

Generalități

Dezvoltarea societății umane este strâns legată de asigurarea resurselor de apă. Cele mai vechi lucrări hidrotehnice s-au realizat pentru asigurarea apei pentru irigații și pentru alimentarea cu apă potabilă.

Printre primele lucrări cunoscute de acest tip, realizate în antichitate, sunt sistemul de irigare început cu 3000 î.Hr. în Persia și care furnizează și în prezent aprox. 80% din necesarul de apă pentru irigații din regiunea numită Qanat.

Lucrări similare, datând din aceeași perioadă s-au descoperit recent în Caral – pe valea Supe, în Peru și reprezintă un sistem agricol complex cu lucrări de irigații.

Unul din cele mai vechi orașe care dispuneau de construcții pentru asigurarea apei este Knossos situat în vecinătatea capitalei insulei Creta, Iraklion. Knossos a fost pentru locuit în urmă cu 6000 de ani iar apeductele și sistemele de canalizare ce deserveau acest oraș datează din perioada civilizației minoice (2800-1100 î.Hr.). Apeductele furnizau apa prin conducte sub presiune palatului din Knossos, iar sistemul de canalizare constata din două colectoare separate, unul pentru ape uzate și altul pentru a colectarea apei de ploaie. Palatul a fost distrus de un cutremur în jur de 1450 î.Hr.

În Anatolia, Turcia, din perioada 2000-200 î.Hr., există multe vestigii ale sistemelor antice de alimentare cu apă urbane, inclusiv conducte, canale, tuneluri, sifoane, apeducte, rezervoare, cisterne, și baraje. Un exemplu în acest sens este orașul Efes, pentru care apa se asigura prin intermediul unui mic baraj și un sistem de conducte ceramice două de secțiune mare și una mai mică, având o lungime de 6-km. Orașul dispunea și de un sistem de băi cu apă caldă și încălzire centrală.

Romani au construit apeducte pe structuri supraînălțate pentru a asigura panta necesară transportului debitului de apă spre un rezervor de distribuție iar apoi apa era transmisă prin trei conducte de plumb către fântâni, bai publice și casele private. Au realizat de asemenea lucrări de desecare a mlaștinilor pentru a obține noi terenuri agricole și pentru a combate bolile provocate de traiul în vecinătatea acestora.

Alte construcții hidrotehnice importante realizate în antichitate sunt cele din China, Marele Canal în lungime de 1782 km realizat cu începere din sec II î.Hr. și utilizat pentru combaterea inundațiilor și transport, sistemele de irigații din Sri Lanka cuprinzând primele mari rezervoare pentru înmagazinarea apei de ploaie și canale utilizate pentru irigații realizate începând din secolul 5 î.Hr.

1.2. Economia apelor și ramurile ei

Apă a constituit și constituie un factor esențial în dezvoltarea societății umane, ocupând un loc de frunte în economia tuturor statelor. Rezervele de apă pe globul pământesc sunt aparent nepuizabile, stocul anual al cursurilor de apă se aproximează la circa 30000 km³. Aceste resurse sunt însă repartizate neuniform pe suprafața globului iar regimul lor de repartiție variază în timp. Pentru a le putea folosi pentru satisfacerea nevoilor sale societatea omenească a trebuit să se adapteze. Totalitatea măsurilor necesare satisfacerii necesităților consumului de apă al societății formează o parte a economiei naționale care se numește gospodărirea sau economia apelor.

Ramurile economiei apelor sunt:

- Hidroenergetica** - este ramura economiei apelor care se ocupă cu folosirea și amenajarea energiei cursurilor de apă.
- Transportul pe apă** - se ocupă de navigație și plutărit; transportul pe apă este considerată cea mai ieftină ramură a economiei apelor și include și transportul oamenilor și a mărfurilor.
- Hidroameliorația** - se ocupă cu lucrările de alimentări cu apă, desecări și de combatere a eroziunii solurilor.
- Alimentarea cu apă și canalizarea** - pentru localități și pentru industrii.
- Alte folosințe** (navigație de agrement, yachting și sporturi nautice, înot, pescuit sportiv, scop peisagistic).

Un rol deosebit de important în economia apelor îl ocupă combaterea influențelor negative ale apelor care duc la degradarea terenurilor, eroziunea malurilor și la inundații.

Folosirea complexă a cursurilor de apă. Principii.

Prin folosirea complexă a cursurilor de apă se urmărește realizarea amenajărilor astfel încât să fie satisfăcute cerințele impuse de necesitățile mai multor sectoare de activitate (de exemplu, un nod hidrotehnic bine gândit și realizat poate rezolva atât alimentarea cu apă a regiunilor învecinate, cât și problema folosirii energiei apei, asigurarea condițiilor de navigație pe râu, creșterea fondului piscicol al râului, etc.).

Folosirea complexă a cursurilor de apă este principiu de bază al gospodăririi apelor.

Folosirea complexă a cursurilor de apă presupune respectarea următoarelor **principii**:

- utilizarea concomitentă a cursului de apă în mai multe scopuri;
- să nu se excludă posibilitatea dezvoltării ulterioare a altor ramuri ale economiei apelor;
- amenajarea cursurilor de apă trebuie făcută pe baza planurilor de amenajare integrală a apelor într-un bazin;

Respectarea principiilor folosirii complexe a cursurilor de apă este dificilă deoarece unele folosințe necesită debite uniforme, alte folosințe cer debite neuniforme sau periodice, ca de ex.: irigațiile; unele folosințe consumă apă, ca de ex.: irigațiile și alimentările cu apă; alte folosințe utilizează apa fără a-i micșora debitul, ca de ex.: transportul pe apă, energetica, etc.

Toate amenajările cursurilor de apă executate în țara noastră respectă aceste principii.

Amenajarea râurilor Bistrița - Siret

Bazinul hidrografic al râului Bistrița localizat în zona montană și subcarpatică a Carpaților Răsăriteni are o suprafață totală de peste 4000 km² și aduce în râul Siret la intrare în jud. Bacău un debit mediu de 70 54 m³/s.

Amenajarea hidroenergetică pe râul Bistrița a început prin lucrări pe cursul său mijlociu, între Bicaz și Bacău, care dispune de un important potențial hidroenergetic unitar (1200 kW/km), lungimea sectorului amenajat fiind de 125 km, cu o diferență de nivel de 372 m și o lungime totală de 279 km.

Amenajarea hidroenergetică a râului Bistrița poate fi împărțită în 4 etape importante. (fig.)

Etapa 1 - realizată între anii 1950 - 1962 a cuprins hidrocentrala de la Stejaru cu marele lac de acumulare Izvorul Muntelui cu un volum total de 1230 milioane m³. Izvorul Muntelui este cel mai mare lac de acumulare ce s-a putut realiza pe râurile interioare și realizează o compensare supraanuală de care beneficiază atât centrala de la Stejaru cu o putere de 454 MW și o producție de 434 GWh/an cât și cascada de 12 hidrocentrale din aval până la vărsare ca și hidrocentralele de pe Siret din aval de vărsarea Bistriței.

Etapa 2 - a constituit-o realizarea între 1959 și 1966 a cascadei de 12 hidrocentrale de joasă cădere și medie putere echipate cu turbine Kaplan fabricate pentru prima dată în România, în cadrul careia se disting:

- sectorul Pângărați-Vaduri ce cuprinde 2 centrale cu debite instalate de 180 - 200 m³/s;
- sectorul Piatra Neamț-Buhuși ce cuprinde 6 centrale cu debite instalate de 80 - 84 m³/s;
- sectorul Racova-Bacău ce cuprinde 4 centrale cu un debit instalat de 180 m³/s;

Dintre cele 12 hidrocentrale, cele de la Piatra Neamț și Pângărați sunt de tipul centrală-baraj iar celelalte hidrocentrale de la vaduri, Roznov I, Roznov II, Zănești Costișa, Buhuși, Rahova, Gîrleni, Bacău I și Bacău II sunt de tipul centrală pe canal de derivație.

Centralele hidroelectrice Vaduri, Racova, Gîrleni, Bacău I și Bacău II au lacuri de acumulare proprii însumând un volum de 52 milioane m^3 . Puterea instalată a celor 12 hidrocentrale este de 244 MW, iar producția medie de energie de 749,5 GWh/an.

Etapa 3 - terminată în anul 1980, a cuprins devierea din râul Bicaz a unui debit de 4,1 m^3/s în lacul Izvorul Muntelui și creșterea pe această cale a energiei produse de centrala de la Stejaru cu 42 GWh/an.

Lucrarea a cuprins construcția unui baraj de priză pe râul Bicaz la Tașca și a unei galerii cu o lungime de 9845 m.

Etapa 4 - începută în 1989 cuprinde amenajarea râului Bistrița în amonte de lacul Izvorul Muntelui pe sectorul Borca- Poiana Teiului, în lungime de 19, 5 km, în 2 trepte ce vor totaliza o putere instalată de 45 MW și o producție de energie de 133 GWh/an.

Ultimul sector prevăzut a se amenaja în viitor este cuprins între Vatra Dornei și Borca unde prin realizarea unei trepte se va instala o putere de 130 MW.

Principalele volume de lucrări executate pentru hidrocentrala de la Bicaz au fost:

- excavații în aluviuni 200000 m^3
- excavații în rocă 350000 m^3
- excavații în subteran 700000 m^3
- betoane 2255000 m^3
- umplutură de pământ 580000 m^3
- injecții 124620 m^3
- echipamente -montaj 11000 tone.

Pentru hidrocentralele din aval s-au realizat:

- canale de derivație cu o lungime de 61 km
- diguri cu etanșări în adâncime 14 km
- terasamente în canale 13000000 m^3
- etanșări în adâncime 100000 m^2
- umpluturi în diguri 2100000 m^3
- betoane și betoane armate 470000 m^3
- pereți din beton 2215000 m^2 .

Pe râul Siret, în aval de confluența cu Bistrița, au fost construite 4 centrale: Galbeni, Răcăciuni, Berești, Călimănești (aval de Adjud), însumând 157,6 MW, cu o producție de energie medie de 379 GWh/an. Acestea au următoarele caracteristici hidroenergetice:

- căderi cuprinse între 12 și 18,3 m
- debite instalate între 330 și 380 m^3/s
- puteri instalate între 29,1 și 45 MW
- producția de energie între 79 și 114,4 GWh/an.

Toate cele 17 hidrocentrale de pe Bistrița și Siret beneficiază de regularizarea realizată de acumularea de la Bicaz (superanuală) și permit folosirea apei în scopuri multiple (energie, agricultură, industrie, navigație, etc.)

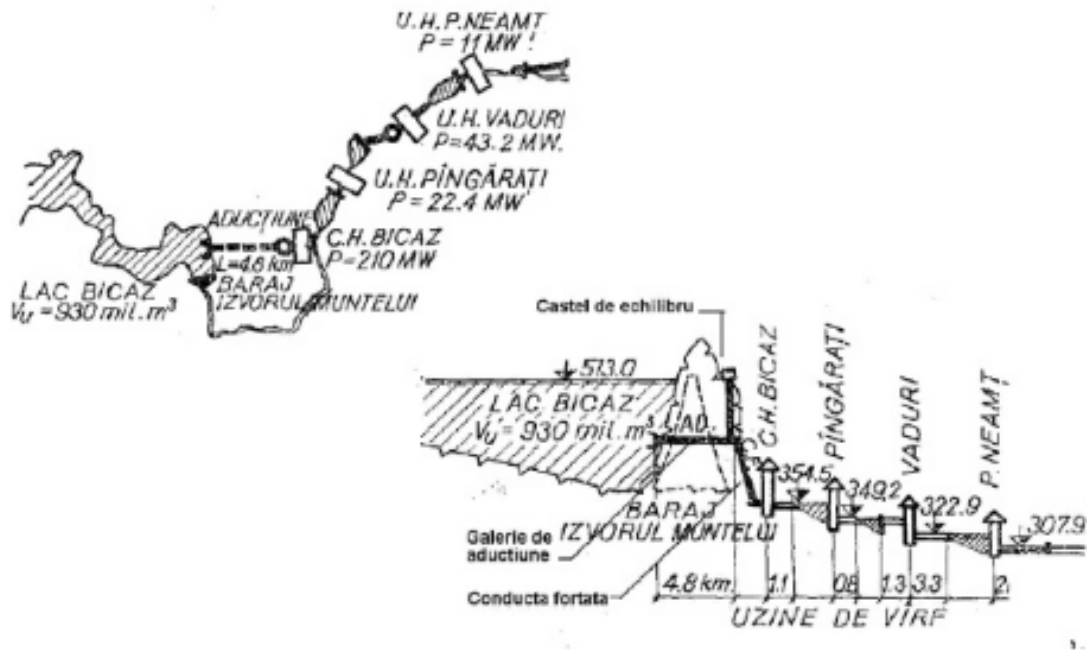


Fig. Amenajarea cursului superior al râului Bistrița

Amenajarea râului Argeș și a unor afluenți

Râul Argeș împreună cu afluenții săi drenează versantul sudic al munților Făgăraș, adună apele de pe un bazin de 12680 km^2 și după un parcurs de 340 km le varsă în Dunăre la Oltenița. Râul Argeș prezintă cele mai favorabile condiții de amenajare hidroenergetică pe sectorul cuprins între confluența pâraielor Buda și Capra (care formează râul Argeș) și orașul Pitești. Între anii 1960 - 1966 pe acest sector în cheile Argeșului s-a construit barajul în arc Vidraru cu înălțimea de 166 m care creează o acumulare cu un volum total de 465 milioane m^3 volum util.

Apele regularizate în această acumulare sunt conduse printr-o galerie de aducțiune de 2130 m lungime și un puț forțat de 185 m în centrala subterană Corbeni unde pune în mișcare 4 hidroagregate de tip Francis ce totalizează o putere instalată de 220 MW și o producție medie de energie de 400 GWh/an.

Pentru a obține o centrală de mare putere s-a proiectat o galerie de fugă în lungime de 11135 m capabilă să transporte cu nivel liber debitele uzinate până în lacul Oiești pe albia Argeșului.

Schema de amenajare a cuprins și captarea debitelor unor cursuri din bazinul propriu sau din bazinele limitrofe (Topolog, Doamnei, Cernat, Valsan și afluenți) și conducerea lor în lacul de la Vidraru. În acest scop au fost realizate 10 captări, 3 baraje în arc și 42 km de galerii care au dus la creșterea debitului afluent în acumulare de la $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ la $19,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Căderile create pe aducțiunile secundare au fost valorificate energetic în 2 centrale, Cumpănița și Vîlsan, având fiecare o putere instalată de 5 MW. În aval de Oiești între anii 1970-1978 s-a realizat o cascadă de 15 centrale de joasă cădere și putere medie din care 9 centrale realizate pe canale de derivație și 6 centrale cu acumulări proprii. (fig.)

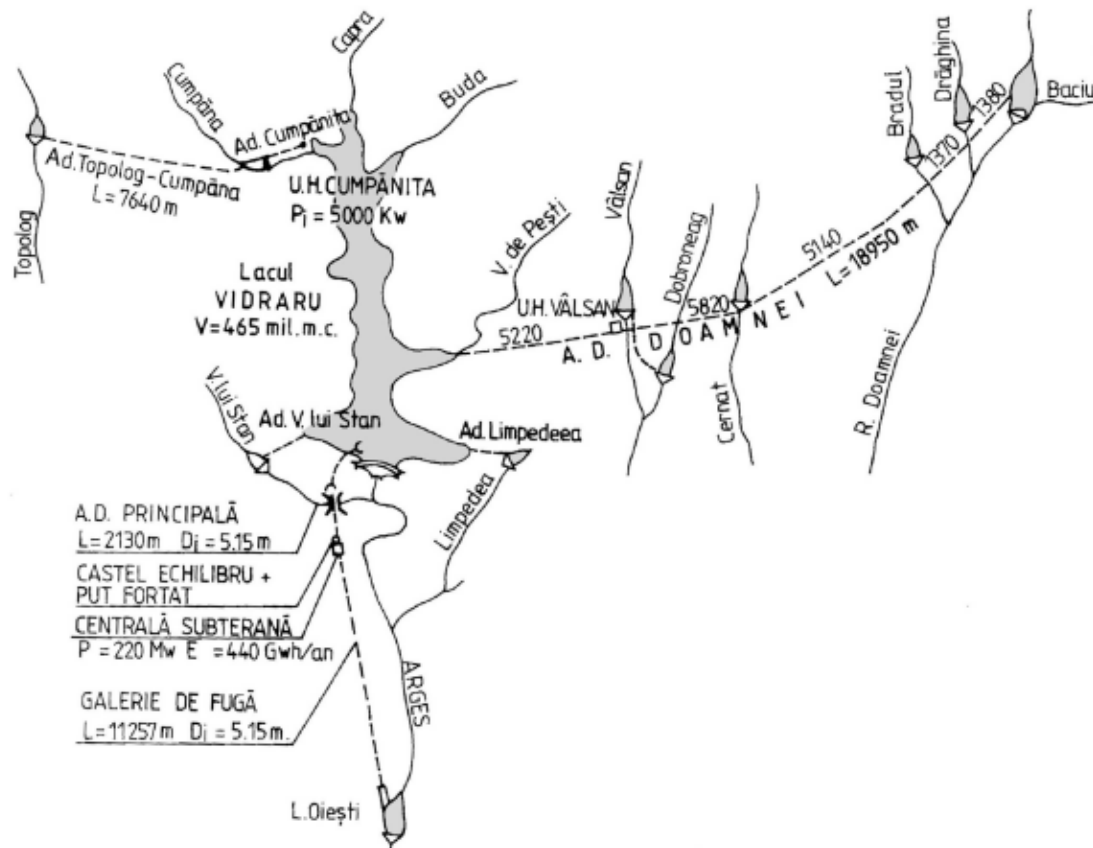


Fig. 2 Schema Amenajarii Arges

Caracteristicile acestor centrale sunt:

- caderea brută cuprinsă între 10,50 și 20,50 m.
- debit instalat de $90 \text{ m}^3/\text{s}$
- putere instalată între 7,7 și 15,4 MW
- producția medie de energie între 14,3 și 30,5 GWh/an.

Cele 18 hidrocentrale puse în funcțiune în cadrul schemei de amenajare a râului Argeș însumează o putere instalată de 417 MW și o producție de energie de 800 GWh/an.

Pe sectorul mijlociu al râului Argeș s-a început construcția acumulării Zăvoiu Orbului cu un volum de 33 milioane m^3 pentru atenuarea unei de viitură, asigurarea apei necesară Bucureștiului și în scopuri agricole. Dintre afluenții mai importanți ai râului Argeș pe care s-au realizat acumulări menționăm râurile Dâmbovița și Rîul Tîrgului pe care în perioada 1986-1990 au fost puse în funcțiune un număr de 5 hidrocentrale (vezi tabelul)

Acumulările mai importante puse în funcțiune au fost:

- acumularea Pecineagu pe Dâmbovița cu un volum de 60 mil. m^3
- acumularea Rîușor pe Rîul Tîrgului cu un volum de 50 mil. m^3 .

Amenajarea râului Olt

Oltul este unul din principalele râuri ale țării și își colectează apele de pe un bazin de 24010 km^2 atât din interiorul arcului carpatic cât și de pe versantul sudic al Carpaților Meridionali. Oltul are o lungime de 670 km și dispune la vărsare de un stoc anual de cca 6 miliarde m^3 .

Unul din cei mai importanți afluenți ai oltului din punct de vedere energetic este râul Lotru a cărei amenajare s-a realizat în perioada 1965-1985.

Amenajarea râului Olt va cuprinde în final 30 de trepte, de cădere mică care vor valorifica o cădere totală de 413m, asigurând instalarea unei puteri totale de 1095 MW și producerea unei energii medii de 2778 GWh/an.

Caracteristicile principale ale celor 30 de centrale sunt prezentate în tabelul iar amplasarea lor în figura .

Fiecare treaptă cuprinde următoarele uvraje:

- un baraj stăvilar din beton având 4-5 deschideri deversante echipate cu stavile segment.

- o centrala baraj echipată cu câte 2 turbine Kaplan pe sectorul în amonte de Slatina și cu câte 4 turbine bulb reversibil pe sectorul Slatina- Dunăre.
- un baraj de pământ nedever sor amplasat de obicei între stăvilă și centrală.
- diguri longitudinale ce conturează lacul de acumulare limitând inundarea unor suprafețe agricole.
- câte o ecluză navigabilă amplasată în frontul de retenție la cele 5 trepte realizate între Slatina și Dunăre și care concură la realizarea unei căi navigabile de 86 km lungime.

Hidrocentralele dintre Făgăraș și Avrig au un debit instalat de 130 m³/s, cele dintre Racovița și Slatina de 330 m³/s iar cele dintre Ipotești și Izbiceni de 500 m³/s.

Realizarea acumulărilor de pe Olt a necesitat construcția a peste 500 km de diguri cu un volum de umpluturi de 165,7 milioane m³. Centralele cu cele mai importante lacuri de acumulare sunt:

- acumularea Făgăraș -Hoghiz cu un volum total de 375 milioane m³
- acumularea Strejești cu un volum total de 202 milioane m³
- acumularea Ipotești cu un volum total de 110 milioane m³.

Realizarea acumulărilor de pe Olt a necesitat construcția a peste 500 km de diguri cu un volum de umpluturi de 165,7 milioane m³ și a unor lucrări de beton cu un volum total de peste 7 milioane de m³ în stăvilare și pere.

Lucrările de construcții ale hidrocentralelor de pe Olt au început în 1970 cu hidrocentrala Râmnicu Vlcea (45 MW), pusă în funcțiune în 1974. În continuare între anii 1974- 1980 au fost puse în funcțiune hidrocentralele de la Govora, Dăiești, Rîureni, Băbeni, Ionești, Zăvideni, Strejești, Arcești, Slatina, Drăgășani. În anul 1981 au intrat în funcțiune centralele Turnu și Călimănești.

În anul 1987 s-a pus în funcțiune centrala Gura Lotrului, iar în anii 1986- 1991 centralele Ipotești, Drăgănești, Frunzaru, Rusănești, Izbiceni. În anii 1989-1990 au fost puse în funcțiune centralele Voila, Viștea, Arpașu, Scoreiu, Avrig.

Sunt în execuție nodurile Făgăraș-Hoghiz cu o acumulare importantă (375 mil. m³ din care 260 mil. m³ utili) și cascada cu 5 centrale: Racovița, Lotrioara, Cîineni, Robești, Cornetu din defileul Oltului.

Având în vedere marile sisteme de irigații din zona Oltului Inferior amenajarea mai cuprinde prizele cu hidrocentralele de la Drăgănești (4,2 MW și debit pentru irigații de 52 m³/s).

Pe tot traseul său Oltul asigură alimentarea cu apă a localităților și a marilor platforme industriale (Slatina, Râmnicu Vlcea, Făgăraș, etc.). În viitor se prevede aducerea din Dunăre prin pompare până la Slatina a unei cantități între 1 și 2 miliarde m³ de apă pe an.

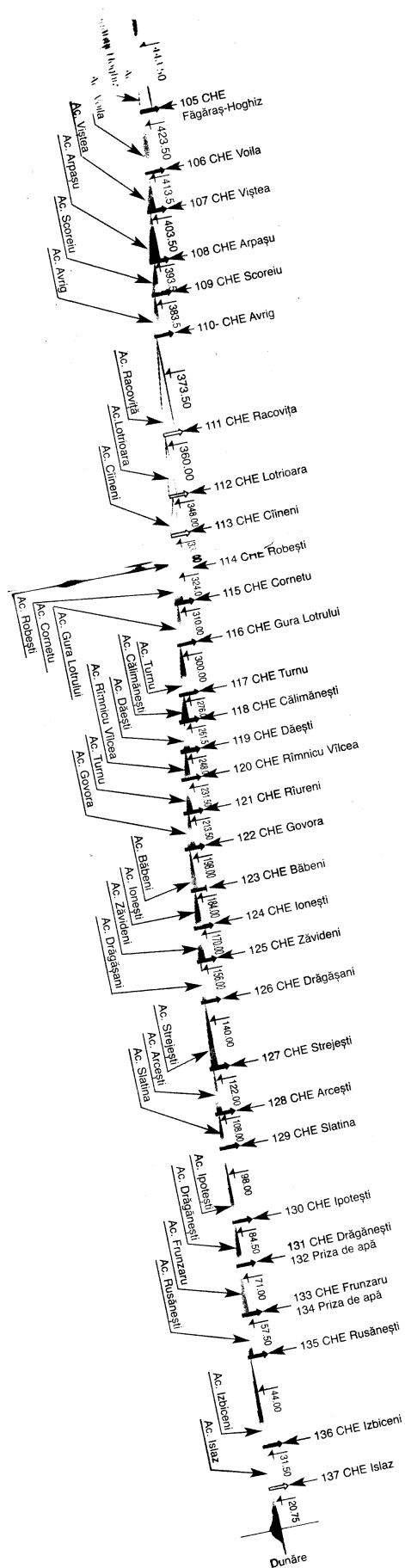


Fig. Amenajarea râului Olt

Râul Lotru, afluent principal al Oltului izvorăște din munții Parâng la altitudinea de 2200 m și se varsă în Olt în dreptul localității Brezoi drenând un bazin hidrografic de 1024 km².

Amenajarea potențialului său energetic estimat la 650 MW și 1400 GWh/an a început în anul 1966 prin atacarea lucrărilor la U.H.E. Lotru-Ciunget care dispunea de 2 condiții naturale deosebit de favorabile: posibilitatea realizării unei acumulări cu un volum util de 300 mil. m³ situată la peste 1200 mdM, și o cădere brută de 809 m amenajabilă într-o singură treaptă.

Schema acestei investiții a cuprins următoarele părți:

- *derivația principală* formată din barajul Vidra ce creează o acumulare multianuală cu un volum total de 340 mil. m³ priza și galeria de aducțiune principală în lungime de 13,7 km, castelul și galeria forțată conducând apele spre centrala subterană în lungime de 5,5 km prin care apa uzinată este restituită în râul Lotru în dreptul localității Mălaia.

- *rețeaua de captări și aducțiuni secundare* ce colectează debitele unor cursuri de apă atât din bazinul Lotrului cât și din bazinele râurilor învecinate, conducându-le gravitațional sau prin pompaj în acumularea Vidra și astfel majorând debitul mediu afluent în acumulare de la 4,3 la 18,7 m³/s (fig.)

Pe lângă cele peste 79 de prize cu grătar de fund și deznisipator, rețeaua cuprinde 4 baraje de beton în arc cu înălțimi cuprinse între 42 și 57 m (Galbenu, Petrimanu, Jidoaia, Balindru) și acumulări de 0,5-2,5 mil.m³. Din lungimea totală de peste 150 km a galeriilor de aducțiune secundare cca 60 km sunt betonate și au o secțiune de 8 m².

Datorită concentrării deosebite a debitelor și căderilor, hidrocentrala Lotru-Ciunget este cea mai puternică hidrocentrală de pe râurile interioare ale României, fiind echipată cu agregate Pelton de 170 MW, printre cele mai mari pe plan internațional, cu rol important în acoperirea vârfului de sarcină din sistem.

Lucrările hidrocentralei Lotru-Ciunget au început în 1966. Construcția hidrocentralei a impus realizarea unor mari volume de lucrări în condiții de izolare, altitudine și acces dintre cele mai dificile, lucrări care au permis punerea în funcțiune a primului grup din centrala Ciunget în noiembrie 1972 și a ultimului grup în august 1975.

Potențialul râului Lotru pe sectorul cuprins între debușarea galeriei de fugă Ciunget și confluența cu râul Olt, pe parcursul a cca 23 km a fost amenajat în 2 trepte prin construcția hidrocentralelor Mălaia și Brădișor.

Hidrocentrala Mălaia este de tipul centrală-baraj cu un stăvilar de beton continuat cu un baraj de pământ și este dimensionată pentru o cădere brută de 22,5 m și un debit instalat de 90 m³/s, dispune de o putere instalată de 18 MW în grupuri Kaplan și o producție de energie de 34 GWh/an.

Hidrocentrala Brădișor dispune de un baraj în arc cu o înălțime de 62 m ce creează o acumulare cu un volum util de 33 mil. m³ de apă. Debitul instalat de 110 m³/s se captează printr-o priză unică și se conduce prin 2 galerii de aducțiune scurte (127 m) și 2 galerii forțate până în centrala subterană unde acționează 2 grupuri Francis de câte 66,4 MW cu o producție totală de energie de 229 GWh/an.

Debitul uzinat este condus în albia râului Olt printr-o galerie de fugă în lungime de 13,2 km.

Lucrările la aceste 2 hidrocentrale au început toamna în anul 1973 iar punerea în funcțiune a hidrocentralei Mălaia s-a făcut în 1978 și a hidrocentralei Brădișor în 1982.

Prin cele 3 centrale de mai sus râul Lotru asigură în sistemul energetic național o putere instalată de 643 MW și o producție medie de energie de 1354 GWh/an.

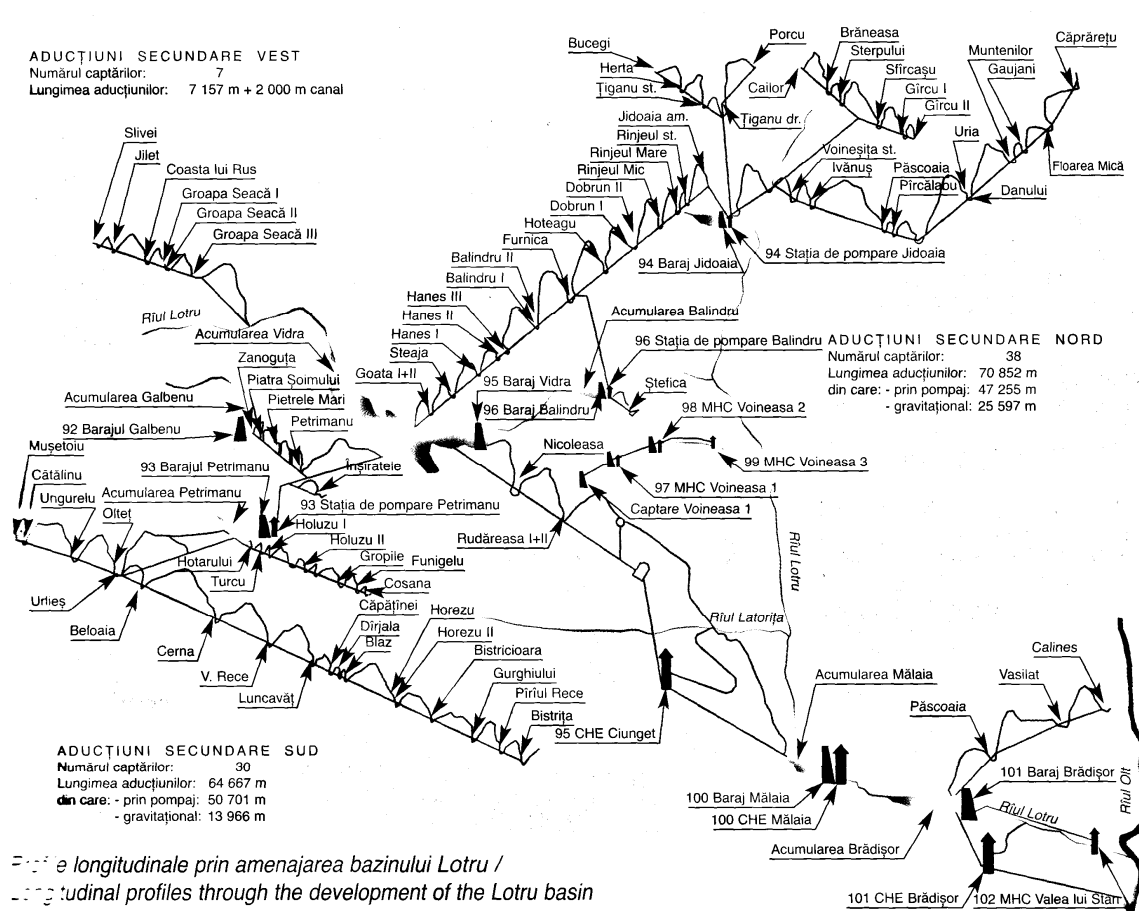


Fig. 1. Profile longitudinale prin amenajarea bazinului Lotru /
Fig. 1. Longitudinal profiles through the development of the Lotru basin

1.3. Clasificarea construcțiilor hidrotehnice

Disciplina care studiază posibilitatea amenajării resurselor de apă, metodele de combatere a efectelor distructive ale apei, construcțiile, echipamentele și instalațiile prin care se realizează acestea se numește **hidrotehnică**.

Construcțiile ingineresti care fac parte integrantă din amenajările hidrotehnice, alături de alte construcții, echipamente și instalații cu caracter mecanic sau electric poartă denumirea de **construcții hidrotehnice**.

După rolul îndeplinit în cadrul amenajărilor hidrotehnice, construcțiile hidrotehnice se împart în 2 categorii:

a) **construcții generale**

b) **construcții speciale**.

Construcțiile generale se aplică în mai multe ramuri ale economiei apelor iar construcțiile speciale se aplică într-o singură ramură.

- **Construcțiile generale** în funcție de rolul lor se clasifică în:

- 1- construcții care au rolul de a bara un curs de apă și care rețin în amonte volume mari de apă numite construcții de retenție (baraje, diguri, ecluze)
- 2 - construcții care au rolul de a bara un curs de apă și de a-i ridica nivelul pentru asigurarea abaterii unor debite pe aducțiuni numite construcții de derivație (stăvilarele cu părțile lor fixe și mobile).
- 3 - construcții care au rolul de a evacua apele din lacurile de acumulare, din canale, din derivații, din camerele de apă numite construcții de descărcare (deversoare, goliri de fund, etc.)
- 4 - construcții care au rolul de a capta apa din sursele de apă naturale sau artificiale și a o dirija spre aducțiuni numite construcții pentru captarea apei.
- 5 - construcții care au rolul de a transporta apa de la un punct la altul numite construcții de aducțiune (canalele, conductele, galerii hidrotehnice).
- 6 - construcții care au rolul de a amenaja un curs de apă pentru protecția albiilor și malurilor împotriva acțiunilor distructive ale apei numite construcții de regularizare (construcții de consolidare a malurilor și a fundului, diguri longitudinale, construcții pentru reținerea depunerilor, pentru dirijarea ghețurilor și corpurilor plutitoare).

b) **Construcțiile speciale** în funcție de rolul lor se împart în:

- 1 - construcții executate cu scopul de a folosi energia apei din râuri, lacuri și mări numite construcții hidroenergetice (camerele de echilibru, conductele și galeriile forțate, centralele hidroelectrice cu anexele lor, canalele și galeriile de fugă).
- 2 - construcții care se execută cu scopul irigației și desecării terenurilor, pentru aprovizionarea cu apă a teritoriului, pentru îndiguiri numite construcții hidroameliorative (instalații de captare, stații de pompare, canale de irigații și construcțiile aferente lor, canale de desecare, drenuri, colectoare, etc.).
- 3 - construcții care se execută pentru asigurarea necesarului de apă și evacuarea apelor uzate numite construcții pentru alimentări și canalizări (rețele de colectare și distribuție, prize speciale, instalații pentru îmbunătățirea calității apei, castele de apă, rezervoare, stații de epurare, etc.)
- 4 - Construcții care se execută în scopul asigurării navigației pe apele interioare și maritime numite construcții pentru transporturi pe apă (canale, ecluze, debarcadere, cheiuri, docuri, etc.)
- 5 - construcții pentru diverse alte folosințe (amenajări sportive, de agrement, sanitare, iazuri, traversări de cursuri de apă, etc.)

Clasificarea după importanță a construcțiilor hidrotehnice

Stabilirea diferitelor debite de calcul și de verificare necesare pentru proiectarea și verificarea construcțiilor hidrotehnice a impus clasificarea acestora după importanță în următoarele 5 clase prevăzute în STAS 4273-83:

- **clasa I, construcții de importanță excepțională**. Sunt construcții hidrotehnice a căror avariere are urmări catastrofale sau la care întreruperile în funcționare sunt inadmisibile.

- **clasa II, construcții de importanță deosebită**. Sunt construcții hidrotehnice a căror avariere are efecte grave sau a căror funcționare poate fi întreruptă în mod excepțional pentru scurt timp.

- **clasa III, construcții de importanță medie**. Sunt construcții hidrotehnice a căror avariere pune în pericol obiective social economice.

- **clasa IV, construcții de importanță secundară**. Sunt construcții hidrotehnice a căror avariere are influență redusă asupra altor obiective social economice.

- **clasa V, construcții de importanță redusă**. Sunt construcții hidrotehnice a căror avariere nu are urmări pentru alte obiective social economice.

Clasa construcțiilor este determinată în funcție de importanța economică și socială a acestora.

În funcție de specificul folosinței și de importanța economică și socială, construcțiile hidrotehnice din diferite domenii se împart pe categorii. De exemplu, amenajările hidrotehnice se împart în 4 categorii:

Tabel nr. 1

Puterea instalată (MW)	Categoria
Peste 300	1
$100 \leq P_1 < 300$	2
$10 \leq P_1 < 100$	3
$2 \leq P_1 < 10$	4
$P < 2$	4*

* Obs.: Se pot încadra pe bază de justificări corespunzătoare în clasa 5 de importanță (construcții demolabile, organizarea de șantier, etc.)

În funcție de durata de exploatare, construcțiile hidrotehnice pot fi:

- **construcții definitive (permanente)** care se proiectează pentru o durată de exploatare egală cu $\frac{1}{2}$ din durata de serviciu normată, dar nu mai mică de 10 ani.

- **construcții provizorii (semipermanente)** care se proiectează pentru o durată de exploatare mai mică de $\frac{1}{2}$ din durata de serviciu normată sau mai mică de 10 ani. Din aceeași categorie fac parte și lucrările provizorii necesare construcției definitive.

În funcție de însemnătatea funcțională a lucrărilor în cadrul amenajărilor hidrotehnice, construcțiile hidrotehnice sunt:

- **construcții principale** - construcții hidrotehnice a căror avariere sau distrugere parțială sau totală provoacă fie scoaterea din funcțiune a amenajării respective fie reducerea considerabilă a capacității sale de producție, sau a capacității de apărare împotriva inundațiilor.

- **construcții secundare** - construcții hidrotehnice a căror distrugere parțială sau totală nu are repercursiuni grave asupra ansamblului amenajării.

Încadrarea construcțiilor și instalațiilor hidrotehnice în clase de importanță

Tabelul nr. 2

Încadrarea construcțiilor hidrotehnice	Categoria construcțiilor hidrotehnice
--	---------------------------------------

- după durata de exploatare	-după rolul funcțional	1	2	3	4
		Clasa de importanță a construcțiilor hidrotehnice			
Definitive	Principale	I	II	III	IV
	Secundare	III	III	IV	IV
Provizorii	Principale	III	III	IV	IV
	Secundare	IV	IV	IV	V

Prin legea nr. 466/2001 privind siguranța barajelor, reglementată prin normele metodologice NTLH-021, în funcție de valoarea **indicii de risc asociat** barajului, barajele se încadrează în una din următoarele categorii de importanță:

- A - baraj de importanță excepțională;
- B - baraj de importanță deosebită;
- C - baraj de importanță normală;
- D - baraj de importanță redusă.

Riscul asociat barajului este determinat prin relația:

$$\text{risc} = \text{indicele de cedare} \times \text{consecința}.$$

În cazul unei valori a indicelui de risc mai mare de 1, riscul este inacceptabil, iar barajul nu poate fi exploatat.

Indicii utilizați în evaluarea riscului barajelor sunt:

- a) indicele BA care este determinat de caracteristicile barajului (dimensiuni, tip, descărcători, clasa de importanță), ale amplasamentului acestuia (natura terenului de fundare și zona seismică) și de condițiile lacului de acumulare sau, după caz, ale depozitului; criteriile și punctajele corespunzătoare sunt prevăzute în tabelele cuprinse în metodologie;
- b) indicele CB, de stare a barajului, care este operant pentru barajele existente și depinde de sistemul de supraveghere, de lucrările de întreținere, de principalele date din urmărirea comportării în timp (UCC) și de condițiile lacului de acumulare și ale uvrajelor-anexă; criteriile și punctajele aferente sunt prevăzute de asemenea în tabele;
- c) indicele CA care cuantifică consecințele avariei barajului, ținându-se seama de posibile pierderi de vieți omenești, de efectele produse asupra mediului, de efectele socio-economice etc.; criteriile și punctajele corespunzătoare sunt prezentate de asemenea tabelar.

Riscul asociat unui baraj se apreciază printr-un **indice (RB = indicele de risc asociat barajului)** determinat prin relația:

$$RB = CA / (\alpha \cdot BA + \beta \cdot CB)$$

în care coeficienții de pondere α și β au valorile:

- a) *coeficientul α :*

$\alpha = 1$ - pentru baraje proiectate ori verificate conform reglementărilor actuale;

$\alpha = 0,8$ - pentru baraje proiectate pe baza unor reglementări mai vechi;

$\alpha = 0,4$ - pentru situații în care nu se cunosc date referitoare la proiectare;

- b) *coeficientul β :*

$\beta = 1$ - pentru baraje sau depozite aflate în proiectare ori construcție, respectiv existente, cu comportare normală pe toată durata de exploatare;

$\beta = 0,7$ - pentru baraje sau depozite existente care au suferit incidente ori accidente în exploatare, remediate prin execuția de lucrări suplimentare.

Suma ponderată ($\alpha \cdot BA + \beta \cdot CB$) **reprezintă indicele de siguranță (SG)**, iar $PC = 1/SG$ **reprezintă indicele de cedare al barajului** (probabilitatea de rupere).

În funcție de valoarea indicelui de risc asociat barajului (RB) se determină categoria de importanță, după cum urmează:

- a) pentru barajele care realizează acumulări de apă:
 $RB > 0,5$ - baraj de importanță excepțională (A);
 $0,5 > RB > 0,25$ - baraj de importanță deosebită (B);
 $0,25 > RB > 0,1$ - baraj de importanță normală (C);
 $RB < 0,1$ - baraj de importanță redusă (D);
- b) pentru barajele și digurile care realizează depozite de deșeuri industriale:
 $RB > 0,8$ - baraj de importanță excepțională (A);
 $0,8 > RB > 0,15$ - baraj de importanță deosebită (B);
 $0,15 > RB > 0,05$ - baraj de importanță normală (C);
 $RB < 0,05$ - baraj de importanță redusă (D).

1.4. Amenajări hidrotehnice. Generalități și scheme

1.4.1. Generalități

Scopul amenajărilor hidrotehnice este de a concentra căderile și debitele disponibile pe sectoare scurte. Caderea reprezintă diferența de nivel între 2 secțiuni succesive ale unui râu, ale unei cascade, sau diferența de nivel dintre 2 râuri situate la cote diferite sau se regăsește sub forma valurilor și curenților marimi.

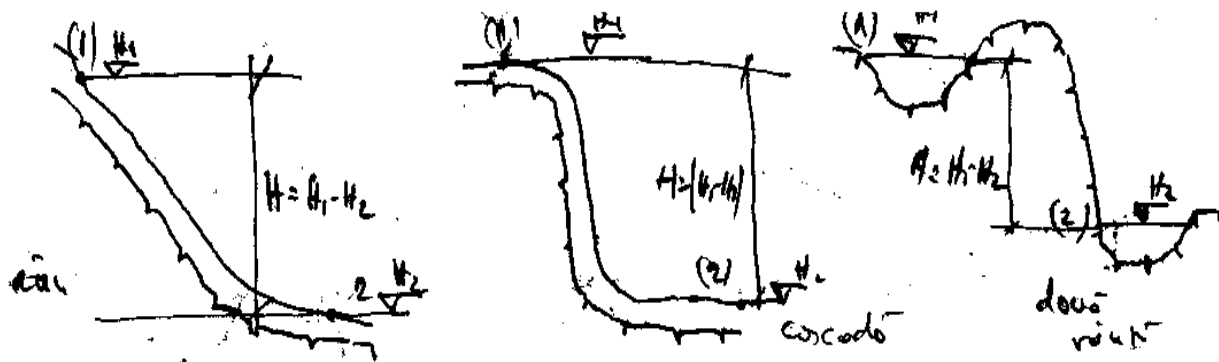


Fig. Energia hidraulică disponibilă în natură

Amenajările hidrotehnice sunt alcătuite din următoarele elemente principale:

1. **Baraje de acumulare** - care au rolul de a concentra căderea și de a acumula apele în vederea regularizării lor. Au înălțimi care în prezent au depășit 300m.
2. **Baraje de derivație** - care au rolul de a ridica nivelul apei pentru a putea fi derivată într-o aducțiune. Înălțimea acestora este mică, sub 10m.
3. **Descărcători de ape** - care evacuează apele mari și permit reglarea nivelurilor în lacurile de acumulare. Pot fi realizați sub forma unor deversori de suprafață amplasați pe baraje sau versanți, sub forma unor deschideri sau orificii de fund, conducte și galerii de golire. Descărcătorii sunt echipați cu instalații hidromecanice de tipul stavilelelor, vanelor și a mecanismelor de acționare (sevomotoare). Pot fi prevăzuți cu dispozitive pentru disiparea energiei.
4. **Prizele de apă** - permit captarea debitelor și dirijarea lor către aducțiuni, împiedică pătrunderea aluviunilor, a ghețurilor, zăului și a tuturor impurităților și plutitorilor. Pot fi dispuse în baraj sau pe versanți.
5. **Aducțiunile** - transportă debite însemnate de la punctul de captare la camerele de echilibru sau de la captările secundare în aducțiunea principală sau în lacul de acumulare. Transportul debitelor se poate face prin curgere cu nivel liber și în acest caz vorbim de canale sau galerii cu nivel liber, sau prin curgere sub presiune prin conducte metalice, conducte din beton armat și galerii sub presiune.
6. **Conductele și galeriile forțate** - conduc apa către centrale pe un traseu scurt cu diferență de nivel mare realizând o concentrare a căderii. Vitezele de curgere în aceste conducte sunt în general mari, conductele fiind foarte solicitate din punct de vedere static și dinamic.
7. **Camerele de echilibru** - au rolul de a limita suprapresiunile dinamice provocate de variațiile de sarcină ale centralei și realizează legătura dintre aducțiune și conductele sau galeriile forțate.

În cazul aducțiunilor cu nivel liber se numesc **camere de încărcare**, iar în cazul aducțiunilor sub presiune se numesc **castele de echilibru**.

8. **Casele de vane** - sunt amplasate imediat aval de camerele de echilibru și cuprind mecanismele de închidere și deschidere a accesului apei cât și instalațiile de aerisire și de control pentru conductele forțate.
9. **Centralele hidroelectrice** - cuprind încăperile în care sunt instalate vanele de admisie, turbinele hidraulice, generatoarele electrice, stații de transformare, instalații de comandă și control.
10. **Canalele și galeriile de fugă** - conduc apele turbinate către emisar, curgerea în aceste galerii făcându-se cu nivel liber și uneori sub presiune.

În schema unei amenajări hidrotehnice, elementele constructive menționate anterior pot exista în totalitate sau uneori unele dintre acestea pot lipsi sau pot fi substituite de către alte elemente. De exemplu, la centralele-baraj lipsesc camerele de echilibru și casele vanelor.

1.4.2. Scheme de amenajări hidrotehnice

Energia hidraulică datorată diferenței de nivel dintre 2 secțiuni ale unui curs de apă (căderii), se transformă în cea mai mare parte în energie termică prin învingerea rezistențelor patului neregulat al albiilor, sau este consumată prin acțiunea de erodare a versanților.

Funcție de posibilitatea de a înlătura pierderile de energie și de concentrare a căderii disponibile, se deosebesc următoarele tipuri de amenajări principale:

a) **amenajare uzină-baraj** - în acest caz centrala poate fi așezată în corpul barajului sau în imediata apropiere a barajului, uneori centrala reprezentând chiar o porțiune din baraj. Sunt folosite de regulă pentru căderi mici și mijlocii cu debite mari. Este de preferat ca înălțimea malurilor cursurilor de apă să fie cât mai mare. Eventualele depresiuni (zone de tern cu cota mai redusă) prin care apa ar putea ocoli barajul trebuie închise cu diguri.

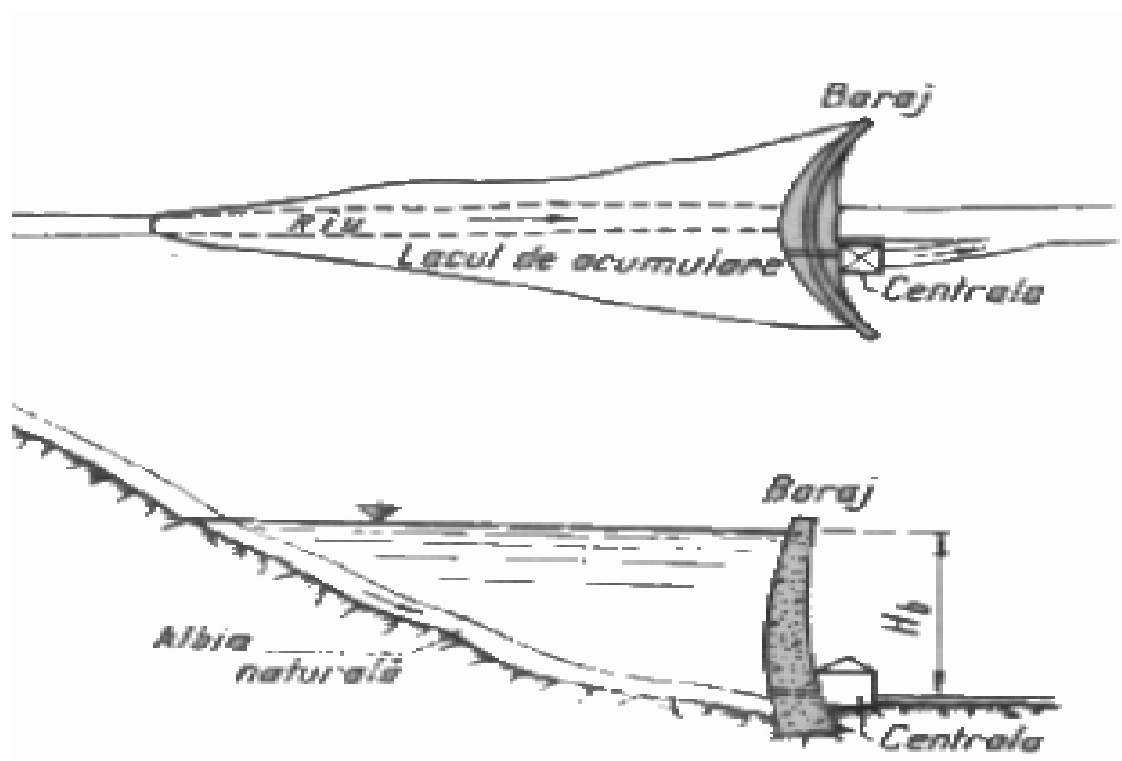


Fig. Amenajare uzina – baraj

b) **amenajare de derivație** - în acest caz centrala este poziționată la capătul aval al unei derivații ce realizează căderea prin reducerea pantei de curgere.

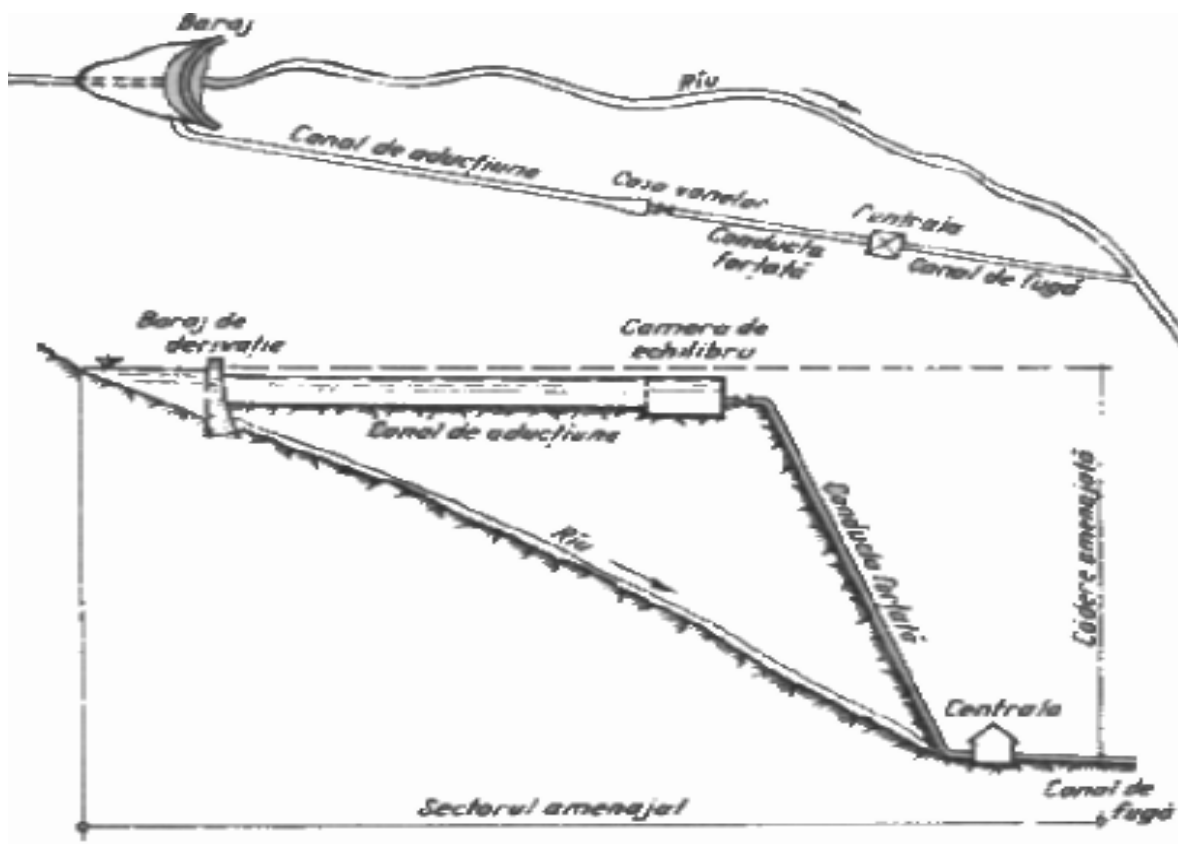


Fig. Amenajări de derivație

c) **amenajare mixtă cu baraj și derivație** - este tipul cel mai utilizat. În acest caz amenajarea cuprinde un baraj, captarea, aducțiunea, castelul de echilibru, conductele forțate și canalul de fugă. Această amenajare poate fi realizată în 2 variante: cu centrala la zi (amplasată suprateran) și cu centrală în subteran.

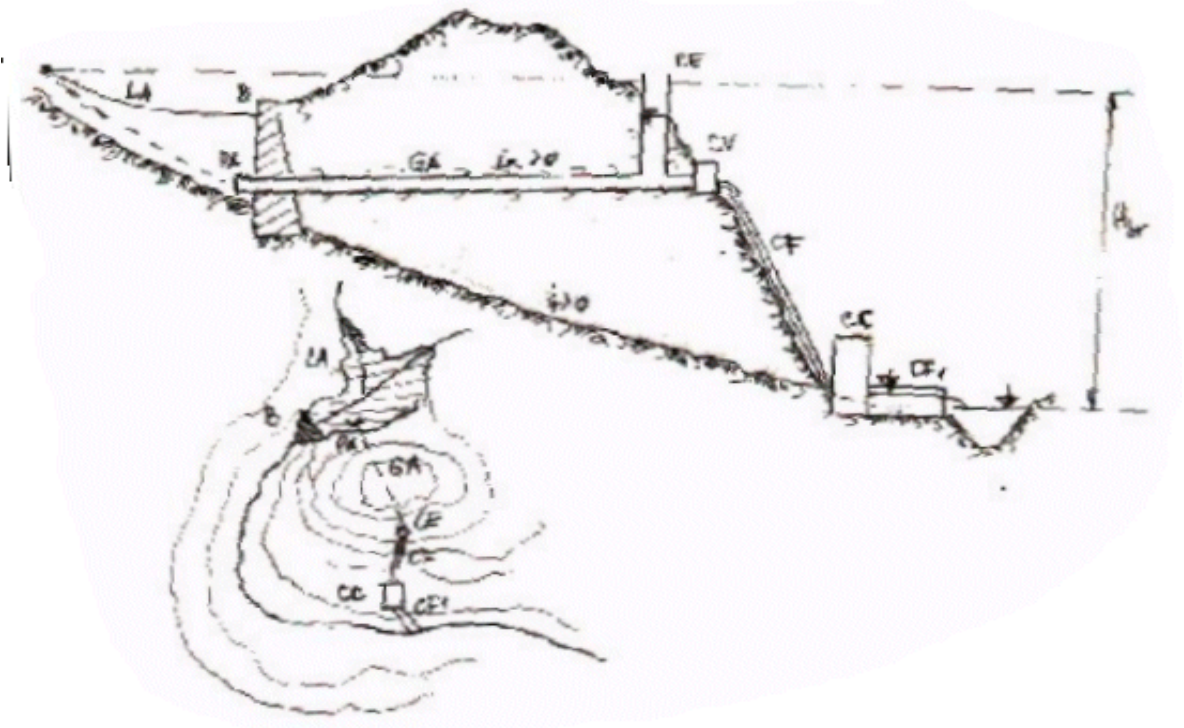


Fig. Amenajare mixtă cu baraj și derivație

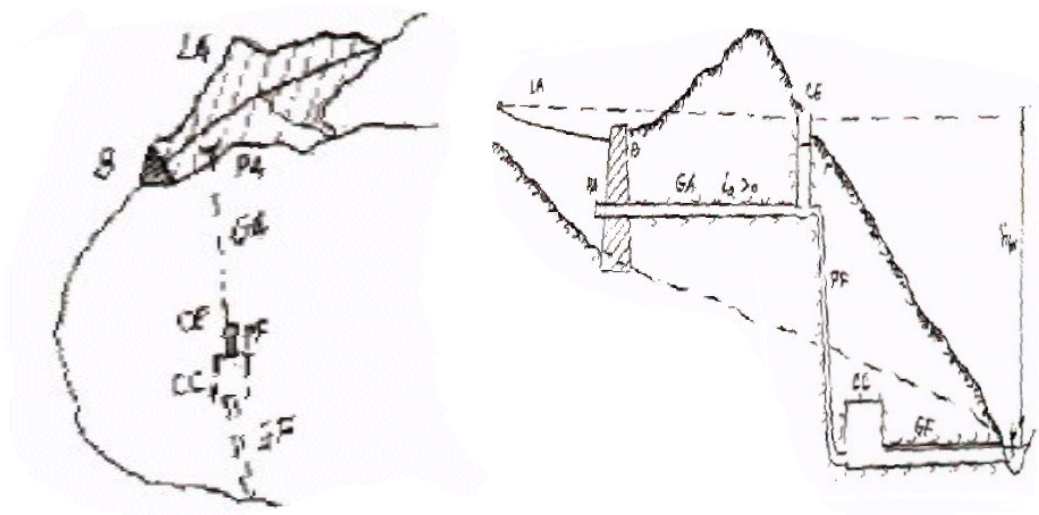


Fig. Amenajare mixtă subterană

În afară de tipurile menționate se mai întâlnesc și amenajări cu acumulare prin pompaj denumite și transformatoare hidroenergetice. Necesitatea construirii acestora provine din nevoile acoperirii consumului electric variabil în timp.

În orele de consum redus aceste amenajări funcționează ca niște stații de pompaj ce transferă apa dintr-un lac situat la o cotă inferioară către un lac situat la o cotă superioară utilizând energia electrică disponibilă în sistemul energetic național.

În orele de consum maxim din sistem, energia potențială disponibilă în lacul superior este transformată în energie electrică ca într-o centrală obișnuită.

Există 3 tipuri principale de **amenajări prin pompaj**:

- **uzine de pompaj pure** - care au acumularea realizată prin pomparea apei dintr-un rezervor superior fără un aport natural de debit.
- **uzine de pompaj mixte** - care au acumularea prin pompaj combinată cu amenajarea hidroelectrică a unui curs de apă.
- **stații de pompaj** - care captează și introduc în schemă debitele unor cursuri de apă ce sunt situate la un nivel inferior corespunzător captării principale. (de ex.: Hidrocentrala Tarnița - Lăpușești).

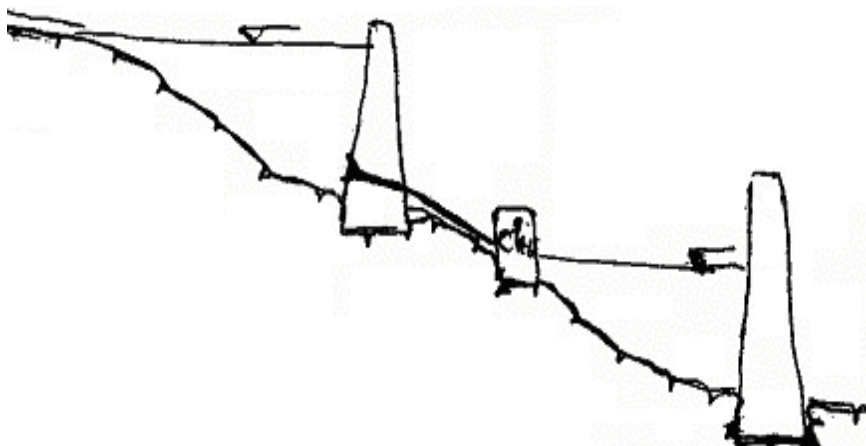


Fig. Amenajare prin pompare

Cap.2 Elemente de ingineria barajelor

2.1. Baraje - Generalități

Construcția barajelor se încadrează în rândul activităților ingineresti fundamentale. Toate civilizațiile importante s-au identificat cu construcțiile de stocare a apei conforme cu necesitățile lor, la început pentru irigații necesare dezvoltării agriculturii. Funcționând în strânsă legătură cu condițiile climatice ale zonei, cu condițiile de teren, puterea economică a diferitelor civilizații depindea de eficiența în ingineria apelor. Prosperitatea, sănătatea și progresul material au devenit din ce în ce mai legate de abilitatea de a stoca și a dirija apa.

Din perioada romană, în Spania de sunt construite doua baraje și care au supraviețuit din acea vreme: Proserpina ($H = 12\text{m}$, L coronament=420m) și Cornalvo ($H = 19,50\text{ m}$, L coronament = 195m). Ambele sunt construcții complexe, din pereți de piatră și zidărie, susținuți de contraforți și îmbrăcați în umpluturi masive de pământ. Cele mai vechi baraje de greutate propriu-zise s-au construit tot în Spania: Almonacid (1220), Almanansa (1395), Alicante (1579), și mai târziu Puentes (1791) și Nijar (1850). Profilele primelor trei sunt trapezoidale rezultate ale intuiției constructorilor. Barajele Almansa și Alicante prezintă o ușoară curbura în plan, pentru cel din urmă aceasta fiind probabil o măsură suplimentară de siguranță, ele deținând de mai bine de 300 de ani recordul de înălțime.

Până în prima jumătate a secolului XIX s-au construit baraje de greutate cu profile diverse. Se cunosc în Franța, din perioada 1830-1850, barajele Chazilly, Glomel, Settons, în Rusia un baraj de piatră pe râul Neglinnaia, datând din 1616 etc.

În anul 1855, în Franța, se pun bazele calculului static pentru barajele de greutate. Barajul Furens, construit între 1861 și 1866, este considerat prototipul barajelor de greutate moderne.

După această dată barajele de greutate, construite din zidărie de piatră, cunosc o mare dezvoltare atât în țările europene cât și în S.U.A. La începutul secolului XX se trece la construcția barajelor din beton, care se răspândesc cu repeziciune în toate țările.

În țara noastră primele baraje au fost construite în perioada daco-romană și au fost utilizate pentru crearea de acumulări necesare exploatărilor aurifere din zona Transilvaniei (Roșia Montană). S-au putut identifica 112 de astfel de acumulări. Barajele au fost construite după model roman din pământ cu paramente verticale sau înclinate protejate cu zidărie din piatră. Dispuneau de deversoare frontale având creasta la 1 m sub cota coronamentului, protejate cu blocuri mari de piatră. Nu se cunoaște anul de construcție al acestora, exista însă documente ce menționează doar repararea acestora în secolul 18 (1740). Majoritatea au 5-6 m înălțime și o lungime a coronamentului cuprinsă între 60 – 170 m. Cel mai mare este barajul Tăul Mare cu o înălțime de 25 m, un volum de apă acumulat de 200000 mc și un luciu de apă de 40000 mp.

Un alt baraj ce poate fi considerat ca un baraj de pământ cu nucleu din argilă protejat cu zidărie din piatră fasonată este Tăul Brazilor. S-au mai construit acumulări pentru facilitarea transportului de bușteni sau pentru folosințe piscicole atestate din secolul 12 (Valea Carasu, Valea Cochirleni, Caramancea, Măleanu, Oltina) realizate din zidărie de piatră. Au existat de asemenea și mai multe acumulări pentru folosințe piscicole având baraje construite din pământ în toate provinciile românești atestate de cronicari străini din secolul 16 (ex. Nerwberrie, Fourquevauls, Reicherstorf). Mai târziu (sec 18). D. Cantemir, în Moldova, atestă existența a peste 1500 de astfel de iazuri piscicole însumând un luciu de apă de cca. 2000 km².

În secolele 18 - 19 în Banat (Oravița, Moldova Veche Dognecea Mare, Dognecea Mica) se atestă construirea a 6 baraje fiind posibil ca unele din acestea să fi existat și în perioada romană. Barajele aveau 7-15 m înălțime și o lungime la creastă de 50-120 m. Capacitatea lor era cuprinsă între 50000 - 600000 mc. În prezent majoritatea sunt colmatate. Dognecea Mare și Dognecea Mica au fost construite de turci din zidărie de piatră cu nucleu de argilă. Secțiunea lor este poligonală. Sunt încă funcționale.

Primele baraje moderne s-au construit în perioada 1928-1930, în cheile Orzei de pe Ialomită superioară, barajul uzinei hidroelectrice Dobresti, înalt de 26 m cu un volum de beton de 3000 m³, el realizează acumularea Scropoasa de 550 000 m³.

Statistic, referitor la modul în care a evoluat în lume construcția barajelor de greutate mai înalte de 15 m, se constată că în perioada cuprinsă înainte de 1800 existau un număr de 10 baraje, între 1800 - 1900 un număr de 84 baraje, între 1900 - 1950 existau 1089 baraje. În prezent numărul acestora fiind de peste 10000, mai mult de jumătate fiind din pământ, peste un sfert de greutate restul îl constituie celelalte tipuri: arciute, de anrocamente, cu contraforți etc.

Durata de viață a barajelor este mare (peste 1000 de ani), barajele de greutate și din materiale locale având o durată de existență mai mare, în timp ce barajele în arc, cu arce multiple sau contraforți au o speranță de viață mai mică, în special datorită agresivității apei. Amortizarea costurilor de execuție a unui baraj este de peste 50-60 de ani. Durata de viață a unui baraj poate fi limitată și de pericolul de colmatare datorată aluviunilor transportate de râu.

În tabelul ... este prezentată durata de colmatare pentru câteva acumulări din Australia.

Tabelul Nr.

Acumulare	Ani estimați pentru colmatare
Eucumbene	10000

Tantangara	10000
Tumut Pond	4000
Tooma	4000

Cele mai mari baraje

Deși la volum maxim de beton prezintă minimum de siguranță, barajele de greutate au atins în ultimele decenii înălțimi considerabile, deținând astăzi recordul fata de celelalte tipuri. În tabelul următor se dau caracteristicile celor mai înalte de greutate.

Cele mai înalte baraje din lume

Nr.	Nume	Râu	Țara	Tip	Înălțime (metri)	An (Terminat)
1	Rogun	Vakhsh	Tadjikistan	Pamant și anrocamente	335	1985
2	Nurek	Vakhsh	Tadjikistan	Pamant	300	1980
3	Xiaowan	Lancang	China	Arc	292	C
4	Grang Dixence	Dixence	Elvetia	Greutate	285	1961
5	Inguri	Inguri	Georgia	Arc	272	1980
6	Vajont	Vajont	Italy	Arc	262	1961
7	Manuel M. Torres (Chicoasen)	Grijalva	Mexico	Pamant	261	1981
8	Tehri	Bhagirathi	India	Pamant	261	C
9	Alvaro Obregon (El Gallinero)	Tenasco (Mextiquic)	Mexico	Greutate	260	1946
10	Mauvoisin	Drance de Bagnes	Elvetia	Arc	250	1957

Din punctul de vedere al acumularilor realizate și al indicatorului metru cub de apă raportat la metru cub de beton, se remarcă barajele de greutate din tabelul următor:

	Denumirea	Înălțime (metri)	V. a. acumulat (10 ⁹ mc)	Volum beton (10 ⁶ mc)	Ac. specifică (mc.apa/mc.bet)
1.	Bratsk (Rusia)	125	169400	17.00	9960
2.	Krasnoarsk (Rusia)	124	73300	4.35	16800
3.	Zeya (Rusia)	113	68000	8.00	8500
4.	Sanmen Hsia (China)	107	65000	7.20	9020
5.	Bukhtarma (Kazakhstan)	90	53000	1.17	45300
6.	Boulder (S.U.A.)	221	38296	3.36	10520

În România recordul de înălțime în categoria barajelor de greutate îl deține barajul Izvorul Muntelui-Bicaz, construit pe râul Bistrița. El are 127 m înălțime, un volum de 1,62 milioane m³ beton și realizează un lac de acumulare de 20 miliarde m³. Acumularea specifică, de 730 m³ apă/m³ beton, figurează printre cele mai ridicate din țară.

2.2. Concepte structurale și tipuri principale de baraje

Barajele sunt construcții realizate cu scopul principal de a stoca apă. Orice baraj este proiectat în funcție de condițiile din amplasament. Proiectarea lor reprezintă un compromis între condiții locale tehnice și economice din momentul construcției lor.

Acumulările realizate în urma construirii unui baraj pot fi utilizate pentru: irigații, alimentare cu apă, generare de electricitate, regularizări de râuri, controlul inundațiilor, transporturi etc.

2.2.1. Clasificarea barajelor

După scopul îndeplinit în cadrul unei amenajări barajele pot fi:

- **baraje de retenție** ce au rolul de ridicare a nivelului apei
- **baraje de acumulare** ce au rolul de ridicare a nivelului apei și permit regularizarea debitelor prin acumularea creată.

În funcție de materialul din care au fost construite barajele se împart în:

- **baraje din materiale locale** construite din pământ și/sau anrocamente. Fețele amonte și aval ale barajelor sunt relativ simetrice, au o pantă moderată și o secțiune transversală ce necesită un volum ridicat de material de construcție.
- **baraje din beton** construite din beton simplu. Fețele nu sunt simetrice, fiind în general mai abrupte spre aval și aproape verticale în amonte, cu un profil mai zvelt.

După clasificarea ICOLD, principalele tipuri de baraje sunt prezentate în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1 Baraje mari (după ICOLD 1988a)

Grup	Tip	Cod ICOLD	%
Baraje din materiale locale	Pământ	TE	82.9

	Anrocamente	ER	
Baraje de beton (și zidărie)	Greutate	PG	11.3
	Arc	VA	4.4
	Cu contraforți	CB	1.0
	Cu arce multiple	MV	0.4
Total (ICOLD, 1988a)			36235

Barajele din materiale locale sunt dominante din punct de vedere numeric datorită considerentelor tehnice și economice reprezentând aproximativ 85 – 90% din toate barajele construite. Ele sunt mai vechi decât barajele din zidărie și utilizează materialele disponibile pe plan local. Pe măsură ce barajele de pământ au evoluat, ele și-au dovedit adaptabilitatea în cele mai diferite de situații. Prin contrast, barajele din beton și predecesoarele lor, barajele din zidărie de piatră sunt mult mai pretențioase la condițiile de teren. Istoric, s-a dovedit că ele necesită cunoștințe avansate și costisitoare. Barajele mai pot fi construite din lemn, metal sau mai rar, din materiale sintetice.

Uneori barajele pot fi **mixte**, alcătuite din 2 sau mai multe materiale (piatră și pământ, piatră și beton).

După posibilitatea de deversare a apelor, barajele pot fi:

- **nedeversante** care includ barajele ce nu permit deversarea apelor pe deasupra lor. Aceste baraje au descărcătorii de ape mari plasați în afara corpului barajului sau pe versanți.
- **deversante** care includ barajele ce permit deversarea apelor pe deasupra lor.

Indiferent de tipul lor, un baraj trebuie să îndeplinească următoarele **funcții**:

- să îndeplinească criteriile proiectate cu cheltuieli minime;
- să permită evacuarea debitelor de viitură în condiții de siguranță;
- să își mențină stabilitatea indiferent de solicitările permanente sau accidentale;
- să permită golirea rapidă a lacului de acumulare atunci când este necesară;
- să asigure impermeabilitatea terenului de fundație și chiuvelei lacului de acumulare;
- să asigure buna funcționare a echipamentelor hidromecanice ale barajului.

Alegerea amplasamentului și a tipului de baraj trebuie să asigure îndeplinirea acestor criterii funcționale.

2.3. Interacțiunea barajelor cu mediul

Cunoașterea influenței barajelor și a lacurilor de acumulare asupra mediului, a aspectelor economice și socio-politice pe care le implică construirea acestora este deosebit de importantă. Creșterea conștiinței publicului cu privire la aceste aspecte și a altora, precum dezvoltarea durabilă, a condus la o dezbatere susținută privind avantajele sau dezavantajele unor proiecte recente de baraje și în consecință la apariția “Comisiei Mondiale a Barajelor” (WCD) în 1998. WCD, are legături strânse cu Națiunile Unite, Banca Mondială și Uniunea Mondială a Conservării Mediului.

Barajele provoacă modificări importante ale regimului de curgere care constau din:

- terenuri inundate, prin crearea unui lac de acumulare inundându-se terenuri de calitate uneori fiind necesară și strămutarea unor așezări omenești;

- reținerea aluviunilor care în mod normal ar fertiliza terenul în aval;
- pericol de inundații pentru populație și faună;
- stratificarea termică;
- inducerea de cutremure ca urmare a umplerii lacurilor de acumulare;
- poluarea râului în timpul execuției barajului cu ciment, ape uzate, din săpături, produse petrolifere, diverse depuneri, etc.;
- modificarea traseului râului prin îndiguirea și protejarea malurilor, ceea ce conduce la eliminarea meandrelor, a bălților și a brațelor moarte,
- modificarea patului albiei, atât din punct de vedere al substratului, cât și a pantei și a rugozității,
- formarea conurilor de dejecție în zonele de vărsare a văilor laterale,
- depuneri aluvionare la coziile lacurilor,
- împotmolirea gurilor de vărsare ale afluenților și formarea de bare aluvionare, care împiedică deșurarea normală a acestora,
- prin reducerea pantei de scurgere și a vitezei apei, depunerile aluvionare conduc la fenomenul de colmatare a coziilor lacului;
- distrugerea unor specii de viețuitoare;
- inundarea unor situri arheologice;
- probleme cu compușii de azot ce pot avea efect asupra peștilor;
- necesitatea scărilor de pești;
- boli favorizate de umiditatea excesivă;
- schimbări climatice;
- uscarea unor porțiuni de albie în aval;
- poluarea aerului, poluare sonoră și praf în timpul perioadei de construcție.

În general construcția de baraje de acumulare, diguri, precum și regularizarea diverselor cursuri de apă au de cele mai multe ori efecte negative asupra ecosistemelor acvatice. Lacurile de baraj reduc cantitativ o serie de specii, restrângându-se arealul lor.

Însă toate aceste construcții hidrotehnice au și unele efecte pozitive, îndeosebi asupra calității apei din diversele râuri sau lacuri, precum efecte de atenuare a viiturilor. Majoritatea lucrărilor hidrotehnice ajută la îmbunătățirea calității apei în mod activ sau pasiv având rol de epurare a apei, aceste acumulări comportându-se ca niște decantoare uriașe care curăță apa de diverse impurități. De asemenea, barajele au rol de barieră în cazul unor poluări accidentale, unda de poluare este mai lentă, existând timp mai lung de intervenție pentru combaterea poluării.

2.4. Caracteristici generale ale barajelor

Caracteristicile generale ale barajelor diferă față de alte construcții ingineresti prin următoarele:

- orice baraj este o construcție unică deoarece structura hidro-geologică a fundației, caracteristicile materialului de construcție, caracteristicile bazinului de recepție, etc., sunt specifice amplasamentului.
- orice baraj trebuie să funcționeze pentru perioade îndelungate de timp la limita încărcărilor pentru care a fost proiectat.
- construcția barajelor presupune îmbinarea cunoștințelor legate de calculul structurilor, de mecanica fluidelor, de geologie, hidrologie și hidrolică.
- limita de vârstă a barajelor este dictată de colmatarea lacului de acumulare.

- marea majoritate a barajelor sunt baraje de pământ, întrucât sunt mai accesibile ca materiale de construcție.

Construcția de baraje îmbină așadar cunoștințe generale și de specialitate. Inginerul constructor de baraje trebuie să îmbine optim soluțiile tehnice, economice și aspectele de mediu fără să compromită siguranța și funcționalitatea acestor construcții.

2.5. Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească terenul de fundație

Fundația barajelor trebuie să reziste, cu deformații acceptabile, încărcărilor exercitate asupra ei de către structură atât imediat după umplerea lacului de acumulare cât și pe termen lung. În timp, pot apărea deteriorări datorate saturației și infiltrației apei. Rocile slabe și argila prezintă deformații mai mici sub acțiunea unor încărcări pe o durată mai mare de timp decât cele determinate în laborator. Cea mai mare importanță o prezintă stratul de 10 – 20m aflat imediat sub baraj. În proiectarea unui baraj trebuie să se țină seama de toate datele disponibile referitoare la terenul de fundație, punându-se accent pe zonele ce par a fi mai puțin rezistente și care urmează a fi supuse încărcărilor datorate construcției. La alegerea terenului de fundație trebuie să aibă în vedere că ampriza barajului se va face în zona cea mai favorabilă ținându-se cont de proprietățile geologice ale terenului de fundație și influența acestora asupra stabilității barajelor la alunecare și răsturnare și asupra tipului de baraj ales și de indicarea modului de legătură cu fundația și versanții.

În consecință, un teren bun de fundare pentru un baraj de beton trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să fie suficient de rezistent pentru a putea prelua încărcările date de construcție;
- terenul de fundație trebuie să aibă compresibilitate redusă și uniformă, iar în cazul barajelor înalte, trebuie să fie practic incompresibil;
- să aibă o structură monolită, lipsită de crăpături, de dislocări, fără zone de alterare profundă sau de dezagregare;
- să fie rezistent și stabil la acțiunea apelor de infiltrație;
- să își conserve forma sub acțiunea fenomenelor fizice și geologice (alunecări de teren, surpări, prăbușiri etc.).

În realitate amplasamente care să îndeplinească în egală măsură condițiile de mai sus se găsesc destul de rar, în majoritatea cazurilor fiind necesare lucrări pentru îmbunătățirea calității terenurilor de fundație. Aceste lucrări se execută când volumul și costul lor nu depășesc limitele considerate raționale din punct de vedere tehnico-economic. (< 30% din investiție)

2.5.1. Condiții specifice

Rocile stâncoase și semistâncoase constituie terenuri bune de fundare pentru barajele de greutate din beton. Barajele de beton se pot construi și pe terenuri nestâncoase: în cazul terenurilor nisipoase și argiloase pot avea înălțimi de până la 30 m; în cazul terenurilor de pietriș și bolovăniș pot avea înălțimi de până la 40 m.

Terenurile de fundație pentru barajele de greutate trebuie să fie omogene și puțin compresibile, pentru a se evita pericolul de fisurare a betonului din cauza tasărilor inegale.

Orientarea straturilor are o importanță deosebită pentru stabilitatea la alunecare și pentru pierderile de apă prin infiltrații în cazul rocilor șistoase și sedimentare. Se preferă rocile cu o înclinare a straturilor spre amonte.(fig.)

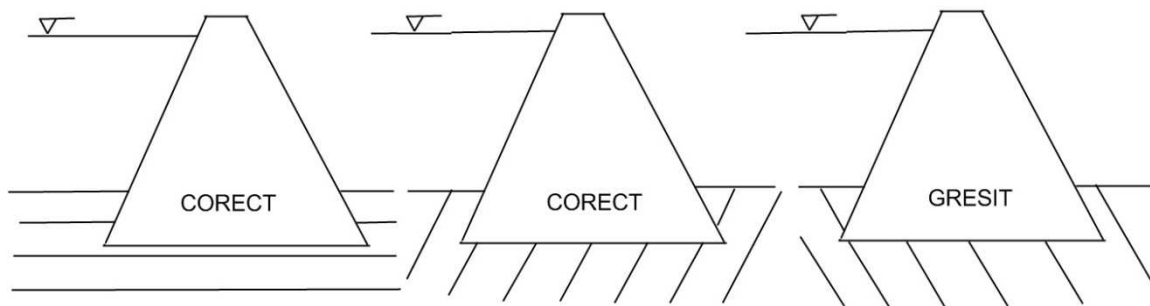


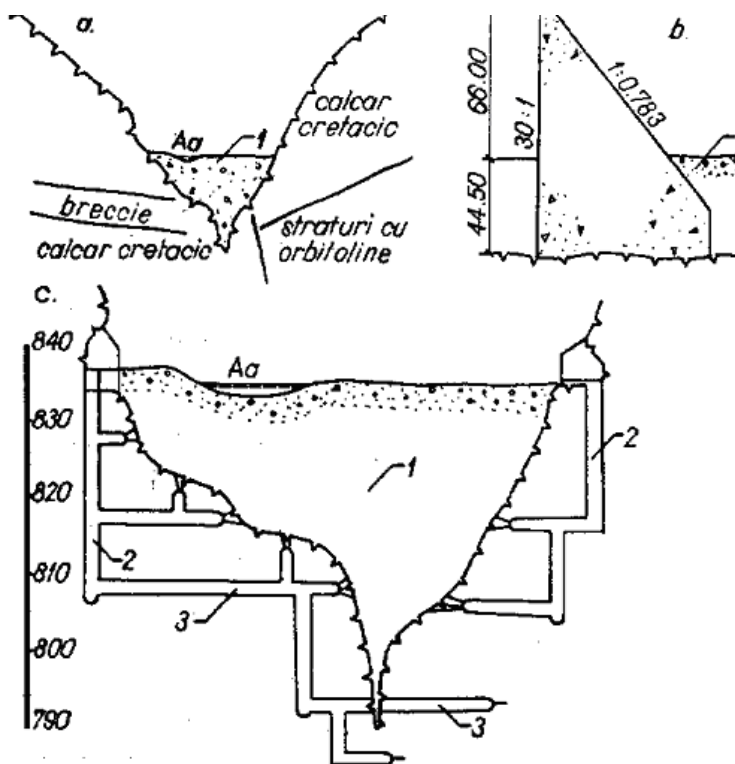
Fig.

Studiile de teren trebuie să evidențieze fenomenele tectonice ale terenului de fundație, și anume, prezența faliilor, a dislocărilor, a zonelor de alunecare sau prăbușire, etc. Soluțiile care se adoptă depind de stadiul de evoluție în care se află aceste procese. Fenomenul de subpresiune datorat permeabilității terenului de fundație impune lucrări de etanșare, destul de costisitoare în cazul barajelor de greutate. Efectele defavorabile ale subpresiunii pot fi înlăturate sau diminuate prin măsuri constructive.

2.5.2 Condiții morfologice

Un baraj de greutate poate fi construit în văi cu secțiune transversală de orice formă. Sunt de preferat formele continue, fără proeminențe sau depresiuni locale prea importante. Prin faptul că un baraj de greutate se execută din ploturi independente, separate prin rosturi de dilatație, comportarea sa în ansamblu nu este influențată de morfologia văii.

O atenție deosebită trebuie acordată rigolelor de eroziune (albiile vechi umplute cu material aluvionar) care pot fi ascunse sub albiile râurilor. (fig.) După cum se vede din figură, rigola de eroziune pătrunde sub nivelul râului pe o adâncime aproape egală cu înălțimea barajului. În această situație conturul galeriei se determină puțuri și galerii excavate în versanți, transversal și în lungul văii. Costul lucrărilor crește semnificativ în situația existenței unei rigole de eroziune.



Barajul Schrah:

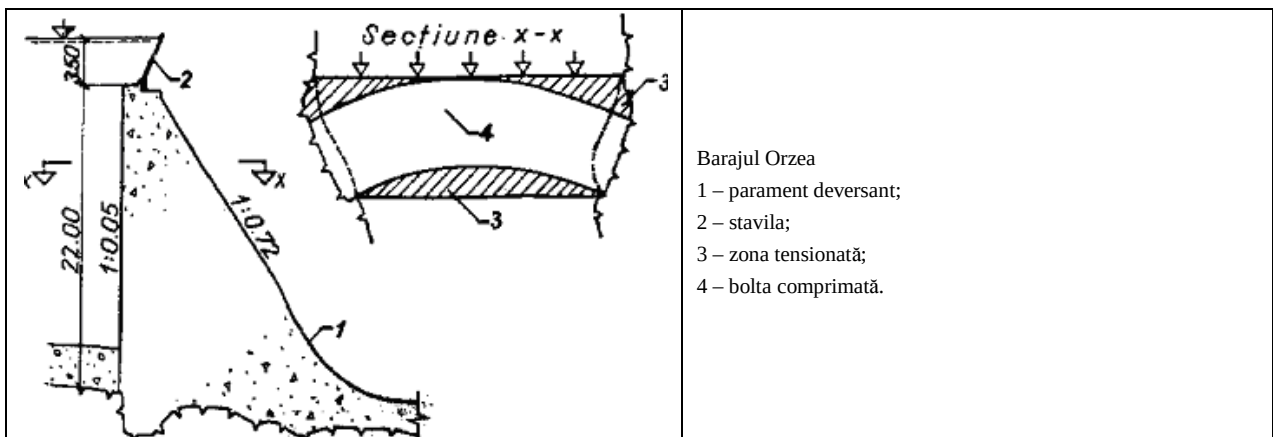
a - profil longitudinal; b - secțiune transversală; c - detaliu al rigolei de eroziune;
1 - depuneri aluvionare; 2 - put de prospectiune; 3 - galerie orizontală.

Văile în formă de chei sunt, în general, amplasamente foarte favorabile din punct de vedere morfologic pentru realizarea unor baraje economice. Trebuie acordată o mare atenție existenței surplombelor, uneori fiind necesară chiar schimbarea amplasamentului barajului pentru a le evita.

Alteori, se execută lucrări de consolidare costisitoare.

Forma îngustă a văii are o influență foarte importantă asupra barajelor de greutate întrucât apare fenomenul de încastrare pe contur asemănător barajelor în arc. Astfel presiunea hidrostatică este preluată în mai mare măsură după orizontală decât după verticală. Dacă se exclud zonele tensionate, într-o secțiune orizontală, se obțin bolți active, elemente de rezistență similare arcelor.

Un exemplu în acest sens, îl constituie barajul Orzea, construit pe Ialomița. Înălțimea barajului este de 25,5 m, iar deschiderea văii de 7 m, încastrându-se pe contur în roca calcaroasă.



În aceste condiții presiunea hidrostatică este preluată în mai mare măsură după orizontală, ca în cazul unui baraj arcuit, decât după verticală. Într-o secțiune orizontală, dacă se exclud zonele tensionate, se obțin bolti active, care sunt adevăratele elemente de rezistență, forma văii determinând astfel modul de comportare al barajului construit.

Profile caracteristice

Profilele barajelor de greutate construite după anul 1900 au în majoritate forma triunghiulară, mai rațională decât forma dreptunghiulară sau trapezoidală a barajelor spaniole, construite în evul mediu. Cu toate acestea, modul în care este repartizat betonul în profilele triunghiulare diferă de la o țară la alta, ținând seama de condițiile naturale locale și de criteriile de dimensionare admise.

Se constată ca:

- în toate cazurile, paramentele aval fac unghiuri mai mari cu verticala decât paramentele amonte;
- în unele cazuri, funcție de forțele care acționează sau de alți factori, unul din paramente sau amândouă prezintă frânturi;
- în medie raportul $\lambda = B/H$ între lățimea la baza B și înălțimea barajului H are valori cuprinse între 0,75 și 0,85;
- grosimea coronamentelor sunt de ordinul a câțiva metri
- parte din baraje au profilul rotunjit la creastă pentru a permite deversarea apelor în aval.

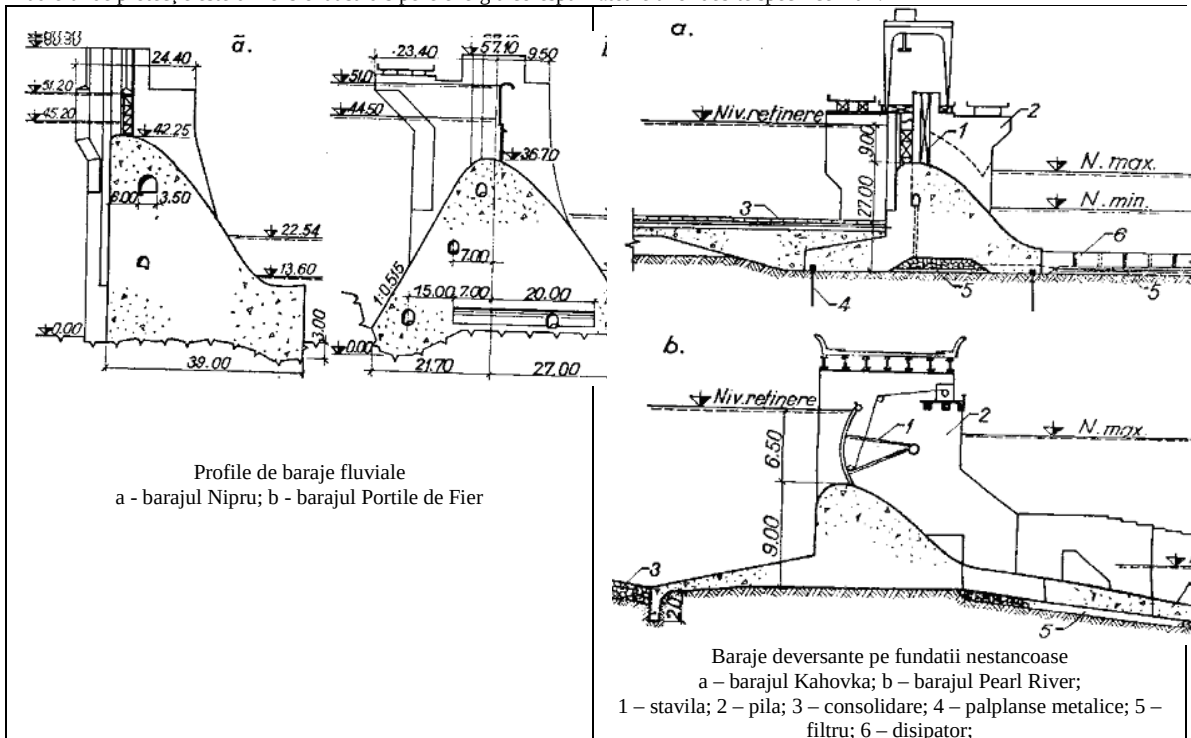
Din punct de vedere al formei geometrice profilele barajelor de greutate pot fi:

- cu ambele paramente înclinate,
- cu parament amonte vertical,
- cu paramente frânte.

Din punctul de vedere al posibilităților de evacuare a apelor mari profilele pot fi nedeversante sau deversante. Deși barajele de greutate au avantajul că pot fi realizate cu profile deversante fără cheltuieli suplimentare, în anumite situații descărcării de ape mari se dispun în afara corpului barajului.

La barajele fluviale, din cauza debitelor mari care trebuie evacuate și a prezentei stăvilor la coronament, forma se depărtează de profilul triunghiular clasic pentru a se adapta condițiilor de deversare.

În cazul barajelor fondate pe terenuri nestâncoase (de obicei stăvilare), alcătuirea profilului transversal se modifică și mai mult. În amonte pînoul se duce în fața barajului pentru ca, prin greutatea prismului de apă purtat, să mărească stabilitatea la alunecare, în aval de baraj raderul de protecție este dimensionat să disipeze energia corespunzătoare unor debite specifice mari.



Clasificarea acțiunilor la care sunt supuse barajele (de greutate)

Acțiunile asupra construcțiilor hidrotehnice de retenție se clasifică în funcție de durată, respectiv de frecvența și intensitatea cu care apar în timpul execuției sau exploatării construcțiilor. Clasificarea acțiunilor se prezintă în Tabelul

Tabelul ...

Nr. crt.	Categoria acțiunii	Simbol	Caracterizare
1	Permanente	P	Acțiune 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.
2	Temporare	T	Acțiune cu o intensitate variabilă în timp sau în mod intermitent și care în anumite perioade poate să lipsească.
	2.1. Cvasipermanente - de lungă durată	C	Acțiune care se aplică pe durate lungi sau în mod frecvent cu intensități variabile sau practic egală cu valoarea caracteristică.
	2.2. Variabile - de scurtă durată	V	Acțiune a cărei intensitate variază sensibil în timp sau care poate lipsi pe intervale lungi de timp.
3	Excepționale (Accidentale)	E	Acțiune care are intensități semnificative dar care apare rar, eventual chiar niciodată pe durata de exploatare a construcției

Acțiunile permanente (P) includ după caz următoarele încărcări: greutatea proprie a corpului barajului, greutatea proprie a echipamentelor tehnologice permanente, greutatea leșturilor care contribuie la asigurarea stabilității construcției, forțe din precomprimarea corpului barajului cu ancore pretensionate, starea de eforturi inițiale (înghețate) la injectarea rosturilor de contracție a barajelor arcuite.

În categoria **acțiunilor temporare cvasipermanente de lungă durată (C)** se include încărcări ca:

- presiunea apei corespunzătoare nivelului retenției normale (NRN) în bieful amonte al construcției de retenție.

Prin NRN se înțelege nivelul maxim al retenției în condițiile exploatării normale a acesteia, exceptând nivelurile care pot apare la evacuarea debitelor maxime (de dimensionare, verificare) în condiții normale de exploatare.

În presiunea apei se consideră, după caz, următoarele componente:

- presiunea hidrostatică din bieful amonte;
- presiunea hidrostatică din bieful aval;
- subpresiunea (statică și dinamică) pe conturul subteran al construcției de retenție în condiții normale de funcționare a lucrărilor de etanșare – drenaj;
- presiunea din infiltrația apei prin sistemul unitar construcție de retenție – teren de fundare (presiunea apei prin rosturi sau fisuri, presiunea apei din pori, presiuni intersițiale);
- presiunea hidrostatică din conducte, galerii de golire corespunzătoare nivelului retenției normale (NRN) la priza de apă.
- împingerea activă a pământului inclusiv a aluviunilor depuse în lacul de acumulare și a suprasarcinilor;
- împingerea muntelui în cazul construcțiilor subterane auxiliare construcțiilor hidrotehnice de retenție;
- acțiunea variațiilor climatice de temperatură pentru anul cu amplitudinea medie de variație a temperaturilor medii anuale;
- încărcări tehnologice și încărcări utile diverse cu caracter cvasipermanent;
- efecte din tasări și deplasări diferențiate ale fundației când acestea nu sunt rezultatul unor schimbări majore a structurii terenului de fundare;
- încărcări produse de efectul deformațiilor împiedicate (contracția betonului, reacții alcalii - agregate de umflare a betonului etc.)

În categoria **acțiunilor temporare variabile de scurtă durată (V)** se includ încărcări ca:

- presiunea apei (din bieful amonte, din bieful aval, subpresiune) corespunzătoare nivelului maxim al apei în loc (NRM) în condiții normale de exploatare a construcției;
- presiunea hidrodinamică a apei asupra deversorului la deversări corespunzătoare nivelului maxim al apei în lac (NRM);
- împingerea gheții determinată pentru grosimea medie multianuală;
- presiunea din acțiunea valurilor produse de vânt, determinate pentru viteza medie multianuală a vântului;
- impactul cu corpuri plutitoare, nave.

În categoria **acțiunilor excepționale (accidentale) (E)** se includ:

- presiunea apei (din bieful amonte, din bieful aval, subpresiune) corespunzătoare nivelului maxim al apei în lac (NRM) în condiții speciale de exploatare a construcției (deteriorări ale sistemului de etanșare-drenaj, fisuri la piciorul amonte pe contactul baraj – fundație etc);
- acțiunea seismică (efecte inerțiale și hidrodinamice produse de cutremurul operațional – OBE – sau cutremurul de evaluare a siguranței – SEE);
- împingerea gheții determinată pentru grosimea maximă multianuală, precum și în cazul rușii zăvoarelor și a evacuării apelor mari în perioadele de iarnă;
- presiunea din acțiunea valurilor produse de vânt determinate pentru viteza maximă multianuală a vântului;
- acțiunea variațiilor climatice de temperatură pentru anul cu amplitudinea maximă de variație a temperaturilor medii lunare.

Luarea în considerație sau neglijarea unor forțe sau a altora depinde de importanța barajului și de înălțimea lui.

Greutatea proprie

Greutatea proprie este una din forțele importante care solicită un baraj masiv. Având un efect stabilizator, valoarea ei trebuie determinată foarte exact. Este cunoscut că mărimea greutății proprii este influențată de deosebire de greutatea specifică a agregatelor și a cimentului, de dozajul de ciment, de raportul apă/ciment, de cantitatea de agregate care revin unui metru cub, de faptul dacă beton e uscat sau saturat cu apă etc.

Greutatea volumetrică a betonului se poate lua în fazele preliminare de proiectare $\gamma_b = 2,30 \dots 2,40$ t/m³. În regulamentul italian se recomandă în calculele preliminare $\gamma_b = 2,35$ t/m³, arătându-se că pot să apară valori și de $2,5$ t/m³. În instrucțiunile din S.U.A., pentru calcule preliminare $\gamma_b = 2,4$ t/m³.

La barajele construite în România, măsurătorile efectuate au indicat greutatea volumetrică a betonului cuprinse între 2,35 și 2,50 t/m³.

Cele mai multe norme și instrucțiuni insistă ca, pentru faza finală de proiectare să se determine greutatea volumetrică pe probe luate chiar în condițiile de șantier. La stăvilare de mică înălțime, unde efectul greutății echipamentului electro-mecanic, al podurilor și al diverselor anexe este destul de important se recomandă considerarea lor în evaluarea greutății proprii rezultând economii de beton.

Presiunea hidrostatică

Presiunea statică a apei se determină prin metodele cunoscute din hidraulică.

Știind că presiunile unitare variază liniar cu adâncimea sub nivelul apei și că acționează normal pe suprafețe, rezultă:

- componenta orizontală amonte: $P_0 = 1/2 \gamma H^2$;

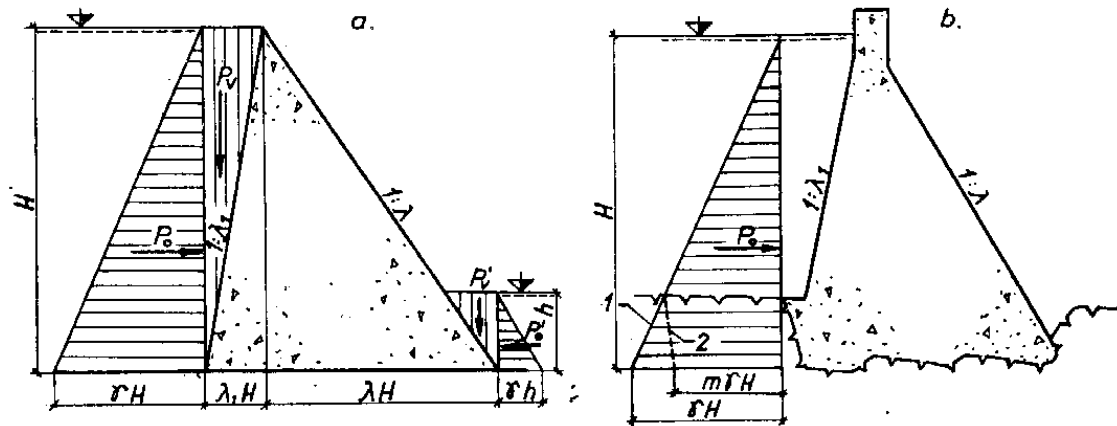
$$\text{aval : } P'_0 = \frac{1}{2} \gamma h^2$$

- componenta verticală amonte: $P_v = \frac{1}{2} \gamma_1 H^2$;

$$\text{aval : } P'_v = \frac{1}{2} \gamma h^2;$$

în care greutatea specifică a apei se ia în mod obișnuit $\gamma = 1000 \text{ daN/m}^3$

Se consideră că presiunea hidrostatică acționează până la piciorul amonte aval al barajului cu valoarea integrală. La barajele fondate mai adânc în roca de bază, există de fapt o micșorare a presiunii sub nivelul terenului. Aceasta micșorare depinde de gradul de impermeabilitate al terenului de fundație, de fisuratie și de adâncimea de fundare. Reducerea de presiune nu se admite totuși în calcul, dat fiind că nu se cunosc cu suficientă precizie factorii de care depinde.

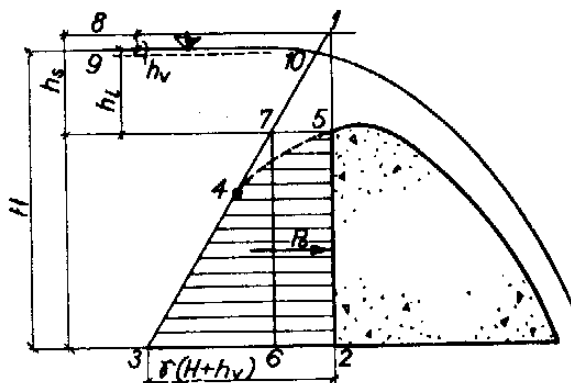


Pentru cazurile curente, în situația exploatării normale, se admite nivelul maxim normal. Nivelul maxim extraordinar în lac se ia în considerare pentru condiții excepționale de ape mari. Diferența între cele două niveluri poate fi uneori foarte mare (5 ...10 m), mai ales când debitele evacuate sunt mari și capacitatea de atenuare a lacului este redusă.

Presiunea hidrodinamică

Această presiune apare la curgerea apelor peste profilul deversant al barajului.

În mod uzual, în momentul deversării se admite presiunea hidrostatică trapezoidală, acționând de la creșta deversorului la talpa de fundație. În realitate, datorită vitezei de ajungere v se produce o coborîre h_v a nivelului în lac în zona deversorului, $h_v = v^2/2g$, fata de nivelul din zona nedeversanta, marcat de linia 1-8.



Pentru calculul presiunii asupra barajului, incluzând și presiunea dinamică dată de

viteza de ajungere, se considera diagrama 3-7-5-2, corespunzătoare liniei energetice. Dacă s-ar pune seama riguros de repartitia presiunii în momentul deversării, diagrama de presiune ar trebui considerată 5-4-3-2, care însă diferă neesențial față de cea de calcul. Expresia analitică este:

$$P_0 = 1/2 \gamma [(H + h_v)^2 - h_s^2]$$

Presiunea dinamică, astfel calculată, este totdeauna mai mare decât presiunea statică. Această diferență de presiune este însă de cele mai multe ori neglijabilă (circa 1.. 2%) exceptând situația barajelor puțin înalte, cu înălțimi mari ale lamei deversante.

În zona deversorului, aval de creastă, în timpul deversării apare o presiune normală pe suprafața paramentului, care depinde de caracteristicile hidraulice și de forma deversorului. Presiunile sau depresiunile care acționează se pot determina prin încercări pe modele.

Prin subpresiune se înțelege acțiunea de jos în sus a apei care se infiltrează prin fisurile rocii de fundație și prin interspațiile necimentate dintre beton și roca. Dacă se admite ca infiltrația are loc cu o pierdere de sarcină uniformă, se obține repartiția teoretică; aceasta variază liniar de la presiunea hidrostatică din amonte la valoarea presiunii din aval, sau la zero, atunci când nu există apă în aval.

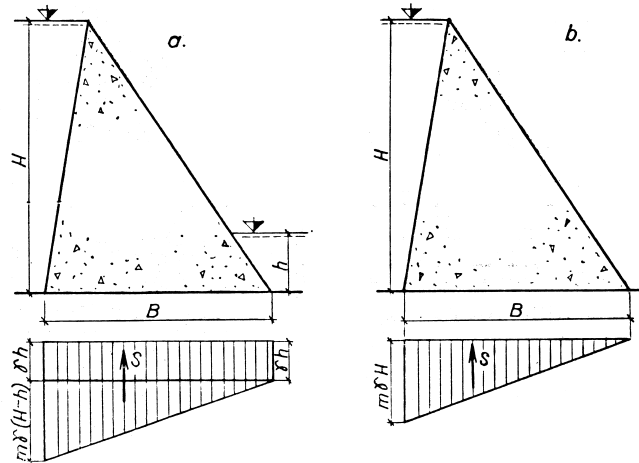


Fig. Repartiția subpresiunii în ipoteza distribuției triunghiulare: a – cu nivel de apă în aval, b: fara nivel de apă în aval

Pentru diagramele admise în figurile ...a și ...b, forțele de subpresiune rezultă:

$$S = \gamma \cdot \left[h + \frac{1}{2} \cdot m \cdot (H - h) \right] (\lambda_1 + \lambda) \cdot H$$

respectiv

$$S = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \gamma \cdot (\lambda_1 + \lambda) \cdot H^2$$

și ele se aplică în centrele de greutate ale diagramelor

La construcțiile fundate pe terenuri nestâncoase se urmărește micșorarea subpresiunii prin mărirea drumului de infiltrație. Se utilizează avanradiere, pereți etanși de palplanse sau beton și voaluri de injectie. În același timp se adoptă diverse sisteme de drenaj (foraje, puturi, filtre) care scad presiunea apei de infiltrație. Determinarea subpresiunii se face teoretic și experimental, ținând seama de conturul fundației și de măsurile constructive adoptate.

Rezolvările teoretice pleacă de la ecuația lui Laplace, care pentru cazuri simple permite stabilirea spectrului hidrodinamic și deci a debitului infiltrat și a presiunii. În situațiile curente, cu contururi subterane complicate, se utilizează metodele simplificate de calcul al subpresiunii, cunoscute din hidraulică. În multe cazuri se fac experimentări prin metoda analogiilor electrice, care dau rezultate destul de apropiate de realitate.

La construcțiile fundate pe terenuri stâncoase se prevăd în mod curent pineni amonte, voaluri de etanșare, foraje de drenaj sau galerii de drenaj. Ca rezultat, se constată o reducere a valorii subpresiunii față de cea teoretică, datorită în principal a doi factori:

- apa acționează numai asupra unei părți a secțiunii de fundație, corespunzătoare interspațiilor rămase;
- pierderilor de sarcină de pe parcursul drumului de infiltrație datorită structurii rocii și măsurilor constructive adoptate.

Referitor la procentul de arie a secțiunii de fundație pe care se manifestă subpresiunea, datorită gradului mare de incertitudine, se recomandă în ultima vreme ca acțiunea subpresiunii să fie considerată pe întreaga suprafață de fundație.

Referitor la intensitatea subpresiunii, există încă diferențe importante între modurile de evaluare recomandate în literatură și între acestea și rezultatele măsurătorilor în natură.

Fără drenaj, în cazul în care există fisuri în stâncă ce au tendința de a se apropia de piciorul aval, diagrama de subpresiune poate fi uneori mai defavorabilă decât diagrama trapezoidală (a) din figura ...). Dacă studiul geologic confirmă această ipoteză drenurile de la piciorul aval devin imperative. În cazul în care există drenaj și se presupune ca se efectuează o de întreținere periodică a drenurilor, este recomandat să se considere că eficiența lor este de 50%, ceea ce înseamnă că subpresiunea este redusă la jumătate în dreptul drenajului: $U_A - U_B = (U_A - U_C) / 2$ (figura).

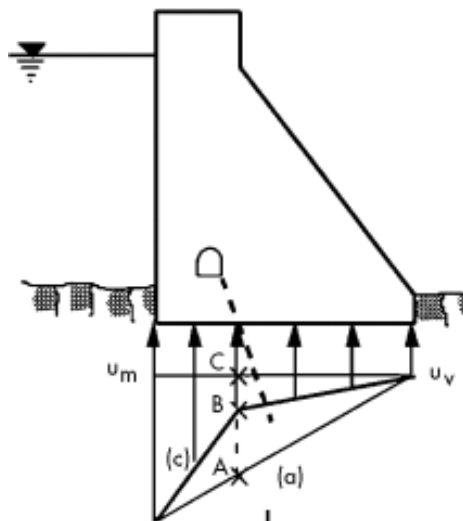


Fig. - Diagrama de subpresiune: (a) - fără voal de injecție sau drenaj (c) - cu drenaj

În mod similar, în cazul în care există un voal de etanșare lângă piciorul amonte, precum și la piciorul amonte nu există eforturi de întindere, considerăm că efectul voalului este de a reduce cu o treime subpresiunea: $UA-UB = (UA-UC) / 3$ (figura)

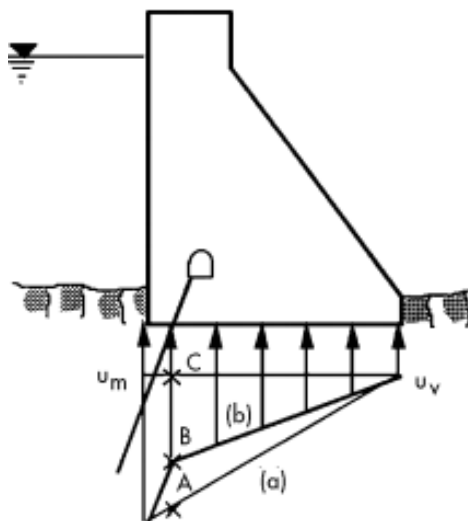


Fig. - Diagrama de subpresiune: (a) - fără voal de injecție sau drenaj (b) - cu perdea injectată din pastă de ciment

Presiunea apei din pori

Betonul din corpul unui baraj, datorită porozității acestuia, se află sub acțiunea apelor de infiltrație. Apa care se scurge prin pori betonului exercită o acțiune de portanță asupra agregatelor. Se presupune că această acțiune este dirijată de jos în sus și că este repartizată liniar de la valoarea $m\gamma z$ la paramentul amonte, la zero la paramentul aval, z fiind adâncimea secțiunii analizate.

Coefficientul m de reducere al presiunii apei din pori se determină cu relația:

$$m = \alpha\beta$$

în care:

α = volumul agregatelor dintr-un metru cub de beton,

β = porozitatea liantului

Pentru calcule preliminare $\alpha = 1 - (A/C + 0,32) C$

unde:

A/C = raportul apa/ciment;

C = dozajul de ciment în t/m^3 ;

$\beta = (A/C - 0,2) / (A/C + 0,2)$ (raportul dintre volumul porilor și volumul total al liantului).

Pentru situații curente rezulta $m = 0,30 - 0,50$.

Presiunea aluviunilor

În lacurile de acumulare viteza de culgere se reduce și ca urmare aluviunile transportate de apa se depun. Cele cu granulație mai mare (nisipuri și pietrisuri) se depun în porțiunea amonte, iar cele mai fine, constituite din argila și ml, ajung până în fata barajului. Particulele fine sedimentate constituie o masă de material ale cărei proprietăți mecanice sunt asemănătoare cu cele ale unui lichid, cu unghiul de frecare interioră aproape zero. Presiunea exercitată de aceste depuneri asupra barajului se determină cu aproximație ea depinzând de o serie de factori ca: unghiul

frecării interioare, unghiul de frecare între aluviuni și baraj, greutatea volumetrică, starea de saturare cu apă, înclinarea paramentului, panta fundului lacului etc.

Admitând o variație liniară pe verticală a presiunii aluviunilor, presiunea unitară la baza unui strat de adâncime h_{al} va fi:

$$P_{al} = \gamma'_{al} h_{al}$$

În care:

$\gamma'_{al} = \gamma_{al} - \gamma (1-n)$ - greutatea volumetrică a aluviunilor în apă;

γ_{al} = greutatea volumetrică a aluviunilor uscate;

γ = greutatea volumetrică a apei;

n = porozitatea aluviunilor.

De obicei γ_{al} variază între 1,3 și 1,8 t/m³, iar volumul porilor n între 10 și 30%.

La grosimi mici ale stratului de aluviuni în raport cu înălțimea barajului, presiunile exercitate pe parament sunt reduse și în consecință se neglijează. Dacă grosimea stratului aluvionar este mare, efectul împingerii aluviunilor trebuie redus față de cel rezultat din formula, luând în considerare unghiuri de frecare diferite de zero, datorită efectului presiunii de deasupra. Calculul se face cu formula împingerii active după Rankine.

Forte seismice

În majoritatea țărilor constructoare de baraje, pentru calcul, coeficientul de seismicitate se adoptă $a = 0,10$. Valori mai ridicate se folosesc în zone cu puternică activitate seismică. Solicitățile produse de cutremur în corpul unui baraj au un caracter dinamic. Totuși se utilizează încă frecvent metode de calcul în care efectul cutremurului se consideră static, datorită simplității și rezultatelor uneori acoperitoare. Barajul se consideră legat rigid de fundație iar cutremurul produce în corpul lui forțe de inerție de sens contrar sensului accelerației seismice. Deoarece mișcările seismice nu au o direcție precisă, se admite direcția cea mai defavorabilă pentru structura: la barajele masive (de greutate) în lungul văii, la barajele mai zvelte (arcuite cu contraforți) - perpendicular pe vale sau direcții oarecare. Mai aproape de realitate este ipoteza când se consideră simultan acțiunea cutremurului pe două sau chiar trei direcții.

Forța datorită inerției masei proprii rezultă făcând produsul dintre masa barajului și accelerația cutremurului:

$$C_g = Gc/g = aG.$$

Forța C_g se aplică în centrul de greutate al profilului solicitat și poate fi dirijată orizontal sau vertical, funcție de direcția accelerației:

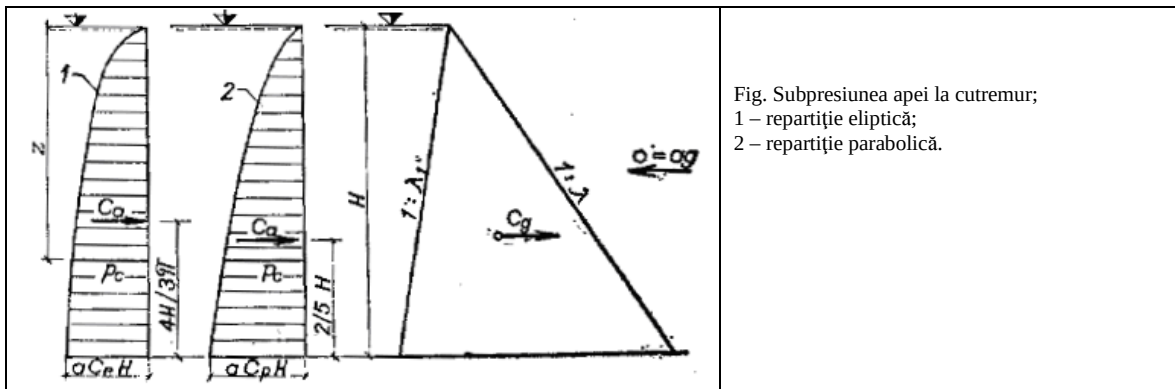


Fig. Subpresiunea apei la cutremur;
1 – repartitie eliptică;
2 – repartitie parabolică.

Pentru a lua în considerație unele efecte care influențează răspunsul dinamic al structurii (natura terenului de fundație, rigiditatea structurii) și care în metoda statică nu sunt prinse, formulei i se aduc corecții. Astfel, în unele recomandări expresia forței de inerție a masei proprii mai este afectată de un coeficient α care depinde de natura terenului de fundație:

$$C_g = \alpha aG$$

Coeficientul α are valori cuprinse între 0,5, pentru terenuri tari, sănătoase și 2, pentru terenuri necoezive, slabe. Pentru barajele zvelte și chiar pentru cele masive dar înalte, se majorează uneori forța astfel calculată cu 30 ... 50%.

Presiunea suplimentară datorită inerției masei de apă variază cu adâncimea z sub nivelul apei. După cercetările lui Westergaard, ale căror rezultate sunt aplicate cel mai frecvent, legea de variație este parabolică sau eliptică. În cele două ipoteze presiunile sunt:

- pentru repartitie parabolică:

$$P_c = aC_p \sqrt{Hz}$$

$$C_a = \frac{2}{3} aC_p H^2$$

$$C_p = \frac{817}{\sqrt{1 - \frac{7,75}{10^6} \left(\frac{H}{T}\right)^2}} \quad [kg/m^3]$$

- pentru repartiția eliptică:

$$P_c = aC_e \sqrt{z(2H - z)}$$

$$C_a = \frac{\pi}{4} aC_e H^2$$

$$C_e = \frac{654}{\sqrt{1 - \frac{7,75}{10^6} \left(\frac{H}{T}\right)^2}} \quad [kg/m^3]$$

unde:

C_a = presiunea suplimentară totală

C_p, C_e = coeficienți cu dimensiunea unor greutateți specifice

H = înălțimea barajului

T = perioada vibrațiilor seismice în secunde.

Pentru baraje de înălțimi medii $C_p=0,830$, respectiv $C_e=0,660$.

Dacă paramentul este înclinat $P_c = KaC_p(Hz)^2$ unde K este coeficient (din diagrama, valori între 0.5 și 1) funcție de înclinarea paramentului.

Normele americane:

la baza barajului : $p_c = C_b \gamma H$

unde C_b este un coeficient adimensional funcție de înclinarea paramentului (grafic).

La cote superioare fundației, la adâncimea z sub apă:

$$C_b = \frac{1}{2} C_m \left[\frac{z}{H} \left(2 - \frac{z}{H} \right) + \sqrt{\frac{z}{H} \left(2 - \frac{z}{H} \right)} \right]$$

unde C_m este valoarea maximă a lui C , rezultată din grafic pentru panta dată a paramentului.

Presiunea suplimentară totală este:

$$C_a = 0,726 p_c H$$

și se aplică la $0,243 H$ de baza profilului.

Forțele de inerție ale cutremurului pot fi de câteva ori mai mari la rezonanță. Înălțimea barajului la care ar putea să apară fenomene de rezonanță este mai mare de 300m.

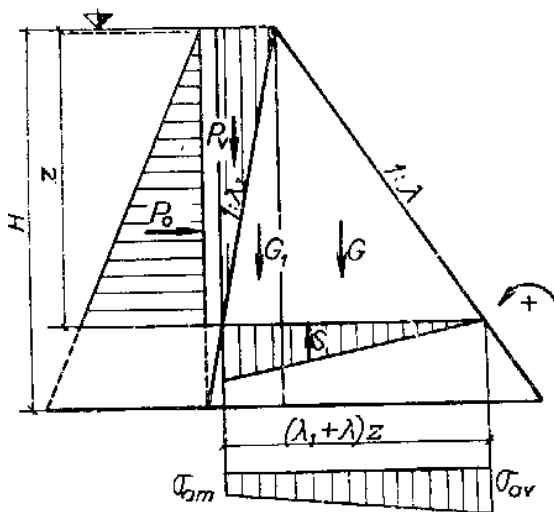
Forțe provenite din variațiile de temperatură

Variațiile de temperatură lunare ale mediului exterior se propaga pe adâncimi de ordinul a 5 ... 6 m într-un masiv de beton, iar cele zilnice pe adâncimi de 20 ... 30 cm. Față de dimensiunile unui baraj de greutate, aceste cifre sunt destul de reduse pentru a putea să modifice temperatura interioară în mod uniform. Chiar dacă acest fenomen ar avea posibilitatea să se producă, rosturile de dilatație ar înlesni libera deformație a ploturilor, fără ca acestea să ajungă la stare de efort. În realitate fenomenul este mai complicat și nedeterminat din punct de vedere static. Se admite că betoanele de parament sunt mai mult solicitate de variațiile de temperatură și de aceea se prevăd dozaje mai ridicate. Pentru această solicitare nu se fac calcule speciale.

Metoda elementară

Întrucât corpul unui baraj de greutate este împărțit prin rosturile transversale în ploturi independente, starea de efort poate fi considerată plană. Pentru determinarea eforturilor este suficient a se lua în considerare o fâșie cu lățimea de 1 m după axul longitudinal al barajului.

Se consideră profilul triunghiular din figură, solicitat de greutatea proprie, presiunea apei și subpresiuni. Într-o secțiune orizontală, situată la adâncimea z sub planul de apă, eforturile normale verticale la cele două extremități se calculează, prin formula cunoscută a compresiunii excentrice:



$$\sigma = \Sigma V/A \pm \Sigma M/W$$

Cu notațiile din figură, forțele care acționează și brațele lor de pârghie față de centrul secțiunii sunt:

greutatea proprie:

$$G = \gamma_b \lambda^2 z^2 / 2 \text{ cu brațul de pârghie } (\lambda - 3\lambda_1)z/6$$

$$G_1 = \gamma_b \lambda_1^2 z^2 / 2 \text{ cu brațul de pârghie } (3\lambda - \lambda_1)z/6$$

presiunea orizontală a apei: $P_0 = 1/2 \gamma z^2$ cu brațul de pârghie $z/3$;

presiunea verticală a apei: $P_v = 1/2 \gamma \lambda_1 z^2$ cu brațul de pârghie $(\lambda_1 + 3\lambda)z/6$

subpresiunea: $S = 1/2 m \gamma (\lambda_1 + \lambda) z^2$ cu brațul de pârghie $(\lambda_1 + \lambda)z/6$.

Suma forțelor verticale este: $\Sigma V = G + G_1 + P_v - S = 1/2 [\gamma_b' (\lambda_1 + \lambda) + \gamma \lambda_1] z^2$
în care s-a notat $\gamma_b - m\gamma = \gamma_b'$.

Ținând seama de expresia forțelor și a brațelor de pârghie, momentul forțelor față de centrul secțiunii este:

$$\Sigma M = 1/12 [\gamma_b (\lambda^2 - \lambda_1^2) + \gamma \lambda_1 (\lambda_1 + 3\lambda) - m\gamma (\lambda_1 + \lambda)^2 - 2\gamma] z^3.$$

Eforturile normale verticale devin:

$$\sigma_{am,av} = \Sigma V / [(\lambda_1 + \lambda)z] \pm \Sigma M / [1/6 (\lambda_1 + \lambda)^2 z^2]$$

sau, înlocuind pe ΣV și ΣM :

...

Pentru ipoteza lacului gol eforturile se obțin considerând $\gamma = 0$:

$$\sigma_{am} = \lambda \gamma_b z / (\lambda_1 + \lambda) \quad \sigma_{av} = \lambda_1 \gamma_b z / (\lambda_1 + \lambda)$$

Se constată că:

- în cele două ipoteze eforturile sunt proporționale cu cota z sub planul de apă;
- eforturile verticale maxime acționează la picioarele barajului, unde $z = H$.

Dacă profilul barajului este cu paramentul amonte vertical $\lambda_1 = 0$, eforturile devin:

- lac plin:

$$\sigma_{am} = (\gamma_b' - \gamma / \lambda^2) z; \quad \sigma_{av} = z \gamma / \lambda^2$$

- lac gol:

$$\sigma_{am} = \gamma_b z; \quad \sigma_{av} = 0.$$

Eforturile normale orizontale și cele tangențiale la paramente pot fi determinate funcție de cele calculate.

Stabilitatea prin forte de frecare

Alunecarea unui baraj de greutate, fundat pe teren stâncos, se poate produce atunci când suma forțelor orizontale ΣH depășește ca mărime forțele de frecare care acționează de-a lungul suprafețelor de fundație, presupusa orizontală. Valoarea maximă a forțelor de frecare se obține făcând produsul între coeficientul de frecare statică (f) dintre beton și roca și suma forțelor verticale ΣV . Condiția de stabilitate se exprimă prin inegalitatea:

$\Sigma H < f \Sigma V$,
sau prin inegalitatea:
 $K \Sigma H = f \Sigma V$,
unde K este coeficientul de siguranță.
Dar raportul $\Sigma H / \Sigma V = \tan \phi$ este coeficientul de alunecare al construcției.
Rezultă: $\tan \phi < f$ respectiv: $k \tan \phi = f$.

Coeficientul de siguranță se definește ca raportul dintre coeficientul de frecare statică (f) și coeficientul de alunecare al barajului $\tan \phi$. În calcule curente se ia $K = 1,0 \dots 1,1$ pentru baraje fundate pe terenuri stâncoase și $1,3 \dots 1,5$ pentru baraje fundate pe terenuri nestâncoase sau funcție de clasa construcției.

Combinăția de încărcări	Clasa construcției			
	I	II	III	IV
Încărcări fundamentale	1.30	1.20	1.15	1.15
Idem + extraordinare	1.05	1.05	1.00	1.00

Valoarea coeficientului de frecare statică beton - roca se determină experimental, prin încercări pe teren. În calcule preliminare se pot admite următoarele valori:

- pentru terenuri stâncoase:
 - roci eruptive 0,65...0,75;
 - roci sedimentare (calcare, gresii, etc.) 0,50...0,65;
- pentru terenuri semistâncoase:
 - marnă, șisturi argiloase etc. 0,30...0,50;
- pentru terenuri nestâncoase:
 - pietrișuri și bolovănișuri 0,50; pământuri nisipoase 0,40...0,50; nisipuri argiloase 0,35...0,40; argile nisipoase 0,25...0,30; argile 0,20...0,30.

Stabilitatea prin forțe de frecare și coeziune.

Condițiile de stabilitate exprimate prin relațiile anterioare corespund situației în care barajul ar sprijini direct pe suprafața de fundație. În realitate, prin modul de execuție și prin măsurile constructive care se iau, se realizează o legătură intimă între beton și rocă, capabilă, și de eforturi de coeziune (sau aderență) c. Ținând seama de fenomenul real, condiția de stabilitate la alunecare se scrie sub forma:

$$K \Sigma H = f \Sigma V + cA$$

în care, pe lângă notațiile făcute mai înainte, mai apar:
c - efortul de coeziune sau de aderență, în t/m²;
A - mărimea suprafeței de alunecare, în m².

Coeficientul de siguranță K este în acest caz mult mai mare, apreciind că se iau în considerație toate rezervele de stabilitate ale structurii. Se recomandă $K \geq 4$, în cea mai defavorabilă ipoteză de încărcare. Normele americane mai recente, privitoare la construcții hidrotehnice de greutate, recomandă pentru K, valorile din tabel, în acest caz A reprezintă numai partea comprimată a fundației:

Uzine hidroelectrice	Încărcarea	
	Normală	Extraordinară
Mari	3,50	2,0
Mici	2,50	1,50

Efortul de coeziune sau aderență trebuie determinat prin încercări în situ. În lipsa determinărilor experimentale valoarea lui se ia prin analogie cu alte lucrări. Pentru orientare, se menționează că la majoritatea barajelor americane ca variind între 1500 și 5000 KN/m² iar încercările de teren și laborator din CSI au condus la cifre cuprinse între 1400 și 4500 KN/m². În ceea ce privește distribuția efortului de coeziune, aceasta nu este uniformă pe secțiune. Uneori chiar diagrama efortului τ în fundație schimba de semn. În normele americane se introduce în consecință un factor de corecție r care înmulțește termenul cA din formula.

Pentru calculele de verificare, valoarea recomandată este $r = 0,50$.

Examinând relația, se constată că în timp ce ΣH și ΣV cresc cu pătratul înălțimii barajului, suprafața de fundație crește numai liniar. Deci barajele mai înalte sunt mai expuse pericolului de alunecare decât cele de înălțimi mai mici. După normele spaniole se recomandă relația:

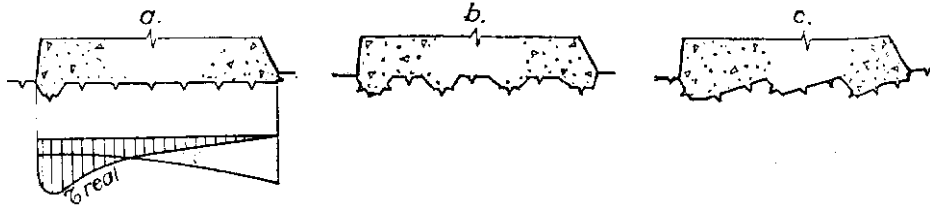
$$\Sigma H < \frac{f \Sigma V}{K_1} + \frac{cA}{K_2},$$

În care notațiile sunt aceleași, iar K_1 și K_2 sunt coeficienți de siguranță diferențiați pentru frecare și pentru coeziune. Valorile normative prevăd $K_1 = 1,5$ și $K_2 = 5$ pentru încărcările normale și o reducere a acestora cu 20 % în cazul încărcărilor extraordinare.

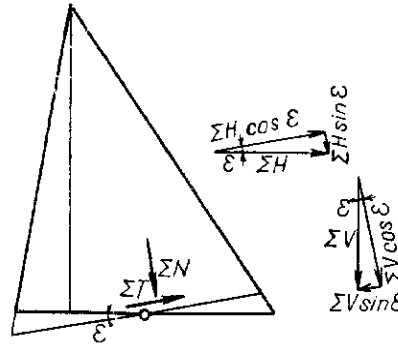
Se recomandă $K_1 = 1,3 \dots 1,4$, iar $K_2 = 3 \dots 4$ raportul c/K_2 luându-se cel puțin egal cu 100 ... 300 t/m².

Măsuri constructive

Pentru a spori stabilitatea la alunecare a barajelor, se iau de obicei unele măsuri constructive. În afara de tratarea specială a suprafeței de fundație și de injecțiile de legătură și consolidare, însăși forma geometrică a tălpii barajului poate aduce rezerve importante de stabilitate. Execuția fundațiilor cu un pînț amonte, în trepte sau cu redane reprezintă astfel de măsuri constructive.



Pintenul amonte, concentrează eforturile de alunecare în dreptul său. Executarea mai multor redane distribuie mai uniform eforturile, făcând în același timp ca roca de fundație să contribuie la stabilitate prin rezistența proprie la forfecare. La fundațiile în trepte înclinate spre amonte, rezultanta forțelor cade sub un unghi foarte apropiat de 90°, reducându-se prin aceasta componenta tangențială care provoacă alunecarea.



În cazul fundației înclinate noua valoare a coeficientului de alunecare se determină scriind componentele tangențiale și normale:

- suma forțelor tangențiale: $\Sigma T = \Sigma H \cos \varepsilon - \Sigma V \sin \varepsilon$

- suma forțelor normale: $\Sigma N = \Sigma V \cos \varepsilon + \Sigma H \sin \varepsilon$

Coeficientul de alunecare devine în consecință:

$$\frac{\Sigma T}{\Sigma N} = \frac{\frac{\Sigma H}{\Sigma V} - \operatorname{tg} \varepsilon}{1 + \frac{\Sigma H}{\Sigma V} \operatorname{tg} \varepsilon}$$

Se constată o îmbunătățire a stabilității, coeficientul de alunecare dat de aceasta relație având valori mult mai reduse.

DIMENSIONAREA BARAJELOR DE GREUTATE

Criteriile clasice aplicate la dimensionarea barajelor de greutate sunt:

- primul criteriu constă în condiția că, ținând seama de acțiunea subpresiunilor, efortul normal vertical de la piciorul amonte al barajului să fie mai mare, sau la limita egal cu zero; prin aceasta condiție se exclud deci eforturile de tensiune la contactul beton-roca, considerând că acestea nu pot fi preluate; în ipoteza repartiției liniare a eforturilor, acest criteriu se scrie sub forma:

$$\sigma_{am} = \frac{\Sigma V}{A} + \frac{\Sigma M}{W} \geq 0;$$

- al doilea criteriu constă în condiția de stabilitate la alunecare a barajului în secțiunea de fundație; aceasta se exprimă punând condiția ca coeficientul de alunecare $\Sigma H / \Sigma V$ să fie mai mic sau, la limita, egal cu coeficientul de frecare statică f al betonului cu roca de fundație: $\Sigma H / \Sigma V \leq f$

Introducerea unui anumit coeficient de siguranță la alunecare, sau luarea în considerație a coeziunii dintre beton și roca, se poate realiza, implicit, prin modificarea corespunzătoare a cifrei f , determinată prin încercări pe teren. Această corecție este indicată în special în cazul barajelor cu rosturi largite sau evidante, la care stabilitatea la alunecare este mărită prin încastrarea lor în roca de fundație.

Aceste două condiții exprimă fenomenul complex al stabilității unui baraj cu anumite aproximații, suficiente pentru scopuri practice.

Profile triunghiulare

Considerând relațiile precedente în cazul unui profil triunghiular cu ambele paramente înclinate și luând drept încărcări greutatea proprie, presiunea apei orizontală și verticală și subpresiunea rezultă:

$$\begin{aligned} (\gamma_b - m\gamma)(\lambda_1 + \lambda)^2 - (\gamma_b - 2\gamma)(\lambda_1 + \lambda)\lambda_1 - \gamma(1 + \lambda_1^2) &= 0 \\ (\gamma_b - m\gamma)(\lambda_1 + \lambda) + \gamma\lambda_1 &= \gamma f \end{aligned}$$

Soluția comună este:

$$(1 - m)\gamma\lambda_1^2 + \frac{\gamma_b}{f}\lambda_1 - \frac{\gamma}{f^2} + \gamma_b - m\gamma = 0$$

În urma unor calcule numerice se prezintă variația înclinării paramentelor funcție de coeficientul de frecare f și coeficientul de subpresiune m :

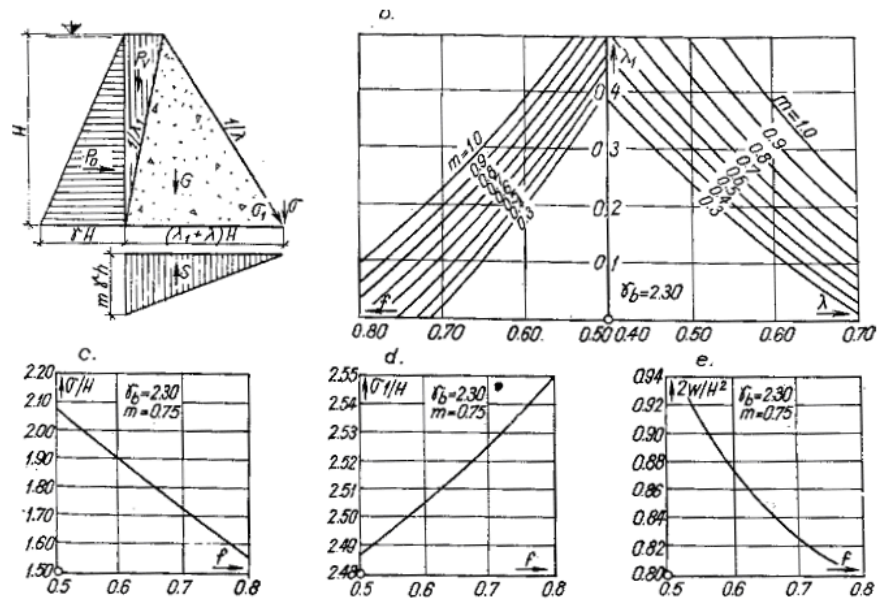


Fig. Dimensionarea profilelor triunghiulare:
a – schema de calcul; b – variația înclinării paramentelor cu coeficientii m și f;
c – variația efortului vertical la piciorul aval; d - variația efortului principal la piciorul aval; e – variația volumului relativ.

Profile triunghiulare optime

Dacă în ecuațiile clasice pentru determinarea profilului barajului de greutate se face înlocuirea $\lambda_1 = x$ și $\lambda_1 + \lambda = y$ acestea devin:

$$\left(\frac{\gamma_b}{\gamma} - m\right)y^2 + \left(2 - \frac{\gamma_b}{\gamma}\right)xy - x^2 - 1 \geq 0$$

$$f\left(\frac{\gamma_b}{\gamma} - m\right)y + fx - 1 \geq 0$$

Prima inegalitate este satisfăcută pentru valorile situate deasupra unei hiperbole iar a doua pentru valorile situate deasupra unei drepte. Soluția corespunzătoare lui $(\lambda_1 + \lambda)_{\min}$ se găsește la intersecția dreptei cu hiperbola:

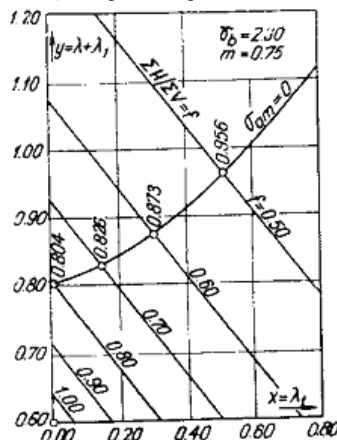


Fig. Dimensionarea profilului optim.

Abscisa punctului de intersecție rezultă din:

$$(1 - m)x^2 + \frac{\gamma_b}{f\gamma}x - \frac{1}{f^2} + \left(\frac{\gamma_b}{\gamma} - m\right) = 0$$

Din figura se constată:

- în cazul în care coeficientul de frecare este mai mic decât ~0,80 (situația cea mai frecventă în practică) profilul cu ambele paramente înclinate este mai indicat decât cel cu paramentul amonte vertical, necesitând volumul minim de beton;
- dacă se impune un profil cu parament amonte vertical ($\lambda_1 = 0$), dimensionează condiția de stabilitate la alunecare când $f < 0,80$, respectiv condiția de efort nul când $f > 0,80$;
- dacă se ține seama numai de condiția de efort nul la piciorul amonte, suma $(\lambda_1 + \lambda)$ crește atunci când λ_1 crește; profilul cu parament amonte vertical ($\lambda_1 = 0$) este cel mai indicat.

Profile triunghiulare solicitate de cutremur.

În situația în care un profil triunghiular solicitat de cutremur trebuie să respecte cele două condiții menționate, înclinările paramentelor și deci volumul barajului modifică. Admițând că accelerația cutremurului $c = ag$ este dirijată pe direcția văii, un profil triunghiular este solicitat în mod suplimentar de două forțe orizontale: inerția masei proprii și inerția masei de apă. Se constată ca:

- față de un profil dimensionat la sarcini normale ($a = 0$) un profil dimensionat la cutremur necesită o bază de lățime mai mare și deci un volum sporit de beton: de exemplu în cazul unui cutremur de gradul IX ($a = 0,10$), creșterea procentuală a volumului este de 24,69 %;
- în timp ce înclinarea paramentului aval variază în limite foarte strânse, înclinarea paramentului amonte variază în mai mare măsură cu intensitatea cutremurului rezultă că în mod practic, un profil triunghiular se acomodează cu intensitatea cutremurului prin variația pantei paramentului amonte.

Profile cu parament amonte vertical.

Aplicarea profilelor drepte, cu paramentul amonte vertical (fig.), este rațională în cazurile în care terenul de fundație este foarte rezistent și capabil de a realiza coeficienți de frecare ridicați.

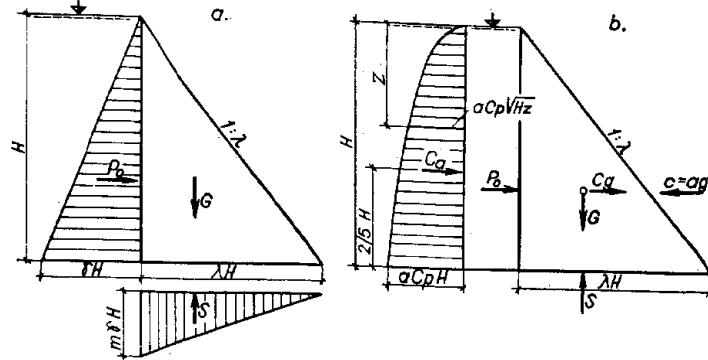


Fig.

Panta paramentului se determina din cele doua condiții:

- efort nul la piciorul amonte, condiție din care rezulta : $\lambda = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_b - m\gamma}} = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma'}}$;
- stabilitatea la alunecare pe talpa fundației: $\lambda = \frac{1}{f} \frac{\gamma}{\gamma_b - m\gamma} = \frac{\gamma}{\gamma'_b}$;

În cazul în care se iau în considerație și forțele provocate de cutremur relațiile se modifică în mod corespunzător.

AMENAJAREA FUNDAȚIILOR

Alcătuirea în secțiune transversală.

Ca și dispoziția generală a barajului, alcătuirea fundațiilor este direct influențată de condițiile geologice din amplasament. Rezistența și omogenitatea rocii, gradul de alterare și fisurație, sunt elementele de care depind dimensiunile și adâncimile fundațiilor. În mod normal, suprafața de fundație se excavează neregulat, cu proeminențe și adâncituri care să mărească stabilitatea la alunecare a barajului (fig.). În cazul rocilor sedimentare, în special când stratificația este orientată defavorabil, sau când coeficientul de frecare statică beton-roca este redus, barajul se încastrează în teren pe adâncimi mari, pentru a folosi și rezistența straturilor din aval (fig. a) a corpului barajului.

În același scop, suprafața de fundație se înclină uneori spre amonte, cu pante de ordinul 1: 20, 1: 15, 1: 10, micșorându-se pe această cale forțele tangențiale înclinarea se poate realiza profitând de orientarea generală a rocii de baza, ca în cazul barajului Grande-Dixence (fig., b), sau prin crearea de redane, după cum s-a procedat la barajul de la Bicaz (fig., c).

În vederea opririi infiltrațiilor care s-ar putea produce de-a lungul suprafeței de fundație și a antrenării masivului stâncos în preluarea forțelor orizontale, majoritatea barajelor sunt prevăzute cu un pînă la piciorul amonte, care pătrunde pe adâncimi de ordinul metrilor în terenul de fundație (fig., d). Sunt situații în care, din cauza profilului terenului de fundație sau a fenomenelor de eroziune din albie, fundațiile iau forme neobișnuite.

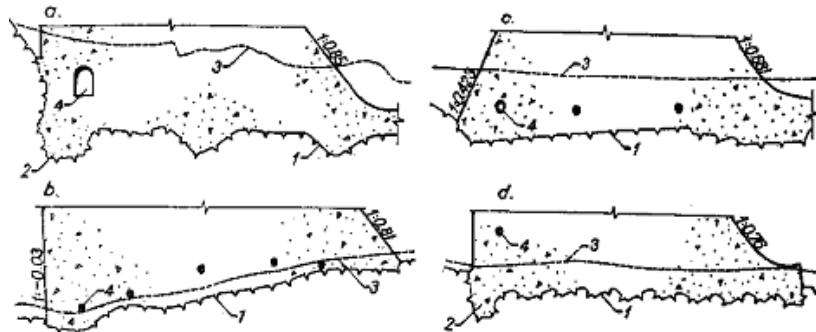


Fig. Exemple de fundare a barajelor de greutate:

a – Schlagen; b – Grande Dixence; c – Izvorul Muntelui; d – Puente Bibery;
1 – linia de fundație; 2 – pînă; 3 – teren natural; 4 – galerie de picior.

Alcătuirea în secțiune longitudinală

După axul longitudinal al barajului, fundațiile urmăresc în general profilul văii barate. Pentru a se evita fisurarea betoanelor, este recomandabil a se amenaja terenul, înlăturându-se proeminențele stâncoase locale care, prin discontinuitatea lor, favorizează acest fenomen.

În scopul asigurării unei bune stabilități longitudinale a ploturilor componente, fundațiile barajelor masive executate în trecut se

realizau în trepte, un plot putând rezema pe 3 ... 4 asemenea trepte, cu înălțimea limitată la circa 3 m. Pe lângă dificultățile de execuție pe care le comportau, aceste trepte măreau pericolul de fisurare a betoanelor. La barajele moderne s-a renunțat la aceasta dispoziție, suprafața de fundație excavându-se cu neregularități, dar având o continuitate generală (fig. b). Pentru a se evita eventuala alunecare spre mijlocul văii a ploturilor turnate pe versanți, este recomandabil ca betonarea să se efectueze începând din vale spre versanți. Procedând astfel, ploturile situate la cote superioare pot rezema pe cele turnate la cote inferioare.

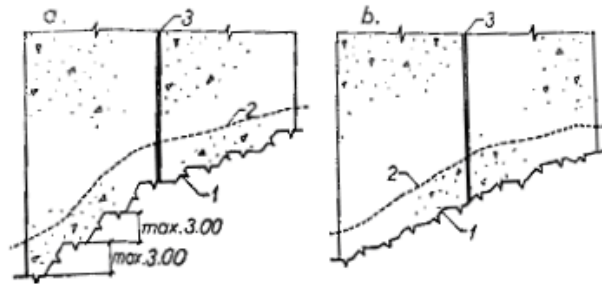


Fig. Fundarea în secțiune longitudinală
a – în trepte; b – continuă; 1- suprafață de fundație; 2 – linia terenului natural; 3 – rost.

Execuția excavațiilor

În condiții geologice normale pentru a feri roca de fundație de fisurări, excavațiile se execută în două faze principale: excavații grosiere și excavații de finisaj. Excavațiile grosiere se atacă începând de la partea superioară a versanților spre talveg. Materialul provenit din săpături se rostogolește spre platformele intermediare de evacuare, sau, la înălțimi mai reduse, direct în talveg, de unde este transportat în halda de steril. În apropierea limitei acestei faze, excavațiile se execută cu încărcături reduse (200 g/gaură).

Excavațiile de finisaj au drept scop profilarea definitivă a fundațiilor prin înlăturarea ultimului strat de roca, cu grosimea în jur de 1,00...1,50 m. Cea mai mare parte a acestui strat se excavează cu încărcături de circa 100 g/gaură, ultimii decimetri înlăturându-se cu ciocanul de abataj, sau în cazuri excepționale, cu încărcături de 50 g/gaură.

După terminarea excavațiilor, suprafața de fundație se pregătește pentru betonare. Această operație începe prin îndepărtarea rocii fisurate și a bucăților de stâncă rămase de la excavații și curățirea de praf sau corpuri străine. După curățire se trece la spălarea suprafeței cu un jet de apă sub o presiune de circa 4 at și apoi cu un jet combinat de apă cu aer, la aceeași presiune. Spălarea încetează când apa se scurge limpede. După prima spălare, suprafața de fundație se curată îngrijit cu perii metalice și se suflă apoi cu aer comprimat la o presiune de circa 4 at. Dacă este cazul, aceste operații se pot repeta.

La terenurile de fundare alcătuite din roci care după dezvelirea lor se alterează în contact cu aerul (Șisturi, argile silicioase, argilite, eventual cu alternanțe de calcare sau gresii), se excavează porțiuni reduse, astfel încât aceste porțiuni să rămână descoperite cât mai mult timp.

Tratarea fundației

După curățirea suprafeței de fundație se trece la tratarea zonelor fisurate și a faliilor. Filoanele de argila și faliile cu grosimi de 1 ... 20 cm se curată de materialul alterat pe o adâncime de 1,5 ori lățimea, în orice caz mai mare de 30 cm. Zonile fisurate se excavează suplimentar în conformitate cu indicațiile geologice. Plombarea se face odată cu începerea betonării, fie cu mortar de granulație mai mare, fie cu beton de aceeași calitate cu cel din corpul barajului.

Pe lângă aceste tratamente superficiale, uneori se aplică măsuri constructive în vederea uniformizării proprietăților fizico-mecanice ale suprafeței de fundație.

Consolidarea rocii de fundație

Când prezintă o fisurație importantă, terenul de fundație se consolidează prin injectare cu suspensie de ciment. Aceasta operație are drept scop:

- umplerea fisurilor și a golurilor pentru realizarea unui masiv omogen de rocă;
- micșorarea permeabilității terenului și deci reducerea infiltrațiilor de apă și subpresiunilor exercitate de acestea;
- realizarea unei legături solide și etanșe a fundațiilor cu stânca.

Injectările de consolidare se efectuează în găuri de foraje (fig.). Adâncimea până la care pătrund în roca variază între 5 și 15 m, în raport cu tipul construcției, încărcările pe care aceasta le exercită și structura geotectonică a fundației. Forajele pentru injectare, care acoperă în mod uniform suprafața de injectat, se situează la o distanță de ordinul a 2 ... 3 ... 4 m unele de altele (fig. ... a). Desimea lor variază în raport cu același factori, fiind cuprinsă între 7,5 și 25 m² suprafața de fundare/gaură de foraj. Suprafața specifică de 15 ... 20 m²/gaură este frecvent adoptată. În roci tari, în general slab fisurate, și la baraje cu înălțimea peste 30 m, adâncimea de injectare curent folosită este de circa 5 m (fig. b).

O atenție deosebită se acordă injectării zonelor de fisurație intensă, dislocațiilor faliilor și în general deranjamentelor tectonice care apar în fundație sau în apropiere ei. Forajele se îndesesc în aceste sectoare, iar injectarea se extinde și în zonele accidentate adiacente fundației. Când crăpăturile rocii sunt mari (peste 3 mm) găurile se execută cu ciocane perforatoare grele. Este recomandabil ca injectarea să se facă după ce terenul de fundație a fost acoperit cu primele lamele de beton. În acest fel se evita ieșirea suspensiei de ciment injectate, prin fisuri, la suprafață. Vechimea stratului de beton străbătut trebuie să fie de minimum 5 zile (sau să aibă o rezistență de 25 kg/cm²), pentru a permite ulterior fixarea dispozitivelor de injectare. Valoarea presiunii de injectare se stabilește în raport cu proprietățile rocii și grosimea stratului de beton de încărcare.

Presiunile uzuale sunt de 1... 2 ... 3 at, fără a depăși 6 at. La suprafața terenului presiunea se limitează în general la 1 at.

Injectările de legătură între beton și roca se execută când roca de fundație este suficient de rezistentă și nefisurată și injectările de consolidare nu mai sunt necesare. Ele se pot face fie lăsând în beton o tubație, care are amenajat la contactul cu fundația un cuib de pietriș, prin care pătrunde suspensia de ciment în planul fundației (fig., c), fie tot prin foraje, duse însă numai până în suprafața de fundație. Întotdeauna trebuie să existe grija de a nu se efectua asemenea injectii cu presiuni mai mari decât cele create de coloana de beton. În caz contrar în locul unei legături intime, se provoacă desprinderi care pot compromite lucrarea.

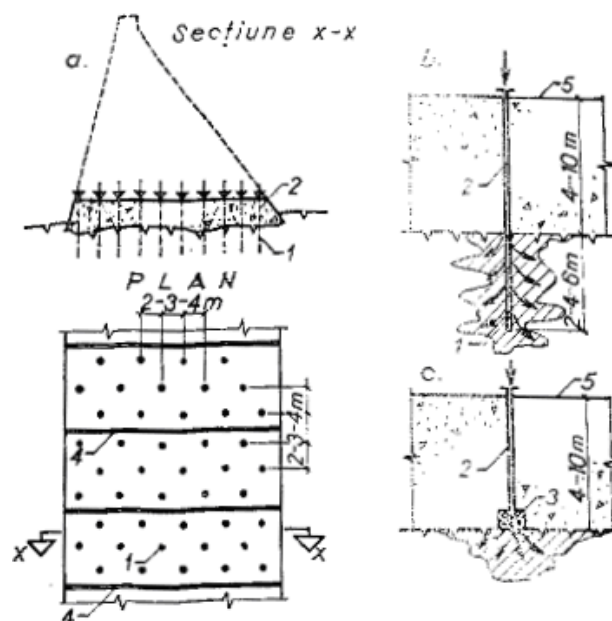


Fig. Injecții de legătură și consolidare:
a – schemă de dispunere; b – foraj de mică adâncime; c – tubație pentru injecții de legătură;
1 – foraj; 2 – tubație sau foraj; 3 – cuib de pietriș; 4 – rost transversal; 5 – rost de lucru.

Lucrări de etanșare

Întrucât condițiile naturale nu sunt întotdeauna favorabile realizării unei rețineri de apă perfect etanșe. Când roca de fundație are permeabilitate mare și pierderile de apă devin inadmisibile, se prevăd operații de injectare în adâncime cu suspensie de ciment, realizând voaluri sau perdele de etanșare.

În funcție de poziția lor, aceste voaluri se clasifică în frontale și de larg (fig. ., a). În zona barajului injectarea se efectuează de obicei din galerii special prevăzute la piciorul amonte (fig. , b), mai rar de pe versant, înainte de betonare. În zonele laterale operațiile de injectare se efectuează de la suprafață sau din galerii care străbat amplasamentul.

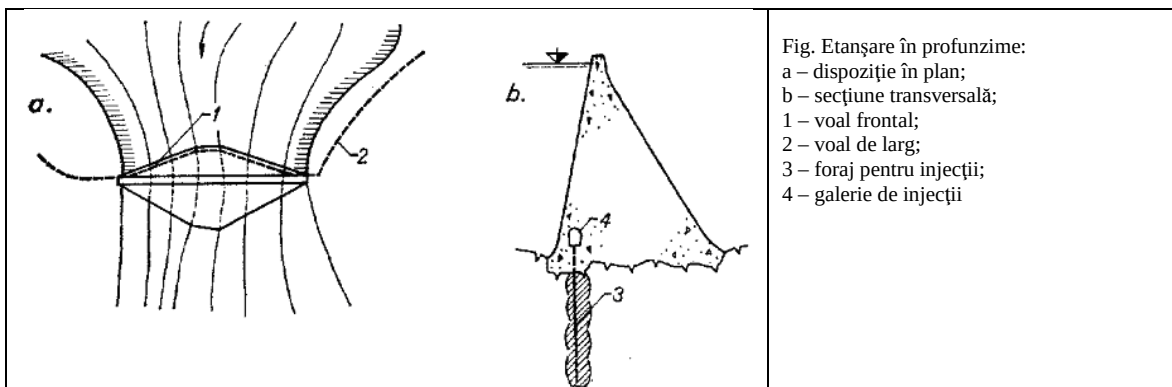


Fig. Etanșare în profunzime:
a – dispoziție în plan;
b – secțiune transversală;
1 – voal frontal;
2 – voal de larg;
3 – foraj pentru injecții;
4 – galerie de injecții

Extinderea voalului de larg și amploarea lui depind de caracteristicile geologice și de permeabilitate ale rocii din zona viitoarei cuvete.

Parametrii lucrărilor de injectare

Amploarea lucrărilor de etanșare depinde în primul rând de permeabilitatea rocii de fundație. în funcție de importanta lucrării și de situația geologică se execută un număr de foraje de explorare în care se fac probe de permeabilitate și de injectare cu ciment (minimum 5 ...10 foraje). Dispozitivul de încercare numit paker, consta din doi saci de cauciuc cuprinși în cate două discuri metalice (fig.) Prin două conducte concentrice de alimentare se pun mai întâi sub presiune sacii, la o presiune care depășește valoarea presiunii ce se creează apoi în spațiul dintre ei. Sub acțiunea presiunii interioare, care se menține 5...10 min., apa pătrunde prin fisuri, proporțional cu gradul de permeabilitate al rocii. Ca unitate de măsură s-a adoptat absorbția specifică de apa, exprimată în unități Lugeon (1L = 1 l/m foraj. min. 10 at).

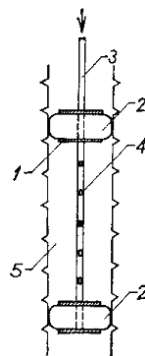


Fig. Schema de principiu a pakerului:

- 1 – disc metallic;
- 2 – saci de cauciuc;
- 3 – conductă de alimentare;
- 4 – orificii;
- 5 – foraj.

Parametrii voalului de etanșare, adâncimea, lungimea, distanța dintre foraje și înclinarea lor, se stabilesc după cum urmează:

- adâncimea voalului se prevede de regulă până la nivelul rocilor impermeabile, identificat prin profilele hidrogeologice. Când roca impermeabilă se găsește la adâncime mare, cota inferioară a voalului se fixează la $(0,50 \dots 0,75) H$ retenție;
- lungimea voalului se extinde de-a lungul întregii suprafețe de fundare, cât mai aproape de piciorul amonte și la maximum 2,0 m de acesta. În versanți, voalul se prelungește în funcție de condițiile hidrogeologice și tectonice și, în orice caz, pe minimum $0,25 H$ retenție;

- distanțele între foraje și numărul șirurilor de foraje se stabilesc în urma rezultatelor injectiilor experimentale. Încercările de cimentare constau în executarea a 6 ... 8 foraje dispuse la aceleași distanțe și injectate în același sistem cu cele prevăzute pentru execuție. Între acestea se forează sonde de control, în care se fac probe de permeabilitate. Absorbțiile specifice considerate admisibile, care confirmă sistemul de injectare propus, sunt indicate în tabel:

H baraj	Absorbția admisibilă
<25	<5
25-50	<3
50-75	<2
>70	<1

Pentru studii preliminare, sau în absența încercărilor de cimentare, distanțele dintre foraje și consumul de ciment estimat pe metru de foraj se pot determina din diagrame funcție de natura rocii, înălțimea barajului și absorbția specifică de apă. Șirurile de foraje se aleg în număr de 1 sau 2 pentru baraje sub 50 m, și de 2 sau 3, pentru barajele mai înalte în partea superioară, la racordul voalului cu fundația se prevede de regulă o îngroșare suplimentară a voalului, prin îndesirea forajelor de consolidare - legătura;

- direcția și înclinarea forajelor se aleg astfel încât să intersecteze un număr cât mai mare din planurile de stratificație ale rocii de fundație. Se preferă de obicei execuția de foraje verticale.

Tehnologia lucrărilor de injectare

Injectarea forajelor de pe același șir se efectuează alternativ, în mai multe etape succesive, prin reducerea treptată a distanței dintre foraje. Etapele următoare se amplasează la mijlocul distanței dintre cele corespunzătoare etapei precedente.

La majoritatea lucrărilor s-au aplicat trei etape, mai rar două. Este indicat ca distanța dintre forajele primei etape să depășească 10 m, pentru a evita în timpul injectării comunicarea între ele a suspensiei.

Se recomandă ca forajele să fie executate prin carotare continuă sau cu circulație inversă de apă spre a evita înfundarea fisurilor cu detritus și a permite instalarea ulterioară a pakerului. Diametrele uzuale sunt de 46 ... 66 mm, valori mai mari nefiind economice. După terminarea execuției și înainte de injectare, forajul se spală activ, circa 15 min., pentru îndepărtarea detritusului rămas.

Pentru injectare se poate aplica fie metoda tronsoanelor descendente, fie a tronsoanelor ascendente, fie sisteme mixte descendent-ascendente, sau invers. Mai rar se prevede injectarea totală a lungimii forajului (numai la foraje de adâncime sub 5-8 m).

Lungimea tronsoanelor se adoptă în medie de 3 ... 6 m, cu valori mai mici în zonele permeabile. Injectarea pe tronsoane descendente (fig. ..., a) se aplică în roci care nu mențin pereții forajului, sau sunt afectate de fisuri verticale. Obturatorul pakerului se plasează întotdeauna cu un tronson deplasat cu 0,5 ... 1 m peste tronsonul care se injectează, în acest fel fiecare tronson injectându-se de două ori. Când pereții forajului se mențin fără pericolul de blocare a instalației și fisurile conduc suspensia de ciment spre tronsonul superior, se aplică injectarea pe tronsoane ascendente (fig. ..., b). Când zonele fisurate sau degradate sunt limitate, se folosesc metode combinate.

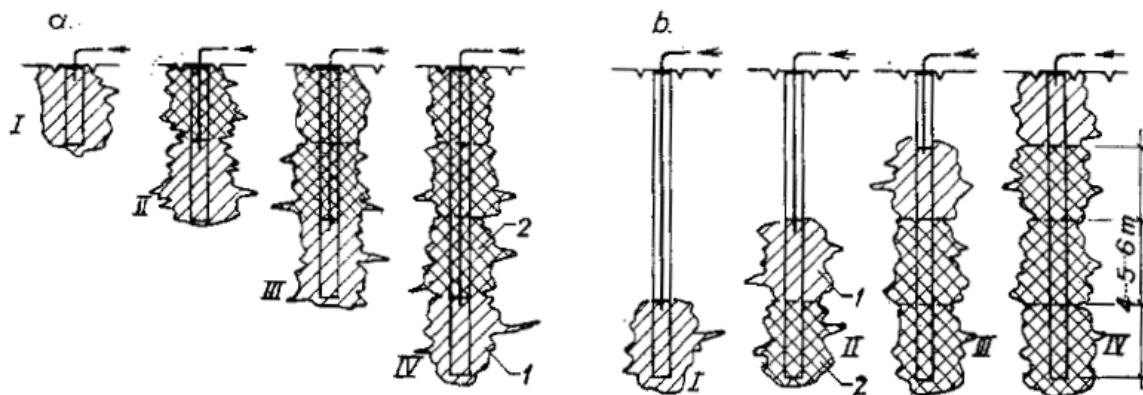


Fig. Procedee de injectare: a – pe tronsoane descendente; b – pe tronsoane ascendente;
1 – tronson de injectare; 2 – tronson injectat

Operația de injectare a unui tronson se încheie atunci când se obține refuz relativ, adică, reducerea absorbției specifice sub o valoare de 2 l/m. min., menținând presiunea maximă de injectare timp de 30 min. Cimentul cu care se injectează este de obicei cimentul Portland normal, cu marca 300 sau 400. Finețea de măcinare admisibilă este de maximum 10 % reziduu, pe sita cu 4 900 ochiuri/cm² și maximum 2% pe sita cu 900 ochiuri/cm². Consistența suspensiei de ciment, exprimată prin raportul apă/ciment se stabilește în funcție de absorbția specifică. Injectarea se

începe cu suspensie fluidă care pătrunde cât mai adânc în fisurile fine, după care se trece treptat la suspensii mai groase, cu care se umplu fisurile mijlocii și mari. Când absorbția începe să scadă sensibil, se diluează suspensia, obținându-se refuzul la o consistență fluidă ($a/c=5-3$)

Dacă golurile sau fisurile rocii necesită o cantitate mare de material de injectare, în compoziția laptelui se pot introduce adaosuri care micșorează consumul de ciment: nisip, praf de piatră, cenușă, zgura măcinată etc.

Presiunea de injectare variază în limite foarte largi, de la 1 la 100 at. În cazul rocilor cu fisurație redusă se adoptă presiuni mari, pentru a asigura difuzarea maximă a suspensiei de ciment. În rocile foarte permeabile se folosesc presiuni mici și foarte mici. Valorile maxime ale presiunii de injectare se determină funcție de adâncimea tronsonului injectat și de caracterul rocii, cu relația:

$$P_{\max} = P_0 + kh,$$

unde:

P_0 -presiunea admisibilă pentru zona de suprafață;

k -coeficientul presiunii specifice de injectare t/m);

h - adâncimea tronsonului injectat (distanța cea mai scurtă de la tronson la suprafața terenului).

Valorile lui P_0 și k sunt indicate tabelar funcție de tipul de roca.

După terminarea programului de injectare, integral sau pe un sector, se forează și se încearcă sondaje de control, dispuse în general în zonele cele mai critice. Probarea lor se face pe tronșoane izolate, cu pakerul, după aceeași succesiune ca la injectare. Absorbțiile admisibile sunt aceleași cu cele indicate la încercările de cimentare. La lucrările importante se recomandă ca verificarea să se facă prin examinarea directă a rocii injectate, din galerii și puțuri, sau prin foraje carotate de diametru mare (60 ... 90 cm).

Drenarea fundației

Dacă există posibilități ca apele de infiltrație să pătrundă totuși la talpa barajului se iau măsuri de drenare și colectare a acestora. Cea mai obișnuită soluție constă din foraje de mică adâncime, cu diametrul de 10 ... 20 cm, executate în roca de fundație în spatele voalului, după terminarea injectărilor de consolidare și legătură. Distanța dintre forajele de drenaj trebuie să fie redusă pentru ca acțiunea lor asupra subpresiunilor să fie cât mai uniform repartizată. În unele cazuri, în gaura de foraj se prevăd umpluturi de nisip monogranular sau filtre, mai ales dacă debitul infiltrat este mare și poate provoca degradări.

Un control și mai eficient al subpresiunilor se poate realiza prin prevederea unui al doilea (și chiar al treilea) șir de foraje de drenaj, în aval de cel care secundează perdeaua de etanșare. Capetele forajelor, verticale sau înclinate, deșeuzează în galerii longitudinale de vizitare, care evacuează de obicei apele de infiltrație.

Ca indicație generală, se admite că în cazul rocilor etanșe măsura cea mai eficientă este drenajul, pe când în cazul rocilor permeabile se impune execuția voalului de etanșare.

Rosturile transversale și longitudinale

Sub acțiunea contracției și a umflării betonului precum și a variațiilor de temperatură, apar modificări de volum și eforturi importante în zonele unde acestea sunt împiedicate. Dacă un baraj de greutate s-ar construi continuu, de pe un mal pe celălalt, corpul său ar fi solicitat de tensiuni ce depășesc posibilitățile de rezistență ale betonului și s-ar produce fisurarea. Aceste eforturi, provocate în primul rând de contracția betonului după axul barajului și apoi de variațiile de temperatură exterioare sau de tasările inegale ale terenului de fundație, se atenuează în mare măsură prin prevederea de rosturi transversale. Rosturile separă un baraj în ploturi independente care se pot deforma liber.

Distanța dintre rosturi

La construcția primelor baraje se considera ca o distanță de 20 ... 30 m între rosturile transversale este satisfăcătoare. Fisurile care au apărut în aceste ploturi de mari dimensiuni, în timpul execuției sau în exploatare, au infirmat aceste recomandări. În prezent, se recomandă ca distanța dintre rosturi să nu depășească 15 m, iar spre versanți să fie micșorată la 10 ... 12 m. Normele spaniole impun o distanță maximă de 15 m, iar cele americane și japoneze de 15 ... 18 m. Distanța între rosturi trebuie să fie cu atât mai redusă cu cât înălțimea barajului este mai mică. Rosturile trebuie executate pe toată înălțimea barajului, de la coronament până la suprafața de fundație. La toate barajele executate cu rosturi parțiale s-au produs fisuri în prelungirea rostului.

După forma lor în plan, rosturile transversale pot fi simple-joantive, sau duble-lărgite. Rosturile simple pot fi drepte (fig., a) sau frânte (fig., b), iar cele duble, cu contur poligonal (fig., c). Rosturile drepte sunt folosite în special în cazul barajelor de greutate. Cele frânte, cu proeminente de forma dreptunghiulară sau trapezoidală, se aplicau pentru a obține o legătură între ploturi și prin aceasta, o siguranță mai mare a barajului. S-a dovedit însă că fără a se executa o legătură intimă, prin injectare cu suspensie de ciment, continuitatea nu este asigurată. Cele mai rar aplicate sunt rosturile duble, care se betonează la cel puțin un an de la turnarea ploturilor vecine. Continuitatea care se realizează în acest caz, nu este nici necesară și nici esențială pentru un baraj de greutate.

Uneori se considera că monolitizarea barajului prin injectii este avantajoasă. În S.U.A. majoritatea barajelor de greutate au rosturile injectate pe toată înălțimea (Detroit, Grand Coulee, Gibson), sau în porțiunea inferioară, pe 25...30 % din înălțime (Hiwassee, Fontana). De asemenea barajul Grande Dixence din Elveția are rosturi injectate pe toată înălțimea.

Elemente componente

La un rost de dilatație alcătuit în mod obișnuit se disting, pornind din amonte spre aval, până la beton armat, tola sau banda de etanșare, puțul de vizitare și zona curentă a rostului (fig.).

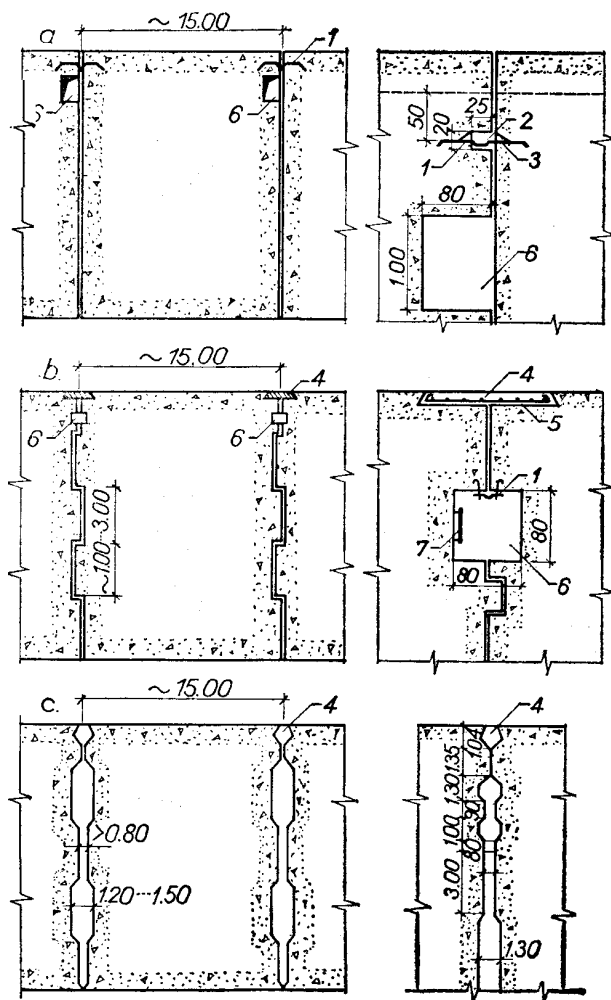


Fig. Tipuri de rosturi la barajele de greutate:
a – drepte, joantive; b – poligonale, joantive; c – duble, lărgite;
1 – tolă de cupru; 2 – umplutură de asfalt;
3 – mastic bituminos; 4 – pană de beton armat; 5 – vopsea de bitum; 6 – puț de vizitare; 7 – scară.

Pana de beton armat se plasează chiar la parament, având conturul astfel alcătuit încât să nu existe tendința de desprindere (fig. a, b, d). Uneori pana poate avea forma unei plăci trapezoidale (fig. 2-44, c); aceasta este însă mai puțin indicată când sunt posibile deplasări relative între ploturile adiacente care pot provoca torsionarea plăcii. Forma poligonală, armată puternic pe contur, evita distrugerea prin torsiune. Pentru o buna etanșare, pana sau placa se îmbracă în câteva straturi de carton bitumat sau pânză de iută bitumată.

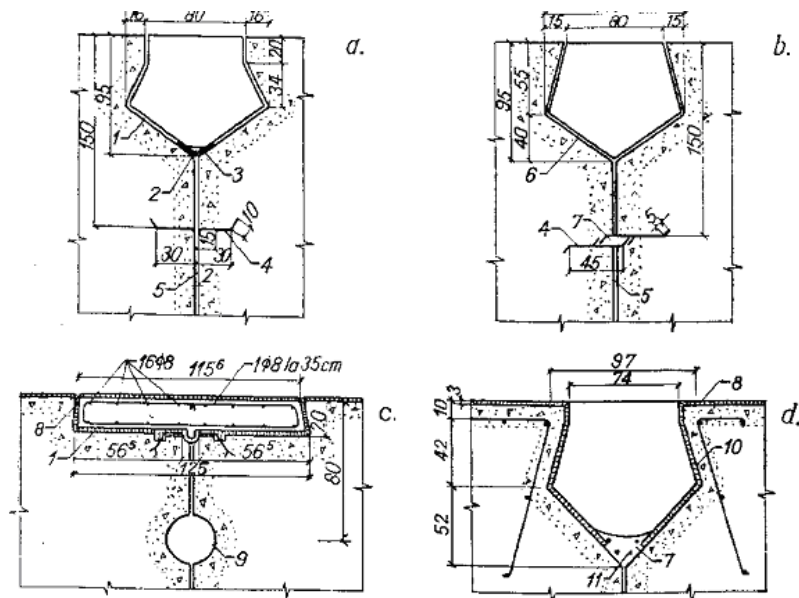


Fig. Pene de etanșare:
a, b, d, - cu contur poligonal; c – placă trapezoidală; 1 – vopsea de bitum; 2 – celochit; 3 – placă de asfalt cu azbest; 4 – tolă de etanșare din cupru;
5 – plăci de asfalt; 6 – pânză de iută bitumată; 7 – mastic; 8 – tencuială; 9 – puț drenant;
10 – șapă bituminoasă; 11 – fire de cupru.

Etanșarea propriu-zisă a rostului se realizează prin tola de etanșare plasată la 1,0 ... 1,5 m de parament. Ea poate fi confecționată din metal (cupru, oțel inoxidabil și mai rar din fier zincat), din cauciuc sintetic, sau din PVC.

Tolele metalice se confecționează cu grosimea de 2 ... 3 mm, lățimea de 0,75 ...

1,50 m și lungimea de 3,0 ... 4,0 m și se îmbina la fața locului prin sudura cap la cap. Tola se încastrează la betonare în cele două ploturi adiacente (fig. 2).

Ondulația în forma de U, V, M sau Z, așezată uneori într-un put umplut cu mastic bituminos trebuie să permită deplasări între ploturi fără a se distruge tola. Tolele în forma de Z nu se aplică decât în situații când nu sunt de așteptat deplasări reciproce între ploturi.

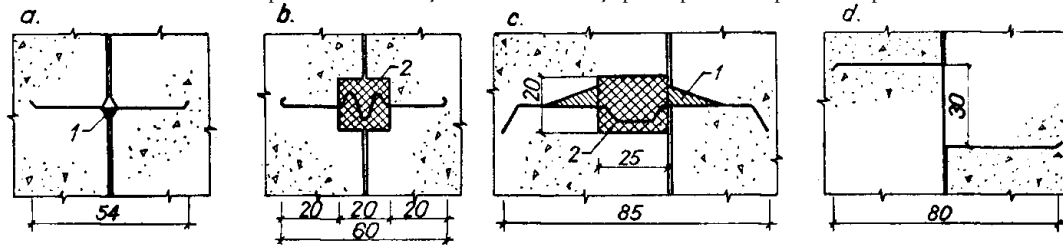


Fig. Tole de etanșare metalice ;
a – normală; b – în formă de omega; c – cu contur poligonal; d – în formă de Z;
1 – mastic bituminos; 2 – umplutură asfaltică.

În ultima vreme, se utilizează în special benzile din material plastic, de regula PVC (fig.). Ele sunt absolut impermeabile, ușor de montat pe șantier, fără a suferi deteriorări în timpul execuției, de o mare durabilitate și elasticitate și aplicabile la o mare diversitate de lucrări. Probele de presiune, depășind 20... 30 at. certifică perfectă lor comportare. Se livrează pe șantier în covoare de 10 ... 20 m lungime, cu grosimi de 3 ... 6 mm, de profile variate (fig. a). Pentru îmbinare se folosește lipirea cap la cap, la 160 ... 180 C, cu aparate speciale. La încrucișări sau legături se utilizează elemente speciale (fig. c). La unele baraje de mai mică importanță se folosesc sisteme de etanșare mai simple și mai ieftine, constând din puțuri de câțiva decimetri diametru umplute cu masticuri bituminoase sau asfaltice, sau chiar cu argila.

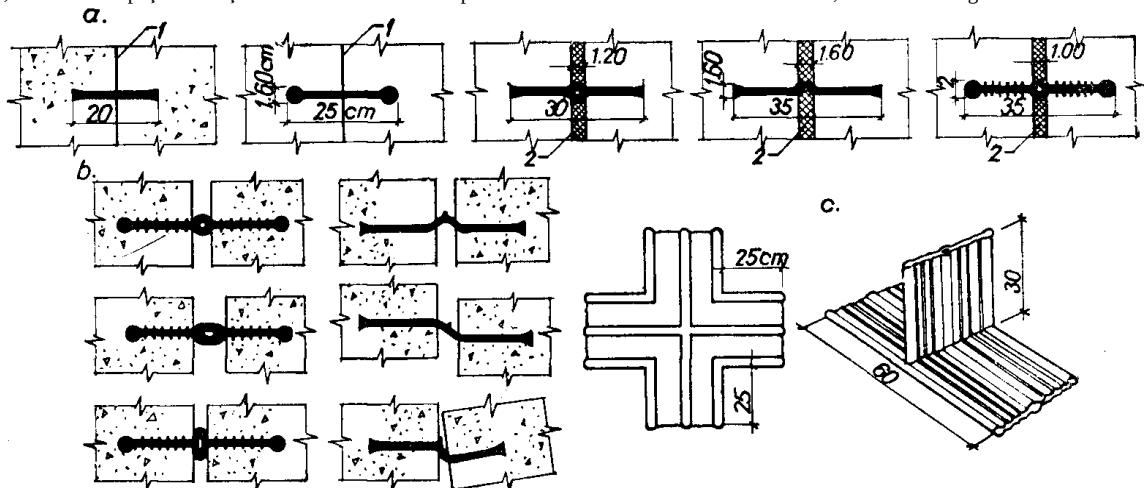


Fig. Benzi de etanșare din PVC: a – tipuri de benzi; b - comportarea la deplasări relative ale ploturilor;
c - elemente de îmbinare în cruce și în T; 1- rost simplu; 2 – mastic bituminos.

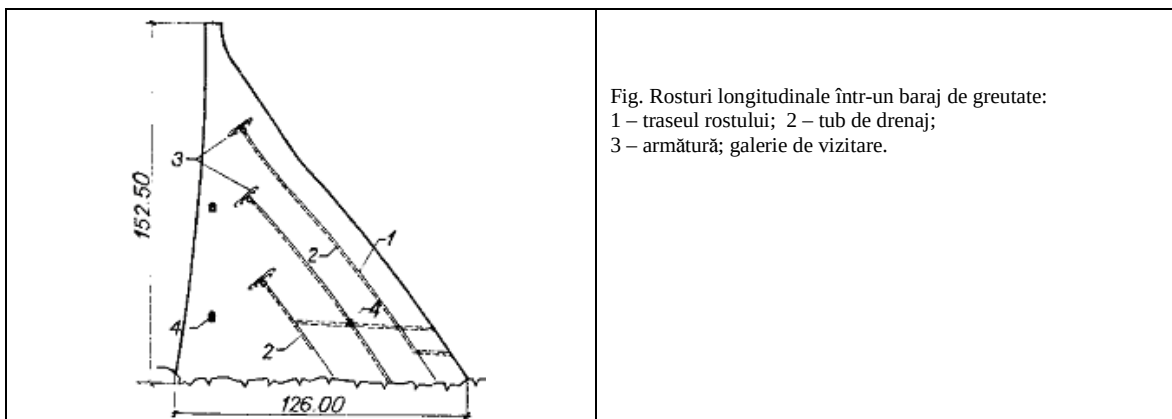
După tola sau banda de etanșare se recomandă să se prevadă un puț de vizitare, de secțiune pătrată sau circulară, cu latura sau diametrul de 0,80...1,20 m fig. (). Uneori se instalează în interiorul puțului un dispozitiv de etanșare de rezervă, pentru situații în care elementele din amonte au cedat.

În spațiul cuprins între pana amonte și puțul de vizitare, rostul propriu-zis se umple cu material izolant, constituit din straturi de carton bitumat, plăci de asfalt sau celochit, panouri de pluta sau azbest. De la puțul de vizitare spre aval, se recomandă a lăsa rostul liber, pentru a face posibilă circulația apelor de infiltrație spre aval. Uneori materialul bituminos poate fi regenerat prin circulație de abur într-o conductă de metalică, plasată la interior.

Rosturi longitudinale

Ploturile barajelor cu înălțimi care depășesc 50 m sunt expuse și unei fisurării orientate longitudinal, după axul barajului. Cauza acestor fenomene este tot contracția betonului, împiedicată de legătura cu roca de fundație (fig.). Pentru a preveni acest fenomen F. A. Notzli a propus să se prevadă de la început rosturi longitudinale. Ele se drenează și se armează la capăt pentru a nu se extinde până la paramentul amonte.

Rosturile longitudinale se orientează după traiectoriile eforturilor principale maxime. După o direcție normală la aceste traiectorii acționează eforturile principale minime, iar în lungul lor eforturile tangențiale sunt nule. Prin această dispoziție, slăbirea corpului barajului este minimă și rațională din punct de vedere static.



DISPOZITIVE DE DRENAJ ȘI VIZITARE

Scheme și detalii constructive

Sub acțiunea presiunii hidrostactice, apele reținute au tendința să se infiltreze prin corpul barajului spre aval. Apele de infiltrație exercită o acțiune dăunătoare asupra betonului, degradându-l prin coroziune și spălarea lentă a elementelor nelegate chimic (în special calcea). Ele creează de asemenea presiuni în pori, cu efecte defavorabile din punct de vedere static.

Pentru a se evita aceste fenomene se prevăd, în apropierea paramentului amonte, rețele de tuburi poroase, care să dreneze și să evacueze apele de infiltrație

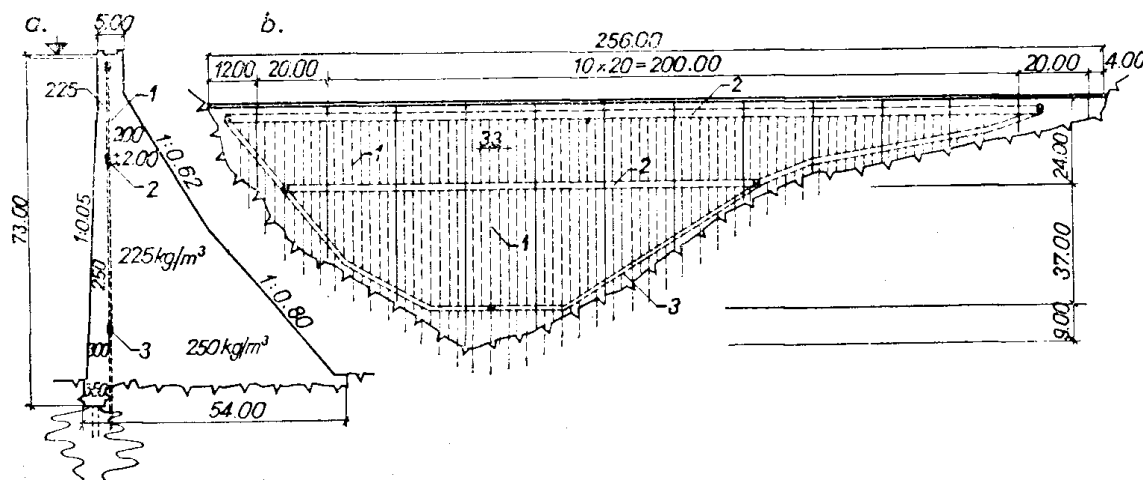
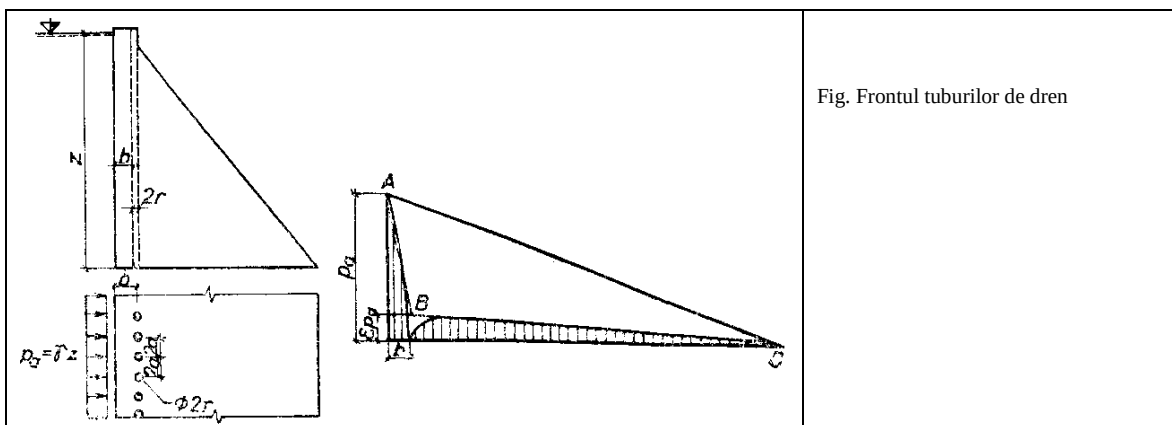


Fig. Rețea de drenaj (b. Barbellino):
a. – secțiune transversală; b – profil longitudinal; 1 – tuburi de drenaj; 2- galerie de vizitare;
3- galerie de picior

La proiectarea unei rețele drenante se recomandă să se prevadă tuburi poroase cu diametrul de 20... 30 cm, pentru a nu se înfunda cu diverse depuneri și a putea fi ușor curățate. Raportul dintre distanța între tuburi $2a$ și diametrul lor $2r$ trebuie să fie în jur de $2a/2r = 10$. Distanța b de la parament până la trebuie să crească cu adâncimea. Se poate lua în jur de $1/10$ din coloană de apă și minim 2m. Rețeaua trebuie prelungită până la coronament. Se consideră acceptabilă o infiltrație specifică de 5-10 l/m² pe zi pentru un baraj masiv.



Tuburile drenante se pot așeza și orizontal, de obicei în planurile rosturilor la diferențe de 1,50..2,00m conducând apele spre puțuri de vizitare situate în rosturile de dilatație. Secțiunea lor este în acest caz semicirculară cu diametru de ~30 cm.

În cazurile în care rosturile nu sunt umplute cu materiale izolante ele pot exercita o acțiune drenantă pentru apele de infiltrație, deschiderea lor variind între 2...6 mm. Acțiune drenantă a rosturilor este mai eficientă în cazul barajelor cu rosturi largite.

Galerii și puțuri de vizitare

Galeriile și puțurile de vizitare se prevăd în corpurile barajelor în următoarele scopuri:

- supravegherea rețelilor de drenaj și evacuarea apelor de infiltrație;
- supravegherea și întreținerea dispozitivelor de etanșare a rosturilor;
- supravegherea comportării betoanelor și a gradului lor de fisurare;
- întreținerea perdelelor de etanșare prin injecții cu ciment;
- instalarea aparatelor de măsură pentru supravegherea comportării barajului.

Galeriile se prevăd în regiunea amonte a barajului, la o distanță de aproximativ 5 . . 6 m de parament, iar în elevație la 20 ... 30 m.

Dimensiunile minime ale unei galerii obișnuite sunt de 1,20 x 2,0 m și pot crește până la 2,00 x 3,00 m. Secțiunile transversale sunt foarte diferite ca forma. Din cauza concentrărilor de eforturi care se produc, se recomandă o ușoară armare a conturului.

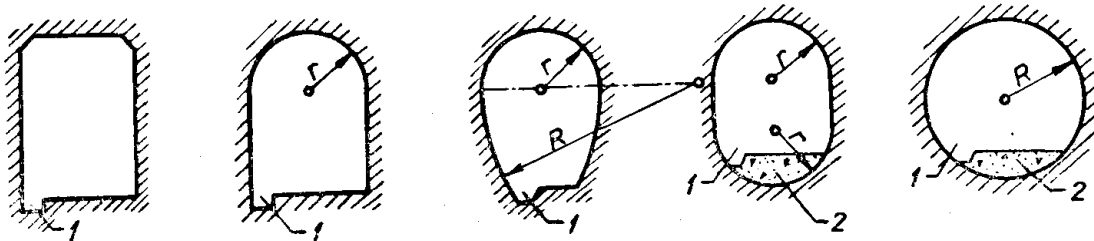


Fig. Galerii de drenaj și vizitare; 1 – rigola; 2 – beton de umplutură.

Galeria inferioară urmărește de obicei fundația barajului și are dimensiuni mai mari 2,50-3,00 x 3,50 - 4,50 m, pentru a permite locația forezei la operațiunile de injectare a voalului de etanșare. Puțurile de vizitare se așează de obicei în rosturile de dilatație și au dimensiuni mai reduse (diametre de ordinul a 0,80..1,20 m). În cazuri speciale, ele se execută chiar în corpul barajului.

BARAJE CU ROSTURI LĂRGITE

Barajele de greutate cu rosturi largite au apărut în urma preocupării de a îmbunătăți comportarea statică și economicitatea barajelor de greutate obișnuite. Ele reprezintă o formă intermediară între barajele de greutate și cele euidate. În principiu, barajele cu rosturi largite sunt alcătuite tot din ploturi de profil triunghiular, prevăzute cu goluri între ele, realizate prin îndepărtarea fetelor laterale ale rosturilor. Lărgimea unui rost poate atinge 3...5 m.

Din punct de vedere constructiv nu prezintă nici o complicație, și au avantajul reducerii subpresiunilor răcirii betoanelor și posibilitatea de întreținere și supraveghere mai ușoară.

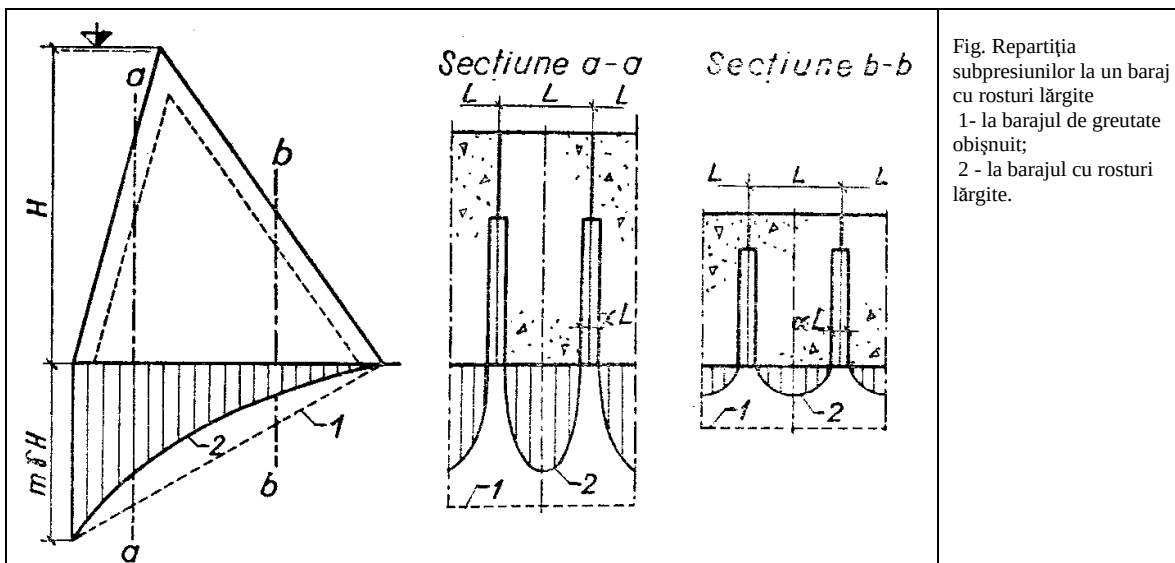


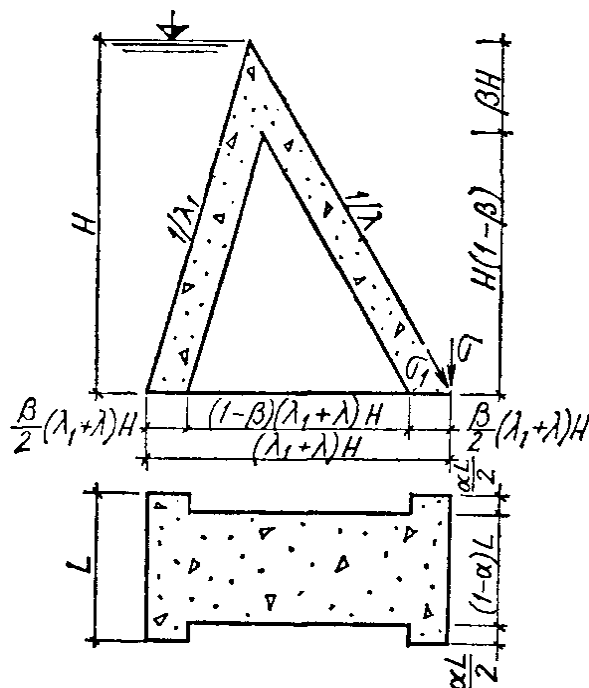
Fig. Repartiția subpresiunilor la un baraj cu rosturi largite
1 - la barajul de greutate obișnuit;
2 - la barajul cu rosturi largite.

- Reducerea subpresiunilor. Presiunea atmosferică din rosturi descarcă subpresiunile create de apele de infiltrație în corpul și fundația barajului. În cazul barajelor de greutate obișnuite, ale căror rosturi de 1... 2 cm sunt umplute de regulă cu material inert, este mai greu de presupus că în lungul fetelor laterale ale ploturilor acționează presiunea atmosferică; aceasta se realizează însă în cazul barajelor cu rosturi largite. Subpresiunile se repartizează în sens longitudinal după o hiperbolă, iar în sens transversal după niște parabole. Prin acest fenomen siguranța construcției crește, iar menținerea în stare uscată a unei mari părți din corpul barajului ferește betonul de acțiunea apelor de infiltrație și a înghețului.

- Răcirea betoanelor. Sunt cunoscute fenomenele extermice care apar în primele zile după turnare, urmate în perioada de răcire de apariția eforturilor de contracție. În cazul barajelor cu rosturi largite aceste fenomene sunt mult atenuate. Din cauza răcirii naturale, asigurată de rosturi, temperaturile se ridică în mai mică măsură decât în cazul barajelor obișnuite.

- Supravegherea și întreținerea. Barajele cu rosturi largite oferă posibilitate de a se vizita cu ușurință fețele laterale ale ploturilor componente. La constatarea unor eventuale fisuri periculoase, accesul direct în rosturi facilitează lucrările de întreținere și consolidare.

Dimensionarea se face pornind de la cele două criterii clasice de dimensionare: efortul la piciorul amonte și stabilitatea la alunecare pe talpa fundației. Spre deosebire de barajele de greutate clasice calculul se face pe un plot întreg.



Raportul dintre lăţimea unui rost şi lăţimea totală a unui plot (lungimea plotului) este notată cu α şi se numeşte coeficient de evidare. raportul între lăţimea totală a proeminenţelor laterale (amonte + aval) şi baza blocului este notat cu β (pentru cazurile uzuale $\beta=0,1\dots0,15$).

Ca solicitări se consideră greutatea proprie, presiunea orizontală şi verticală a apei şi subpresiunea care se consideră acoperitor că are valoarea amonte $m\gamma H$ şi 0 în aval.

Din condiţia de efort nul:

$$\left[\frac{2}{\gamma} \frac{k_1}{k_2} \left(\frac{2}{3} \gamma + k_1 - \gamma_b k_3 \right) - \gamma'_b \right] \lambda_1^2 + \frac{1}{f} \left[k_1 \left(\frac{2\gamma_b}{\gamma} + \frac{1}{k_2} - \frac{3}{k_3} \right) + 2\gamma'_b \right] \lambda_1 - \frac{1}{f^2} \left[k_1 \left(\frac{1}{k_2} - \frac{2f^2}{\gamma} \frac{k_1}{k_3} \right) + \gamma'_b \right] = 0$$

Din condiţia de stabilitate:

$$\lambda = \frac{1}{fk_1} [\gamma - \lambda_1 f (\gamma + k_1)]$$

unde:

$$k_1 = \gamma'_b + m\gamma\alpha(1-\beta) - \gamma_b\alpha(1-\beta)^2$$

$$k_2 = 1 - \alpha(1-\beta)$$

$$k_3 = 1 - \alpha(1-\beta)^3$$

Pe baza calculelor numerice se întocmesc diagrame ptr. determinarea înclinărilor.

Se constată că:

- înclinarea paramentului amonte fată de verticală λ_1 , este puternic influenţată de coeficientul de frecare statică f şi de coeficientul de evidare α , ea rezultă cu atât mai mare cu cât f este mai mic şi α mai mare; relaţia dintre cele două înclinări λ_1 şi λ nu este practic influenţată de coeficientul de evidare;

- eforturile care acţionează la piciorul aval al barajului cresc cu coeficientul de evidare; în comparaţie cu un baraj de greutate obişnuit, eforturile verticale sunt mai mari cu 10...25%, iar cele principale cu 5...15%;

- economia de beton creşte cu coeficientul de evidare şi cu coeficientul de frecare statică; pentru $\alpha = 0,20$, spre exemplu, ea este de ordinul a 10% (neţinând seama de mărimea şi distribuţia reală a subpresiunilor).

BARAJE PRECOMPRIMATE

Barajele de greutate obişnuite necesită mase mari de beton, pentru a-si asigura stabilitatea prin acţiunea greutatei proprii în acelaşi timp însă, datorită eforturilor interioare reduse, capacitatea de rezistenţă a betonului este slab utilizată. Prin comprimarea cu bare sau cabluri se poate înlocui în mod economic o parte din cantitatea de beton. La unele baraje s-a obţinut prin precomprimare aceeaşi forţă verticală la un preţ pe jumătate din cel al cantităţii de beton corespunzătoare.

Secţiunea mai zveltă a unui baraj precomprimat aduce în acelaşi timp economii prin reducerea subpresiunilor, reducerea cantităţilor de lucrări la excavaţii şi cofraje precum şi prin scurtarea timpului de execuţie. Din motive de execuţie, comprimarea se aplică la coronament, forţa fiind constantă pe toată înălţimea barajului.

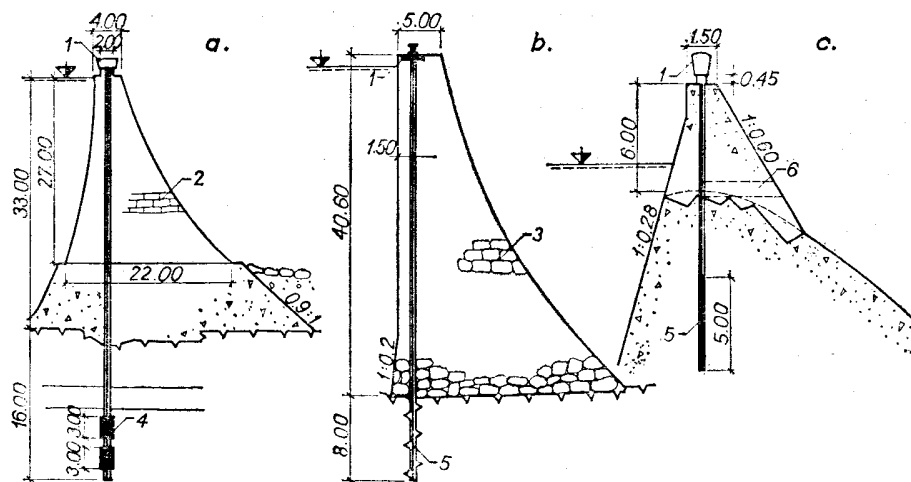


Fig. Baraje supraînălțate prin precomprimare; 1 – capul ancorajului; 2 – zidărie de piatră; 3 – blocuri de bazalt; 4 – cameră de ancoraj; 5 – zonă cimentată; 6 – galerie de acces.

Elemente constructive

Forța de precomprimare se poate exercita prin bare sau prin cabluri. Sistemul cu cabluri compuse dintr-un număr mare de fire de mare rezistență ($10...12000 \text{ kg/cm}^2$), cu diametre de circa 5 mm, este preferabil având în vedere ca:

- flexibilitatea cablurilor permite manevrarea lor la lungime totală, evitând înnădirile, care sunt surse potențiale de cedare;
- rezistența la rupere a firelor trase la rece este mult mai mare decât a secțiunilor de mare diametru;
- distrugerea prin coroziune a unui fir nu compromite capacitatea de rezistență a cablului, așa cum se poate întâmpla în cazul barelor;
- ancorajele sunt de dimensiuni mai mici și mai puțin pretențioase.

Distanța dintre ancoraje depinde de forța totală de precomprimare necesară pentru stabilitatea barajului. Ca regulă generală se caută ca pe un plot să existe două ancoraje, pentru ca sistemul să fie static determinat, iar distanța dintre ele să nu depășească un sfert din înălțimea barajului. Cablurile se pozează în foraje executate în beton și roca, prin procedee percutante sau rotative. Forajele percutante asigură un contact mai bun la ancorare. Ele se pot executa până la 10 cm diametru și cu lungimi de până la 10 m. Pozarea de bare în puțuri excavate este costisitoare. Ancorarea cablurilor în roca de fundație se face în mod curent prin cimentarea acestora în zona inferioară a forajului. Cablul se introduce în umplutura de mortar de la baza forajului, asigurându-se apoi injectarea cu suspensie de ciment sub presiune. Pentru a se obține o bună cimentare și un raport redus apa/ciment, este bine ca forajul să se injecteze inițial cu suspensie de ciment sub presiune, pentru a reduce infiltrațiile, iar apoi mortarul să se introducă în forajul plin cu apă. O metodă aproximativă de determinare a lungimii de ancorare stă în a admite un efort de alunecare pe pereții forajului de $10...15 \text{ kg/cm}^2$.

Un alt sistem de ancorare se bazează pe crearea unor butoni sau ancoraje metalice la partea inferioară a cablurilor. Sistemul este mai complicat fără și nu oferă avantaje evidente putându-se aplica doar în situația în care există acces direct în zona de ancorare.

Partea superioară a cablurilor se înglobează în blocuri de beton armat iar punerea sub tensiune se face prin intercalarea de prese plate. În zona de la coronament, vecin ancorajelor, betonul se armează puternic pentru a se evita distrugerea datorată eforturilor locale foarte mari.

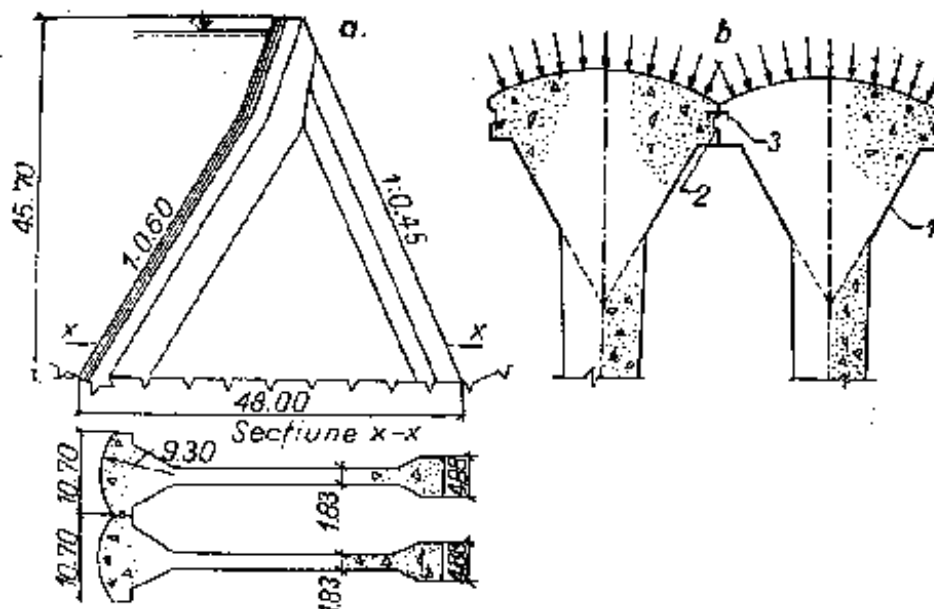
Protecția cablurilor împotriva coroziunii care poate avea consecințe grave comportarea barajului-se poate face pe două căi. O prima metodă, constă în înglobarea cablurilor în bitum. A doua metodă, foarte utilizată în ultima vreme, constă în cimentarea în întregime a cablurilor, prin injecții cu mortar de ciment. Protecția prin cimentare are dezavantajul că nu mai permite retensionări ulterioare, dar asigură un coeficient mare de siguranță la smulgere. Ea evită în același timp zonele periculoase din punctul de vedere al corodării, care apar la contactul dintre betonul de ancoraj și bitum.

Adâncimea de ancorare

Chiar atunci când cablul este legat de masivul de roca prin cimentare pe toată lungimea sa, cea mai mare parte a forței de precomprimare se transferă rocii în zona inițială a ancorajului. Un procedeu pentru stabilirea adâncimii până la care trebuie coborât ancorajul se bazează pe ipoteza ca forța de precomprimare trebuie echilibrată de greutatea de roca ce participă la transmiterea eforturilor. Pentru a preciza această zonă se acceptă ipoteza de formare a unor conuri de smulgere, care au vârful plasat la partea inferioară a ancorajului, iar unghiul la vârf în jur de 90° .

BARAJE CU CONTRAFORȚI

Primele realizări ale barajelor de acest tip datează din 1928, construite în Mexic de către Nötzli - b. Don Martin. Pe lângă avantajele barajelor evidente, acest tip de baraj prezintă și avantajul unor solicitări secundare mai mici datorate variațiilor de temperatură și înclinării versanților. Au în schimb o stabilitate longitudinală mai slabă. S-au numit la început baraje cu contraforți ciupercă. Contraforții sunt independenți iar elementele de retenție sunt constituite din îngroșări ale contraforților sub forma unor capete masive = ciuperci.



Baraj cu contraforti-ciupercă:
a – elevație și secțiune orizontală; b – îngroșarea capetelor amonte;
1 – vută; 2 – rost dilatație; 3 – etanșare.

Profilul ciupercii este circular, iar forma se stabilește astfel încât sub acțiunea presiunii apei în ciupercă să nu apară decât eforturi de compresiune.

În prezent, pentru simplificare, conturul ciupercii este poligonal, contrafort diamant.

În general nu se prevăd legături între contraforti decât ocazional în zone seismice.

Dimensiunile pentru $H \leq 40\text{m}$ $L=9-12\text{m}$, $H \geq 40\text{m}$ $L=9-15-18\text{m}$. Raportul $H/B=0,9-1,1$. Economia de beton realizată este de cca. 30-40% față de barajele de greutate. Datorită eforturilor mai mari transmise fundației necesită terenuri stâncoase, rezistente.

Coefficientul de euidare $\alpha=0,5-0,7$.

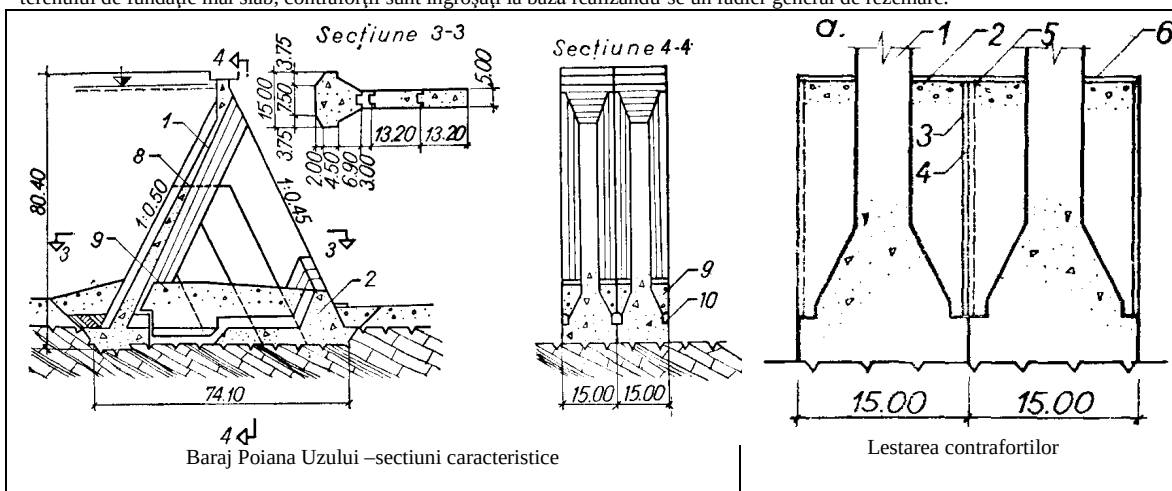
Cel mai înalt baraj cu contraforti este Alcantara - Spania, $H=133\text{m}$

Baraje construite la noi:

Secul (pe Bârzava), $H=38\text{m}$ terminat în 1963 (lângă Reșița)

Stramtori (Firiza), $H=49,5\text{m}$, 1964 (Baia mare)

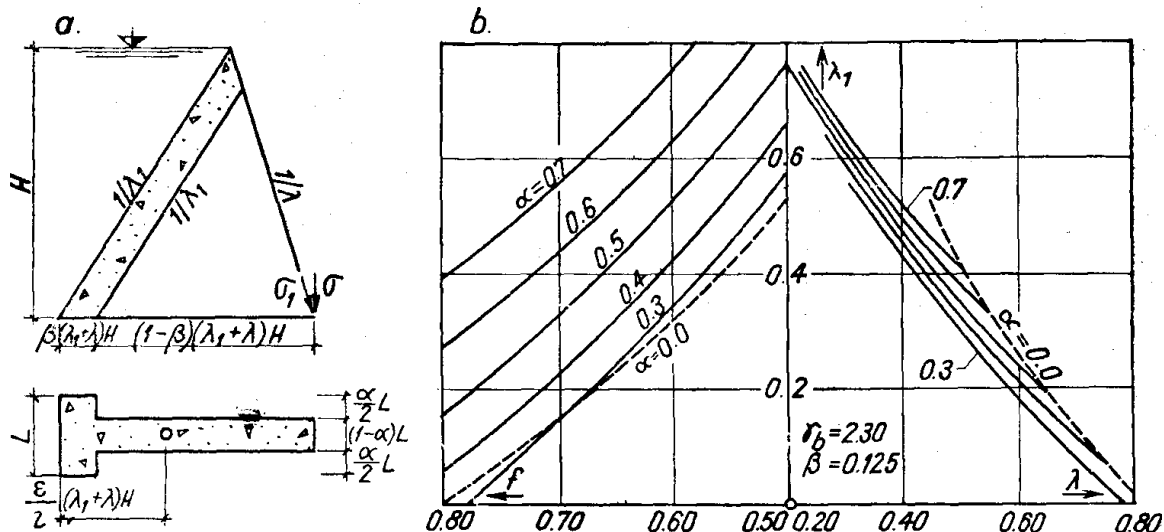
Poiana Uzului (Uz) $H=80,5\text{m}$, 1972 cel mai înalt de acest tip construit în România asigură alimentarea cu apă a Oneștiului. Datorită terenului de fundație mai slab, contrafortii sunt îngroșați la bază realizându-se un radier general de rezemare.



Gura Râului (Cibin) $H=73,5$ (1980) La acest baraj s-au folosit elemente prefabricate cu rol de cofraj.

Calculul Barajelor cu contraforti ciupercă

1) Dimensionarea determinarea înclinării paramentelor pentru o înălțime H dată, se face pentru un plot întreg. Se folosește o schemă simplificată:



α = coeficient de evidare cu valori între 0,5-0,7; β = 0,1 -0,15

Condițiile pentru determinarea înclinărilor λ_1 , λ sunt:

- 1) $\sigma_{z(\text{amonte})} = 0$ (eforturi de compresiune pe toata talpa barajului) și
- 2) $k = f \Sigma V / H = 1$ (stabilitatea la alunecare)

Încărcări:

G = greutatea proprie, P_o , P_v , S = subpresiunea acționând doar la nivelul plăcii amonte.

Expresiile ptr. λ_1 , λ Prișcu pag. 374 vol 1.

Dacă $\alpha=0$ diagramele devin valabile pentru cazul baraj de greutate obișnuit.

Se observă că λ_1 este puternic influențat de f și α , λ_1 este cu atât mai mare cu cât f este mai mic și α mai mare.

λ este mai puțin influențat de α și f dar într-o măsură mai mare decât la barajele evidante.

2) Calculul eforturilor în secțiuni orizontale.

Se face cu relația compresiunii excentrice ținând seama de caracteristicile reale ale secțiunilor.

$$\sigma_z = \frac{\sum V}{A} + \frac{\sum M}{W_{am,av}}$$

BARAJE IN ARC

Istoric

Dintre toate tipurile de baraje, barajele arcuite au apărut cel mai târziu. Primul cunoscut în Europa este barajul Ponte Alto din Italia. Construcția lui a început în anul 1611, fiind supra-înălțat în mai multe etape până în anul 1887, când a atins înălțimea de 40 m. Se pare ca acest baraj, construit din zidărie de piatra, fost într-adevăr conceput sa acționeze ca un baraj arcuit. În anul 1849 se construiește în Franța barajul Zola, iar în 1884 barajul american Bear Valley. Intre anii 1900-1915 numărul barajelor arcuite crește, iar în perioada 1920-1930, datorita marii dezvoltări pe care o iau amenajările hidroelectrice, construcția barajelor arcuite se intensifica. În anul 1921 intra în funcțiune barajul Montsalvens în Elveția, înalt de 55 m, primul baraj modern de acest tip din Europa. După el urmează barajele Pacoima, Diablo, Ariel, în S.U.A., Marèges în Franța, Montejaque în Spania. Barajele arcuite cu dubla curbura sau în cupola apar mai frecvent după anul 1945, odată cu dezvoltarea metodelor de calcul. Printre acestea se pot cita Seminole (S U.A.), Tignes, Couesque (Franța), Rossens, Moiry, Mauvoisin (Elvetia), Lumiei, Santa Giustina, Vaion (Italia), Cabril, Bourça (Portugalia), Almenara (Spania), Limberg, Drossen (Austria) etc.

Date statistice

În prezent exista peste 600 de baraje arcuite în funcțiune.

Primele baraje arcuite construite la noi în țara sunt:

Risca	Risca mica	H=21m	1906
Sadu II	Sadu-Sibiu	14	1907
Valiug	Birzava	27	1909

Aceste baraje, construite numai în scopuri energetice, se comporta și astăzi în mod satisfăcător. Ele sunt realizate după proiectele inginerului O. Incze din Aachen sau ale urmașilor săi. Concepția constructivă este foarte asemănătoare la cele trei baraje (ex. Valiug)

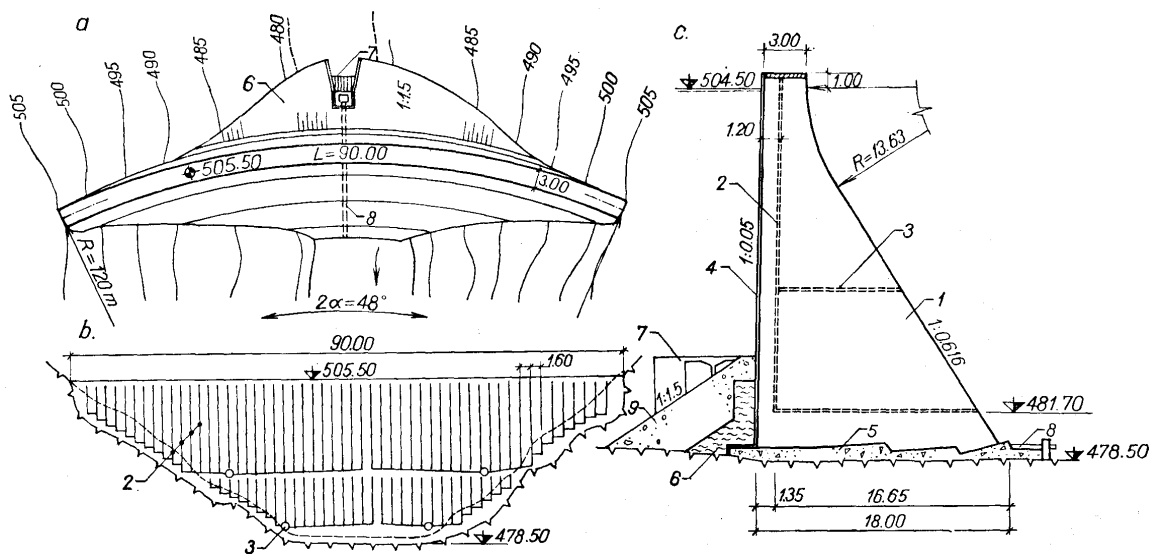


Fig. Barajul Văliug

Barajele sunt construite din zidărie de piatra cu mortar. Paramentul amonte este etanșat printr-o sapa de mortar gras, de câțiva centimetri grosime, care la rândul ei este protejată de un strat de torcret armat. Apele care se pot infiltra sunt drenate printr-o rețea de tuburi verticale, situată în apropierea paramentului. La Valiug, pentru a opri pătrunderea apei sub piciorul amonte, aceasta zona este acoperită de o prisma de argila, protejată de un strat de umplutura obișnuită.

Clasificare

Spre deosebire de un baraj de greutate, un baraj arcuit transmite sarcinile la care este supus atât după verticala cit și după orizontală. Se considera ca barajul este constituit dintr-o serie de console verticale, încastrate la baza în roca de fundație, și dintr-o serie de arce orizontale, încastrate în versanți:

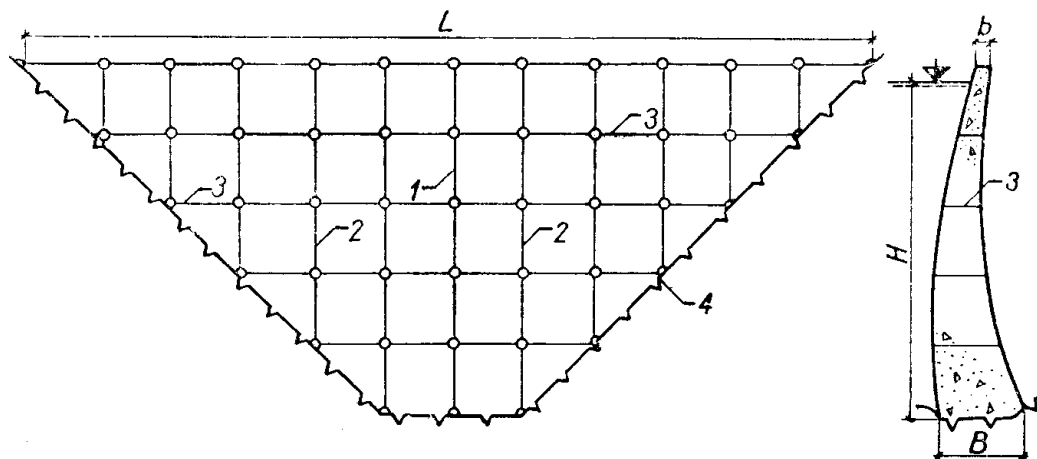


Fig. Împărțirea în arce și console a unui baraj în arc:
1 – consola maestră; 2 – console verticale; 3 – arce orizontale; 4 – contur fundație

Dacă sarcinile sunt preluate în mai mare măsură după verticală, barajul este de tipul de greutate în arc, dacă sarcinile sunt preluate în principal după orizontală, barajul este de tipul în arc.

Criterii de clasificare

O delimitare precisă între cele două tipuri de baraje arcuite este dificilă. După diverși autori, criteriile pe baza cărora acestea se pot clasifica sunt rapoartele: L/H ; H^2/Br ; $L^2/H^2/V$.

- După raportul L/H , între lungimea coardei la coronament și înălțimea barajului se deosebesc:

de greutate în arc... $1,5 < L/H < 3,5$;

în arc..... $L/H < 1,5$.

- După raportul $H^2/Br = H\lambda r$, între pătratul înălțimii și produsul dintre lățimea la baza și raza de curbura la coronament, se deosebesc baraje:

de greutate în arc $0,5 < H^2/Br < 8$

în arc $H^2/Br > 8$

Acest raport joacă un rol important la calculul barajelor după metoda rezervorului.

- Coeficientul de îndrăzneală L^2H^2/V este definit de raportul între produsul pătratelor lungimii desfășurate la coronament și al înălțimii și volumul barajului. Observând că raportul V/L_0H conduce la noțiunea de grosime medie, coeficientul de îndrăzneală se mai poate exprima sub

forma L_dH/t_m adică raportul dintre suprafața dreptunghiulară L_dH și grosimea medie a barajului t_m . Cu cât aceasta cifra este mai mare, cu atât barajul poate fi considerat mai îndrăzneț.

Condiții geologice

Calitățile rocii de fundație:

Datorită dimensiunilor mai reduse și sarcinilor unitare mai mari pe care barajele arcuite le transmit terenului, condițiile geologice necesare pentru construcția lor sunt mult mai pretențioase. Rocile din care sunt alcătuite versanții și fundul văii trebuie să fie rezistente, monolite și ne deformabile sub sarcina, etanșe și ne degradabile în contact cu apa.

Aceste calități sunt în general îndeplinite de rocile eruptive și metamorfice ne degradate și de cele sedimentare de buna calitate. Chiar dacă aceste condiții nu sunt suficient de favorabile, proprietățile fizico-mecanice ale rocilor pot fi îmbunătățite prin lucrări de consolidare.

Proiectarea unui baraj arcuit trebuie începută numai după o temeinică cunoaștere a structurii geologice a amplasamentului. Siguranța și economicitatea lucrării depind în mare măsură de cunoașterea exactă a naturii petrografice și a tectonicii rocii. a gradului ei de alterare ca și a caracteristicilor ei fizico-mecanice.

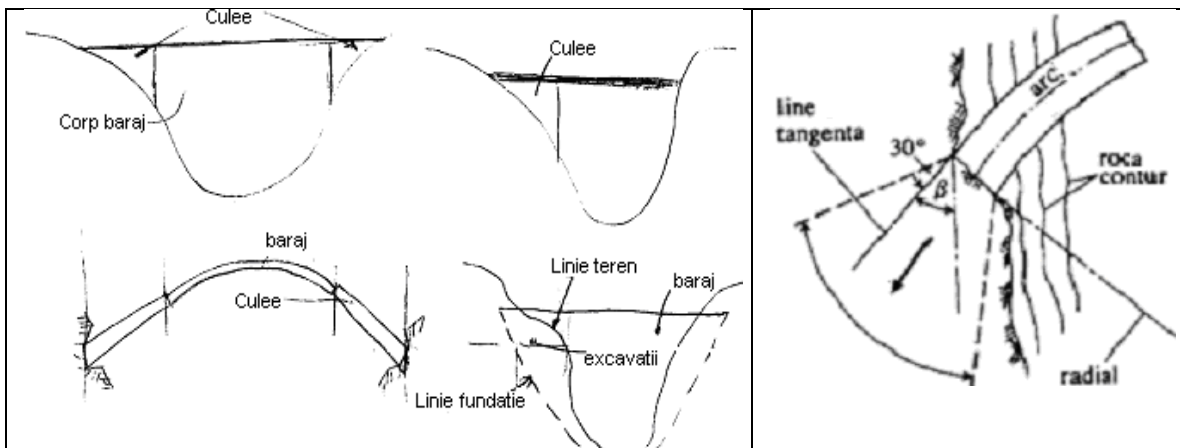
În funcție de condițiile locale se execută decapări, tranșee, puțuri, galerii și foraje, prin intermediul cărora se determina adâncimea rocii de fundare și eventualele accidente geologice (falii, brecfierii, alunecări). Totodată, se face și recunoașterea geologică a cuvetei viitorului lac de acumulare, pentru a se prevedea din timp efectul lacului asupra versanților și a stabili eventualele măsuri de reducerea pierderilor prin infiltrații. Un rol deosebit îl au caracteristicile geotehnice ale terenului de fundație, acestea determinând forma în spațiu și dimensiunile barajului.

Insuficiența studiilor geologice și geotehnice poate duce la accidente grave pentru baraje aparent bine concepute. Dacă nu se dispune de toate elementele caracteristice ale fundației, lucrarea proiectată este ne legată de teren și în consecință slabă conlucrare, bazată pe un mecanism necunoscut, poate duce la cedarea ansamblului baraj fundație. (Ex. barajul Malpasset, construit în anul 1954).

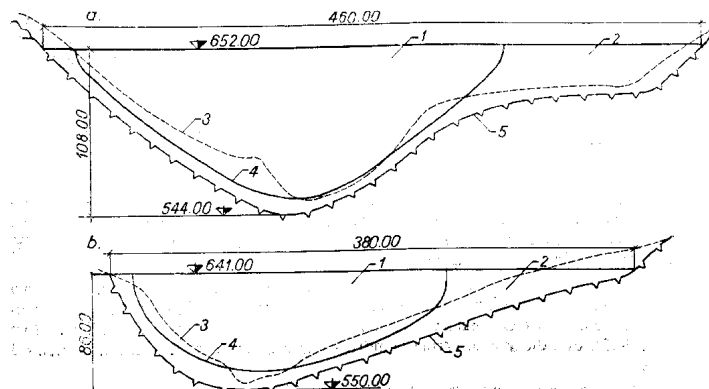
Condiții morfologice.

În cazul barajelor arcuite relieful văii are o influență deosebită asupra modului în care se trasează barajul și ca urmare asupra formei și dimensiunilor lui. În general, văile în forma de chei, cu raportul $\alpha = L/H$ sub 1,5 sunt favorabile pentru înscrierea de baraje în arc. Urmează apoi defileurile cu $\alpha < 3,5$, care de asemenea oferă posibilități pentru aceste baraje.

În natura nu toate văile sunt simetrice, în acest caz proeminentele stâncoase sunt înlăturate prin excavații, iar eventualele evazări prea mari sunt compensate prin culei masive.



Tendința actuală este de a adapta structura barajului la morfologia oricât de diversă a văii, renunțându-se la elementele masive de tipul culeilor pentru preluarea împingerilor orizontale și simetrizarea văii. O rezemare continuă, pe un contur de fundație simetric, se poate realiza cu ajutorul rostului perimetral.



În ceea ce privește orientarea liniilor de nivel, situația cea mai favorabilă este aceea în care ele prezintă o divergență spre amonte. Cu cât arcele componente ale barajului ataca terenul sub unghiuri mai apropiate de 90° , cu atât mai avantajoasă va fi comportarea barajului. Chiar dacă intersecția cu suprafața terenului se face sub unghiuri ascuțite, fundațiile pot fi astfel profilate în adâncime încât ortogonalitatea să fie respectată.

Secțiunea maestră

Pentru un baraj arcuit este caracteristica secțiunea transversală prin planul în care înălțimea barajului este maximă. Aceasta secțiune, care servește la trasarea și definirea formei geometrice a barajului, poartă denumirea de secțiune maestră sau secțiune centrală. La proiectarea unui baraj este util a se cunoaște secțiunile maestre ale unor baraje executate în condiții geologice și morfologice similare. Prin analogie cu acestea se poate admite o secțiune maestră cu ajutorul căreia se efectuează o prima trasare a unui baraj. Prin încercări de înscriere în teren și verificări statice succesive se poate ajunge la forma optimă. Se recomandă ca secțiunea aleasă să aibă o formă continuă, cu grosimea variind pe înălțime după o lege analitică.

Dimensiuni preliminare

Deși secțiunea maestră a barajului se definitivează în urma unor etape de trasări și verificări statice succesive, pentru dimensiunile preliminare se pot utiliza o serie de recomandări rezultate pe baza prelucrării statistice a elementelor caracteristice ale unor baraje executate.

Grosimea la coronament se poate estima cu una din relațiile:

$$\begin{aligned} b &= 0,020 L_d; \\ b &= 0,012 (L_d + H); \\ b &= 0,030 R; \\ b &= 0,010 (2R + H), \end{aligned}$$

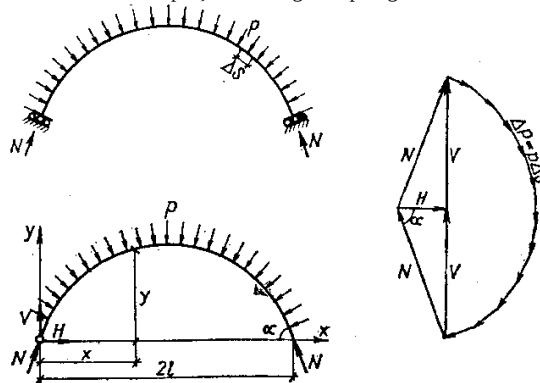
în care H este înălțimea barajului în m, L lățimea văii sau coarda barajului în m, L_d lungimea desfășurată a coronamentului în m, iar R este raza medie a coronamentului în m.

Grosimea la baza este legată în general de deschiderea văii sau de desfășurata arcului de coronament, conform relațiilor: $B = 0,100 L$; $B = (0,075 \dots 0,100) L_d$.

Forma în plan a arcelor componente ale unui baraj arcuit se alege astfel încât acestea să conducă la un optim static și economic. Criteriile cu caracter aproximativ, pe baza cărora se determină această formă, se expun în continuare.

Din punct de vedere static, trebuie găsită forma de coincidență a unui arc, solicitat de o sarcină uniform distribuită și normală pe axul sau (presiunea hidrostatică). Considerând arcul simplu rezemat, reacțiunile de la rezeme se pot determina printr-un poligon de forte:

$$V = pl \text{ și } H = V \operatorname{ctg} \alpha = pl \operatorname{ctg} \alpha.$$



Scriind momentul încovoietor într-o secțiune curentă de coordonate x, y rezulta:

$$M = Vx - Hy - 0,5px^2 - 0,5py^2,$$

sau:

$$\begin{aligned} M &= plx - pl \operatorname{ctg} \alpha y - 1/2 px^2 - 1/2 py^2 \\ x^2 + y^2 - 2lx + 2l \operatorname{ctg} \alpha y &= 0. \end{aligned}$$

Ecuția de mai sus reprezintă un cerc cu coordonatele centrului:

$$x_0 = l$$

$$y_0 = -l \operatorname{ctg} \alpha$$

și cu raza:

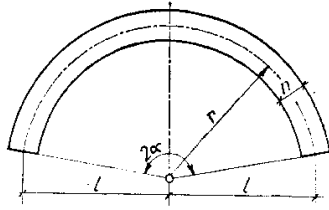
$$r = l(1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha)^{0,5}$$

Forma circulară reprezintă o soluție aproximativă a problemei, deoarece:

- în realitate arcele componente nu sunt simplu rezemate, ci încastrate elastice în versant;
- mai sunt și alte încărcări care solicită arcele, în afara de presiunea hidrostatică
- adeseori, grosimea arcelor nu este constantă, ea crescând de la cheie spre nașteri, după o lege oarecare.

Determinarea unghiului la centru

În legătura cu unghiul la centru al unui arc solicitat de presiunea hidrostatică L. Jorgensen a rezolvat următoarea problemă: fiind dat efortul maxim de compresiune $\sigma = N/A = p r / n$ (după formula cazanelor), să se determine unghiul la centru 2α astfel încât suprafața orizontală a arcului să fie minimă. Cu notațiile din figura, suprafața arcului S se poate scrie



$$S = 2\alpha r n$$

$$n = p r / \sigma$$

$$S = 2\alpha p r^2 / \sigma$$

$$\text{dar } r = l / \sin \alpha$$

$$\text{rezulta } S = 2\alpha \frac{p}{\sigma} \frac{l^2}{\sin^2 \alpha} = C \frac{\alpha}{\sin^2 \alpha}$$

prin derivare în raport cu α se obține:

$$\frac{ds}{d\alpha} = C \frac{\sin^2 \alpha - 2\alpha \sin \alpha \cos \alpha}{\sin^2 \alpha}$$

anulând numărătorul:

$$\sin \alpha - 2\alpha \cos \alpha = 0$$

sau:

$$\operatorname{tg} \alpha = 2\alpha$$

cu soluția $2\alpha = 133^\circ 34'$

Unghiul la centru optim

Ținând cont de condițiile reale de rezemare, unghiul la centru economic variază între 150° și 180° . Deschiderile unghiulare mari conduc în același timp și la o comportare statică mai favorabilă, eliminând eforturile de tensiune. Cu toate acestea sunt rare cazurile în care barajele arcuite s-au putut construi cu asemenea unghiuri la centru. Doar barajele în bolți multiple, rezemate pe contraforți, respecta în mod sistematic acest principiu.

Arce cu nasteri îngroșate

Arcele de grosime constantă, studiate până în prezent, sunt adecvate pentru barajele de înălțime mică sau medie. La barajele înalte, pentru a echilibra eforturile de la nașteri și a realiza o încărcare moderată a fundațiilor, se obișnuiește să se îngroșeze arcele spre nașteri. Secțiunile din zona nașterilor devin cu 15 ... 30% mai groase decât cele de la cheie.

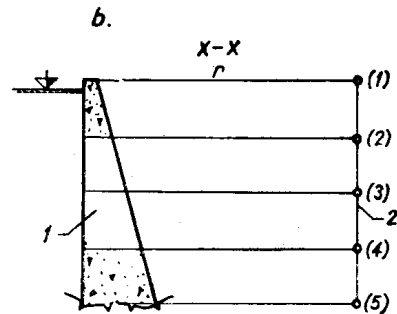
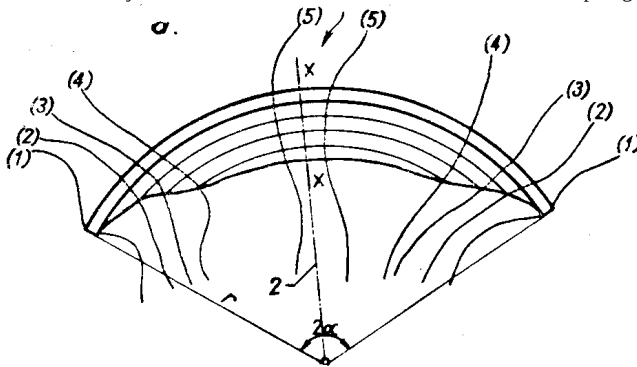
Funcție de configurația văii s-au mai realizat arce în mâner de cos, parabolice sau alte forme de curbura variabile.

Trasarea barajelor în arc

Pentru trasarea barajelor în arc se folosesc planuri de situație la scara 1/500 sau 1/200 cu curbe de nivel cu echidistanța de 1 - 5 m.

Barajele cilindrice.

Barajele cilindrice se folosesc în cazul văilor de formă dreptunghiulară sau apropiate de această formă.



Trasarea unui baraj cilindric:

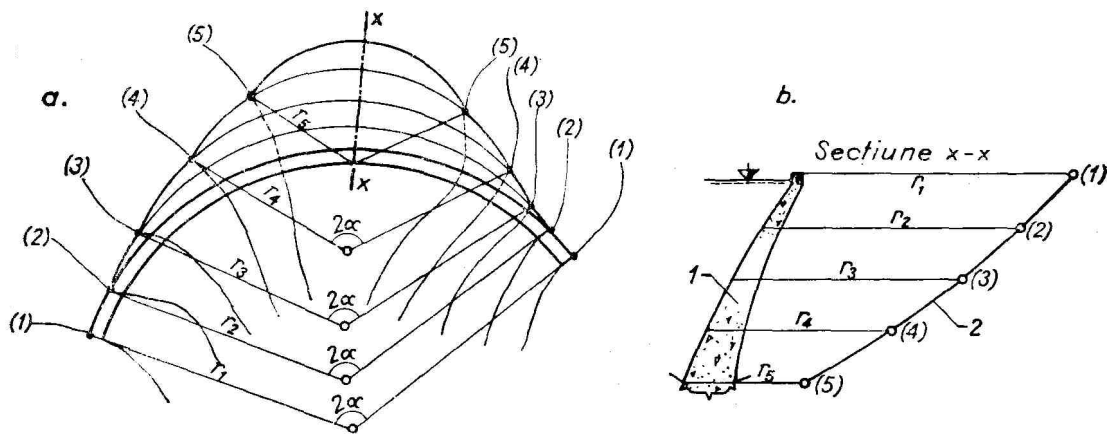
a — vedere în plan; b — secțiune transversală; 1 — secțiune maestră; 2 — axă de rotație.

Secțiunea maestră a barajului se determină pe baza unor calcule aproximative și are forma trapezoidală. Paramentul amonte este vertical. Trasarea barajului se face prin rotirea secțiunii maestre în jurul unei axe verticale urmărindu-se ca arcul de coronament să se înscrie astfel încât să intersecteze curbele de nivel sub un unghi cât mai apropiat de 90° iar unghiul la centru să fie cât mai mare. Celelalte arce se trasează din același centru însă pornesc de la curbele respective de nivel.

Arcele de pe paramentul aval se trasează din aceleași centre ținând seama de grosimile d_1 - d_n . Linia de intersecție cu terenul se obține unind punctele de intersecție ale arcelor cu liniile de nivel. Unghiurile la centru pentru fiecare arc se obțin unind aceste puncte de intersecție cu centrul corespunzător. În cazul văilor dreptunghiulare unghiul la centru rămâne aproape constant. Barajele cilindrice sunt deci baraje cu rază constantă.

Barajele izogone.

Barajele izogone sunt baraje cu unghi la centru constant. Acestea se folosesc în cazul văilor de formă triunghiulară sau parabolică și elimină dezavantajul barajelor cilindrice de micșorare a unghiului la centru spre partea inferioară.



Trasarea unui baraj izogon:
a — vedere în plan; b) — secțiune transversală; 1 — secțiune maestră; 2 — linia centrelor de rotație.

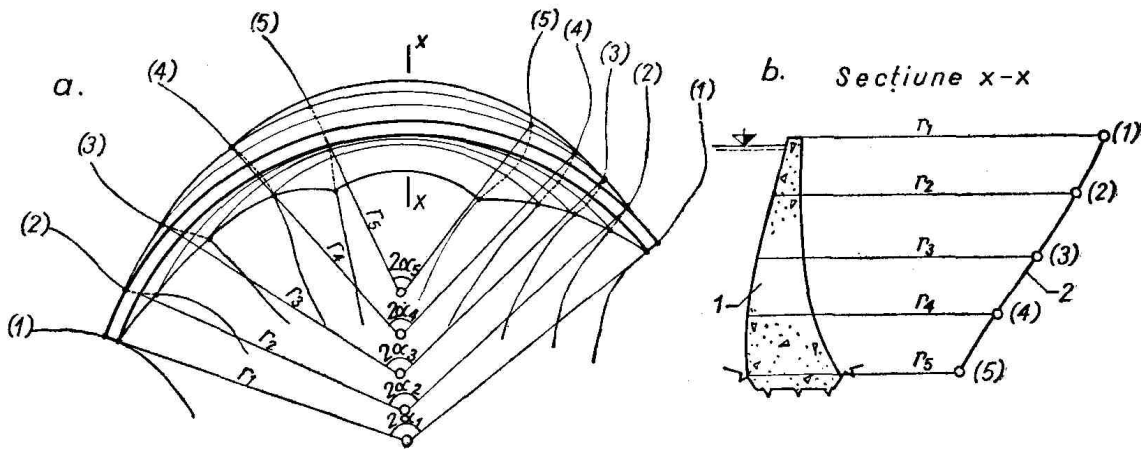
Trasarea:

- se trasează arcul de coronament urmărindu-se aceleași cerințe:
- unghi la centru maxim și intersecția cu curbele de nivel sub unghi cât mai apropiat de 90°
- arcul de la cota următoare se trasează astfel încât să treacă prin punctele de intersecție ale arcului precedent cu curbele de nivel de la această cotă și să aibă același unghi la centru 2α .
- axul secțiunii maestre se găsește în zona centrală a văii. Unind punctele obținute rezultă conturul paramentului amonte și conturul amonte al secțiunii maestre.

Se determină prin calcule aproximative grosimile secțiunii maestre la cote diferite și se trasează conturul paramentului aval și conturul aval al secțiunii maestre. Trasarea arcelor de cerc corespunzătoare paramentului aval se face din aceleași centre rezultate la trasarea paramentului amonte, micșorându-se razele cu grosimile corespunzătoare.

Baraje cu unghiuri la centru și raze variabile.

- Întrucât execuția barajelor izogone este pretențioasă se preferă barajele cu unghiuri la centru și raze variabile. Trasarea se face astfel:
- se adoptă o secțiune maestră prin analogie cu alte lucrări executate în condiții geologice și morfologice similare, grosimea acestuia stabilindu-se prin calcule aproximative.
 - după înscrierea arcului de coronament cu unghi la centru cât mai mare se trasează arcul de la cota următoare prin trei puncte cunoscute (doua sunt intersecțiile amonte ale arcului de coronament cu curbele de nivel iar al treilea rezultă din secțiunea maestră), etc.
 - se procedează analog și pentru celelalte arce ale paramentului amonte.



Trasarea unui baraj cu unghiuri la centru și raze variabile:
a - vedere în plan; b - secțiune transversală; 1 - secțiune maestră; 2 - linia centrelor de rotație.

Forțele care acționează asupra barajelor în arc

Solicitările interioare și exterioare care acționează asupra unui baraj în arc sunt în general identice cu cele care acționează asupra barajelor de greutate. Greutatea proprie are un rol important mai ales la barajele de greutate în arc. Ea echilibrează tensiunile create de presiunea hidrostatică și de celelalte sarcini.

Când barajul se construiește din ploturi independente, separate prin rosturi lărgite care se betonează ulterior, există timp suficient pentru producerea deformațiilor sub efectul greutateii proprii numai după verticală. Eforturile corespunzătoare se determină considerând că greutatea proprie se atribuie exclusiv consolelor. La fel se poate proceda și în cazul barajelor cilindrice sau foarte apropiate de o formă cilindrică, unde contracția după turnare face ca rosturile verticale dintre ploturi să fie deschise în marea majoritate a cazurilor.

Dacă programul de execuție prevede injectarea unora dintre câmpurile inferioare în timpul betonării, zona injectată capătă caracter de monolit. Greutatea proprie a părții de baraj betonată ulterior injectării este preluată în zona injectată atât de console cât și de arce. Acest fenomen nu trebuie neglijat în calcul.

Multe dintre barajele arcuite moderne au o formă plonjată spre aval, pe toată înălțimea sau de la un anumit nivel, urmărind să se utilizeze efectul greutateii apei din amonte și să asigure un atac convenabil al versanților. Tendința de deformare spre aval face ca rosturile verticale să nu

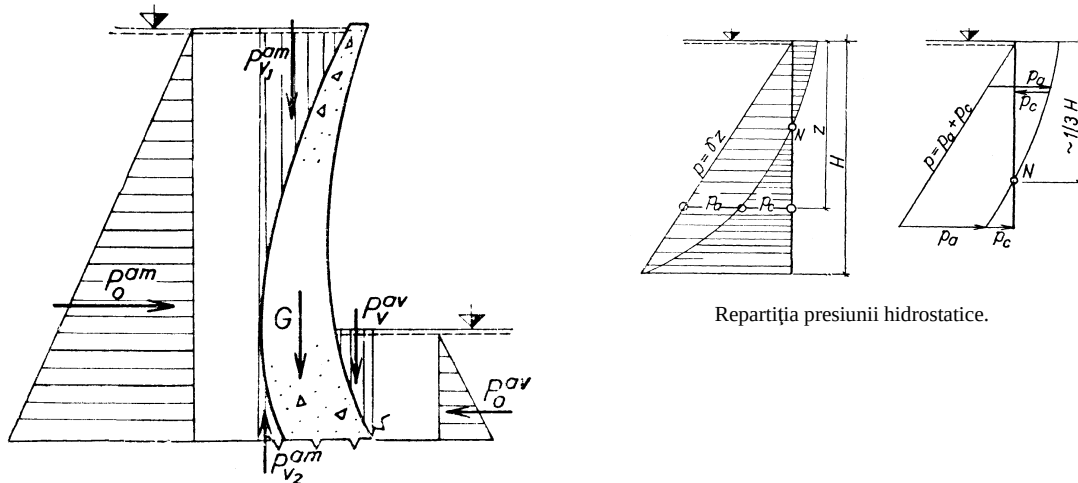
mai fie deschise în timpul execuției, compensând contracția. Pe de altă parte, multe baraje nu se mai realizează cu rosturi plane radiale, rosturile fiind rotite, cu redane, sau elicoidale, în care caz ploturile nu mai acționează independent până la injectare. Repartiția greutății proprii este în aceste cazuri mult diferită de cea rezultată în ipoteza ploturilor independente, aportul elementelor orizontale în preluarea ei având un rol tot atât de însemnat.

Modul de preluare a greutății proprii, chiar în cazul barajelor plonjante spre aval, este diferit în cazul văilor înguste față de cazul văilor largi. La primele, cea mai mare parte a greutății proprii este transmisă la versanții, pe când la celelalte, greutatea se transmite aproape integral în zona albiei.

Presiunea hidrostatică

Presiunea apei este forța principală care acționează asupra unui baraj arcuit. Ea acționează normal pe paramentul amonte, după principiile cunoscute din hidrostatică. Când există apă în aval, se consideră și efectul acesteia, fiind în general favorabilă. În cazul unei curburi verticale mai accentuate, presiunea hidrostatică are componente orizontale și verticale atât în amonte cât și în aval.

Diagrama de presiune orizontală este alcătuită din două părți: o parte care revine consolei fictive și o altă parte care revine arcelor componente situate la diverse cote (barajul se consideră alcătuit din arce orizontale și console verticale). Din cauza rigidității lor, arcele superioare se supraîncarcă, ușurând consolele. Ele joacă rolul unui reazem elastic și, din această cauză, consolele se deformează deasupra punctului N ca și când ar fi împinse dinspre aval spre amonte.



Repartiția presiunii hidrostatice.

Solicitări din pres. hidrostatică și greutatea proprie.

Punctul N se găsește la o adâncime egală cu aproximativ a treia parte din înălțimea barajului. Dacă se ia în considerație comportarea de ansamblu a structurii, ținând seama de interacțiunea completă dintre arce și console, presiunea hidrostatică este preluată atât de arce și console cât și prin torsiune. În cazul barajelor cu curbă verticală pronunțată nu trebuie neglijată nici componenta verticală a presiunii hidrostatice. Ea se repartizează la rândul ei arcelor și consolelor, partea principală fiind însă preluată de console.

Subpresiunea

Subpresiunea și presiunea în pori, create de apele care se infiltrează prin suprafața de fundație, respectiv prin corpul barajului, au fost examinate și evaluate în capitolul referitor la barajele de greutate. Pentru barajele arcuite, aceste solicitări nu au aceeași importanță, ele fiind preluate de o structură care acționează în spațiu și nu numai în planuri verticale. În mod obișnuit, subpresiunea nu se ia în considerare la calculul unui baraj arcuit.

Împingerea gheții

Împingerea gheții, a cărei evaluare este cunoscută de asemenea, nu se ia în considerare decât în cazuri cu totul speciale.

Variațiile de temperatură

Variațiile de temperatură ale mediului exterior au efecte importante asupra barajelor arcuite, provocând eforturi suplimentare de compresiune și tensiune. Starea de efort care se produce este o consecință a faptului că un baraj arcuit este o structură hiperstatică, cu multiple legături, la care nu sunt posibile deformații libere. Dimensiunile transversale fiind reduse, variațiile de temperatură ale mediilor exterioare se propagă în baraj, producând variații de temperatură ale betonului. Barajul este cu atât mai sensibil la solicitări termice cu cât dimensiunile lui sunt mai reduse.

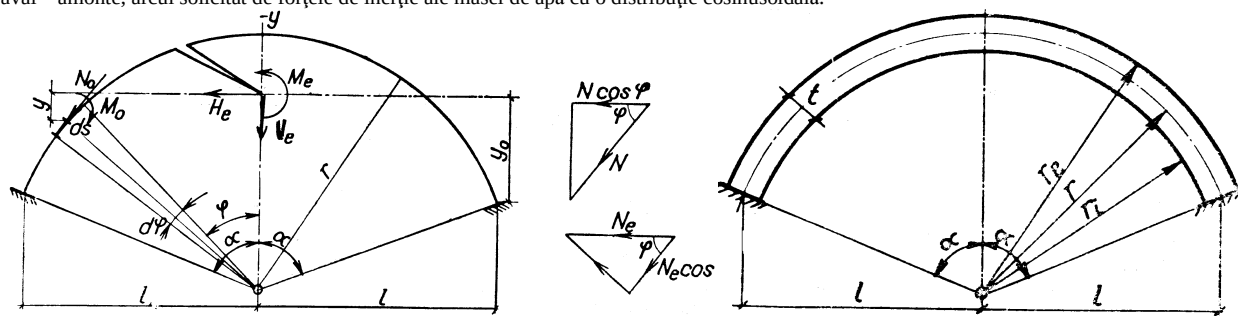
Prin betonarea și injectarea cu suspensie de ciment a rosturilor dintre ploturi barajul devine o structură monolită, iar, corespunzător momentului injectării, betoanele au o anumită temperatură - temperatura de injectare. Când temperatura mediului exterior variază în funcție de factorii climatici, va varia cu o anumită întârziere și temperatura betonului față de temperatura de închidere a rosturilor. Corpul barajului, fiind împiedicat să se deformeze, este pus în stare de efort. Deoarece variațiile zilnice de temperatură nu se propagă decât pe o adâncime de circa 30 cm de la paramente, în calculele statice nu se iau în considerare decât variațiile lunare, care se propagă pe adâncimi de ordinul metrilor.

Contracția și umflarea betonului

Sunt efecte contrare, contracția este provocată de răcirea betonului și provoacă fenomene de întindere, umflarea este provocată de expansiunea betonului îmbibat cu apă și provoacă fenomene de compresiune. În calcul cele două fenomene se asimilează cu o scădere respectiv cu o creștere de temperatură.

Calculul barajelor în arc

Metoda arcelor de grosime constantă. Consideră barajul alcătuit din arce orizontale suprapuse care acționează independent. Arcul este rigid încastrat la nașteri, triplu static ne determinat. Încărcări: presiunea hidrostatică, variații de temperatură, accelerația cutremurului orientată aval – amonte, arcul solicitat de forțele de inerție ale masei de apă cu o distribuție cosinusoidală.



Schema de calcul pt arcul dublu incastrat

Metoda egalării deplasărilor în secțiunea maestră

În cadrul acestei metode, sarcina hidrostatică se împarte între arce și console, punând condiția ca în secțiunea maestră deplasările radiale din punctele comune să fie egale. La fel se distribuie și presiunile normale pe extrados provenite din echivalarea solicitărilor termice. Metoda se aplică cu suficientă exactitate la barajele simetrice în raport cu secțiunea maestră, sau la cele care prezintă o ușoară asimetrie.

Ipoteza admisă consideră că repartitia unei presiuni continue de orice tip, determinată în secțiunea maestră, se menține și în celelalte secțiuni verticale. Rezultă că arcele analizate sunt încărcate cu o sarcină constantă pe extrados, provenită din repartitia sarcinii totale de la cota respectivă.

Baraje de piatră

Baraje de piatră fac parte din categoria barajelor din materiale locale. Acestea se execută din materiale aflate în imediata apropiere a amplasamentului. Barajele din materiale locale se pot executa din piatră sau pământ. Ele sunt alcătuite dintr-o prismă de rezistență care preia presiunea apei și o transmite la teren și un element de etanșare care asigură impermeabilitatea barajului. Unele materiale (argilele nisipoase, nisipuri argiloase) pot îndeplini simultan ambele funcții

Corpul barajelor de piatră se poate realiza din:

- anrocamente constituite din blocuri de piatră din carieră așezate întâmplător și compactate, în anumite ocazii se pot folosi materiale naturale, deluviu de panta, grohotișuri, roci puternic fisurate, care pot fi folosite ca anrocamente;
- zidărie uscată de piatră constituită din blocuri așezate ordonat, cu rosturi întrețesute.
- baraje de anrocamente și zidărie, cu corpul executat parțial din anrocamente și parțial din zidărie
- baraje de piatră și pământ, cu corpul executat parțial din piatră, de obicei sub forma de anrocamente și parțial din pământ; acest ultim tip de baraj, denumit și mixt, face trecerea de la barajele de piatră la cele de pământ, dar se consideră ca un tip de baraj de piatră întrucât aceasta reprezintă de obicei partea principală din corpul barajului.

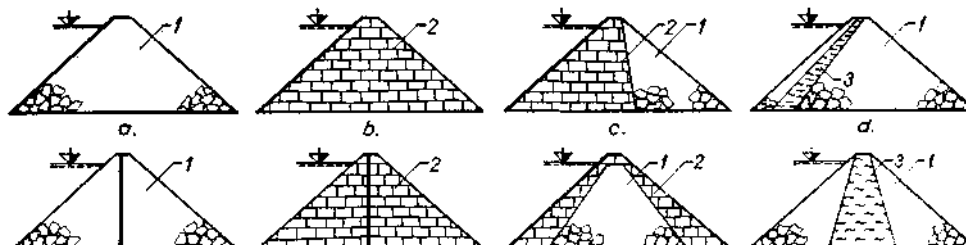
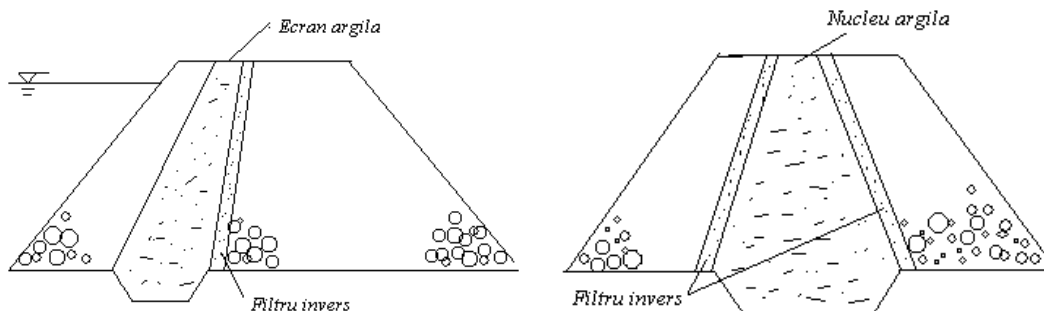


Fig. Tipuri de baraje de piatră:

a – de anrocamente; b – de zidărie uscată; c – de anrocamente și zidărie; d – de anrocamente și pământ; 1 – anrocamente; 2 – zidărie; 3 – pământ.

Elementul de etanșare poate fi alcătuit din materiale cu proprietăți plastice ca: argila, beton bituminos, materiale plastice; sau poate fi alcătuit din materiale rigide ca: beton, beton armat, torcret metal, lemn.

Elementul de etanșare al unui baraj de piatră poate fi dispus în interiorul corpului, de obicei la mijloc, în care caz poartă denumirea de diafragma, sâmbure sau nucleu, sau pe paramentul amonte al corpului, când poartă denumirea de ecran sau masca. Acesta trebuie să aibă o bună legătură cu terenul de fundație astfel încât să fie împiedicată infiltrația apei prin terenul de fundație. Pentru buna rezemare a ecranului, dedesubt se prevede un strat de anrocamente de dimensiuni mai mici compactate și un filtru invers sau un strat de zidărie de piatră compactată. Filtrul invers are rolul de a împiedica antrenarea particulelor fine de argilă de către apa ce se infiltrează. El se realizează din nisip și pietriș cu dimensiunile granulelor crescătoare în sensul curgerii apei.



Barajele de anrocamente au corpul realizat exclusiv din anrocamente. Etanșarea corpului barajelor de anrocamente se realizează de obicei cu ecrane, mai rar nuclee, din beton armat, beton, beton bituminos, metal, lemn. Se evita folosirea diafragmelor, deoarece acestea se adaptează mai greu cu deformațiile lucrărilor de anrocamente. Un profil transversal tip al unui baraj de anrocamente cu ecran (masca) cuprinde următoarele zone:

- ecranul, amplasat la paramentul amonte, care are rol de etanșare;
- stratul-suport pentru ecran, format din zidărie uscată sau anrocamente puse în opera îngrijit;
- prismul de rezistență, din anrocamente.

Exemplificări

Mira Greek –Canada, H=235m, vol. 32E6 mc, cu nucleu înclinat

Keban–Turcia, 208 m, vol 14E6 mc, Gepatsch–Austria, 153 m cu nucleu vertical, Paradela–Portugalia, 114 m, cu ecran din beton armat. etc.

La noi: primul Sadu – Gorj , H16 m; Gozna – Bîrzava H=46 m cu ecran metalic; Valea de Pești – Jiu, 56 m, ecran beton asfaltic; Vidra– Lotru, 121 m, alimentează centrala Ciunget; Siriu, H=122 m; Poiana Mărului H=173 m; Râul Mare – Retezat H=173 m.

Condițiile impuse pietrei.

În general s-a considerat că rocile indicate sunt cele dure, eruptive sau metamorfice, cu greutate volumetrică și rezistente la ruperi importante. O serie de baraje s-au realizat însă cu materiale cu rezistențe la compresiune mult inferioare acestora.

Granulozitatea anrocamentelor trebuie să fie continuă, bine eșalonată.

Condiții de amplasare – Condiții geologice

Un baraj de piatră transmite terenului de fundație eforturi mai mici decât un baraj de beton de înălțime egală, dar mai mari decât un baraj de pământ. Ca urmare, în privința calității terenului de fundație, acest tip de baraj necesită condiții mai ușoare decât barajele de beton, dar mai severe decât barajele de pământ. Terenul de fundație trebuie să asigure tasări reduse și stabilitate sub acțiunea sarcinilor transmise de baraj, permeabilitate redusă și rezistență ridicată la acțiunea apelor de infiltrație. Aceste condiții sunt satisfăcute în primul rând de terenurile stâncoase,

de diferite calități și chiar de cele formate din roci mai slabe. De asemenea, unele terenuri nestâncoase satisfac aceste condiții. Astfel, terenurile formate din blocuri mari, din pietriș grosier sau bolovăniși și în general depozitele vechi de materiale grosiere, bine îndesate sunt acceptabile din punctul de vedere al tasărilor și stabilității. Problemele de infiltrație se pot rezolva prin piteni de etanșare, adânciți sub baraj până la stratul impermeabil și prin măsuri speciale de drenare a apelor infiltrate. Sub același aspect, însă numai pentru baraje sub 30... 40 m înălțime, pot fi acceptate terenurile bine îndesate cum ar fi: nisipurile grosiere, argilele, argilele nisipoase compacte etc. La aceste terenuri rezistența la acțiunea apelor de infiltrație este mai scăzută. Depunerile din materiale fine și cu coeziune slabă, ca: nisipurile fine, argilele nisipoase slabe, mărul, turba și altele, sunt foarte tasabile și foarte sensibile la infiltrații. Aceste terenuri pot refuza sub sarcinile transmise de baraj și nu sunt acceptabile ca terenuri de fundație. Barajele cu elemente de etanșare din argilă se comportă mai bine pe terenurile tasabile decât barajele cu ecrane din beton care necesită un teren mai bun, în general stâncos.

Condiții climatice și hidrologice

Punerea în operă a anrocamentelor este puțin influențată de condițiile climatice. Anrocamentele pot fi puse în operă pe timp de ploaie și de asemenea în perioadele de temperaturi scăzute, luându-se măsuri speciale. În schimb, punerea în operă a argilei trebuie întreruptă pe timp de ploaie sau temperaturi negative. De aceea în regiunile cu precipitații ridicate și dese se recomandă aplicarea ecranelor rigide, mai puțin influențate de condițiile climatice. Influența reliefului este legată de existența cu prioritate a unor materiale de construcție specifice în zonă, care decid alegerea soluției. De exemplu, în regiuni de șes sunt favorizate tipurile de baraje de pământ, care folosesc materialele aluvionare din albiile râurilor. În zonele muntoase predomină barajele de anrocamente, care folosesc piatra exploatată din cariere. La noi în țară, unde, cu excepția amenajărilor de pe Dunăre, majoritatea potențialului hidroenergetic provine din bazine muntoase (Lotru Sebeș, Someș, Râul Mare etc.) mai indicată este soluția barajelor de anrocamente. Regimul hidraulic al râurilor influențează asupra soluțiilor de deviere a apelor și a descărcătorilor.

Elemente de impermeabilizare (baraje de anrocamente)

Ecranele de beton armat au avut cea mai largă utilizare, construindu-se în funcție de înălțimea barajului și tasările prevăzute sub forma ecranelor seim-rigide și a ecranelor flexibile.

Ecranele semi-rigide, folosite în cele mai multe cazuri, sunt alcătuite dintr-un rând de plăci de beton armat care se sprijină pe zidăria uscată, fie prin intermediul unor grinzi, fie direct, fie prin intermediul unui beton de egalizare. Grosimea plăcilor variază cu sarcina hidrostatică ce le solicită între 0,30 și 0,80 m. Armarea plăcilor se face cu plase sudate dispuse pe un rând sau pe două rânduri (armare dublă), în funcție de sarcina hidrostatică, procentul de armare curent fiind de circa 0,5 %. Rosturile orizontale între plăci, dispuse la distanțe variind între 6 și 20 m sunt rosturi permanente, etanșate cu o tolă de cupru sau oțel inoxidabil sau cu benzi de cauciuc (plastic) de tip Sika și umplute apoi cu un mastic bituminos. Pe linia de cea mai mare pantă sunt realizate similar rosturile verticale dispuse la distanțe variind între 12 și 20 m. Deschiderea rosturilor variază între 12 și 50 mm. Se folosesc betoane > BH200.

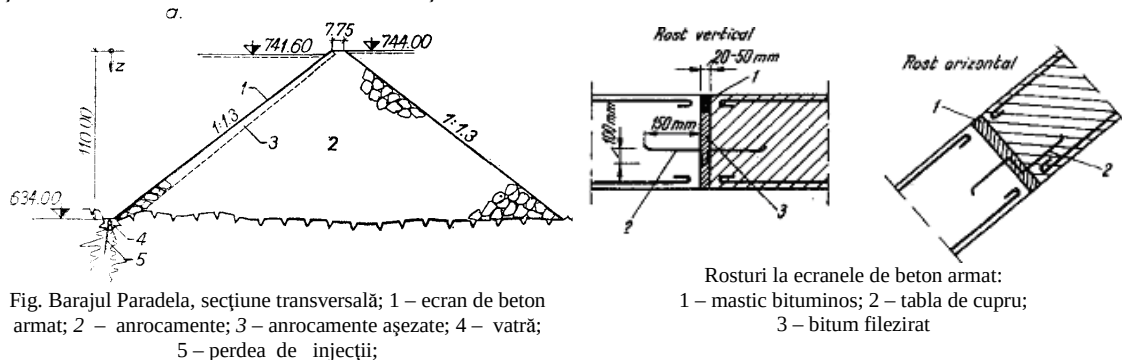
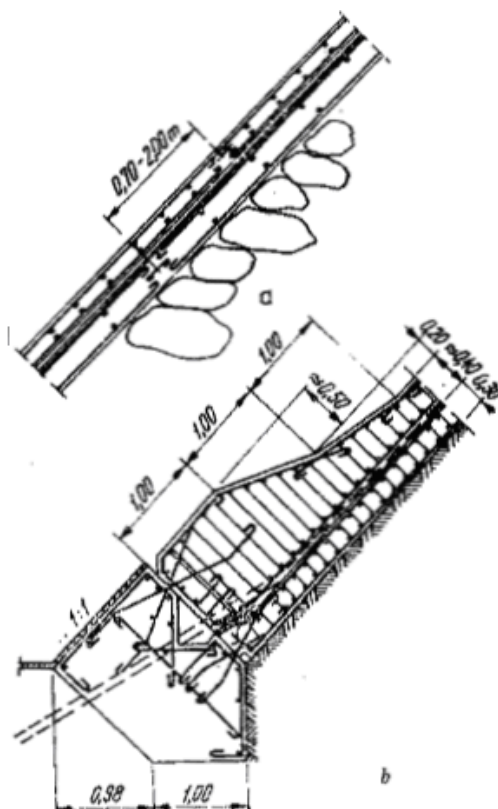


Fig. Barajul Paradela, secțiune transversală; 1 – ecran de beton armat; 2 – anrocamente; 3 – anrocamente așezate; 4 – vatră; 5 – perdea de injecții;

Rosturi la ecranele de beton armat:
1 – mastic bituminos; 2 – tablă de cupru;
3 – bitum filezirat

Ecranele flexibile se realizează din mai multe plăci suprapuse de beton armat, despărțite între ele prin șape de bitum pentru a le permite deplasarea independentă. Rosturile unui strat de plăci sunt acoperite de câmpurile stratului suprapus. Acest ecran prezintă o flexibilitate mult sporită fiind indicat la lucrările la care se așteaptă tasări importante. Legătura între ecran și fundație se realizează printr-un piten sau vatră. Legătura între ecran și vatră se realizează sub forma unei articulații.



Ecrane de betoane asfaltice, s-au dezvoltat în special pentru barajele de anrocamente cu înălțimi până la 60–80 m. În afară de un cost și de o durată de execuție mai redusă, ecranele de betoane asfaltice prezintă o capacitate mai mare de acomodare la deformațiile barajului, ca și posibilități de închidere a eventualelor fisuri (datorită curgerii lente a betonului asfaltic), de întreținere și remediere a eventualelor degradări. Printre dezavantaje se menționează fenomenul de îmbătrânire în timp a bitumului care atrage o reducere sensibilă a plasticității ecranului. Necesitatea compactării stratului de beton asfaltic până la reducerea golurilor de aer la 2 – 5% impune crearea unui strat suport suficient de rigid și în același timp drenant, folosindu-se în acest scop un pat de beton, zidărie sau anrocamente foarte bine compactate.

Curba granulometrică a agregatului trebuie să fie cât mai continuă, diametrul maxim al granulelor nedepășind 30 mm. Se utilizează atât agregatele de râu cât și agregate de concasaj. Ecranul de beton asfaltic se sprijină la partea inferioară pe un pînten sau o vatră special construită

Ecrane de oțel. Ecranele din tole de oțel prezintă avantajul unei etanșări complete și a unei deformabilități mari fără pericol de rupturi, alături de o întreținere ușoară și o durată mare de exploatare. Executate la începutul secolului prin nituire și în prezent prin sudură (Salazar – 70 m, Rio Lagartijo – 27 m), aceste ecrane constau dintr-o tolă de oțel aliat cu cupru, cu grosimea de circa 6 mm așezată pe un pat de beton prevăzut cu drenuri. Tola este prevăzută cu rosturi compensatoare dispuse pe linia de cea mai mare pantă la distanțe de 15–20 m. Este ancorată în corpul barajului prin ancoraje speciale. În țara noastră, există barajul Valiug, construit în anii 1948–1952 cu un ecran metalic.

Ecrane din alte materiale. Printre ecranele din alte materiale se menționează ecranele de lemn, construite în trecut în regiunile bogate în lemn. Realizate din dulapi, aceste ecrane, în condițiile menținerii sub nivelul apei, au dat rezultate mulțumitoare mai ales în cazul impregnării cu substanțe antiseptice și a vopsirii cu substanțe hidroizolante.

Mai moderne sunt, masele plastice sub forma foliilor de polietilena sau de policlorură de vinil cu grosimi de 0,10/1,50 mm așezate între straturi de protecție. Prezintă fenomenul de îmbătrânire a foliei și sunt dificultăți de realizare a unei lipituri etanșe.

Diafragme. Diafragmele sunt elemente de impermeabilizare realizate din aceeași materiale ca și ecranele și dispuse aproximativ în centrul secțiunii transversale, ceea ce le conferă unele avantaje ca: volum mai redus, protecție la intemperii datorită prismelor laterale, legătură mai comodă cu elementele de impermeabilizare ale fundației. Dezavantajele diafragmelor provin din dificultatea de a le construi pe măsura creșterii barajului cu asigurarea continuității, ca și din deformațiile ce apar ca urmare a presiunilor inegale pe cele două fete.

Baraje cu elemente de impermeabilizare din pământ

Această soluție se adoptă în cazul:

- unei înălțimi mari la care realizarea unui ecran de beton este dificilă
- unei fundații compresibile
- existenței unor depozite de materiale de impermeabilizare corespunzătoare în apropiere.

După poziția și dimensiunile elementului impermeabil există 3 tipuri principale:

- baraje cu ecran de pământ amplasat în zona paramentului amonte
- baraje cu nucleu central de pământ;
- baraje cu nucleu înclinat .

Fiecare din aceste tipuri prezintă unele avantaje specifice în construcție și exploatare:

– Baraje cu ecran:

- posibilitatea executării corpului de anrocamente înainte de executarea ecranului ceea ce reprezintă un avantaj în zonele cu un sezon scurt de lucru la materiale pământoase coezive
- posibilitatea executării anrocamentului independent de lucrările de injectare ale fundației chiar fără o galerie de injectie

- posibilitatea executării barajului în unele condiții, fără devierea apei, prin turnarea materialului de nucleu în apă;
- **barajele cu nucleu central** care au: avantajul unui volum total de lucrări mai mic ca în cazul barajului cu ecran;
- posibilitatea unei racordări mai bune cu versanții abrupti și cu elemente de beton ;
- nucleul prezintă pericol mai mic de avariere în cazul tasărilor neuniforme a barajului ;
- barajele cu nucleu înclinat prezintă unele avantaje comune celor doua tipuri.

Amenajarea suprafeței de fundație

Suprafața de fundație a unui baraj de piatră se stabilește în funcție de natura și calitățile terenului din amplasament. În cazul rocilor stâncoase care apar la zi, corpul barajului se poate funda direct pe acestea, după îndepărtarea stratului superficial de roca alterată și a blocurilor sau zonelor insuficient fixate. Proeminențele stâncoase, în special cele de pe versanți, se nivelează pentru a nu genera tasări neuniforme în baraj. În cele mai multe cazuri însă rocile stâncoase sunt acoperite de depozite aluvionare sau glaciare. Uneori acestea sunt mai compacte și deci mai puțin tasabile decât umplutura din corpul barajului, astfel încât îndepărtarea lor de sub baraj este nerațională, ele comportându-se satisfăcător ca terenuri de fundație, cu condiția adoptării unor măsuri corespunzătoare de etanșare și drenare. Tratarea suprafeței de fundație are drept scop păstrarea și îmbunătățirea calităților naturale ale terenului și asigurarea unei bune legături a barajului cu acesta. În cazul fundării pe roci stâncoase, sănătoase, măsurile sunt minime și constă, în curățirea zonelor insuficient fixate și spălarea suprafeței de fundație. În cazul rocilor stâncoase de mai slabă calitate sau puțin alterate, terenul de fundație se acoperă cu un strat de blocuri mari, cu rol de amortizor al șocurilor produse de căderea pietrelor și rol drenant pentru apele infiltrate spre aval. Faliile aflate sub corpul barajului și zonele de brezii din jurul acestora se excavează pe o adâncime suficientă, se curată și se spală apoi se umplu cu nisip și piatră spartă și se acoperă cu beton. Faliile din dreptul elementelor de beton (vetre, pinteni) se excavează și se curată, apoi se plombează cu beton, la fel ca în cazul barajelor de beton. În cazul fundării pe terenuri slabe, formate din roci care se degradează în timp sub influența agenților atmosferici sau sub acțiunea de erodare a apelor de infiltrație sunt necesare măsuri speciale pentru protecția suprafeței de fundație. Stabilitatea la alunecare a fundațiilor nestâncoase sub sarcinile mari transmise de baraje trebuie verificată în fiecare caz. Pentru îmbunătățirea condițiilor de stabilitate se recomandă diverse măsuri, ca: micșorarea pantei taluzurilor aval ale barajelor, prevederea de prisme pentru supraîncărcarea terenului în aval, prevederea de rețele de drenaj etc.

O atenție deosebită se acordă tratării fundației în dreptul zonelor etanșe ale barajului. În aceste zone terenul de fundație se curată de obicei până la roca impermeabilă sau până la terenul care poate fi impermeabilizat prin injectare. Contactul zonei de etanșare cu malurile se recomandă a se realiza cu pante cât mai reduse (1:1,5 – 1:1)

Terenul situat sub baraj se etanșează prin pinteni sau vetre executate din beton sau din argila, continuate uneori în adâncime cu perdele de injecții. Aceasta etanșare trebuie asigurată pe tot conturul văii barate, inclusiv pe versanți. La baraje cu ecrane rigide de beton, metal sau lemn, vatra se execută din beton.

În cazul terenurilor stâncoase, vatra se încastrează în roca pe mica adâncime, grosimea sa fiind redusă. În cazul terenurilor aluvionare, adâncimea vetrei ajunge uneori la zeci de metri și corespunzător crește și grosimea sa. La fundarea pe roci fisurate în adâncime sau pe terenuri slabe, care trebuie ferite de infiltrații, sunt necesare perdele de etanșare sub baraje și foraje de drenare a apelor infiltrate. În acest scop, în interiorul vetrei se prevede o galerie cu dimensiuni corespunzătoare, din care să se poată executa, controla și eventual reface aceste lucrări în timpul exploatarei, fără a se goli lacul. În aceste cazuri vatra capătă forme speciale și dimensiuni sporite. În mod obișnuit vetrele de beton se execută în tranșee deschise, pe tronsoane mai lungi sau mai scurte, funcție de condițiile de excavare și de infiltrație a apei. Betonarea se face pe tronsoane de 12 ...15 m, separate prin rosturi de lucru, prevăzute cu etanșări din tola, eventual injectate. În condiții geologice dificile și pentru adâncimi mari, vetrele se pot executa sub forma de chesoane deschise și puțuri forate umplute ulterior cu beton, sau între pereți de palplanșe metalice. O atenție deosebită se acordă legăturii între vatra și ecranul barajului, legătură care trebuie să fie suficient de elastică încât să poată suporta diferențele mari de deformații dintre aceste două elemente. Perdelele sau voalurile de etanșare de sub vetrele barajelor se execută în funcție de natura și calitatea rocilor de baza, de importanța și înălțimea barajelor și de cantitatea de apă ce se poate pierde prin infiltrație.

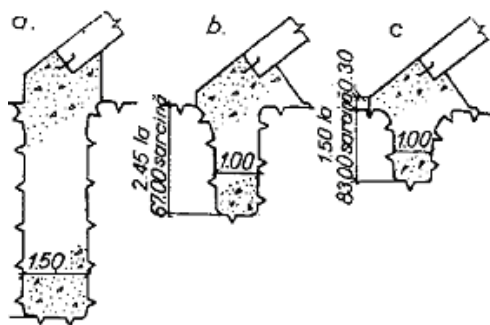


Fig. Vetre de beton fără galerii la baraje:
a – Salt Spings; b – Lower Bear; c – Wisbon.

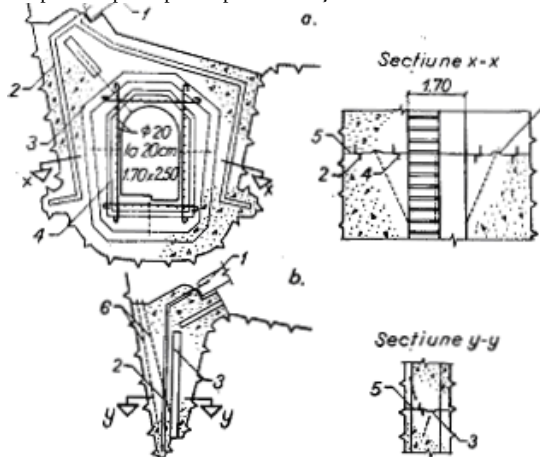


Fig. Secțiuni și dispozitive de etanșare în vatra barajului Paradela: a – în zona centrală; b – pe versanți; 1 – ecran beton; 2 – tola Cu; 3 – dinte trapezoidal; 4 – tola oțel; 5 – rost; 6 – foraje de injecție.

Metode de execuție a barajelor de anrocamente

Se folosesc două metode principale de execuție:

- metoda descărcării materialului în vrac în straturi cu înălțimi variind curent între 10 și 20 m urmate în general de o îndesare prin stropire cu un jet de apă sub presiune;
- metoda așternerii materialului în straturi subțiri și a compactării acestora prin mijloace mecanice.

Metoda descărcării materialului în vrac folosită în mod larg în realizarea unui mare număr de baraje americane, constă în aducerea materialului cu mijloace de transport și descărcarea lui pe taluz de la înălțimi de 10–20 m cu stropirea concomitentă a anrocamentelor cu apă sub presiune. În timpul descărcării blocurile mari se rostogolesc până la baza taluzului realizând prin șocul produs un efect de compactare asupra stratului inferior, dar putând provoca și o sfărâmare a blocurilor de rocă în cazul unor înălțimi de cădere prea mari. Udarea cu apă sub presiunea de

6–7 at în cantități de 2–5 m³, apă/m³ anrocament, are ca efect atât o antrenare a fracțiunilor fine, rămase în general în partea superioară a taluzului, pentru a umple golurile dintre blocurile mari, cât și o reducere a rezistenței la strivire a pietrei prin saturare cu apă. În acest fel, realizându-se o strivire a punctelor de contact dintre blocuri, se reduce tasarea ulterioară, obținându-se o așezare mai compactă. Metoda necesită un material de bună calitate, cu rezistențe la compresiune mari și o granulozitate uniformă pentru a nu favoriza segregările în timpul descărcării.

Metoda așternerii materialului în straturi subțiri constă în transportul și descărcarea materialului pe suprafața stratului anterior, și nivelarea lui în grosimi de 0,30–2,00 m și în compactarea acestuia cu mijloace mecanice. În multe cazuri se procedează la o udare a stratului ce se compactează, folosindu-se 0,10–0,50 m³ apă/m³ anrocament. Și în acest caz udarea conduce la o reducere a rezistenței la compresiune, punctele de contact strivindu-se încă în timpul procesului de compactare. Stropirea are de asemenea rolul de a îndepărta materialul fin de la suprafața stratului compactat, contribuind astfel la o mai bună legătură între straturile succesive, fiind cu atât mai necesară cu cât barajul are înălțime mai mare și cu cât anrocamentele conțin o cantitate mai mare de material fin. Dimensiunea maximă admisibilă a blocurilor reprezintă 0,75–0,80 din grosimea stratului așternut.

Dintre utilajele recomandate pentru compactarea anrocamentelor se menționează:

- rulourile vibratoare grele (5–10 t), compactează straturi de 0,6–2,0 m prin 4–6 treceri
- rulourile grele pe pneuri (50 t), compactează straturi de până la 1 m în 6–8 treceri
- plăcile vibratoare grele sau maiurile grele acționate de macarale care pot compacta straturi de circa 0,50 m

Se poate obține efectul de compactare prin circulația dirijată pe suprafața de depunere a utilajelor grele de transport și împrăștiere

În general se poate afirma că metoda compactării în straturi subțiri conduce la un volum de goluri mai mic. Uneori se utilizează ambele metode la un baraj.

Dintre metodele de execuție mai puțin utilizate se menționează metoda descărcării anrocamentelor în apă și metoda executării barajului de anrocamente prin explozii.

Deformațiile barajelor de anrocamente.

Principalii factori care influențează mărirea deformațiilor sunt:

- tipul și poziția elementului de impermeabilizare;
- înălțimea straturilor în care a fost depus materialul din corpul barajului;
- metoda de compactare și compactitatea realizată;
- cantitatea de apă folosită în udarea anrocamentelor;
- forma, dimensiunile, granulometria și proprietățile mecanice ale anrocamentului
- natura fundației și gradul de compresibilitate a acesteia;
- înclinarea versanților;
- variația nivelului apei în lac;
- deformațiile generale ale zonei lacului în urma umplerii acestuia;
- deformații în urma fenomenelor seismice.

Ținând seama de desfășurarea lor, deformațiile pot fi :

- deformații în timpul construcției;
- deformații după terminarea construcției.

Principalele deformații ce apar în timpul construcției sunt datorate atât compresibilității fundației cât și comprimării umpluturii sub greutatea proprie. O mare parte a tasării totale a umpluturii din anrocamente se produce în timpul construcției.

Deformațiile ce apar după terminarea construcției sunt atât tasări cât și deplasări ale coronamentului pe direcția amonte aval și în lungul acestuia.

Principalele deformații apar în primul an de exploatare urmând în linii mari, umplerii lacului după care în timp scad.

Atunci când creșterea anuală a tasărilor reprezintă mai puțin de 0,02% din înălțimea barajului se consideră că barajul a suportat tasarea totală efectivă. Pentru baraje <100 m aceasta este de 0,01 din înălțime

În cazul barajelor de anrocamente foarte înalte tasarea totală este $S = 0,001 H^{2/3}$.

În corpul unui baraj din anrocamente, tasarea maximă a ecranului impermeabil apare la mijlocul înălțimii și este mai mare decât tasarea coronamentului. Deplasarea coronamentului pe direcția amonte–aval apare în special după umplere și reprezintă în medie 50 % din deplasările verticale. Deplasările în lungul coronamentului sunt în general influențate de direcția și ritmul depunerii ca și de înclinarea versanților fiind în general mai mici decât deplasările amonte–aval.

Stabilitatea corpului și a taluzurilor

Barajele de piatră rezista presiunii hidrostatice prin greutatea corpului lor la fel ca barajele de greutate din beton. Barajele de piatră trebuie să fie stabile la alunecare în ansamblu, ca și fiecare taluz în parte. Unghiul de înclinare al taluzurilor este determinat de:

- tipul și înălțimea barajului;
- caracteristicile pietrei folosite și gradul de compactare al materialului
- încărcările care acționează asupra taluzului.

Condiția de stabilitate este dată de relația:

$$k_s \Sigma H = f \Sigma V$$

în care:

k_s – coeficient de siguranță la alunecare

ΣH – suma forțelor orizontale care acționează asupra barajului

ΣV – suma forțelor verticale care acționează asupra barajului

f – coeficient de frecare statică între anrocamente și fundație.

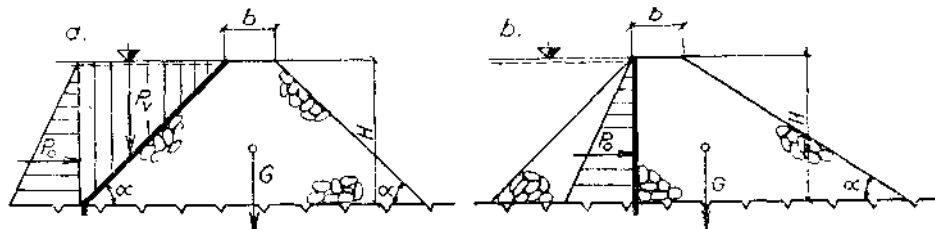


Fig. Scheme pentru calculul de stabilitate la alunecare a barajelor de anrocamente:

a – cu ecran; b – cu diafragmă.

Pentru un baraj cu ecran condiția de stabilitate devine:

$$k_s \frac{\gamma H^2}{2} = f \left[\gamma_1 (H^2 \operatorname{ctg} \alpha + bH) + \frac{\gamma H^2}{2} \operatorname{ctg} \alpha \right].$$

Considerând $k_s=1,5$; $f=0,6$; $\gamma_1=1,8 \text{ t/m}^3$ $b/H=0,06$ se obține o pantă a taluzului în jur de 1:0,5, rezultă că această pantă asigură stabilitatea barajului la alunecare pe un teren stâncos.

La un baraj cu diafragmă, neluând în considerare împingerea anrocamentelor din amonte, condiția de stabilitate devine:

$$k_s \frac{\gamma H^2}{2} = f \gamma_1 \left(\frac{H^2}{2} \operatorname{ctg} \alpha + bH \right).$$

Cu aceleași date se obține $\alpha=1,28$, adică taluzul aval nu trebuie să aibă o pantă mai mare de 1:1,3. Rezultă că barajele cu diafragmă necesită un volum de anrocamente mai mare decât cele cu ecran, pentru că apa nu contribuie la stabilitate prin componenta sa verticală, iar partea din amonte nu participă la stabilitatea la alunecare.

Mai greu de îndeplinit în cazul barajelor de anrocamente este condiția de stabilitate a taluzurilor. Este cunoscut că un material format din granule fără coeziune între ele și aruncat în corpul unei umpluturi, se așează după taluzul natural. Taluzul natural al unui material depinde de mărimea granulelor, de forma lor, de modul de execuție a umpluturii, de înălțimea umpluturii etc. Astfel, taluzul natural al blocurilor de piatră este mai mare decât al pietrișului (granulele fiind mai mari), cel al unei zidarii de piatră așezată este mai mare decât al unei umpluturi de anrocamente (execuția fiind mai îngrijită). O umplutura executată cu taluzuri mai abrupte decât taluzul natural este nestabilă. Taluzul natural al unei umpluturi de piatră este aproximativ 1:1,2 – 1:1,4. Corpul unui baraj din piatră realizat după criteriul taluzurilor stabile este stabil și la alunecarea generală. Se recomandă $\Sigma H/\Sigma V \leq 0,30$

Baraje de pământ

Barajele de pământ reprezintă tipul cel mai vechi de baraj. Există informații despre baraje de pământ construite cu peste două mii de ani în urmă, în Ceylon., folosite pentru irigații. În India, construite în jurul anului 1000, din care unele mai sunt în funcțiune. Cel mai mare a fost Madduk-Masur de 33 m. înălțime, a fost distrus în timpul unei viituri din cauza lipsei evacuatoarelor. În prezent sunt foarte folosite atât în străinătate cât și în țară datorită costurilor avantajoase.

Barajele de pământ sunt construite din nisipuri, nisipuri argiloase, argile nisipoase, argile și pietrișuri. Corpul barajului poate fi constituit dintr-un singur fel de material sau din amestecuri, astfel zonate încât să asigure etanșeitățile și rezistența lucrării. Secțiunea transversală a unui baraj de pământ este de obicei trapezoidală, cu taluzurile (amonte și aval) line, rezultate din condițiile de stabilitate. Barajele de pământ se pot executa practic, pe orice teren de fundație, cu excepția mălurilor foarte curgătoare, a terenurilor cu materiale solubile în apă (ghips, sare etc.) a straturilor groase de turbă sau a rocilor cu proprietăți mecanice extrem de neuniforme.

Principalele tipuri de baraje de pământ fundate pe terenuri impermeabile:

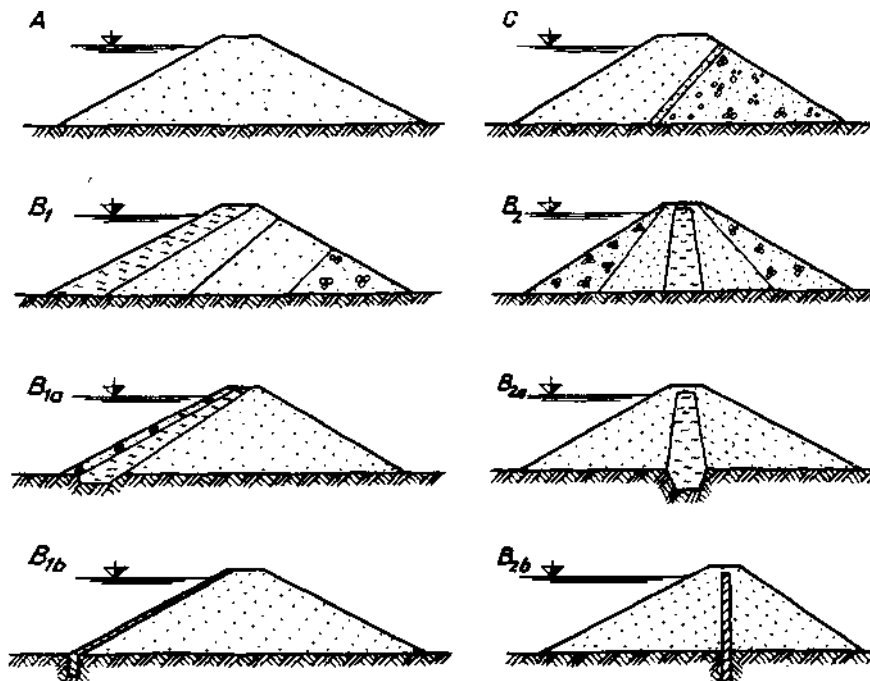


Fig. Tipurile principale de baraje de pământ: A – omogen; B – neomogen;
C – mixt, anrocamente și pământ.

Dacă materialul de umplură este uniform și asigură prin calitățile proprii etanșeitățile și rezistența profilului, barajul este de tip omogen (fig., A). Dacă profilul barajului este realizat din materiale diferite, care asigură etanșeitățile (ecrane sau nuclee de argilă, beton, metal etc.) și respectiv rezistența (nisipuri, pietrișuri), barajul este de tip neomogen (fig., B).

Barajele de pământ neomogene sunt cele mai răspândite, datorită posibilităților largi de a se adapta la condițiile locale. Materialele care compun profilul unui baraj de pământ neomogen se așează într-o anumită ordine. Din acest punct de vedere se disting: baraje alcătuite din mai multe sorturi de materiale cu elementul

de etanșare așezat în amonte, numindu-se în acest caz ecran sau mască (B_1) și baraje cu elementul de etanșare așezat în partea centrală a profilului, numindu-se în acest caz nucleu sau sâmbure (B_2). Barajele neomogene cu ecran pot fi cu ecran plastic, format dintr-un strat de argilă, argilă nisipoasă, sau turbă (B_{1a}), sau ecran rigid din beton, beton armat, lemn sau metal (B_{1b}), aplicate în cazul când materialul este foarte permeabil.

Barajele neomogene cu nucleu pot fi cu nucleu plastic din argila, argila nisipoasă (B_{2a}) sau cu diafragma rigida din beton, beton armat, metal, lemn (fig., B_{2b}), aplicate în aceleași cazuri ca tipul anterior.

Atunci când materialul pentru construcția barajului este parțial pământ și parțial piatra, barajul se numește de tip mixt (fig., C) și este considerat baraj de pământ sau de piatra funcție de materialul cu volumul cel mai mare.

În cazul terenurilor de fundație permeabile, tipurile de baraje menționate se completează cu elementul de racordare al corpului etanș al barajului cu stratul de baza etanș al fundației (fig.).

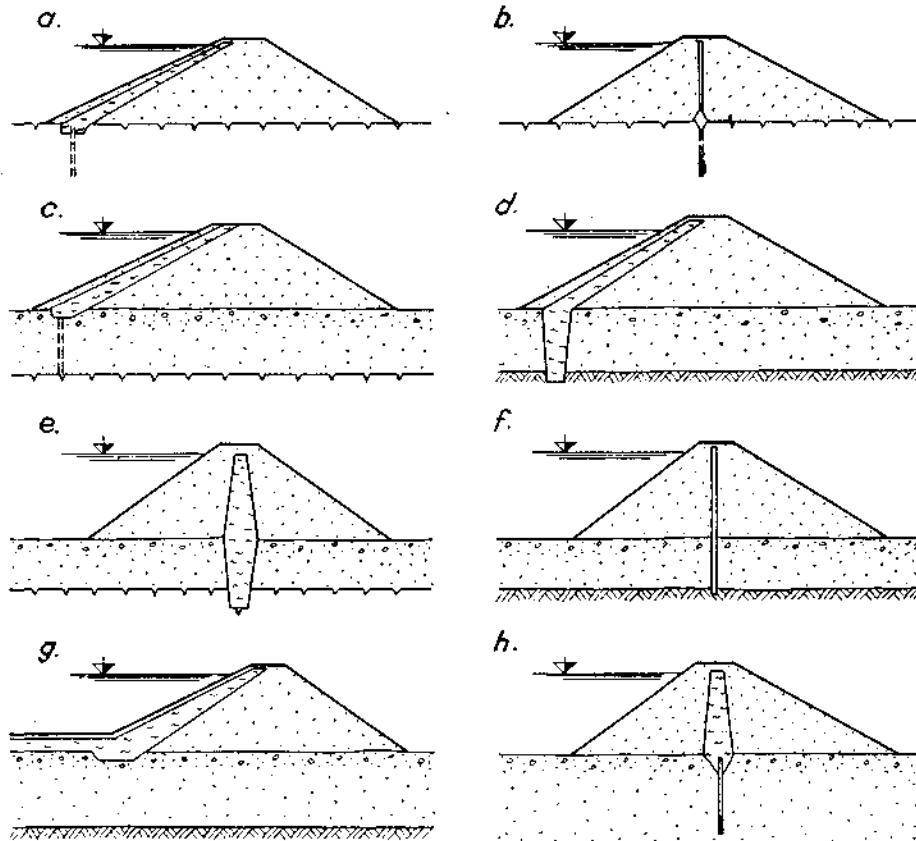


Fig. Tipuri de racordare a etansării barajului cu terenul impermeabil:

a – cu perdea de etanșare; b – cu pînten de beton sau argilă; c, d, e, f – cu prelungirea elementului de etanșare al barajului pînă la stratul impermeabil; g – cu anteradier de argilă; h – cu perete de palplanșe.

În cazul terenurilor de fundație stîncoase, elementul etanș al corpului barajului se racordează cu stîncă printr-un pînten (pana) de beton sau argila (fig., b) executîndu-se, dacă este cazul și o perdea de etanșare prin cimentare, bitumare sau argilizare (fig. a).

În cazul unui teren de fundație nestîncos și permeabil, barajul se racordează cu stratul impermeabil prin prelungirea elementului de etanșare din corpul barajului pînă la stratul impermeabil (fig. c, d, e, f), dacă acesta se găsește la adîncime acceptabilă. În cazul când stratul impermeabil lipsește sau este la adîncime mare, se lungeste drumul de infiltrație al apei în fundație prin executarea unui anteradier (fig., g) sau a unui perete de palplanșe (fig., h).

Un alt element constructiv, caracteristic barajelor de pământ, este reprezentat de dispozitivele de drenaj. Crearea drenurilor în corpul barajului - zone cu materiale de granulație mare și rezistență foarte mică la infiltrație are scopul de a atrage curentul de infiltrație, micșorînd zona saturată cu apa din corpul barajului și mărind astfel stabilitatea taluzurilor.

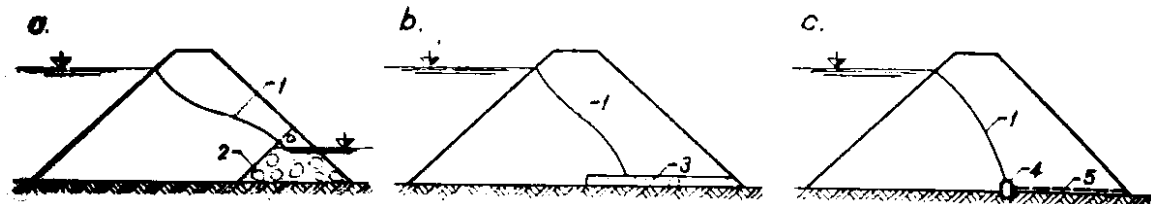


Fig. Scheme de drenare a barajului

a – cu prisn de drenaj; b – cu saltea de drenaj; c – cu drenaj tubular; 1 – curbă de infiltrație; 2 – prism de bolovani; 3 – saltea de nisip și pietriș; 4 – galerie longitudinală cu barbacane; 5 – conducte transversale de evacuare.

Funcție de existența sau absența drenurilor, barajele de pământ se clasifică în baraje drenate și baraje nedrenate.

După modul de punere în opera a1 materialului de umplutura se deosebesc:

- baraje cilindrate, executate prin așternerea unor straturi de pământ cu o anumită umiditate, care apoi se compactează prin cilindrare sau batere;

- baraje sedimentate hidraulic, la care transportul și îndesarea materialului se realizează prin procedee hidraulice;

- baraje mixte, la care nucleul se execută prin sedimentare, iar părțile laterale prin cilindrare.

Condiții de stabilitate

Un baraj de pământ trebuie să îndeplinească următoarele condiții principale pentru a fi stabil:

- să nu existe pericolul de deversare a apelor peste coronament;
- curba de depresiune să fie situată cât mai jos posibil și în interiorul paramentului aval;
- paramentul amonte să fie stabil la scăderea brusca a nivelului în lac;
- pantele taluzurilor să fie stabile, cu un coeficient de siguranță satisfăcător în orice ipoteză;
- taluzurile amonte și aval să fie suficient de line, astfel ca eforturile provocate de umplutura în fundație să fie mai mici decât cele de care aceasta este capabilă, asigurându-se un coeficient de siguranță satisfăcător;
- să nu existe posibilitatea de trecere liberă a apei din amonte spre aval;
- să se asigure pe parcursul curentului de infiltrație viteze suficient de reduse pentru a nu se antrenă materialul din care se compune barajul sau fundația lui;
- paramentul amonte să fie bine protejat împotriva acțiunii valurilor, iar cel aval împotriva acțiunii ploilor;
- presiunea apei din pori în timpul construcției barajului și la goliri bruște ale lacului să fie mai mică decât valorile care ar periclita stabilitatea lucrării.

Avariile barajelor de pământ

Principala cauză (50,5 %) a avariilor barajelor din materiale locale este deversarea apelor peste coronament în timpul execuției sau în timpul exploatării (evacuatori insuficient dimensionați). Alte cauze: infiltrațiile prin corpul barajelor, sufoziile și afuierele (15,5 %), alunecările taluzurilor și tasările mari care produc fisuri periculoase (13,5 %), ca și infiltrațiile pe lângă conductele ce traversează barajul (10 %). Perioada cea mai periculoasă este primul an după construcție.

Condiții de amplasare.

Sursele de material pt. b.p. este bine să se găsească la o distanță de 2-3 km. Uneori poate ajunge funcție de posibilitățile de transport la distanțe mai mari (15km). Se pot utiliza orice fel de pământuri cu excepția celor care conțin materiale organice mai mult de 3-6%. Trebuie evitate pământurile nisipoase fine, argile foarte umede și plastice.

Condiții geologice

Barajele de pământ se pot construi practic pe orice teren de fundație. Totuși, terenurile de fundație slabe și măsurile de consolidare insuficiente pot cauza prăbușirea unui număr mare de baraje de pământ. În cazul fundațiilor stâncoase, pofilele barajelor nu depind decât de natura pământurilor de umplutura. O atenție deosebită se acordă stării de fisurare a rocilor și posibilității de etanșare a acestora prin injecții. Dacă adâncimea la care se găsește stratul impermeabil este mică, etanșarea fundației se execută decaparea stratului permeabil și înlocuirea lui cu material impermeabil, iar dacă adâncimea este mare, etanșarea se realizează printr-un voal injectat sau printr-un perete continuu. Dacă roca impermeabilă se găsește la adâncime foarte mare, sunt necesare soluții speciale. Sunt studiate condițiile geologice și în jurul amplasamentului și în zona lacului.

Condiții morfologice

Corpul unui baraj de pământ se adaptează la orice formă de vale, relieful acesteia influențând soluțiile asupra deversorilor, uneori scumpind construcția. În privința formei în plan se recomandă o ușoară curbură concavă spre aval, pentru a limita pericolul apariției fisurilor la paramentul aval.

Condiții climatice

În regiunile cu ierni grele sunt de preferat materialele necoezive pentru umplutura și ecranele rigide, evitându-se folosirea argilei. Pe aceasta cale se asigură o oarecare continuitate în execuție, nefiind necesare opriri de lungă durată. Aceleași materiale se folosesc și în regiunile cu precipitații dese, deoarece compactarea este puternic influențată de umiditatea materialului de compactat. Hidromecanizarea este mai puțin influențată de condițiile climatice decât metoda prin compactare.

Tratarea terenului de fundație

Dacă există terenuri mai slabe se pot utiliza următoarele metode de remediere:

- îndepărtarea stratului necorespunzător
- micșorarea pantei taluzurilor cu efect: micșorarea sarcinilor pe teren
- tratarea fundației prin modificarea umidității și densității pentru a se reduce compresibilitatea
- micșorarea ritmului de construcție pentru ca terenul să se poată consolida
- pentru terenurile nisipoase afânate se utilizează vibrarea concomitent cu injecții de apă
- terenurile argiloase aflate sub pânza freatică se consolidează prin amplasarea de drenuri, în aval de baraj, pe toată suprafața de fundație între corpul barajului și fundație.

Etanșarea terenului de fundație

În cazul în care fundația unui baraj de pământ este constituită din materiale permeabile, se impun măsuri speciale de etanșare a acestora. Acțiunea de antrenare a materialului din terenul de fundație se combate prin

- executarea unui strat filtrant în aval și sub corpul barajului;
- executarea unor puțuri filtrante în aval de baraj;
- etanșarea fundației.

Deoarece primele două măsuri evita numai antrenarea materialului, dar măresc debitul infiltrat, de obicei se adoptă ultima soluție, iar primele două se folosesc ca măsuri suplimentare de siguranță.

Radiere amonte (stratul impermeabil se găsește la adâncime mare)

Se execută din același material ca elementul de etanșare al corpului barajului, cu care face corp comun. Efectul de reducere a infiltrației este datorat lungirii drumului pe care îl parcurge apa. Aceasta trebuie să fie 6-8-10 H, H= înălțimea retenției. Grosimea radierului $d=0,6+1/100$ sau 0,6 - 3 m, l = lung. radier. Se iau măsuri suplimentare de drenare a suprafeței de contact baraj-teren.

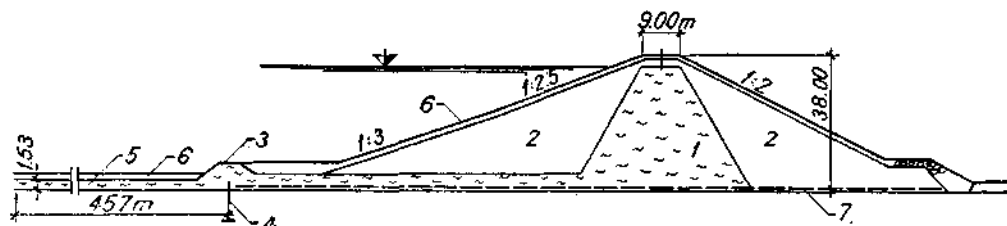


Fig. Etanșare cu anteradiet de argilă la barajul John Martin:

1 — nucleu de argilă; 2 — material permeabil; 3 — batardou amonte; 4 — palplanș; 5 — anteradiet de argilă; 6 — anrocamente de protecție; 7 — drenaj.

Când stratul impermeabil este situat la o adâncime până la 15 - 30 m o soluție sigură de etanșare se realizează prin executarea unei tranșee până la acest strat, care apoi este umplută cu material etanș (beton, argila, gelbeton). Alegerea materialului de etanșare depinde de natura stratului de baza și de economicitatea soluției. Pintenii sau ecranele de beton și beton armat se execută pe roci sănătoase. Întotdeauna, la alegerea unei astfel de soluții trebuie luat în considerare pericolul tasărilor inegale ale fundației pintelui, care pot produce fisurarea acestuia. Se acceptă adâncimi maxime ale pintelui realizați astfel de 10 - 15 m, s-au realizat și mai mari.

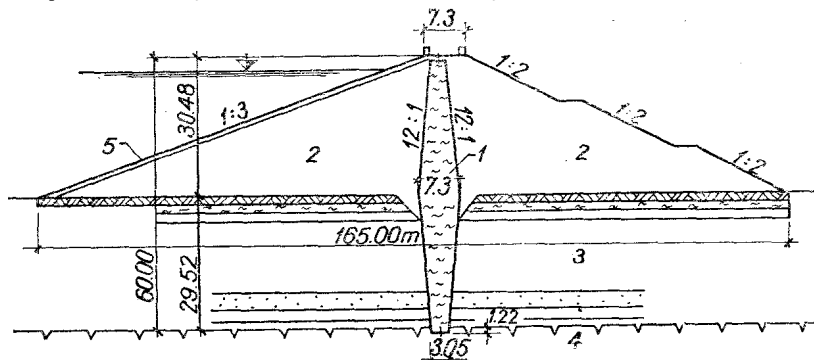


Fig. Etanșare cu pintelă de argilă la barajul Yarow:

1 — nucleu și pintelă de argilă; 2 — material aluvionar; 3 — zone diferite de material permeabil; 4 — rocă impermeabilă; 5 — protecție cu piatră.

Ecrane din chesoane sau piloți

Se folosesc la etanșarea terenului de fundație atunci când roca impermeabilă se găsește la adâncimi foarte mari. Chesoane până la ~ 60 m, piloți ~ 45m

Ecrane din palplanșe

Reprezintă soluția cea mai economică și permit o adaptare ușoară la orice tip de etanșare folosit pentru corpul barajului. Nu pot fi bătute în terenuri cu bolovani mari. Pentru siguranță se pot executa două rânduri de palplanșe la 3 - 4 m, spațiul dintre ele se injectează cu suspensie de ciment sau argilă.

Ecrane injectate - se aplică în general la terenurile stâncoase, însă uneori se aplică și la pământurile permeabile. Pot apărea dificultăți datorită volumului de goluri mult mai mare, suspensia răspândindu-se în zone nedorite; dacă există un curent de apă subteran, acesta o spală. Suspensia folosită: argilă, ciment, produși chimici (silicați), produși bituminoși.

ETANSAREA CORPULUI BARAJULUI

În cazul barajelor neomogene elementul de etanșare al corpului barajului poate fi așezat în amonte, numindu-se în acest caz ecran sau masca de etanșare, sau în centrul profilului, numindu-se în acest caz nucleu, sâmbure, sau diafragmă.

Soluția cu ecran de etanșare prezintă următoarele avantaje:

- permite o mărire a înclinării taluzului aval deoarece tot corpul barajului lucrează ca element de rezistență uscat; asigurarea stabilității prismului amonte în special la golirea rapidă a lacului, impune așezarea unei supraîncărcări pe ecran, ceea ce conduce la o mărire a volumului de material din amonte;

- permite o execuție independentă a corpului barajului față de elementul de etanșare; această așezare a ecranului este aleasă în special în țările unde din cauza climatului execuția ecranului necesită întreruperi.

Dezavantaje:

- elementul de etanșare este supus unei degradări în timp, fiind mai sensibil la tasări datorită condițiilor speciale de lucru; el necesită reparații periodice;

- deoarece la o coborâre bruscă a nivelului în lac trebuie asigurată drenarea rapidă a apei infiltrate în corpul barajului, sunt necesare măsuri speciale de drenaj;

- datorită înclinării ecranului, crește consumul de material de etanșare față de soluția cu nucleu central;

- elementul de etanșare fiind mai expus, poate fi distrus, având consecințe grave asupra stabilității generale a barajului;

- presiunea pe zona de contact între ecran și suprafața de fundație este mai mică și de aceea rezistența la alunecare și infiltrație este mai redusă.

Soluția cu nucleu de etanșare prezintă următoarele avantaje:

- întregul baraj lucrează la acțiunea sarcinilor exterioare în condiții mai bune, fiind alcătuit simetric față de nucleu;

- deoarece calitatea materialului din nucleu este mai puțin importantă pentru asigurarea stabilității generale, volumul nucleului poate fi variabil în funcție de condițiile locale: limitarea volumelor de argilă mărește însă economia construcției și reduce durata de execuție;

- nucleul are cea mai mică suprafață de contact cu fundația, dar greutatea sa alicându-se normal pe suprafața se creează în zona o aderență mult mai bună și o filtrație mai redusă;

- pantele exterioare ale prismelor laterale pot fi mai abrupte, acestea depinzând exclusiv de rezistența la forfecare a materialului folosit; de aceea volumul total al barajelor cu sâmbure central este mai redus.

Soluția cu nucleu de etanșare prezintă însă următoarele dezavantaje:

- nucleul împarte barajul în două zone distincte cu problemele de execuție și de comportare respective; execuția nucleului și a prismelor laterale, trebuie să fie concomitentă nefiind posibile decât decalaje mici între niveluri;
- în cazul necesității unui voal de etanșare sub nucleu, acesta trebuie realizat înainte de începerea umpluturii la baraj sau prin intermediul unei galerii.

Din punctul de vedere al caracteristicilor elastice, elementele de etanșare se grupează în următoarele clase:

- etanșări elastice, formate din argila, covoare bituminoase etc.;
- etanșări semielastice, formate din tola metalică, beton bituminos, beton de pământ;
- etanșări rigide, formate din beton, beton armat, diafragme metalice.

Cele mai indicate pentru barajele de pământ sunt etanșările elastice, care pot prelua deformațiile uneori mari ale corpului barajului. Folosirea ecranelor sau diafragmelor rigide este condiționată de posibilitatea încastrării la baza într-o roca sănătoasă.

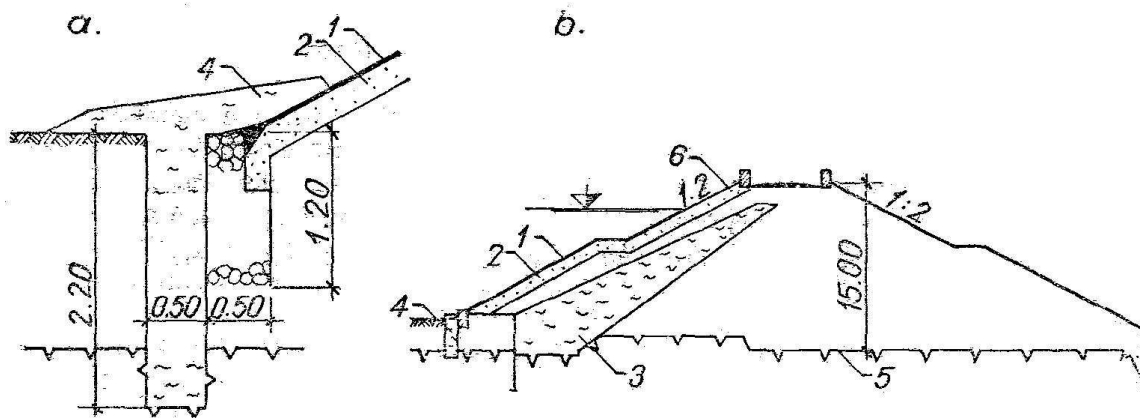
Din punctul de vedere al materialului de construcție folosit, elementele de etanșare se grupează în următoarele categorii:

- etanșări din pământ natural;
- etanșări din beton de pământ (sau hydraton);
- etanșări din beton sau beton armat;
- etanșări metalice;
- etanșări din materiale bituminoase;
- etanșări din folii de diverse materiale.

Etanșări din pământ natural

Materialul cel mai folosit este argila, fiind o soluție bună și economică dacă se găsește în apropierea barajului. Se consideră bune în acest scop pământurile care îndeplinesc anumite caracteristici de granulozitate, plasticitate, permeabilitate, să nu conțină humus, rădăcini, săruri solubile.

Grosimea ecranului sau sâmburelui de argila depinde de calitatea materialului întrebuințat și de înălțimea barajului. În cazul unui ecran, grosimea la partea superioară este 0,75 ...1,00 m, iar la baza $1/4 \dots 1/8$ din înălțimea barajului. Deoarece un ecran de argila dispus pe taluzului amonte poate fi ușor spălat de apă, se prevede acoperirea lui cu un strat de protecție.



Etanșare corp baraj Ameker: a – detaliu; b – secțiune; 1 – strat asfalt; 2 – strat pietriș; 3 – ecran argilă; 4 – pînă; 5 – teren impermeabil; 6 – înierbare.

Argila, ca material de etanșare al corpului, barajului, se așează mai frecvent în centrul secțiunii, ca nucleu sau sâmbure.

Grosimea nucleului la partea superioară se alege de (1... 3) m, funcție de înălțimea barajului, grosimea la bază are valori de $(1/3 \dots 1/4)$ H baraj. Sunt și cazuri speciale când grosimea la bază a sâmburelui atinge $1/1$ chiar $1/1,5$ H baraj.

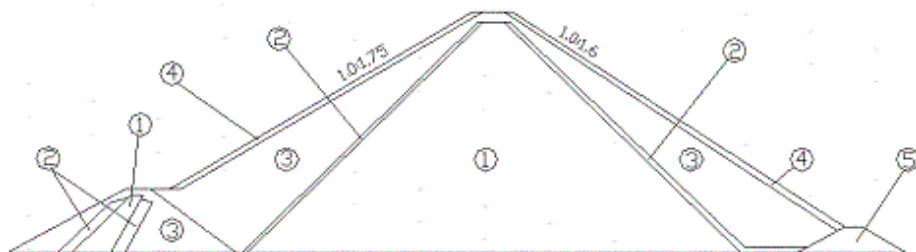


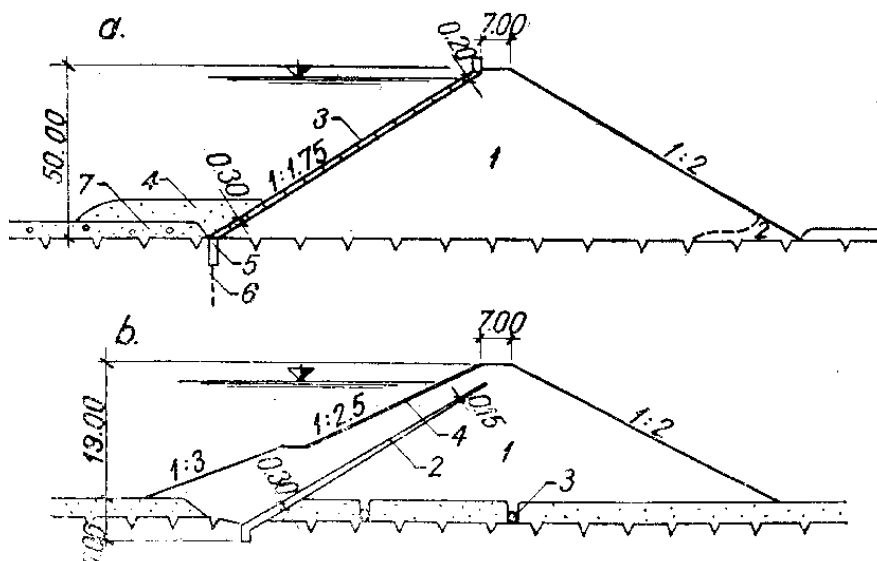
Fig. Etanșare cu nucleu de argilă: 1 – nucleu de argilă; 2 – filtru; 3 – umplutură; 4 – parament; 5 – prism drenaj

Etanșări din beton de pământ

În cazul când în cariera nu se găsește materialul argilos necesar pentru etanșare de calitate și cantitatea corespunzătoare, se recurge la amestecarea pământurilor. Pământurile se amestecă în betoniere, realizând astfel un beton de pământ etanș.

Etanșări din beton și beton armat

Etanșările din beton și beton armat se folosesc sub forma de ecrane la barajele cu tasări ulterioare mici. Ecranele de etanșare realizate din beton simplu nu prezintă siguranța la fisurare și de aceea nu se recomandă. Chiar atunci când se folosește betonul armat, se recomandă aplicarea acestei soluții numai la baraje de înălțime mică, la care eventuale scăpări de apă prin rosturi sau crăpături nu provoacă ruperea barajului. Lucrul acesta este valabil pentru baraje la care umplutura este alcătuită din nisip și pietriș, care lucrează ca un dren.



a) 1-pietriș+nisip, 2-umplutură piatră, 3-pereu beton armat, 4-umplutură pământ, 5-vatră, 6-injecții cu ciment, 7-aluviuni; b) 1-umplutură pământ, 2-etanșare b.a., 3-tuburi dren, 4-protecție anrocamente

Grosimea ecranului la partea superioară se recomandă 15 ... 20 cm, crescând cu 5 cm pentru fiecare 25 m înălțime. Armarea plăcilor se face cu o rețea de oțel-beton cu diametre de 15 ... 20 mm la 30 ... 50 cm distanță. Dimensiunea maximă a plăcilor se ia de 2,5 ... 3,5 m când se aplică rosturi simple etanșate cu bitum, sau 5 - 7 m, dacă se execută rosturi etanșate cu tolă. Sub plăci se execută un strat drenant de nisip și pietriș. Pentru protecție placa b.a se dispune uneori în interiorul secțiunii.

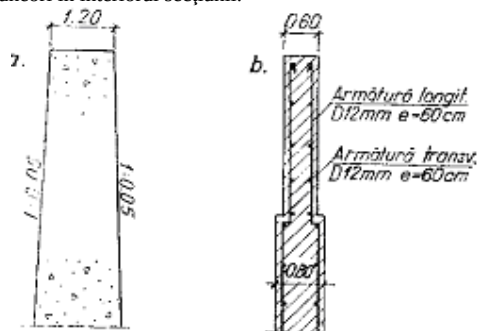


Fig. Diafragme de etanșare:
a – beton simplu; b – beton armat

Betonul și b.armat se folosesc mai des sub formă de sămburi sau diafragme de etanșare. Grosimea acestuia se recomandă: bet. simplu: sus 0,5 - 1,2, jos 0,1 - 1:6 H; bet armat: sus 0,3 - 0,5, jos 0,1 - 1:15 H.

Armarea se face cu o.b. ϕ 12 - 15 mm la distanță 40 - 60 cm. Rosturile sunt la 15 - 25 m distanță, umplute cu bitum. Fixarea rigidă de soclu se admite pentru $H < 30$ m.

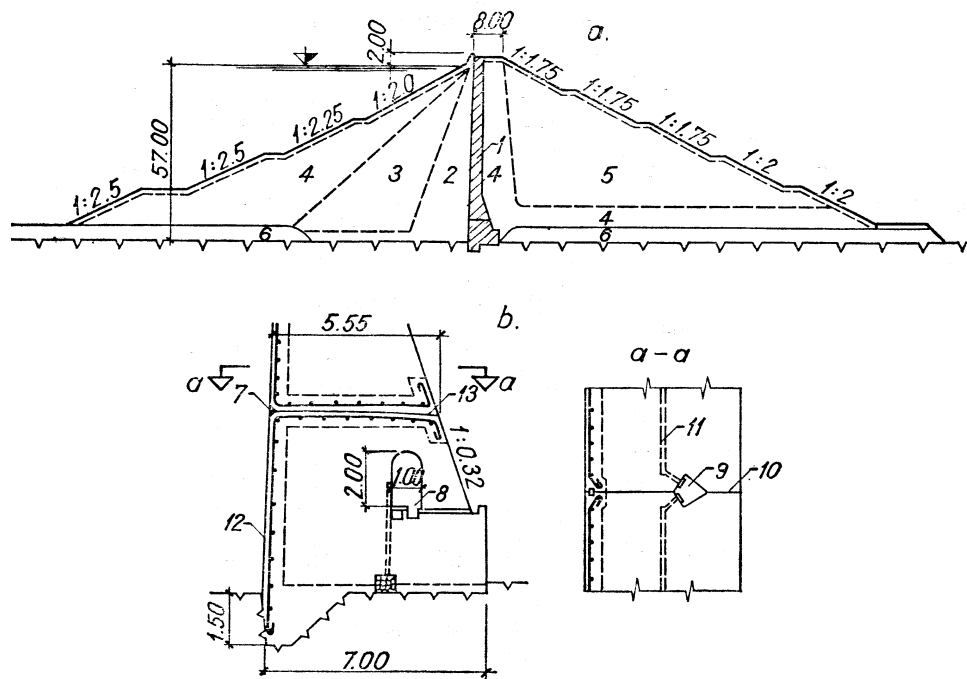
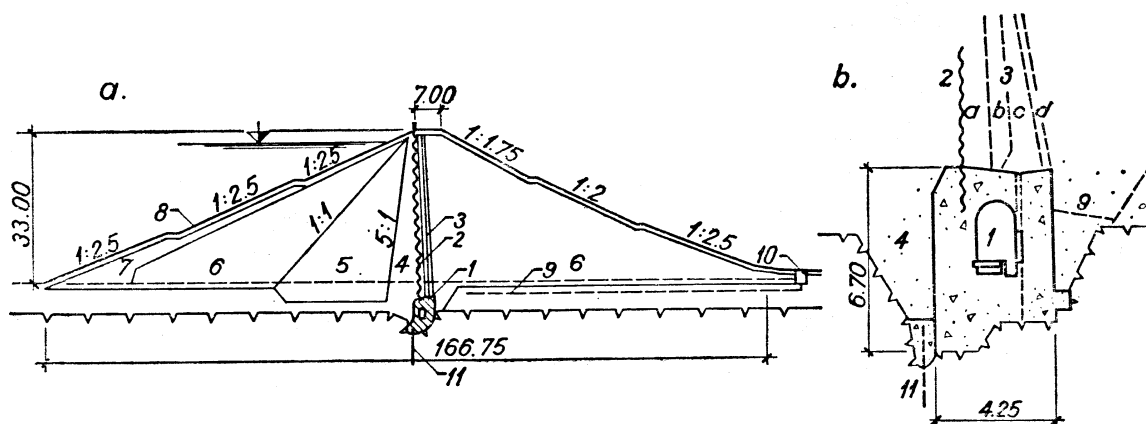


Fig. Diafragma de beton la barajul Söse:

a – secțiune transversală; b – detaliu diafragmă; 1 – diafragmă beton armat; 2 – argilă; 3 – argilă cu piatră; 4 – balast; 5 – material eterogen; 6 – pământ; 7 – pană plumb; 8 – galerie; 9 – puț vizitare; 10 – rost vertical; 11 – tub dren; 12 – torcret; 13 – rost orizontal.

Etanșări metalice

Sunt mai puțin aplicabile (pe taluzul amonte) la b. p. datorită suprafețelor mai mari. Tola trebuie prevăzută cu rosturi de dilatație și protejată împotriva ruginii. Când etanșarea se realizează dintr-o diafragmă metalică, la bază aceasta se racordează la un soclu de beton armat.



Diafragma metalica la barajul Bever:

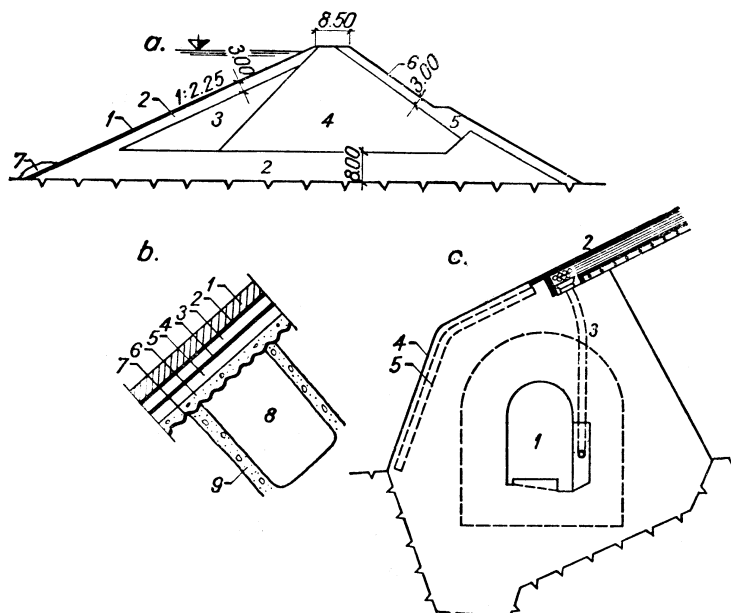
a – sect. transversala; b – detaliu soclu si diafragma; 1 – soclu beton si galerie; 2 – tabla ondulata; 3 – filtru invers; 4 – argila; 5 – argila cu piatra; 6 – material permiable; 7 – anrocamente; 8 – pereu piatra; 9 – tub drenaj; 10 – put observatie; 11 – perdea injectii

Etanșări din materiale bituminoase

Asemenea etanșări se aplica pe taluzul amonte sub forma de ecrane sau covoare bituminoase. La barajele de mica înălțime se pot folosi simple covoare asfaltice flexibile, care sunt foarte etanșe. Principalul dezavantaj consta în îmbătrânirea lor în timp, acest fenomen fiind mai intens în zona de nivel variabil a apei din lac.

Etanșări din folii

În practica etanșarea cu folii din materiale plastice s-a aplicat în ultimii ani. Cele mai utilizate sunt foliile de polietilena sau de vinilin sau polipropilenă. Ele trebuie să fie impermeabile rezistente negelive chimic inerte stabile la acțiunea căldurii și luminii și capabile de lipituri rezistente între ele. Se folosesc atât ca izolații provizorii (de exemplu la umpluturi de baraje care trebuie ferite de precipitații atmosferice) cât și ca izolații definitive. Pentru izolații definitive folia trebuie să fie de minim 0,1 mm.



Ecran de beton bituminos la barajul Genkeltal: a - secțiune transversală; 1 - ecran; 2 - piatra mare; 3 - piatra;
4 - material de umplutura; 5 - pamint si piatra; 6 - brazde de iarba; 7 - etansare cu argila; b - detaliu de ecran; 1 - beton armat;
2 - bitum; 3 - beton asfaltic; 4 - bitum; 5 - beton asfaltic; 6 - beton poros; 7 - mortar de ciment; 8 - piatra de zidarie;
9 - mortar de ciment; c - detaliu de racord ecran - pinte; 1 - galerie de vizitare; 2 - ecran; 3 - tub de drenare; 4 - protectie de bitum;
5 - gamitura de etansare.

Detalii constructive

Coronamentul se consolidează cu îmbrăcăminți (asfalt, pavaje, împietruire) corespunzătoare tipului de drum ce îl traversează. Latimea este cea necesară unui drum sau: $b = 1,65 \sqrt{H}$; $b = 1,1 \sqrt{H} + 1$

Taluzurile se protejează împotriva înghețului, a eroziunii valurilor, apei de infiltrație sau apei de ploaie și împotriva vântului. Taluzul amonte se acoperă în mod obișnuit cu anrocamente în vrac sau cu un pereu de piatra bruta. Acolo unde piatra se găsește la distanțe mari se execută pereuri de beton simplu sau armat. Stratul de protecție se așază pe un strat filtrant, astfel ca să nu fie posibilă antrenarea particulelor fine din masiv. Grosimea stratului de anrocamente în vrac depinde de înălțimea valurilor și de taria înghețului. După unele recomandări grosimea stratului de anrocamente este:

$$t = 1,36 \sqrt{\frac{Q}{\gamma_p}}$$

unde:

t - grosimea stratului de anrocamente, în m;
Q - greutatea medie pe bucata a pietrelor din strat, în kg;
 γ_p - greutatea specifică a pietrei, în kg/m³.
Grosimea stratului filtrant se calculează cu formula:

$$d = (0,20 \dots 0,25) t.$$

Asupra greutateții medii a pietrelor, se recomandă:

$$Q = 11 (2h)^3 \text{ (kg)},$$

unde 2h este înălțimea valului, în m.

Greutatea minimă și maximă a pietrelor folosite trebuie să respecte relația:

$$2Q_{\min} \geq Q_{\text{mediu}} \leq Q_{\max}/2$$

Pereurile de beton se execută din blocuri sau plăci din beton simplu, bet. armat sau beton poros.

Pereurile din plăci se execută din dale prefabricate de 1,5...3 x 3 m și plăci monolite cu dimensiunea de până la 20 x 20 m. În toate cazurile sub plăci se prevede un strat filtrant de nisip și pietriș. Plăcile sunt prevăzute cu barbacane. Dacă taluzul aval este supus acțiunii apelor se protejează similar.

Filtre și drenuri.

Se așază în mod diferit după funcțiunea pe care o îndeplinesc. Cele dispuse în treime aval al barajului au rolul de a coborî linia de infiltrație. Uneori se amplasează pe taluzul amonte pentru a-l proteja de coborârea bruscă a apei în lac. Așezarea stratului filtrant de o parte și de cealaltă a nucleului previne spălarea materialului din acesta, dacă se amplasează între fundație și baraj contribuie la consolidarea mai rapidă a terenului de fundație.

Pentru a îndeplini aceste funcții trebuie să aibă o permeabilitate mare și să nu permită antrenarea particulelor fine. Se pot realiza cu granulozitate uniformă sau neuniformă, cu anumite rapoarte între dimensiunile particulelor din filtru și cele ale stratului de bază, diferite pentru cele alcătuite din paticele colțuroase și cele alcătuite din paticele rotunjite.

Din condiții constructive, grosimea minimă a stratului drenant este 25 cm. Se realizează obișnuit din mai multe straturi cu recomandările anterioare.

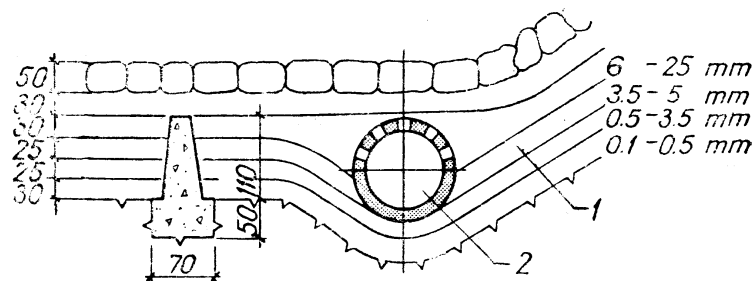


Fig. Filtru tip Terzaghi la barajul de anrocamente Bou-Hanifia:

1 — straturi filtrante; 2 — conducta de drenaj.

La baza taluzului aval filtru se oprește și reazemă în general pe o prismă de drenaj din piatră. Înălțimea ei este 0,15 - 0,25 din H baraj.

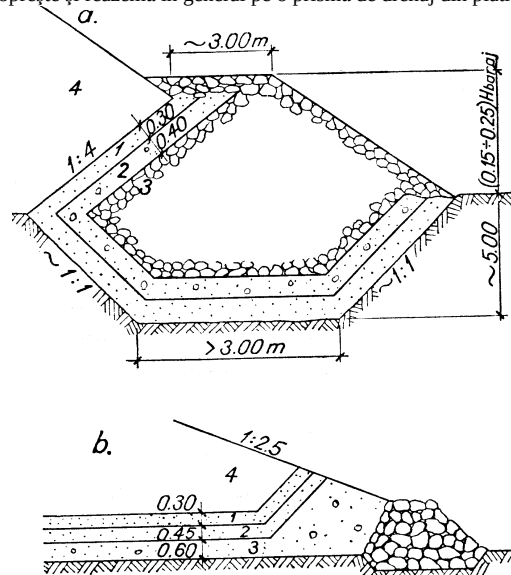


Fig. Alcătuirea prisme de drenaj la piciorul aval al barajului :

a - când există piatră; b- când piatra este deficitară; 1- nisip fin ($k = 750 \cdot 10^{-4}$ cm/s);
2 - nisip mare ($k = 1250 \cdot 10^{-8}$ cm/s); 3 - pietriș; 4- corp baraj.

Când cantitatea de apă colectată este mare se evacuează cu niste tuburi metalice.

Racordarea barajului cu terenul de fundație și cu malurile

Aceasta racordare are rolul să asigure un contact etanș între corpul barajului de pământ și fundație, respectiv între el și maluri. În acest scop, în mod obligatoriu se îndepartează de pe toată ampriza barajului stratul de pământ vegetal, strabatut de rădăcini și resturi vegetale, afinat și foarte permeabil, adâncimea acestui strat fiind de obicei de 0,30 ...1,00 m. Prelucrarea suprafeței de contact se face sub forma de trepte inclinate, pentru ușurarea execuției. Trebuie acordată o mare atenție racordării elementului etanș din corpul barajului cu zona impermeabilă din mal, pentru a preveni infiltrațiile.

Racordarea barajului cu celelalte construcții

Legăturile dintre barajul de pământ cu celelalte construcții reprezintă puncte slabe care favorizează infiltrațiile. De aceea la aceste racorduri se prevăd întotdeauna diafragme sau pereți care lungesc drumul apelor de infiltrație. Acești pereți se leagă de construcția de beton fie monolit fie cu ajutorul unui rost etanș care asigură posibilitatea tasării independente a diferitelor părți ale construcției.

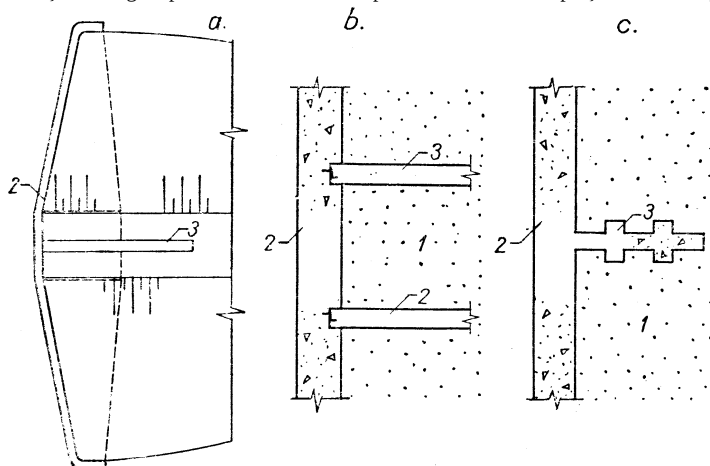


Fig. Legătura barajelor de pământ cu alte construcții:
a - vedere în plan; b, c - secțiuni orizontale; 1- corp baraj de pământ; 2 - zid de sprijin; 3- diafragme.

Dacă barajul este prevăzut cu un ecran din materiale plastice se recomandă ca ecranul să fie transformat treptat înainte de racord în sămbure, deoarece racordarea cu un ecran înclinat prezintă mai puțină siguranță.

Zidurile elementului cu care se racordează barajul de pământ se recomandă să fie înclinate (panta 10:1), pentru ca pământul de umplutura să fie presat pe suprafața zidurilor, obținându-se un contact mai eficient.

Calculul infiltrațiilor

Calculul infiltrațiilor prin barajelor de pământ are ca scop:

- determinarea curbei de infiltrație și
- determinarea debitului infiltrat

Practic infiltrația se calculează cu metode hidraulice, bazate pe ipoteze simplificatoare, care asigură o precizie satisfăcătoare pentru calcule ingineresti.

Se folosesc legea lui **Darcy** și relația lui **Dupuit**

-legea lui **Darcy** - $v = k i = k j$; $j = i = \frac{\Delta H}{L}$ = panta hidrolică

k = coeficient de permeabilitate sau de filtrație este funcție de natura materialului. El se determină experimental și are următoarele valori:

$k = 10^{-7} - 10^{-10}$ cm/s ptr. argilă

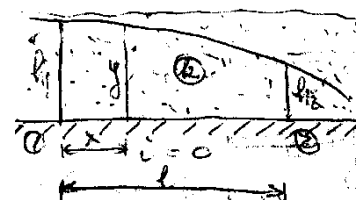
$k = 10^{-1} - 10^{-4}$ cm/s ptr. nisipuri

$k = 10^{-1} - 10^{-1}$ cm/s ptr. pietrișuri

$Q = A \cdot v = A k j$ unde v = viteză aparentă de infiltrație

$q = Q / b$ = debit specific

- relația lui **Dupuit** - pentru infiltrație cu suprafață liberă



(vezi hidrolică...)

$$q = \frac{k}{2l} (h_1^2 - h_2^2)$$

$$q = \frac{k}{2x} (h_1^2 - y^2) \Rightarrow y = \sqrt{h_1^2 - \frac{2qx}{k}}$$

STABILITATEA TALUZURILOR

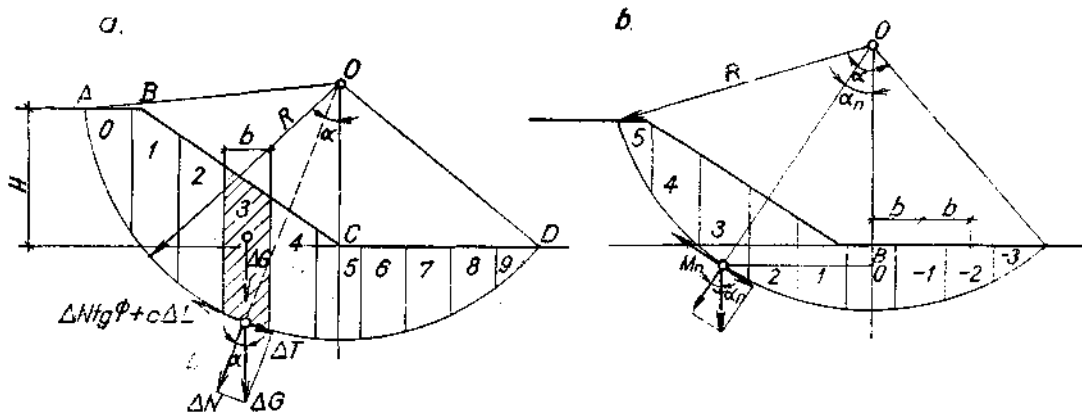
Condiția clasică de stabilitate la alunecare sub efectul forțelor orizontale nu mai reprezintă o condiție de dimensionare a barajelor de pământ, această condiție fiind întotdeauna îndeplinită datorită greutatei mari a unui asemenea baraj. Ceea ce determină profilul barajului este condiția de stabilitate la alunecare a taluzurilor. Pentru ca un taluz să fie stabil, trebuie ca forțele care tind să producă alunecarea să fie preluate de rezistența la tăiere a materialului pe suprafața de alunecare considerată.

Forțele care se iau în considerare sunt identice cu cele de la celelalte tipuri de baraje: greutatea masivului, presiunea apei, presiunea valurilor și a gheții, forțele de infiltrație din masiv, subpresiunile, forțele capilare, forțele datorite cutremurului.

Suprafețele de alunecare se consideră de obicei de formă cilindrică circulară, spirală logaritmică, poligonală etc. Pentru taluzurile barajelor de pământ, stabilitatea la alunecare se verifică după suprafețe cilindrice circulare, procedeul fiind cunoscut sub denumirea de metoda suedeză.

Verificarea la alunecare pe suprafețe cilindrice circulare

Se consideră (fig.) o porțiune de arc de cerc AED, cu centrul în O, care reprezintă suprafața pe care taluzul tinde să alunece, împărțită în fișii verticale de lățime egală. Se aproximează că împingerile laterale care acționează asupra unei fișii se echilibrează între ele și deci se reduc. În această ipoteză greutatea proprie AG a unei fișii oarecare se descompune în punctul de intersecție cu suprafața de alunecare într-o forță tangențială Ar



Calculul stabilității taluzurilor a – descompunerea forțelor; b – schemă simplificată.

și o forță normală AN. Forțele tangențiale Ar tind să producă alunecarea. Forțele care se opun sunt forțele de frecare $AVV \tan \phi$ și de coeziune $c \Delta L$ (ϕ este unghiul de tăiere și c coeziunea terenului supus alunecării, iar ΔL lungimea arcului de cerc corespunzătoare fișiei).

Din raportul între momentul forțelor de frecare și momentul forțelor tangențiale active din toate fișiile în raport cu centrul cercului de alunecare, se obține coeficientul de siguranță la alunecare al prismului considerat.

Coeficientul de siguranță la alunecare K de-a lungul arcului AED al masivului ABCDE va fi:

$$K = \frac{\sum \Delta N \operatorname{tg} \Phi + \sum c \Delta L}{\sum \Delta T} = \frac{\sum \Delta G_n \cos \alpha_n \operatorname{tg} \Phi + \sum c \Delta L}{\sum \Delta G_n \sin \alpha_n}.$$

De remarcat că forțele AT din dreapta verticalei ducă din centrul de alunecare O măresc stabilitatea, numitorul fiind o sumă algebrică.

Pentru coeficientul de siguranță se ajunge la aceeași expresie și scriind momentele forțelor de alunecare și de stabilitate față de centrul de alunecare.

Pentru simplificarea calculului se recomandă [2] ca fișiile să se împartă astfel

Rca lățimea lor să fie: $b = R/m$ ($m = 10 \dots 20$ și R raza cercului de alunecare), iar

dispoziția lor să fie simetrică în raport cu verticala care trece prin centrul cercului de alunecare (fig. b). Din triunghiul BOMn se poate scrie:

$$\sin \alpha_n = \frac{nb}{R} \quad \text{și} \quad \cos \alpha_n = \sqrt{1 - \frac{n^2}{m^2}},$$

w fiind numărul de ordine al fișiei.

Expresia coeficientului de siguranță devine:

$$K = \frac{\sum \Delta G_n \sqrt{1 - \frac{n^2}{m^2}} \operatorname{tg} \Phi_n + \sum c \Delta L_n}{\sum \Delta G_n \frac{n}{m}}.$$

Dacă terenul este neomogen se introduc în calcul valori diferite pentru y , 0 sau c , de-a lungul cercului de alunecare. În terenurile argiloase, din cauza forțelor de tensiune de la partea superioară a taluzului, apar fisuri de care trebuie să se țină seama la evaluarea forțelor de coeziune și frecare. Se recomandă să se considere aceste fisuri ca existente pe aproximativ $1/3$ din înălțimea taluzului.

Coeficientul de siguranță care se admite în calcule după literatura sovietică este:

$K = 1,30 \dots 1,40$ pentru baraje de clasa I de importanță;

$K = 1,25 \dots 1,30$ pentru baraje de clasa a II-a de importanță;

$K = 1,20$ pentru baraje de clasa a III-a de importanță.

În cazul când nu se ține seama de toate forțele care acționează asupra barajului se recomandă $K = 1,5$.

Pentru terenurile omogene și fără coeziune, în cazul când acționează numai forțele din greutatea proprie, coeficientul de siguranță se poate considera:

$$K = \operatorname{tg} \phi / \operatorname{tg} \beta$$

unde:

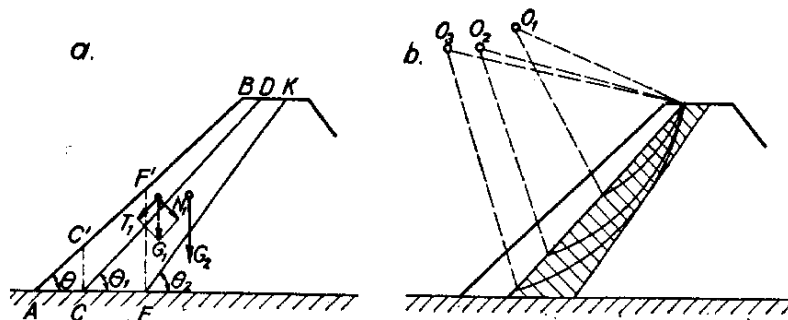
ϕ – unghiul taluzului natural;

β – unghiul real al taluzului barajului.

Zona în care se găsește centrul cercului pt care K este minim se alege după diferite metode (Priscu vol1 pag 604)

Stabilitatea ecranelor și a straturilor de protecție

Calculul stabilității ecranelor barajelor de pământ se face verificând posibilitatea de alunecare a stratului de protecție pe ecran și a ecranului însuși, împreună cu stratul de protecție (fig.).



Pentru verificarea stabilității stratului de protecție a ecranului (a) se face ipoteza ca o parte a acestuia, anume prismul CC'BD de greutate G_1 tinde să alunece pe planul CD, sub acțiunea componentei tangențiale pe planul de alunecare a greutății proprii: $T_1 = G_1 \sin \theta_1$.

Forțele care se opun acestei alunecări sunt E , reacțiunea pasivă a prisme de rezistență ACC' și forța de frecare $S_1 = N_1 \operatorname{tg} \phi = G_1 \cos \theta_1 \operatorname{tg} \phi$ (ϕ fiind unghiul de tăiere al materialului din ecran). Terenul de fundație se consideră rezistent.

Scriind condiția de echilibru pe orizontală se obține:

$$E = G_1 \frac{\sin \theta_1 \cos \theta_1 - \cos^2 \theta_1 \operatorname{tg} \phi}{\cos \delta}$$

unde δ este unghiul format de reacțiunea E cu orizontala.

Valoarea reacțiunii E , dedusă astfel, reprezintă împingerea necesară pentru echilibru la limită. Valoarea împingerii efective E_p , de care este capabilă prisma ACC', trebuie să fie mai mare decât E_{necesar} de $1,2 \dots 1,5$ ori.

Cazul cel mai defavorabil, în care se face acest calcul, este golirea rapidă a lacului, când se consideră greutatea materialului saturat și fără presiunea hidrostatică.

Calculul ecranului se conduce în același mod, considerând greutatea totală a stratului de protecție și a ecranului care formează volumul FDF'BK.

Se obține împingerea necesară E pentru echilibru la limită:

$$E = G_2 \frac{\sin \theta_2 \cos \theta_2 - \cos^2 \theta_2 \operatorname{tg} \phi}{\cos \delta}$$

Stabilitatea la alunecare a ecranului se verifică și după suprafețe curbate care trec prin el (b).

Se fac calcule de stabilitate pentru nucleu, prisme laterale ale barajelor executate prin hidromecanizare, taluzurile barajelor din piatră, verificarea la spălare a taluzurilor.

În mod special la barajele cu H mare este necesar să se determine starea de eforturi atât din corpul barajelor cât și din terenul de fundație, verificându-se capacitatea portantă și stabilitatea acestuia.

Măsurile constructive la baraje de pământ **amplasate în zone seismice**

- reducerea înclinării taluzurilor cu 10 - 30%
- prevederea unor berme largi
- prevederea unor prisme de anrocamente sau pământ la piciorul amonte și aval al barajului pentru consolidarea taluzurilor. De asemenea batardoul amonte poate fi înglobat în corpul barajului.
- asigurarea unei drenări bune a barajului prin colectarea și dirijarea apelor de infiltrație conduce la micșorarea forțelor hidrodinamice. Prin observarea lor se permite evidențierea unor fisuri în elementele de etanșare.
- prevederea unor straturi de anrocamente pe taluzuri
- asigurarea unei legături bune între elementul de etanșare și terenul de fundație
- prevederea unor nuclee înclinate prin care se mărește zona uscată din corpul barajului
- prevederea unei curburi în plan, prin efectul de arc asigurându-se închiderea unor eventuale fisuri
- prevederea unor contrasăgeți la execuție care să anuleze deformările în timp ale barajului.

Materialele folosite ptr. execuția barajelor de pământ trebuie să fie impermeabile, rezistente (unghi de frecare internă și coeziune și stabilitate la acțiunea apei.) Caracteristica principală după care rezultă proprietățile cele mai importante ale pământurilor este compoziția granulometrică. Aceasta este legată atât de modul de alcătuire al barajului cât și de modul de execuție.

Pentru baraje **compactate** omogene este indicat un pământ format dintr-un amestec de particole fine argiloase și prăfoase cu $d < (0,01 - 0,005)$ mm care să umple porii dintre particulele mai mari formate din nisip sau pietriș. Un asemenea pământ are o frecare interioară și o coeziune corespunzătoare fiind impermeabil. Dacă particolele argiloase sunt în proporție de 6 - 25 % din volumul total, pământul este indicat pentru un baraj omogen. Dacă conținutul de argilă este mai mare, pământul este indicat numai pentru elemente de etanșare.

Pământurile nisipoase sunt indicate pentru baraje omogene numai dacă au un coeficient de permeabilitate suficient de mic. În caz contrar ele se pot folosi pt. corpul barajului prevăzându-se elemente speciale de etanșare. Gradul de neomogenitate se exprimă prin coeficientul de neomogenitate $U_n = d_{60}/d_{10}$. Pt. barajele de pământ este indicat ca $U_n > 30-100$. Particulele mari formează scheletul de rezistență al barajului iar particulele mici umplu porii acestuia și deci asigură etanșeitatea. Pământurile cu $U_n < 5 - 10$ se îndeasă greu și rămân poroase.

La alegerea tipului de baraj omogen sau neomogen trebuie să se aibă în vedere carierele de pământ care să se găsească la distanțe rezonabile, determinându-se atât caracteristicile materialului cât și cantitățile disponibile. Pt. execuția barajelor compactate se pot folosi în general toate tipurile de pământuri exceptându-se argilele nisipoase plastice, argilele (care se pot folosi la etanșare) și a pământurilor măloase nisipoase (nu au stabilitatea necesară)

Caracteristicile materialului influențează hotărâtor pantele taluzelor și implicit volumul barajului.

Pentru barajele **sedimentate hidraulic** materialul trebuie să cuprindă atât particole fine (pt nucleu) cât și grosiere (pt. prismele laterale) Pt. barje fără nucleu, fracțiunile argiloase nu sunt necesare, putându-se folosi pământuri nisipoase argiloase. În cazul barajelor cu nucleu pământul trebuie să conțină fracțiuni argiloase în proporție de 10 - 25 % iar restul alcătuit din nisip, pietriș etc. . La un conținut de argilă mai mic de 10% formarea nucleului prin sedimentare este dificilă. La un conținut prea mare nucleul rezultă de dimensiuni prea mari producând presiuni care pot periclita stabilitatea prismelor laterale.

Pământurile folosite ptr. zonele de baraj care sunt **saturate cu apă** trebuie să fie stabile, să nu se dizolve. Adaosurile organice nu trebuie să depășească 1%. Prin descompunere se mărește porozitatea pământului. În general pământul vegetal nu se folosește. Se poate folosi uneori ptr. lucrări de importanță redusă și provizorii.

Caracteristicile fizice ale pământurilor se determină prin încercări de laborator, atât în faza de studiu cât și în timpul execuției.

Execuția barajelor de pământ

- prin compactare
- prin sedimentare hidraulică

Compactarea este metoda cea mai folosită. Pregătirea suprafeței de fundare constă în îndepărtarea stratului vegetal și afânarea stratului superficial. Excavatia pământurilor în carieră se face cu excavatoarele, dragline, screpere, etc. Materialul transportat este împrăștiat în straturi uniforme, cu buldozere și apoi se compactează. Stratele se execută orizontal cu o înclinare de $1/20 - 1/50$ spre exterior în cazul pământurilor impermeabile pentru a se asigura scurgerea apelor pluviale. Grosimea straturilor se stabilesc funcție de natura pământului și de caracteristicile utilajului de compactare folosit. În general după compactare stratul trebuie să aibă o grosime de 15 - 20 - 25 cm iar în elementul de etanșare 10 - 15 cm. Cu cât pământul este mai argilos grosimea stratului este mai mică. Numărul de treceri de cilind. compactor este de 5 - 8 - 20.

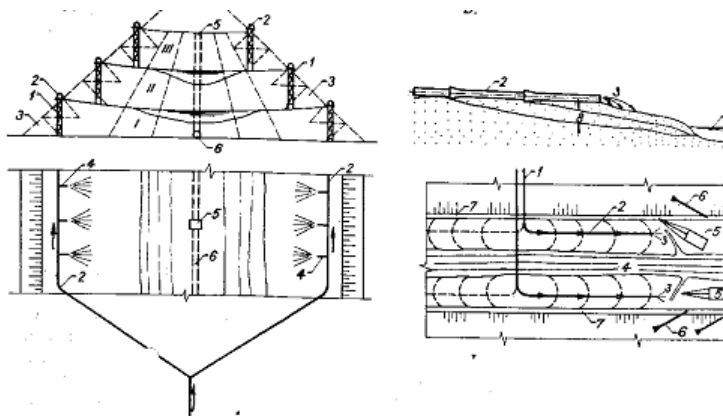
Metode de compactare: - în straturi - se execută prin treceri repetate cu utilajul de compactare. Se pot folosi cilindri netezi obișnuiți. Se folosesc pentru lucrări de netezire sau pentru lucrări secundare. Suprafața stratului anterior trebuie să fie scarificată în realabil. *Cilindri picior de oaie* sunt cilindri compactori prevăzuți cu proeminențe care realizează o compactare în adâncime. Dezvoltă presiuni de 15 - 20 daN/cm². Au avantajul că suprafața rămâne neregulată, realizând o bună legătură între straturi fiind utilajele cele mai folosite.

Cilindri pe pneuri se folosesc mai ales pentru pământuri necoezive (nisip, pietriș) Compactarea *prin batere* se realizează prin șocuri repetate produse de căderea unor greutate. Se folosesc maiuri și plăci vibratoare grele, ridicate cu macarale, maiuri mecanice și vibromaiuri. Compactarea prin *vibrare* este o metodă modernă, se execută cu vibratoare, plăci vibratoare, lăouri sau cilindri vibratorii. Frecvența de vibrare este de 1500 cicluri pe minut. O compactare suplimentară se realizează prin circulația mijloacelor de transport și împrăștiat pământ.

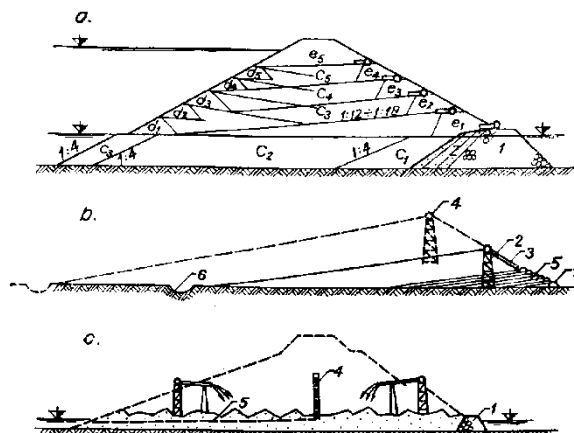
Umiditatea optimă de compactare este umid. la care se obține îndesarea maximă pentru un număr minim de treceri ale utilajului. Ea este de cca. 10 - 14 % sau mai mare. Se determină prin încercări de laborator. Dacă pământul este mai umed se excavază în straturi subțiri pentru a se putea usca. Dacă este prea uscat se umezește, preferabil în carieră sau la cilindrare. Se organizează piste experimentale pentru a se stabili umiditatea optimă de compactare, numărul de treceri, etc. Se efectuează un control permanent al execuției și al gradului de compactare utilizat. Controlul compactării se face prin determinarea greutății specifice aparente pe probe luate din fiecare strat în puncte uniform repartizate pe suprafața stratului în vârfurile unor pătrate cu latura de 20 - 40 m. Gradul de compactare se determină prin metoda penetrației prin metoda încercării cu placa de presiune, sau cu izotopi radioactivi.

Hidromecanizarea - transportul și punerea în operă a pământului se face cu ajutorul apei. Excavatia se face cu hidromonitoare care aruncă jet de apă sub presiune sau cu drăgi. Se formează un amestec pământ apă $1/7 - 1/10$ numit noroi, pulpă sau hidromasă. Acesta se transportă în amplasamentul barajului gravitațional sau prin pompare folosindu-se jgheaburi sau conducte. Dacă excavarea cu apă nu este posibilă se face cu mijloace mecanice și se amestecă ulterior cu apă.

Sedimentarea la baraje cu nucleu este *bilaterală*, noroiul aducându-se prin conducte sau jgheaburi așezate pe estacade sau direct pe umplutură sau pe diguri laterale, dispuse în lungul barajului de ambele părți. Execuția se face în etaje de 5 - 6 m înălțime. Noroiul se scurge de la margini spre centru, asigurându-se pante de $1/10 - 1/20$. Se produce o sedimentare fracționată Particulele grosiere se depun spre margini, realizând prismele laterale, iar particulele fine în centru formând nucleul. Lateral, pe măsura ridicării barajului se execută mici diguri sau prismele permeabile din pietriș sau piatră care permit scurgerea apei. Restul apei formează în zona centrală un iaz decantor fiind efacuată prin colectoare speciale. După terminarea primei etape conductele se ridică la cota următoare. etc.



Sedimentarea *unilaterală* se folosește la baraje fără nucleu. în cazul acestora și la b.p. cu ecran argilos execuția se face prin sedimentare unilaterală.



Conductele de refulare se dispun de-a lungul taluzului aval, depunerea făcându-se în straturi oblice spre amonte. Prin această metodă se poate face depunerea materialului direct în apă fără batardouri de deviere. Inițial conducta se poartă pe o prismă de piatră prevăzută cu filtru invers și depunerea începe în apă. Când barajul depășește nivelul apei execuția continuă în același mod sau prin depunere bilaterală. Patricolele fine se depun în amonte formând un ecran gros. La parte superioară lățime nu este suficientă pentru a asigura sedimentarea fracționată a materialului se folosesc metode (compactarea).

Avantajele sedimentării:

- stabilitate mare datorită modului de distribuire a materialului și a modului de execuție
- ritm de execuție rapid
- cost mai redus
- posibilitate de execuție pe timp ploios
- posibilitate de sedimentare în apă.

Dezavantaje:

- condiții mai severe de compoziție granulometrică
- consum de energie mai mare la metoda prin pompare
- necesitatea unei cantități mari de apă

Bibliografie:

1. Construcții hidrotehnice vol1., Radu Priscu Ed. did și pedagogică, București 1974
2. Baraje pentru acumulări de apă vol1 și vol2, Ed. Tehnica București ISBN 973-312117-7

Propunere subiecte examen:

1. Elementele constructive ale amenajărilor hidrotehnice
2. Scheme de amenajări hidrotehnice
3. Baraje - clasificare, elemente componente, condiții de amplasare
4. Presiunea apei, subpresiunea, presiunea apei din pori, acțiunea valurilor, greutatea proprie
5. Presiunea aluviunilor, acțiunea seismică acțiunea ghetii, acțiunea vantului
6. Determinarea profilului barajelor de greutate, prin metoda elementară.
7. Stabilitatea barajelor prin forțe de frecare și coeziune, măsuri constructive pentru a mări stabilitatea barajelor la alunecare.
8. Dimensionarea barajelor de greutate.
9. Amenajarea fundațiilor barajelor de greutate, injectii.
10. Rosturile barajelor, dispozitive de drenaj și vizitare
11. Baraje cu rosturi largite, calculul eforturilor în secțiuni orizontale, dimensionare (determinarea înclinării paramentelor)
12. Baraje precomprimate.
13. Baraje cu contraforti.
14. Baraje în arc, clasificare, condiții geologice, morfologice, forma în plan, unghi la centru.
15. Baraje în arc, trasare baraje cilindrice, izogone, cu dublă curbură; baraje cu nasteri îngroșate.
16. Încărcări ce acționează asupra barajelor în arc (obisnuite + temperatura) și calculul barajelor în arc
17. Baraje de piatră, alcătuire, condiții amplasare, climatice, piatră.
18. Elemente de impermeabilizare la barajele de piatră.
19. Amenajarea suprafeței de fundație, metode de execuție a barajelor de anrocamente
20. Stabilitatea corpului și a taluzurilor cu ecran și cu diafragmă
21. Baraje de pământ, alcătuire, amplasare, etanșare, drenare, racorduri cu alte construcții
22. Calculul stabilității taluzelor
23. Execuția barajelor de pământ
24. Aplicație conexă elementelor studiate la curs și proiect/lucrări