborator (curbe intrinseci pentru materiale). Corelații între parametrii de rezistență la forfecare și rezistența la întindere/compresiune pot fi aplicate.

În cazul barajelor din zidărie de piatră, rezistența la întindere și coeziunea sunt în general considerate nule.

În cazul barajelor din beton rotat (RCC, RCD) testele de laborator pentru materiale nu sunt reprezentative pentru parametrii rosturilor dintre straturile de RCC. O examinare atentă a specificațiilor de construcție pentru straturile de RCC este esențială pentru evaluarea parametrilor de rezistență la forfecare.

Într-o primă evaluare conservativă, coeziunea pe contactul baraj-fundație se ia zero, din cauza degradărilor produse prin lucrările de excavație iar unghiul de frecare poate fi luat de 45° pentru interfața baraj-rocă tare. În cazul când se aplică proceduri speciale de pregătire a suprafeței rocii (lucrări executate cu grijă, rocă nederanjată) unghiul de frecare și coeziunea la interfață pot fi considerate ca minime între valorile pentru beton și roca din fundație.

Cel mai satisfăcător procedeu de a determina coeziunea și unghiul de frecare este să se examineze curbele intrinseci pentru materialele de rocă. Curbele Barton și Hoek sunt referințe de bază.

Curba pentru un domeniu dat al eforturilor normale poate fi aproximat cu o linie dreaptă care permite estimarea conservativă a unghiului de frecare și a coeziunii. Coeziunea fundației în domeniul eforturilor mici este uzual considerată zero, în special când se proiectează baraje noi.

Criteriul de stabilitate adoptat în referința *a* (punctul 3.1) constă în verificarea stabilității la alunecare pe interfața baraj-fundație conform relației (calculul se face pentru 1 ml în lungul coronamentului) :

$$F = [c \cdot L + (N - U) \operatorname{tg} \varphi] / T$$

unde *F* este factorul de siguranță la alunecare pe interfața baraj-fundație și trebuie să aibă următoarele valori minime: 4 – pentru combinația de încărcări uzuale și 2.7 pentru combinația de încărcări excepționale;

- c* – coeziunea ;
- tg φ* - coeficientul de frecare pe interfață ;
- L* - lungimea secțiunii ;
- N* - suma forțelor normale pe interfață ;
- U* - forța din subpresiuni;
- T* - suma forțelor tangențiale pe interfață

În referința *b*, criteriul de stabilitate la alunecare este similar cu referința *a*, dar coeziunea este considerată nulă. Relația de calcul al factorului de siguranță la alunecare (*F*) are forma :

$$F = (N - U) \operatorname{tg} \varphi / T$$

Valorile minime pentru *F* sunt prezentate în tabelul următor:

Tabelul nr. A1-3

Suprafața	Combinăția de încărcări		
	Uzuale	Neuzuale	Extreme
Interfața baraj-fundație	1.5	1.5	1.3

În practica EdF factorul de siguranță la alunecare-forfecare (F) trebuie calculat pe suprafața de alunecare în corpul barajului, pe interfața baraj-fundație, în terenul de fundare. Expresia uzuală are forma :

$$F = [c \cdot L + (N - U) \operatorname{tg} \varphi] / T$$

unde c este coeziunea în lungul părții nefisurate din suprafața de alunecare (calculul se face pentru 1 ml în lungul coronamentului)

și L – lungimea părții nefisurate din secțiunea de calcul.

Factorul de siguranță trebuie să fie cel puțin egal cu valorile prezentate în tabelul următor :

Tabelul nr.A1-4

Suprafața	Combinăția de încărcări		
	Uzuale	Neuzuale	Extreme
Beton - beton Interfața baraj-fundație Fundație	1.33	1.10	1.05

În practica Coyne & Bellier se consideră factori de siguranță diferiți pentru parametrii de coeziune și frecare, conform standardelor din India. Expresia folosită are forma (notațiile de mai înainte se păstrează) :

$$F = \left[\frac{(N - U) \operatorname{tg} \varphi}{F_{\phi}} + \frac{cL}{F_c} \right] * \frac{1}{T}$$

unde:

F_{ϕ} este factorul parțial de siguranță în raport cu frecarea și

F_c – factorul parțial de siguranță în raport cu coeziunea.

Următoarele valori pentru factorii parțiali de siguranță sunt folosiți :

Tabelul nr.A1-5

Combinăția de încărcări	Uzuale	Neuzuale	Extreme
F_{ϕ}	1.5	1.2	1
F_c	3	2	1

Coeziunea este considerată numai dacă nici o forfecare nu este acceptată pe întreaga durată de viață a barajului.

Pentru combinații de încărcări uzuale și neuzuale, F trebuie să fie mai mare decât 1.

Pentru combinațiile de încărcări extreme (cutremur), F ar putea fi mai mic decât 1, dar deplasările de alunecare trebuie evaluate (de exemplu cu metoda Newmark) și după cutremur stabilitatea la combinațiile de încărcări uzuale și neuzuale trebuie verificată în ipoteza coeziunii nule ($c=0$).

4. Italia

4.1. Reglementări tehnice

Reglementări generale asupra proiectării, construcției și exploatării barajelor sunt date în „Norme privind barajele” (D.P.R nr.1363, 1 noiembrie 1959). Reglementările tehnice pentru proiectarea barajelor au fost reînnoite în 1982 („Norme tehnice pentru proiectarea și construcția barajelor”, D.M. 24.03.1982).

Referința de bază pentru aprecierea siguranței barajelor existente este în practica uzuală reglementarea din 1982. Eforturile sunt concentrate pentru a lua în considerare condițiile reale și specifice pentru barajul existent analizat pe o bază de la caz la caz, folosind cunoștințele disponibile pentru a depăși unele limitări generate de prescripțiile de proiectare rigide definite în „Norme tehnice pentru proiectarea și construcția barajelor”. În evaluările de la caz la caz nu se acceptă aplicarea unor standarde alternative sau practici ingineresti uzuale.

În cazul proiectelor de baraje noi, evaluarea siguranței la alunecare pentru barajele de greutate se face conform normelor din 1982 prin calculul raportului T/N , unde T și N sunt respectiv, rezultantele forțelor paralele și normale față de suprafața de alunecare considerată. Evaluarea trebuie să cuprindă suprafețe de alunecare în corpul barajului (la orice cotă) și pe interfața baraj-fundație considerând următoarele combinații de încărcări: greutatea proprie + încărcarea hidrostatică (nivelul maxim proiectat al apei în lac) + încărcarea din subpresiuni + încărcarea din gheață (dacă este cazul) + încărcarea seismică (dacă este cazul).

Valorile limită pentru raportul T/N sunt următoarele:

- 0.75 pe întreaga înălțime a barajului când încărcările seismice nu sunt considerate ;
- 0.80 pentru secțiunile poziționate la mai puțin de 15 m sub cota coronamentului și 0.75 pentru celelalte secțiuni când se consideră încărcările seismice.

Aceste valori ar trebui să fie reduse în cazurile unor condiții nefavorabile din fundație. În cazul unor suprafețe de alunecare înclinate (în secțiunea de la bază, pe rosturile dintre lamele) panta acceptată pentru evaluarea siguranței la alunecare nu trebuie să depășească 5%.

Normele prezentate mai înainte se aplică și la barajele cu contraforți, când raportul între distanța dintre contraforți și grosimea minimă a contrafortului (sau suma grosimilor dacă contraforții au goluri interioare) este mai mic decât 4.

În unele cazuri evaluări mai realiste ale siguranței la alunecare sunt efectuate pe bază de determinări prin teste ale proprietăților reale de rezistență la forfecare, dar criteriul simplu T/N este încă o evaluare de referință care nu poate fi evitat

5. Spania

5.1. Reglementări tehnice

Normele de reglementări generale sunt date în „Reglementări tehnice privind siguranța barajelor și acumulărilor” (Martie, 1996) care reînnoiesc precedentele „Instrucțiuni pentru proiectarea, construcția și exploatarea marilor baraje” (Martie, 1967).

În noile reglementări tehnice sunt definite criteriile de bază de siguranță pentru a preveni și limita riscul potențial la baraje, dar nu se dau indicații tehnice specifice care rămân în responsabilitățile proiectantului și deținătorului barajului. De asemenea nu se dau criterii specifice pentru evaluarea siguranței barajelor existente.

5.2. Norme de reglementări și practica uzuală

În reglementările în vigoare se stabilește că siguranța structurală a barajelor trebuie să fie evaluată luând în considerație ipoteze diferite pentru factorii de încărcare și combinațiile de încărcări. Nivelurile de siguranță adoptate trebuie să fie corelate cu condițiile de încărcare, probabilitatea lor de producere și caracterul lor permanent / tranzitoriu și cu referință la categoria de risc atribuită barajului. Barajele sunt clasificate în trei categorii funcție de riscul barajului (avarii potențiale și pagube-victime în zona din aval afectată de o posibilă cedare sau incidente la baraj)

Pentru evaluarea siguranței, combinații de încărcări uzuale, ne uzuale și extreme trebuie să fie considerate. Aceste combinații de încărcări trebuie să fie definite de proiectant în conformitate cu direcțiile generale stabilite în norme.

În legătură cu subpresiunile, care influențează în mare măsură siguranța la alunecare, creșterea anormală a presiunii apei din pori (subpresiunii) ar trebui să fie considerată în combinația de încărcări ne uzuale.

Posibilitatea de reducere generală anormală a parametrilor de rezistență ar trebui să fie considerată în combinația de încărcări extreme.

Practica inginerescă curentă derivă din direcțiile tehnice mai detaliate definite în reglementările din 1967. În acele reglementări combinațiile de încărcări au fost specificate și împărțite în combinații normale și combinații anormale (încărcări seismice, viituri maxime, defecțiuni în rețeaua de drenaj).

Evaluarea siguranței se face prin metoda echilibrului limită (raportul între forțele care produc alunecarea și cele care se opun). Factorii de siguranță prescriși corespund la factorii de reducere care se aplică la parametrii de rezistență la forfecare (coeziunea c și unghiul de frecare ϕ).

În combinațiile de încărcări normale sunt definite două cazuri (A1 – lac gol și A 2 – lac plin) iar în combinațiile de încărcări anormale sunt definite patru cazuri (B11, B21, B22, B23). Factorii de reducere a parametrilor de rezistență la forfecare pentru combinațiile de încărcări sunt prezentați în tabelul următor :

Tabelul nr.A1-6

Combinația de încărcări	Factorii de reducere a parametrilor de rezistență	
	Frecare ϕ	Coeziune c
Normală	1.5	5
Anormală	1.2	4

Orice strat slab (rosturile dintre lamele, interfața baraj – fundație, rosturi în terenul de fundare) trebuie considerat în evaluarea siguranței la alunecare.

6. Portugalia

6.1. Reglementări tehnice

Normele de reglementări asupra evaluării siguranței barajelor sunt date în „Reglementări pentru proiectarea barajelor” nr. 846/93.

Reglementările conțin prevederi asupra factorilor de încărcări care trebuie considerați în combinațiile de încărcări în ipotezele de construcție, exploatare normală sau extremă (viituri excepționale, cutremure etc).

În condițiile de încărcări normale răspunsul elastic al sistemului baraj – fundație ar trebui să fie considerat. În combinațiile de încărcări extreme factori adecvați de siguranță la cedare ar trebui să fie evaluați.

O referință generală este făcută la modelele structurale liniare și neliniare ale sistemului baraj-fundație pentru evaluări structurale și aprecieri ale siguranței precum și pentru examinarea efectelor mecanice ale apei în termeni de eforturi efective, luând în considerație curgerea apei prin porii materialelor, rosturi sau fisuri și alte acțiuni asociate. Modelele hidraulice numerice trebuie să fie folosite pentru evaluarea curgerii apei și gradientilor de presiune. Pentru analize de stabilitate este admis că forțele masice datorită curgerii apei pot fi înlocuite cu forțe de suprafață considerând că ele acționează pe suprafețele de graniță ale sistemului analizat (fața amonte, aval de etanșare, rosturi, etc.), luând în considerare efectul sistemului de drenaj.

Factorii de siguranță definiți în reglementări corespund cu factorii de reducere care sunt aplicați la parametrii de rezistență la forfecare.

În combinațiile de încărcări normale :

- eforturile în corpul barajului, în elementele volumetrice sau în lungul rosturilor, independent de unele cedări locale, trebuie să satisfacă criteriul Mohr-Coulomb pentru rezistențele la vârf de întindere și compresiune realizând coeficienți de siguranță între 2.5 și 4 ;

- eforturile în fundație, în elementele volumetrice, în lungul rosturilor sau a altor suprafețe slabe, independent de unele cedări locale, trebuie să satisfacă criteriul Mohr-Coulomb realizând coeficienți de siguranță între 3 și 5 în raport de rezistența de vârf de coeziune (c_p) și între 1.5 și 2 față de coeficientul de frecare de vârf (ϕ_p).

În combinațiile de încărcări extreme :

- eforturile în lungul suprafețelor de rupere globale trebuie să satisfacă criteriul Mohr-Coulomb pentru ipoteza când nu se consideră coeziunea și realizează un factor de siguranță între 1.2 și 1.5 în raport cu coeficientul de frecare rezidual (ϕ_r).

În tabelul următor se prezintă în sinteză factorii de siguranță la alunecare (factorii de reducere a rezistenței) așa cum au fost descriși mai înainte.

Tabelul nr.A1-7

Combinăția de încărcări	Factorul de reducere a rezistenței			
	ϕ_p	c_p	ϕ_r	c_r
Normale	1.5 ÷ 2.0	3 ÷ 5		
Extreme			1.2 ÷ 1.5	$c_r = 0$

7. Anglia

7.1. Reglementări tehnice

În Regatul Unit (U.K.) asigurarea siguranței barajelor se bazează pe Actul Lacurilor de acumulare (1975). Acesta stabilește obligația proprietarilor de baraje de a desemna un inginer cu calificare corespunzătoare să supervizeze proiectarea și construcția la orice nou baraj sau lucrările de remediere care afectau siguranța unui baraj existent și să verifice siguranța la fiecare baraj existent la intervale care să nu depășească 10 ani. Alți ingineri sunt însărcinați cu supervizarea între aceste inspecții. Listele inginerilor autorizați sunt deținute, revizuite la anumite intervale și reînnoite în numele guvernului de un comitet al Instituției de Ingineri Civili. Circa 50 de ingineri sunt autorizați conform Actului Lacurilor de acumulare ca Ingineri inspectori și constructori.

Nu există reglementări pe probleme tehnice asupra proiectării barajelor, inginerii autorizați individual având sarcina să stabilească cele mai bune practici curente pentru metodele de proiectare și criteriile de urmat în circumstanțe particulare. Totuși o serie de ghiduri ingineresti asupra siguranței acumulărilor, finanțate cu fonduri combinate ale guvernului și industriei au fost publicate în ultimele decade.

Ghidul referitor la barajele de beton și zidărie este intitulat : „Engineering guide to the safety of concrete and masonry dam structures in the U.K.” by M.F. Kennard, C.L. Owens and R.A. Reader CIRIA Report 148, 1996. Acest ghid se referă mai mult la barajele existente decât la proiecte de baraje noi.

În legătură cu stabilitatea la alunecare a structurilor de retenție în ghid se recomandă ca un baraj de greutate să îndeplinească un anumit factor de siguranță la alunecare spre aval sub acțiunea forțelor orizontale. Alunecarea poate fi analizată pe diverse căi, dar factorul de siguranță la alunecare-forfecare trebuie să indice gradul de siguranță contra alunecării la orice nivel în elevație. Alunecarea-forfecarea este analizată pe un plan aproape orizontal (uzual ușor înclinat spre amonte dacă rosturile dintre lamele sunt orientate pe această direcție) prin însumarea rezistenței totale care poate fi mobilizată contra forfecării și alunecării și împărțirea (raportarea) ei la încărcarea totală pe direcția planului de alunecare. În tabelul următor se prezintă factorii de siguranță la alunecare-forfecare recomandați în Design of Small Dams (1987) :

Tabelul nr.A1-8

Locația secțiunii de calcul al coeficientului de siguranță	Combinațiile de încărcări		
	Uzuale	Neuzuale	Extreme
Masa de beton	3.0	2.0	Peste 1.0
Interfață beton-fundație	3.0	2.0	Peste 1.0
Roca de fundație	4.0	2.7	1.3

Analiza poate include (dacă se consideră oportun) rezistența prismului de rocă de la piciorul aval al barajului.

8. Germania

8.1. Reglementări tehnice

În Germania aprecierea siguranței barajelor se bazează pe standardele germane DIN. Legile statului federal prescriu aplicarea acestor standarde. Standardele de bază pentru baraje sunt DIN-19700 secțiunea 10 (Uzine baraj – Specificații generale) și secțiunea 11 (Uzine baraj – Baraje) și DIN-19702 (Stabilitatea structurilor solide în ingineria apei). Mai multe secțiuni din DIN-19700 sunt în prezent în curs de reînnoire.

Reglementările tehnice comentate în cele ce urmează se aplică nu numai în faza de proiectare dar de asemenea pentru evaluarea siguranței barajelor existente.

Conform variantei reînnoite DIN 19700/11 sistemul baraj-fundație se va considera ca un sistem unitar. În consecință nu numai alunecarea corpului barajului pe interfața baraj-fundație trebuie să fie evaluată, dar de asemenea orice potențială suprafață de alunecare prin fundație trebuie examinată, luând în considerație fisurile/rosturile din masa de rocă.

În scopul aprecierii siguranței, trei grupe de cazuri de încărcare sunt combinate cu trei condiții de stare a structurii. Condiția de stare a structurii este determinată prin valorile caracteristice ale

materialelor care pot fi stabilite cel mai frecvent în domenii de împrăștiere. Aceste combinații sunt arătate în tabelul următor.

Tabelul nr.A1-9

	Proprietățile materialului		
	Cele mai bune valori estimate	Valori cu probabilitate redusă (conservative)	Valori limită mai scăzute (foarte conservative)
Cazul 1 de încărcare (greutate proprie, nivel apă maxim etc)	BF I	BF II	BF III
Cazul 2 de încărcare (nivelul apei la viituri etc)	BF II	BF III	
Cazul 3 de încărcare (viitură extremă, cutremur)	BF III		

În varianta reînnoită a standardului DIN 19700/11 sunt stabiliți următorii factori de siguranță minimi:

	BF I	BF II	BF III
Alunecarea pe interfața baraj-fundație	1.5	1.3	1.2
Alunecare în lungul rosturilor din masa de rocă	2.0	1.5	1.2

Rezistența la forfecare în rosturi sau fisuri poate fi exprimată pe baza unui unghi de frecare și a unei coeziuni aparente.

Metoda elementelor finite este acceptată pentru calculul factorilor de siguranță.

9. Suedia

9.1. Reglementări tehnice

În Suedia nu sunt reglementări tehnice specifice asupra stabilității la alunecare a barajelor de beton. Ghiduri asupra siguranței barajelor sunt publicate de Asociația companiilor energetice suedeze (Svensk Energi). Ghiduri asupra siguranței barajelor de beton au fost publicate în 2000. Ele au fost considerate ca fiind preliminare și au fost revizuite în anii următori. O versiune nouă a documentului principal al ghidurilor cuprinzând cerințe generale pentru siguranța barajelor a fost publicat în 2002.

9.2. Practica curentă

Ghidurile preliminare curente pentru barajele de beton sunt bazate pe practica normală aplicată în proiectarea unor noi baraje de beton în Suedia. Nu există considerații speciale făcute pentru aprecierea siguranței barajelor existente.

Combinațiile de încărcări pot fi normale, excepționale sau accidentale.

În combinația de încărcări normale se includ: greutatea proprie, presiunea hidrostatică și subpresiunea pentru nivelul maxim în acumulare și presiunea gheții (50...200 kN/m.l. de baraj).

În combinația de încărcări excepționale se includ: greutatea proprie, presiunea hidrostatică și subpresiunea pentru nivelul apei la cota coronamentului, încărcările pe durata viiturii de proiect (PMF pentru baraje cu hazard ridicat), încărcări pe durata construcției, încărcări din împingeri asimetrice ale gheții, subpresiuni crescute din cauza colmatării drenurilor.

Exemple de combinații de încărcări accidentale includ funcționări defectuoase ale instalațiilor de descărcare.

Siguranța de alunecare este evaluată pe contactul baraj-fundație dar și pe suprafețe din corpul barajului și terenul de fundare. Nu sunt date criteriile de evaluare a siguranței pentru suprafețele de alunecare din corpul barajului sau terenul de fundare. Alunecarea în rosturile dintre lamelele din corpul barajului poate fi evaluată conform normelor din codul de beton. Alunecarea din terenul de fundare al barajului este evaluată prin analize caz cu caz.

Siguranța la alunecare pe contactul baraj-fundație este apreciată prin metoda echilibrului corpului rigid. Un factor de alunecare (coeficient de alunecare al construcției) este calculat ca raportul între rezultanta la toate forțele paralele la suprafața de alunecare împărțită la rezultanta tuturor forțelor perpendiculare pe suprafața de alunecare.

În cazul barajelor fundate pe roci de calitate bună factorul de alunecare trebuie să ajungă la următoarele valori minime :

- 0.75 pentru combinațiile de încărcări normale;
- 0.90 pentru combinațiile de încărcări excepționale;
- 0.95 pentru combinațiile de încărcări accidentale.

10. Norvegia

10.1. Reglementări tehnice

În reglementarea tehnică în vigoare din Norvegia se precizează că siguranța la alunecare se evaluează din condiția ca încărcările orizontale să poată fi transferate din corpul barajului la fundație. Această condiție se verifică pe planuri de alunecare în corpul barajului, pe suprafața de contact baraj-fundație și în fundație. Înclinarea planului de alunecare va fi luată în considerație.

Factorul de siguranță la alunecare (S) este dat de expresia :

$$S = \frac{F}{\sum H}$$

unde F este rezistența maximă la forfecare care poate fi mobilizată și
 $\sum H$ - suma forțelor orizontale

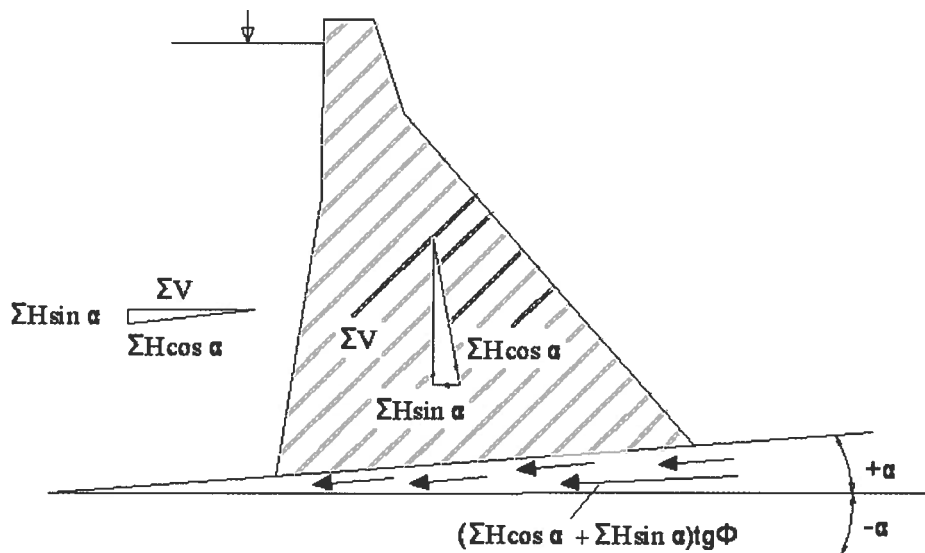


Fig. A1-1 Schema de calcul pentru evaluarea stabilității la alunecare.

Rezistența maximă la forfecare care poate fi mobilizată se calculează cu relația (fig. nr.A1-1) :

$$F = \frac{cA}{\cos \alpha (1 - \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha)} + (N - U) \operatorname{tg} (\varphi + \alpha)$$

unde φ - este unghiul de frecare
 α - înclinarea planului de alunecare față de orizontală
 c - coeziunea

A – aria în compresiune
 U – forța datorită subpresiunilor
 N – forța normală pe planul de alunecare

Când $\alpha = 0$ relația de mai înainte devine :

$$F = c A + \sum V \operatorname{tg} \varphi \quad \text{și} \quad S = \frac{c A + \sum V \operatorname{tg} \varphi}{\sum H}$$

unde: $\sum V = N - U$ este suma forțelor verticale când $\alpha = 0$
și $\sum H$ - suma forțelor orizontale

Contribuția coeziunii pe interfața baraj-fundație nu va fi considerată în calculul rezistenței totale împotriva alunecării cu excepția cazurilor când ea este confirmată prin teste.

În cazul alunecării în lungul rosturilor netratate dintre lamele contribuția coeziunii nu va fi luată în considerație.

În cazul rosturilor bine tratate dintre lamele fără fisurări generale în beton o contribuție maximă a coeziunii de $0.085 \sqrt{f_{cd}}$ (MPa) poate fi luată în considerație fără a fi confirmată prin teste (f_{cd} este rezistența la compresiune a betonului).

În cazurile când coeziunea nu se consideră factorul de siguranță (S) va avea următoarele valori minime:

- 1.5 – pentru încărcările de proiectare
- 1.1 – pentru încărcările neuzuale și extreme

În cazurile când coeziunea se consideră, factorul de siguranță (S) va avea următoarele valori minime :

- 3. – pentru încărcările de proiectare (2.5 dacă valorile coeziunii sunt verificate prin teste)
- 2 – pentru încărcări neuzuale și extreme (1.5 dacă valorile coeziunii sunt verificate prin teste).

În cazurile când unghiurile de frecare (φ) nu sunt verificate prin teste vor fi folosite următoarele valori maxime:

- 50° – pentru roci tari, suprafețe rugoase și șistuozitate favorabilă în tranziția mineral/beton ;
- 45° – pentru roci tari, rugozitate redusă cu șistuozitate distinctă și roci fără șistuozitate;
- 40° – pentru roci cu șistuozitate distinctă;
- 45° – pentru planuri de alunecare în corpul de beton.

11. U.S.A. - Burec

11.1. Reglementări tehnice

Numeroase Agenții Federale activează în U.S.A. În consecință numeroase standarde și practici ingierești sunt aplicate. În continuare ghidurile aplicate de Bureau of Reclamation (Burec) sunt prezentate în sinteză.

Criteriile aplicate de Bureau of Reclamation pentru evaluarea siguranței barajelor de beton, cu referire la faza de proiectare, sunt raportate în „Design Criteria for Concrete Arch and Gravity Dams”, Engineering Monography, nr. 19 din 1974.

11.2. Practica uzuală

Criteriile aplicate în Burec pentru aprecierea siguranței barajelor sunt bazate pe folosirea factorilor de siguranță care sunt considerați că includ toate incertitudinile posibile și ar trebui folosiți fără prevederi suplimentare pentru siguranță, cu excepția cazurilor de incertitudini neuzuale sau hazard.

Combi-nații de încărcări uzuale, neuzuale și extreme trebuie luate în considerație pentru evaluarea siguranței (și orice alte combinații de încărcări care în opinia proiectantului ar trebui să fie analizate pentru un baraj particular).

Combi-națiile de încărcări uzuale cuprind: încărcarea din presiunea hidrostatică pentru lac la cota normală de proiect (NNR) cu încărcările corespunzătoare din greutatea proprie, subpresiune, sedimente, gheață, apă la paramentul aval și temperatură dacă este cazul.

Combi-națiile de încărcări neuzuale cuprind: încărcarea din presiunea hidrostatică pentru cota maximă în lac (NMR) cu încărcările uzuale corespunzătoare.

Combi-națiile de încărcări extreme cuprind încărcările uzuale la care se adaugă efectele cutremurului maxim credibil.

Combi-națiile de încărcări uzuale și neuzuale ar trebui să analizeze de asemenea cazul când drenurile nu sunt funcționale.

Teste corespunzătoare ar trebui efectuate pentru a determina parametrii de rezistență ai betonului. Pentru faza preliminară de proiectare, până când datele din teste sunt disponibile, valorile proprietăților betonului pot fi estimate pe baza datelor din literatură sau considerând următoarele valori medii ale proprietăților betonului:

- rezistența la întindere: 5-6% din rezistența la compresiune;
- coeziunea: circa 10% din rezistența la compresiune;
- coeficient de frecare internă: 1.00.

Rezistența la forfecare în terenul de fundare și pe contactul baraj-fundație se determină prin teste de laborator și în teren efectuate pentru fiecare material în lungul planurilor de alunecare posibile. Rezistența la forfecare determinată prin testele de mai înainte ar trebui să fie limitată la domeniul încărcărilor normale aplicate în teste.

Efectul de scară ar trebui considerat cu grijă în determinarea valorilor folosite pentru rezistența la forfecare.

Rezultatele din testele de laborator triaxiale și forfecare directă ca și testele in situ de forfecare sunt în general raportate în forma ecuației Coulomb :

$$R = c.A + N \operatorname{tg} \varphi$$

Deși această ipoteză a liniarității este în general reală pentru rezistența la forfecare a rocii intacte în domeniul testelor cu încărcări normale, o curbă a rezistențelor la forfecare în raport cu încărcările normale ar trebui să fie considerată pentru alte materiale decât roca intactă.

Deplasarea folosită pentru determinarea rezistenței la forfecare este deplasarea maximă care poate fi admisă pe un plan de alunecare posibil fără a produce concentrări inacceptabile de eforturi în corpul barajului.

Efectele măsurilor de tratare pentru îmbunătățirea proprietăților terenului de fundare ar trebui să fie considerate.

Factorul de siguranță la forfecare-alunecare (Q) se determină în orice secțiune din sistemul baraj-fundație unde sunt posibile alunecări/forfecări conform expresiei :

$$Q = [c.A + (\sum N - \sum U) \operatorname{tg} \varphi] / \sum T$$

unde: c este coeziunea

A - aria secțiunii considerate

$\sum N$ - suma forțelor normale pe secțiune

$\sum U$ - suma forțelor de subpresiune

$\operatorname{tg} \varphi$ - coeficientul de frecare internă

$\sum T$ - suma forțelor de forfecare

Deși uneori factori mai mici de siguranță la forfecare-alunecare pot fi acceptați pe arii locale limitate din terenul de fundare, factorii de siguranță în general pentru sistemul baraj-fundație trebuie să îndeplinească următoarele cerințe :

Suprafața de alunecare	Combinățiile de încărcări		
	Uzuale	Neuzuale	Extreme
Beton - beton	3	2	Peste 1
Beton - fundație	3	2	Peste 1
În fundație	4	2.7	1.3

Pentru alte combinații de încărcări pentru care factorii de siguranță nu sunt specificați, proiectantul este responsabil cu selectarea factorilor de siguranță compatibili pentru acele categorii de combinații de încărcări discutate mai înainte.

12. Canada

12.1. Reglementări tehnice

Ghiduri asupra siguranței barajelor au fost publicate în 1995 de Asociația Canadiană pentru Siguranța Barajelor.

Ghidurile au obiectivul să definească cerințele astfel încât siguranța barajelor existente să poată fi investigată și evaluată într-un mod adecvat cu condițiile de-a lungul Canadei, să faciliteze transferul de informații și standarde de practică între inginerii profesioniști, să constituie o bază pentru reglementări și legislație privind siguranța barajelor.

Totodată ghidurile nu sunt norme de reglementări. Ele nu sunt concepute ca specificații de proiectare pentru evaluarea siguranței în faze de proiect, construcție sau reabilitare.

12.2. Practica curentă

Nivelul de siguranță stabilit pentru barajele de beton va lua în considerație consecințele cedării structurii. Structurile cu consecințe foarte reduse în caz de cedare pot fi exceptate de la cerințele tehnice prezentate în ghidurile asupra siguranței barajelor.

Combinații de încărcări uzuale, ne uzuale și excepționale trebuie considerate pentru evaluarea siguranței.

Combinația de încărcări uzuale cuprinde: încărcări operaționale și permanente (greutatea proprie, nivelul normal maxim de exploatare al apei din lac, subpresiunile, nivelul apei din aval, temperaturile mediului ambiant, gheața, sedimentele, presiunea pământului).

Combinația de încărcări ne uzuale cuprinde: fisuri induse de cutremur pe interfața baraj-fundație sau în orice secțiuni slabe în cazul când sunt identificate; o analiză de stabilitate va fi efectuată pentru a verifica dacă structura în condițiile post-cutremur este capabilă încă să reziste la combinația de încărcări uzuale. Cazul drenurilor colmatate trebuie să fie considerat și evaluat ca o combinație de încărcări ne uzuale.

Combinația de încărcări la viitură cuprinde: încărcări operaționale și permanente, care cu excepția încărcării din gheață vor fi considerate în corelație cu nivelurile în lac și în aval și subpresiunile care rezultă la trecerea viiturii de proiectare afluate.

Combinația de încărcări la cutremur cuprinde încărcări operaționale și permanente care vor fi considerate în corelație cu cutremurul de proiectare maxim (MDE).

Evaluarea siguranței la alunecare pentru baraje de greutate din beton se face pe baza următorilor indicatori de performanță :

- eforturile de forfecare medii care acționează pe suprafață;
- factorii de rezistență și factorii de alunecare calculați;
- starea structurii și a amplasamentului rezultată din observații.

Eforturile de forfecare calculate în ipoteza distribuției uniforme a forței de împingere peste zona comprimată din secțiune ar trebui să fie compatibile cu rezistențele admisibile la forfecare. Acest criteriu are scopul de a evita din faze incipiente tendința de producere în beton a unor fisuri de întindere diagonale în arii de eforturi mult mai mari decât efortul de forfecare mediu (uzual lângă piciorul barajului).

Rezistența contra alunecării a unui baraj de greutate pe oricare suprafață este evaluată prin comparația între forța de împingere netă și rezistența la forfecare disponibilă. Factorul de siguranță la alunecare (SF) se calculează cu expresia :

$$SF = \frac{\text{Rezistența la forfecare disponibilă}}{\text{Forța de împingere netă}}$$

Forța de împingere netă constă din suma componentelor tangențiale ale tuturor forțelor care acționează peste suprafața de alunecare analizată.

Suprafețele de alunecare potențiale nu sunt numai orizontale. O atenție specială trebuie avută pentru suprafețele ușor înclinate spre amonte sau spre aval pe care încărcările gravitaționale contribuie la forțele de împingere netă.

În practica generală, rezistența la forfecare este bazată pe criteriul Mohr-Coulomb și constă din componentele de frecare și de coeziune.

Două stări de rezistențe de forfecare disponibile (vârf, rezidual) ar trebui să fie considerate :

$$\text{- rezistența de forfecare de vârf} = \sum A_c (S_n \operatorname{tg} \phi' + \tau_0)$$

$$\text{- rezistența de forfecare reziduală} = \sum A_c (S_n \operatorname{tg} \phi'' + \tau_n)$$

unde:

A_c este aria comprimată

S_n - efortul normal

ϕ' - unghiul de frecare internă (vârf)

τ_0 - pragul de rezistență la forfecare pentru $S_n = 0$ (coeziune)

ϕ'' - unghiul de frecare internă (rezidual)

τ_n - rezistența la forfecare reziduală nominală (valori până la 100 kPa sunt confirmate prin teste; fără teste, τ_n ar trebui considerat zero).

În cazul betonului, pentru rezistența la forfecare de vârf dacă testele pe beton nu sunt disponibile, valoarea de $0.17 \sqrt{f_c}$ MPa pentru τ_0 poate fi folosită pentru masa de beton (f_c este rezistența la compresiune a betonului).

Cu excepția cazurilor când sunt indicații despre calitatea slabă a rosturilor dintre lamele, valoarea τ_0 pentru rosturile dintre lamele poate fi luată a fi jumătate din cea aplicată pentru masa de beton.

Valorile corespunzând pentru ϕ' și ϕ'' pot fi luate de 55° și respectiv 45° .

Valorile pentru ϕ' , ϕ'' și τ_0 pot fi obținute din teste de forfecare directă și din triaxial pentru domeniul de eforturi normale aplicabile după considerarea efectului de scară, sau ele pot fi adoptate din ghiduri.

În cazurile când suprafața de alunecare considerată este în lungul rosturilor dintre lamele sau pe interfața beton-rocă care au fost tratate cu pastă ciment-apă („strat de legătură”) se recomandă prudență. Depinzând de grosimea de aplicare a acestui „strat de legătură”, efortul de forfecare ar putea fi cel mult egal cu rezistența la alunecare a stratului fără pragul de rezistență la forfecare normal valabil și existent peste tot între rosturi. În asemenea cazuri se recomandă extragerea de carote orizontale din rost și testul de forfecare directă. Acest tip de test poate de asemenea să fie recomandabil pentru rosturile unde există temerea că infiltrațiile ar fi cauzat reducerea rezistenței în rost sub nivelurile acceptabile.

În cazul interfeței beton-rocă, rezistența depinde de următorii parametri: calitatea rocii de fundație și a betonului, rugozitatea suprafeței excavate, unghiurile de frecare de bază ale celor două materiale de contact, distribuția eforturilor în lungul suprafeței de contact.

În cazul rocii de fundație, rezistența ei poate fi exprimată fie prin rezistența la forfecare a unei singure discontinuități (când fundația este dominată de seturi de rosturi bine definite) sau prin rezistența masei de rocă evaluată la scară globală.

Rezistența la forfecare în lungul unui singur rost sau pe un plan slab de rezistență poate fi obținută fie prin teste in situ sau/și în laborator, fie prin evaluări pe baza datelor din teren.

Suplimentar la criteriul Mohr-Coulomb, o referință este făcută la alte două aproximări semi-empirice curent folosite pentru evaluarea rezistenței la forfecare în lungul unei discontinuități.

Prima aproximare este bazată pe parametrii de rugozitate a rostului (J_r) și gradul de alterare a rostului (J_a) iar rezistența la forfecare este exprimată cu relația $\tau = \sigma_n \operatorname{tg}(J_r / J_a)$ unde σ_n este efortul normal efectiv.

A doua aproximare este bazată pe coeficientul de rugozitate a rostului (JRC) și pe rezistența la compresiune pe rost (JCS), rezistența la forfecare fiind determinată cu relația

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \left(JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} + \phi_r \right) \right), \text{ unde } \phi_r \text{ este unghiul de frecare reziduală.}$$

În cazul rezistenței masei de rocă o referință este făcută asupra unui criteriu de rupere empiric bazat pe un mare număr de teste de laborator (Hoek and Brown, 1980-1988 pentru roci izotrope; Amadei, 1988, pentru condiții anizotrope).

Rezistența la alunecare adecvată este indicată prin factorii de siguranță la alunecare care trebuie să fie egali sau mai mari decât următoarele valori minime prezentate în tabel :

Tabelul A1-10

Tipul analizei (a)	Cazul de încărcare			
	Uzual	Viitură	Neuzual (după cutremur)	Cutremur (b)
Factorul de alunecare de vârf (<i>PSF</i>) – fără teste	3.0	2.0	2.0	1.3
Factorul de alunecare de vârf (<i>PSF</i>) – cu teste (c)	2.0	1.5	1.5	1.1
Factorul de alunecare rezidual (<i>RSF</i>) – (d) (e)	1.5	1.3	1.1	1.0

(a) *PSF* este bazat pe rezistența de forfecare la vârf; *RSF* este bazat pe rezistența reziduală sau după vârf

(b) Valoarea stabilită pentru cazul de încărcare cu Maximum Design Earthquake (*MDE*) este bazată pe analiza pseudo-statică. Evaluarea performanței barajului ar trebui de asemenea să ia în considerație natura dependentă de timp a excitației seismice și răspunsul dinamic al barajului.

(c) Date din teste adecvate trebuie să fie disponibile pe baza unor investigații realizate de personal calificat.

(d) Dacă valoarea *PSF* este mai mică decât cea din tabel, stabilitatea barajului este considerată acceptabilă cu condiția ca valoarea *RSF* să fie mai mare decât cea din tabel.

(e) Valorile minime ale *RSF* nu vor fi reduse mai mult indiferent de datele disponibile.

Pentru barajele în văi relativ înguste (raportul lățime/înălțime mai mică decât circa 3) efectele favorabile tridimensionale pot fi prezente. Dacă efectele favorabile tridimensionale sunt demonstrabile, factorii de siguranță stabiliți nu sunt indicatori adevărați ai stabilității.

Factorii de rezistență și alunecare minimum acceptați pentru condițiile după cutremur nu sunt valabili pentru aplicare pe durate lungi. Astfel, imediat după un cutremur major, barajele trebuie inspectate, comportarea lor trebuie atent monitorizată și reparațiile necesare trebuie realizate într-o perioadă rezonabilă de timp. Acumulările pot fi temporar exploatate, dacă este necesar, la niveluri restricționate până când reparațiile sunt făcute și/sau siguranța barajelor este confirmată prin analize.

Factorii de siguranță furnizează o valoare a limitei de siguranță dar ei nu pot fi considerați ca indicatori absoluți ai siguranței; mai exact ei sunt indicii care facilitează comparații ale secțiunilor barajelor de greutate pe o bază consistentă.

În calculul rezistenței la alunecare este avantajos să se identifice rigiditățile relative ale tuturor elementelor contributive, cele mai rigide fiind mai probabil să fie primele mobilizate sub acțiunea încărcărilor.

13. China

13.1. Reglementări tehnice.

Standardele tehnice chineze referitoare la ingineria hidroelectrică sunt foarte numeroase. Lista celor publicate în perioada 1990-1999 conține peste 140 de documente (cele mai multe dintre ele referitoare la echipamente mecanice și electrice).

În Septembrie 2000 a fost publicat în limba engleză „Compilarea standardelor asupra energiei apei în China”. Lucrarea cuprinde Standardele Tehnice Chineze privind:

- Standardul de proiectare unificat pentru soliditatea (durabilitatea) structurilor de inginerie hidraulică (GB 50199-1994).
- Cod de proiectare pentru încărcările pe structuri hidraulice (DL 5077-1997).
- Cod de proiectare seismică pentru structurile hidraulice (DL 5073-1997).
- Cod de proiectare pentru barajele de anrocamente cu mască de beton (DL/T 5016-1999).
- Cod de proiectare pentru barajele de greutate din beton (DL 5108-1999).

Standardul de proiectare unificat (GB 50199) a fost elaborat cu scopul de a unifica principiile de bază și standardele de proiectare pentru structurile de inginerie hidraulică. El formulează criterii comune pe care toate codurile de proiectare ale structurilor hidraulice trebuie să le îndeplinească.

Standardul de proiectare unificat este bazat pe principiile teoriei probabilităților și a proiectării la stări limită. Proiectarea la stări limită cu coeficienți de încărcare/ponderare este definită ca metodă de proiectare practică.

Structurile hidraulice trebuie să fie proiectate cu capacitatea de a rezista la încărcări în starea limită ultimă (ULS) și în stare limită de exploatare normală (NOLS).

Evaluarea siguranței la alunecare este considerată ca o evaluare ULS (capacitatea de a rezista la încărcări în starea limită ultimă).

Deplasările (deformațiile) care afectează exploatarea normală sau integritatea structurii, avarii locale care afectează integritatea și durabilitatea structurii și impermeabilitatea elementelor de etanșare corespund la stări limită de exploatare normală.

Factorii de încărcare diferiți sunt combinați conform normelor date și combinațiile de încărcări sunt derivate din următoarele condiții :

- Combinație de bază, statut permanent: evaluarea ULS, evaluarea NOLS;
- Combinația de bază, statut tranzitoriu : evaluarea ULS, evaluarea NOLS dacă este necesar;
- Combinație ocazională: evaluare ULS.

În general termenii din evaluarea ULS pot fi exprimați cu următoarea relație :

$$\gamma_0 \Psi S(\gamma_G G_K, \gamma_Q Q_K, A_K) \leq \frac{1}{\gamma_d} R (f_k / \gamma_m)$$

unde γ_0 este factorul de importanță al structurii ($\gamma_0 = 1.1 - 1.0 - 0.9$)

Ψ - factorul de statut al proiectului ($\Psi = 1.00 - 0.95 - 0.90$)

S - efect al acțiunii încărcărilor.

G_K - valori standard ale încărcărilor permanente.

γ_K - coeficient de încărcare (ponderare pentru încărcările permanente G_K)

Q_K - valori standard ale încărcărilor variabile.

γ_Q - coeficient de încărcare pentru încărcările variabile Q_K .

A_K - valoare tipică pentru încărcarea ocazională.

γ_d - coeficient al structurii.

R - rezistența structurii.

f_k - valoare standard a caracteristicilor materialului.

γ_m - factor de ponderare a caracteristicilor materialului.

În evaluarea stabilității la starea limită de alunecare-rezistență se aplică metoda echilibrului limită de corp rigid. Dacă este necesar metoda elementelor finite (FEM) sau experimente pe modele fizice structurale sau geomecanice pot fi folosite suplimentar față de metoda echilibrului limită de corp rigid.

Evaluarea siguranței la alunecare trebuie efectuată în următoarele secțiuni:

- rosturile dintre lamele din corpul de beton al barajului;
- suprafața de contact baraj-fundație;
- straturi în adâncimea fundației dacă există planuri structurale slabe, roci slabe, fisuri având unghiuri cu pante reduse sau suprafețe expuse cauzate de eroziunile din aval.

Rezistența totală este evaluată pe baza expresiilor uzuale bazate pe coeficienții de frecare și de coeziune.

Evaluarea valorilor standard pentru parametrii de rezistență la forfecare (coeziunea și unghiul de frecare) poate fi făcută la niveluri de precizie diferite, depinzând de stadiul proiectului și importanța barajului. În orice caz un model de distribuție normală probabilistică pentru coeficientul de frecare și un model de distribuție normală logaritmică (lognormală) pentru coeziune vor fi considerate.

În studiile de fezabilitate pentru proiecte mari sau în faze de proiect tehnic pentru proiecte medii rezultatele unor teste de la proiecte similare sau valori standard date în Anexa D a Codului de proiectare pentru baraje de greutate din beton pot fi adoptate.

În tabelul următor sunt prezentați factorii de pondere a proprietăților materialelor (γ_m) care trebuie aplicați pentru parametrii de rezistență la forfecare.

Tabelul nr.A1-11

Suprafața	Factor de ponderare (γ_m)	
	Frecare (γ_f)	Coeziune (γ_c)
Beton/beton	1.3	3.0
Beton/rocă	1.3	3.0
Rocă/rocă	1.4	3.2
Rocă slabă/plan structural slab	1.5	3.4

14. India

14.1. Reglementări tehnice

Instituția Indiană de Standardizare a publicat „Criterii pentru proiectarea barajelor de greutate solide IS:6512 – 1984 (prima revizie martie 1985).

În reglementări sunt stabilite șapte combinații de încărcări, după cum urmează :

A	Baraj construit complet, dar cu lacul gol;
B	Lac plin, subpresiuni normale, gheață și sedimente (dacă este cazul);
C	Lacul și apa în bieful aval corespunzătoare viiturii maxime, subpresiuni normale, sedimente ;
D	Cutremur cu barajul complet dar lacul gol ;
E	Cutremur, lac plin, subpresiuni normale, sedimente ;
F	Lacul și apa în bieful aval corespunzătoare viiturii maxime cu subpresiuni extreme (drenuri nefuncționale), sedimente;
G	Cutremur, lac plin, subpresiuni extreme (drenuri nefuncționale), sedimente.

Valorile coeziunii și frecării interne pot fi estimate pentru faze de proiectare preliminară pe baza datelor disponibile în cazuri echivalente sau de materiale comparabile. În cazul proiectelor în stadiul final valorile coeziunii și frecării ar trebui să fie determinate prin teste in situ și în laborator.

Factorul de siguranță la alunecare (F) se calculează cu următoarea relație și trebuie să nu fie mai mic decât 1.0 :

$$F = \left[\frac{\operatorname{tg} \varphi (W - U)}{F_\phi} + \frac{c.A}{F_c} \right] * \frac{1}{P}$$

unde W este greutatea totală a barajului.

U – forța totală de subpresiune.

$\operatorname{tg} \varphi$ - coeficient de frecare internă al materialului.

c – coeziunea materialului pe suprafața de alunecare considerată.

A – aria considerată pentru coeziune.

F_ϕ - factor parțial de siguranță în raport cu frecarea.

F_C – factor parțial de siguranță în raport cu coeziunea.

P – forța totală orizontală.

Valorile factorilor parțiali de siguranță sunt prezentați în tabelul următor :

Tabelul nr.A1-12

Combinăția de încărcări	F_ϕ	F_C		
		Pentru corpul barajului și contactul cu fundația	Pentru fundație	
			Investigată în detaliu	Alte cazuri
A, B, C	1.5	3.6	4.0	4.5
D, E	1.2	2.4	2.7	3.0
F, G	1.0	1.2	1.35	1.5

Anexa nr. 2-Exemplu de calcul.

Evaluarea stabilității la alunecare a unui baraj de greutate

Să se evalueze îndeplinirea condițiilor de stabilitate la alunecare conform "Normativului privind evaluarea stabilității la alunecare a structurii, terenului de fundare și a versanților barajelor din beton și lacurilor de acumulare", pentru profilul barajului de greutate din figura nr.A2-1.

Barajul se încadrează în clasa de importanță II și categoria de importanță B.

Suplimentar față de elementele geometrice ale profilului și schema încărcărilor prezentate în figura nr. A2-1 se dau următoarele date :

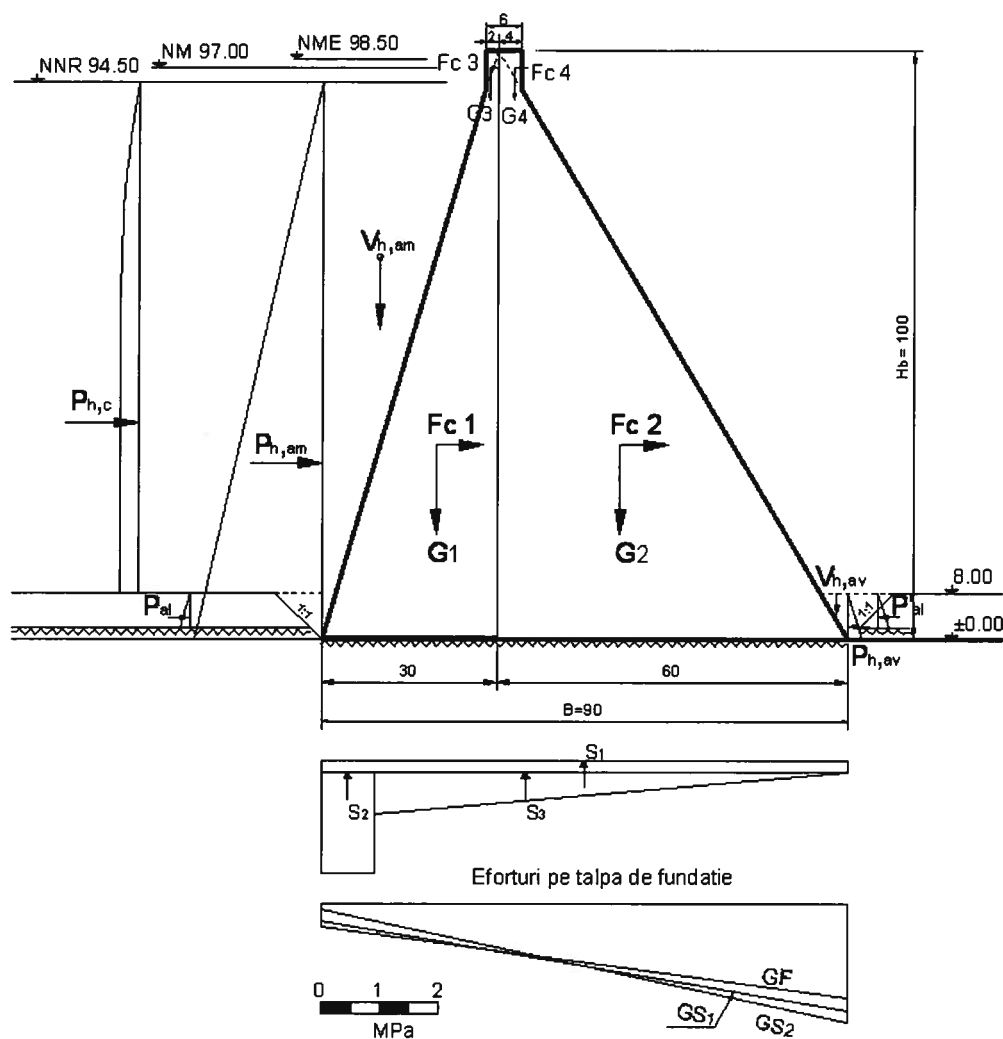


Fig. nr. A2-1 Elemente geometrice și schema încărcărilor pentru verificarea profilului barajului de greutate.

Coeficientul de frecare pe interfața baraj-fundație	$f = 0.65$
Nivelul normal de retenție (NNR) se stabilește la cota relativa	94,50 m
Accelerația seismică maximă, cutremur OBE	$0.1 g = 1 \text{ m/s}^2$
Debitul de dimensionare	$Q_{1\%} = 611 \text{ m}^3/\text{s}$
Debitul de verificare	$Q_{0.1\%} = 1207 \text{ m}^3/\text{s}$
Adâncimea apei în lac pentru nivel maxim normal (NM)	$H_{1m} = 96,90 \text{ m}$
Adâncimea apei în lac pentru nivel maxim extraordinar (NME)	$H_{1,me} = 98,50 \text{ m}$
Adâncimea apei în aval pentru nivel minim normal	12.00 m
Adâncimea apei în aval pentru viitura de 0.1%	18.10 m
Adâncimea apei în lac în timpul producerii cutremurului (NRN)	$H_{1c} = 86,50 \text{ m}$
Grosimea stratului de aluviuni de colmatare în lac	$h_d = 6.00 \text{ m}$
Grosimea stratului de aluviuni în bieful aval	$h_{al,av} = 6.00 \text{ m}$
Raportul dintre distanța pe orizontală de la piciorul amonte al barajului la voalul de etanșare și lățimea tălpii de fundare a barajului	$\beta = 0.1$
Coeficient de reducere a subpresiunilor în dreptul voalului de etanșare și a rețelei de drenaj.	$m = 0.40$
Coeficient de reducere a subpresiunilor la piciorul amonte al barajului	$m = 1.00$
Unghi de frecare internă a aluviunilor în stare saturată	$\varphi = 35^\circ$
Coeziune pe interfața baraj-fundație	$c = 400 \text{ kPa}$
Coeficient Poisson	$\mu = 0,28$
Factor dimensional de calcul al presiunilor hidrodinamice din cutremur	$C_p = 8.44 \text{ kN/m}^3$
Coeficient de reducere a presiunilor hidrodinamice la cutremur	
funcție de înclinarea paramentului amonte al barajului	$k = (1,0 - 1,1)\lambda_1$ pentru $\lambda_1 [0,0.50]$
Greutatea volumetrică a betonului	$\gamma_b = 24 \text{ kN/m}^3$
Greutatea volumetrică a apei	$\gamma_a = 10 \text{ kN/m}^3$
Greutatea aluviunilor în stare submersată	$\gamma_{al,subm} = 10 \text{ kN/m}^3$

În tabelul nr. A2-1 se prezintă în sinteză evaluarea încărcărilor care acționează în profilul barajului pentru 1 ml în lungul coronamentului precum și momentele lor în raport cu axa orizontală prin centrul secțiunii de fundație și paralelă cu axul coronamentului.

Tabelul nr.A2-1

Nr crt	Denumire încărcări	Caz grupare	Formula de calcul	Forță		Braț de aplicare m	Moment + ↺	
				→ kN	↓ +		+	-
1.	Greut.proprrie G_1	1,2,3	$\frac{1}{2} \gamma_b \lambda_1 H_b^2$	36000		25		900,000
2.	Greut.proprrie G_2	1,2,3	$\frac{1}{2} \gamma_b \lambda H_b^2$	72000		5	360,000	
3.	Greut.proprrie G_3	1,2,3	$\frac{1}{2} \gamma_b \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \lambda)^2} b^2$	160		16,33		2613

4.	Greut.proprrie G_4	1,2,3	$\frac{1}{2} \gamma_b \frac{\lambda}{(\lambda_1 + \lambda)^2} b^2$	320		12,33		3946
5.	Forță hidrost.am. oriz. $P_{h,am}$	1, 3,	$\frac{1}{2} \gamma H_{1,m}^2$	44651		31,50	1406506	
		2	$\frac{1}{2} \gamma H_{1,me}^2$	48511		32,83	1592778	
6.	Forță hidrost.am. vert.. $V_{h,am}$	1, 3	$\frac{1}{2} \gamma \lambda_1 H_{1,m}^2$	13395		35,00		468825
		2	$\frac{1}{2} \gamma \lambda_1 H_{1,me}^2$	14553		35,00		509355
7.	Forță hidrost.av. oriz.. $P_{h,av}$	1, 3, 2	$\frac{1}{2} \gamma H_{av,m}^2$		-320	2,67		854
8.	Forță hidrost.av. vert... $V_{h,av}$	1,3,2	$\frac{1}{2} \gamma \lambda H_{av,m}^2$	192		43,40	5729	
9.	Subpresiune S_1	1, 3, 2	$\gamma(\lambda_1 + \lambda)H_b H_{av,m}$		-7200	0,00		
10.	Subpresiune S_2	1, 3	$m_{am} \gamma \beta (\lambda + \lambda_1) H_b (H_{1,m} - H_{av,m})$		-7785	40,50	315292	
		2	$m_{am} \gamma \beta (\lambda_1 + \lambda) H_b (H_{1,me} - H_{av,me})$		-8145	40,50	329872	
11.	Subpresiune S_3	1, 3	$\frac{1}{2} m \gamma (1 - \beta) (\lambda_1 + \lambda) H_b (H_{1,m} - H_{av,m})$		-14013	9,00	126117	
		2	$\frac{1}{2} m \gamma (1 - \beta) (\lambda_1 + \lambda) H_b (H_{1,me} - H_{av,me})$		-14661	9,00	131949	
12.	Împingere aluviuni oriz. am. P_{al}	1,2, 3	$\frac{1}{2} \gamma_{al.subm} h_{al}^2 \operatorname{tg}^2 (45 - \varphi / 2)$	49		4,00	195	
13.	Greut.aluv.am. V_{al}	1,2, 3	$\frac{1}{2} \gamma_{al.subm} \lambda_1 h_{al}^2$	54		44,4		2398
14.	Împingere aluv. oriz.av. P'_{al}	1,2,3	$\frac{1}{2} \gamma_{al.subm} \frac{\mu}{1-\mu} h_{al,av}^2$		-70	4,00		280
15.	Greut.aluv.av. V_{av}	1,2,3	$\frac{1}{2} \gamma_{al.subm} \lambda h_{al,av}^2$	108		44,4	4795	
16.	Forță inerție F_{c1}	3	a G_1	3600		33,33	119988	
17.	Forță inerție F_{c2}	3	a G_2	7200		33,33	239976	
18.	Forță inerție F_{c3}	3	a G_3	16		97,78	1564	
19.	Forță inerție F_{c4}	3	a G_4	32		97,78	3129	
20.	Forță hidrodin. oriz. am. P_{hc}	3	$\frac{2}{3} k a C H_{1,c}^2$	1263		42,60	53804	

Calculul stabilității la alunecare se face la două tipuri de grupări :

- Gruparea fundamentală și
- Grupări speciale.

Gruparea fundamentală (GF) este compusă din următoarele încărcări: greutatea proprie, încărcarea din presiunea hidrostatică amonte (pentru nivelul maxim normal NRN), încărcarea din presiunea hidrostatică din aval (pentru nivelul minim normal), încărcarea din presiunea aluviunilor din colmatarea acumulării, încărcarea din subpresiune pentru nivelurile corespondente din amonte și aval.

Gruparea specială 1 (GS1) este compusă din următoarele încărcări: greutatea proprie, încărcarea din presiunea hidrostatică la viitura de verificare, încărcarea din presiunea hidrostatică din aval corespunzătoare tranzitării viiturii în bieful aval, încărcarea din subpresiune pentru nivelurile corespondente din amonte și aval, încărcarea din presiunea aluviunilor.

Gruparea specială 2 (GS2) este compusă din următoarele încărcări: greutatea proprie, încărcarea din presiunea hidrostatică amonte pentru NRN, încărcarea din presiunea hidrostatică aval pentru nivelul minim normal, încărcarea din presiunea aluviunilor, încărcarea inerțială din masa barajului și presiunea hidrodinamică din lac produsă de cutremurul OBE.

Stabilitatea la alunecare se evaluează după metoda echilibrului limită fără considerarea coeziunii pe interfața baraj-fundație și cu considerarea coeziunii. Relațiile de calcul sunt următoarele :

- fără considerarea coeziunii (c) :

$$k = \frac{f \sum V}{\sum H}$$

- cu considerarea coeziunii (c) :

$$\sum H \leq \frac{f \sum V}{k_1} + \frac{c \cdot A_c}{k_2}$$

unde k este coeficientul de siguranță la alunecare

f – coeficientul de frecare pe interfața baraj-fundație

$\sum H$ - suma forțelor orizontale care acționează pe profil

$\sum V$ - suma forțelor verticale care acționează pe profil

k_1, k_2 – coeficienți parțiali de siguranță care reduc forța de frecare și respectiv forța de rezistență datorită coeziunii.

c - coeziunea

A_c – aria comprimată din suprafața de fundație

În vederea evaluării zonei comprimate din aria fundației și a eforturilor pe fundație se aplică metoda elementară din rezistența materialelor a distribuției liniare a eforturilor normale (σ_v). Relația de calcul la compresiune + încovoiere are forma :

$$\sigma_{V_{am}}^{av} = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{\sum M^+}{W}$$

unde $\sum M$ este suma momentelor față de axa orizontală paralelă cu axul coronamentului care trece prin centrul de greutate al tălpii de fundație (momente pozitive cele cu sens orar).

A – aria tălpii de fundație

W – modulul de rezistență al tălpii de fundație

$$A = (\lambda_1 + \lambda) H_b = 0.9 \times 100 = 90 \text{ m}^2$$

$$W = \frac{1}{6} (\lambda_1 + \lambda)^2 H_b^2 = \frac{1}{6} \cdot 0.9^2 \times 100^2 = 1350 \text{ m}^3$$

○ Calculele de evaluare a stabilității la alunecare a profilului barajului de greutate din figura nr. A2-1 au condus la următoarele rezultate :

A. În ipoteza neglijării coeziunii ($c = 0$)

$$\text{GF} \quad k = \frac{0,65 \times 93231}{44310} = 1,37 \quad k_{\text{normativ}} \geq 1.40$$

$$\text{GS1} \quad k = \frac{0,65 \times 93381}{48170} = 1,26 \quad k_{\text{normativ}} \geq 1.10$$

$$\text{GS2} \quad k = \frac{0,65 \times 93231}{56421} = 1,07 \quad k_{\text{normativ}} \geq 1.10$$

B. În ipoteza considerării coeziunii prin interfața baraj-fundație ($c \neq 0$).

○ Într-o primă etapă trebuie efectuate calcule de verificare dacă pe talpa de fundație se produc eforturi de întindere din încovoiere :

$$\text{GF} \quad \sigma_{v,am}^{av} \frac{93231}{90} \pm \frac{839718}{1350} = \sigma_{v,am} = 414 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{v,av} = 1657 \text{ kPa}$$

Întreaga arie de fundație este comprimată

$$\text{GS1} \quad \sigma_{v,am}^{av} \frac{93381}{90} \pm \frac{1005872}{1350} = \sigma_{v,am} = 292 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{v,av} = 1783 \text{ kN/m}^2$$

Întreaga arie de fundație este comprimată

$$\text{GS2} \quad \sigma_{v,am}^{av} \frac{93231}{90} \pm \frac{1258179}{1350} = \sigma_v^{am} = 104 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_v^{av} = 1968 \text{ kN/m}^2$$

Întreaga arie de fundație este comprimată

$$\text{GF} \quad 44310 \leq \frac{0,65 \times 93231}{1,5} + \frac{400 \times 90}{5} \quad 44210 < 47600$$

$$\text{GS1} \quad 48170 \leq \frac{0,65 \times 93381}{1,3} + \frac{400 \times 90}{4} \quad 48170 < 55690$$

$$\text{GS2} \quad 56421 \leq \frac{0,65 \times 93231}{1,3} + \frac{400 \times 90}{4} \quad 56421 \geq 55615$$

În ipoteza neconsiderării coeziunii ($c = 0$), profilul nu îndeplinește condițiile minime stabilite prin normativ prin coeficienții de siguranță minimi (K_{minim}) pentru combinațiile de încărcări GF și GS2.

Calculul arată că în ipoteza considerării coeziunii ($c \neq 0$), profilul nu îndeplinește condițiile de stabilitate la alunecare în combinația de încărcări GS2.

Anexa nr.3-Exemplu de calcul.

Evaluarea stabilității la alunecare a unui stăvilă

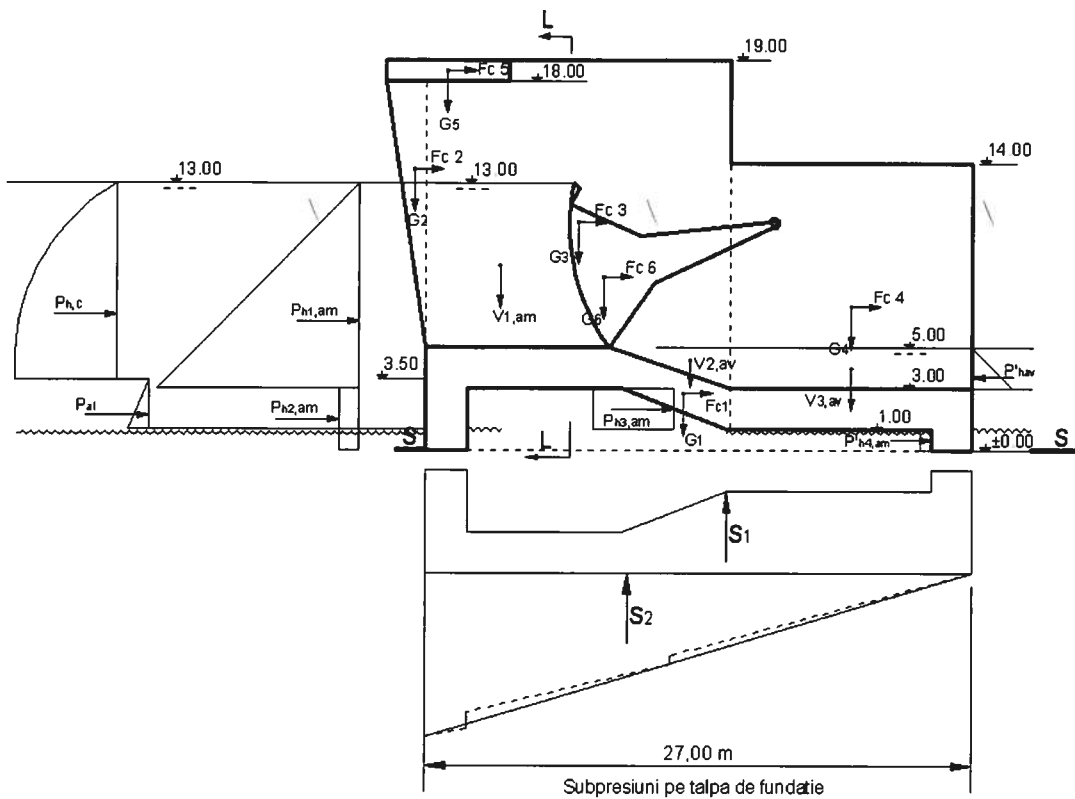
Sa se evalueze îndeplinirea condițiilor de stabilitate la alunecare conform prevederilor "Normativului privind evaluarea stabilității la alunecare a structurii, terenului de fundare și a versanților barajelor de beton și lacurilor de acumulare" pentru stăvilă din figura nr.A3-1.

Stăvilă se încadrează în clasa de importanță II și categoria de importanță B.

Suplimentar față de elementele geometrice și de încărcarea prezentată în figura nr. A3 -1 se dau următoarele date:

Coeficient de frecare pe interfața beton - roca	0,55
Coeziune pe interfața beton - roca	200 kPa
Coeficient de frecare în masa de roca	0,40
Coeziune în masa de roca	100 kPa
Nivelul normal de retenție (NNR) cotă relativă	13,00 m
Accelerația seismică maximă, cutremur OBE	$0.1 g = 1 \text{ m/s}^2$
Adâncimea apei în lac în timpul producerii cutremurului	9,50 m
Grosimea stratului de sedimente	2,50 m
Nivelul apei în aval, cotă relativă	5,00 m
Coeficient de reducere a subpresiunilor la picior amonte stăvilă	1,00
Unghi de frecare internă, sedimente în stare saturată	200
Factor dimensional de calcul al presiunilor hidrodinamice din cutremur	$C_p = 8.44 \text{ kN/m}^3$
Greutatea volumetrică a betonului	$\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3$
Greutatea volumetrică a apei	$\gamma_a = 10 \text{ kN/m}^3$
Greutatea aluviunilor în stare submersată	$\gamma_{al,subm} = 10 \text{ kN/m}^3$
Greutatea aluviunilor în stare saturată	$\gamma_{al,sat} = 20 \text{ kN/m}^3$

În tabelul nr.A3-1 se prezintă sintetic mărimea încărcărilor care acționează pe o cuva a stăvilă și momentele lor în raport cu axa orizontală prin centrul secțiunii de fundație și paralelă cu axul stăvilă.



Sectiunea L - L

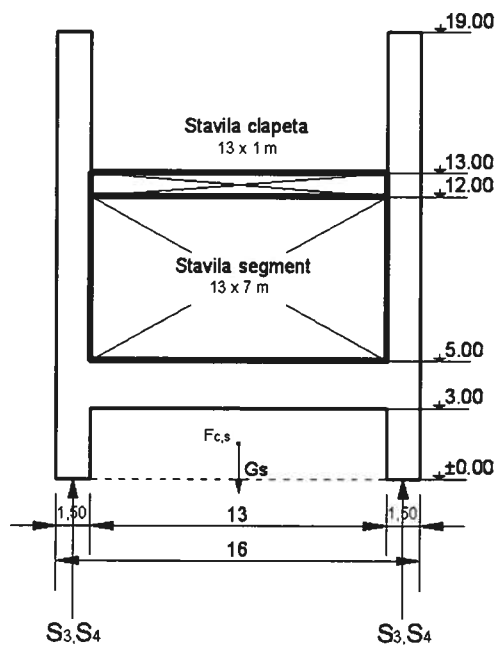


Fig. nr. A3-1 Elemente geometrice și schema încărcărilor pentru verificarea profilului stavelor

Tabel nr.A3-1

Nr crt	Denumire încărcări	Forță → kN ↓+				Braț de aplicare m	Moment + ↻ kNm	
		verticala		orizontala			+	-
		+	-	+	-			
1.	G ₁ - Greut.proprrie	20150				0.81		16322
2.	G ₂ - Greut.console, semipile	1050				14.17		14878
3.	G ₃ - Greut.semipile amonte	21375				6.00		128250
4.	G ₄ - Greut.semipile aval	12600				7.50	94500	
5.	G ₅ - Tablier pod ampriză 1.2)	2340				12.50		29250
6.	G ₆ - Greutate echipam. (ampriză 1.2)	598				5.30		3169
7.	G _s Greutatea pamantului peste S-S	11180				2,95		33020
8.	P _{h1,am} Presiunea hidrostatică am. oriz.			8000		5,33	42640	
9.	P _{h2,am} Pres. hidrostatică am. oriz.			1219		0,50	610	
10.	P _{h3,am} Pres. hidrostatică am. oriz.			2028		1,00	2028	
11.	P _{h4,am} Pres. hidrostatica am. oriz.			78		0,50		39
12.	V _{1,am} - Greutatea apei am	7969				9,63		18957
13.	V _{1,av} - Greutatea apei av	780				0,50		390
14.	V _{3,av} - Greutatea apei av	3120				7,50	23400	
15.	P' _{h,av} Pres. Hidr. aval oriz.				320	2,67		854
16.	S _{1,S-S} Subpresiunea pt. stab. S-S		21600			-		-
17.	S ₁ Subpresiunea pt. calc. Ef. Pe talpa de fundatie		14720			1,38		20314
18.	S ₂ Subpresiunea dinamică		17280			4,50	77760	
19.	P _{al,am} Incarcare din sedimente am.			244		0,83	203	
20.	F _{c,1} Forța de inerție din G ₁			2015		1,68	3385	
21.	F _{c,2} Forța de inerție din G ₂			105		13,33	1400	
22.	F _{c,3} Forța de inerție din G ₃			2137		8,50	18164	
23.	F _{c,4} Forța de inerție din G ₄			1260		6,00	7560	

24.	$F_{c,5}$ Forța de inerție din G_5			234		17,50	4095	
25.	$F_{c,6}$ Forța de inerție din G_6			60		7,50	450	
26.	$F_{c,S}$ Forța de inerție din G_S			1118		0,15	168	
27.	$P_{h,c}$ Forța hidrodinamică			817		6,30	5147	

Calculul stabilității la alunecare pe suprafața S – S, compatibilă cinematic, se face la doua grupari:

gruparea fundamentală (GF) compusă din urmatoarele incarcari: greutatea proprie + pod peste pragul deversant + greutatea stavila, încărcarea din presiunea hidrostatică amonte pentru NNR, încărcarea din presiunea hidrostatică din aval pentru condiții normale de exploatare, încărcarea din subpresiune pe suprafața S – S pentru nivelurile corespondente din amonte si aval, greutatea pământului cuprins între talpa radierului si suprafata S – S, încărcarea din presiunea aluviunilor din colmatarea acumulării.

Gruparea specială (GS) compusa din încărcările din GF la care se adaugă încărcările inerțiale din masa barajului, masei podului peste pragul deversor, masei de pământ dintre talpa radierului și suprafața S – S și presiunea hidrodinamică din lac produsă de cutremurul OBE.

Stabilitatea la alunecare se evalueaza dupa metoda echilibrului limita cu și fără considerarea coeziunii (c) pe suprafața de alunecare S – S.

In vederea evaluării zonei comprimate din aria fundației si a eforturilor pe talpa de fundație se aplică metoda elementară din rezistența materialelor de calcul la compresiune excentrică cu distribuția liniara a eforturilor normale verticale (σ_v).

$$A = 16 \times 27^2 = 432m^2$$

$$W = \frac{1}{6} 16 \times 27^2 = 1944m^3$$

$$GF \quad \sigma_{v,am}^{av} = \frac{27562}{432} \pm \frac{-24505}{1944} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_v^{am} = 76,40 \text{ kPa} \\ \sigma_{v,av} = 51,20 \text{ kPa} \end{array} \right.$$

$$GS \quad \sigma_{v,am}^{av} = \frac{27562}{432} \pm \frac{16067}{1944} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_v^{am} = 55,54 \text{ kPa} \\ \sigma_{v,av} = 72,06 \text{ kPa} \end{array} \right.$$

In ambele ipoteze de calcul (GF si GS) aria fundației este comprimată

Verificarea stabilității la alunecare pe suprafața S – S.

Calculul coeficientului de frecare la alunecare (f_{echiv}) și coeziunii (c_{echiv}) pe suprafața de alunecare prin medii ponderate.

$$f_{echiv} = \frac{0,55(4 \times 16 + 3 \times 23) + 0,40(23 \times 13)}{27 \times 16} = 0,45$$

$$c_{echiv} = \frac{200(4 \times 16 + 3 \times 23) + 100(23 \times 13)}{27 \times 16} = 1308 \text{ kPa}$$

A. Fara considerarea coeziunii

$$GF \quad k = \frac{0,45 \times 27562}{11005} = 1,13 \quad k_{normativ} \geq 1,40$$

$$GS \quad k = \frac{0,45 \times 27562}{18995} = 0,65 \quad k_{normativ} \geq 1,10$$

B. Cu considerarea coeziunii ($c = 130,8 \text{ kPa}$)

$$GF \quad 11005 \leq \frac{0,45 \times 27562}{1,5} + \frac{130,8 \times 432}{5} \quad 11005 < 19570$$

$$GS \quad 18995 \leq \frac{0,45 \times 27562}{1,3} + \frac{130,8 \times 432}{4} \quad 18995 < 23666$$

Cuva stăvilărilor nu îndeplinește condițiile minime de stabilitate la alunecare conform normativului în ipoteza neconsiderării coeziunii ($c = 0$) pentru ambele combinații de încărcări

A – GF și A – GS.

Se impune ca măsură constructivă realizarea unui sistem de etansare și drenaj a fundației stăvilărilor pentru reducerea subpresiunilor.

Referințe tehnice și legislative

A. Standarde

Nr. crt.	Indicativ	Denumire standard
1.	STAS 4273-83	Construcții hidrotehnice. Încadrarea în clase de importanță.

B. Reglementări tehnice

Nr. crt.	Reglementarea tehnică	Publicația
1.	Normativ privind stabilirea încărcărilor și grupărilor de încărcări pentru construcțiile hidrotehnice de retenție. Indicativ NP 130-2013, aprobat prin O.M.D.R.A.P. nr. 2363/24.07.2013	Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 586 bis din 16 septembrie 2013.
2.	Normativ de proiectare, execuție și evaluare la acțiuni seismice a lucrărilor hidrotehnice din frontul barat. Indicativ NP 076-2013, aprobat prin O.M.D.R.A.P. nr. 3.102/2013	Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 723 bis din 25 noiembrie 2013.

C. Referințe tehnice.

1. Siguranța la alunecare a barajelor de greutate. Raport final al grupului de lucru din cadrul Clubului European al țărilor membre ICOLD, 2004. Ruggeri, G.
2. Stabilitatea la alunecare pentru structurile de beton, Washington D.C., 1981. USACE
3. Manual de ghiduri ingineresti pentru evaluarea proiectelor hidroenergetice. Washington D.C., 2002. EERC.
4. Subpresiunea, rezistența la forfecare și rezistența la întindere pentru analiza de stabilitate a barajelor de greutate din beton EPRIA TR-100345, Proiect 2917-05, August, 1992. Stone & Webster Engineering Corporation.
5. Tratarea și performanțele rosturilor de construcție din barajele de beton. Energia Apei și Construcția barajelor, Noiembrie, 1993. Pacelli, W.A., Andriolo, F.R., Sarkaria, G.S.
6. Comportarea mecanică a fundațiilor de rocă ale barajelor de beton Congresul ICOLD nr.8, Mai, 1964. Rocha, M.
7. Mecanica rocilor în proiectarea fundațiilor de baraje. Buletin special ICOLD, Ediție Revizuită, Paris, 1982. Londe, P. Rock.
8. Ghid Federal pentru Siguranța Barajelor, Departamentul SUA pentru Securitate Internă, FEMA, mai 2005.

Notă:

1. Referințele datate au fost luate în considerare la data elaborării prezentei reglementări tehnice.
2. La data utilizării reglementării tehnice se va consulta ultima formă în vigoare a referințelor legislative și tehnice.