

## Capitolul 2

# TIPURI DE AMENAJĂRI ȘI CONSTRUCȚII PENTRU HIDROENERGETICĂ

O amenajare hidrotehnică modernă trebuie să asigure o utilizare complexă a apei bazinului hidrografic din care face parte, adică:

- folosirea energiei hidraulice a apei pentru producerea energiei electrice;
- acumularea și regularizarea debitelor scurse pentru satisfacerea necesităților de apă potabilă, industrială sau pentru irigații;
- posibilitatea folosirii cursurilor de apă în scopuri navigabile;
- regularizarea regimurilor nivelurilor și debitelor în vederea prevenirii inundațiilor.

Principalele componente ale amenajărilor hidroenergetice și modul general de realizare a folosințelor menționate de către cele mai importante tipuri de amenajări, vor fi prezentate în continuare sub forma așa-numitelor scheme generale.

### 2.1. Scheme generale ale amenajărilor hidroenergetice

Este bine cunoscut faptul că energia hidraulică a unui curs de apă neamenajat se transformă în cea mai mare parte în energie termică, pentru învingerea rezistențelor pe care le opune în lungul mișcării patul neregulat al râului. Restul energiei se disipează prin erodarea albiei și a versanților. În acest context, scopul amenajărilor hidroenergetice este acela de utilizare cât mai eficientă a energiei hidraulice, prin concentrarea resurselor unui curs de apă pe un sector cât mai scurt în vederea producerii energiei electrice. Această concentrare se realizează prin utilizarea unei căderi (diferență de nivel,  $H$ ) naturale sau creată artificial (prin barare sau deviere) între două secțiuni succesive ale cursurilor de apă, situate la cote diferite.

Crearea unei căderi artificiale se poate crea prin mai multe căi, și anume [17]:

- 1) prin construirea unui baraj, care ridică nivelul apei și mărește secțiunea de curgere pe o anumită distanță în amonte, adică o *amenajare tip uzină - baraj* (vezi fig.2.1);
- 2) prin devierea apei din albia râului într-un canal de aducțiune cu pantă redusă, care asigură condiții de curgere mai favorabile, adică o *amenajare tip uzină de derivație* (vezi fig.2.2).

Obs.: Centrala (CH) este dispusă la capătul aval al unei derivații; se folosește astfel căderea obținută prin reducerea pantei de curgere dată de această derivație.

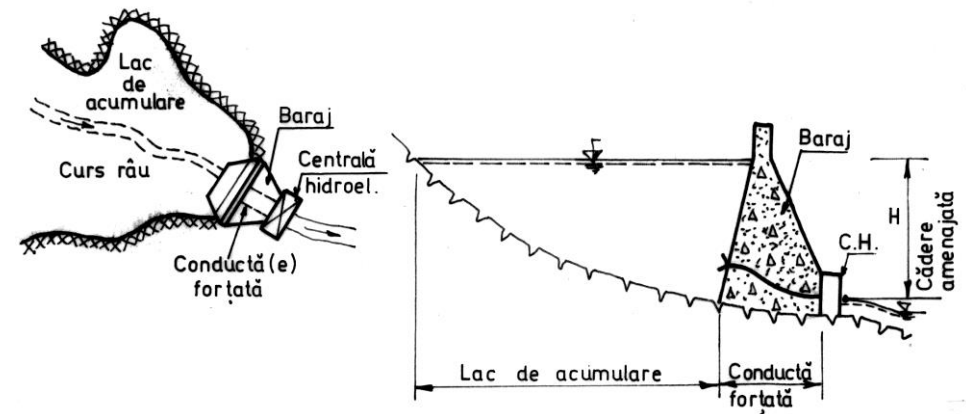


Fig.2.1.

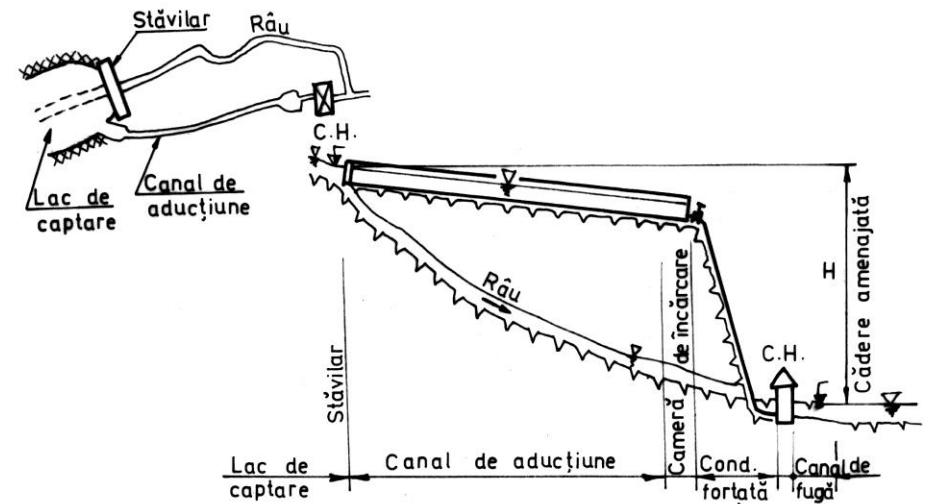


Fig.2.2.

3) printr-o dispoziție mixtă, de ridicare a nivelului și derivarea apei, în două variante:

a) cu centrala amplasată la zi, adică amenajare tip uzină de derivație (vezi fig.2.3);

Obs.: centrala (CH) folosește căderea obținută atât prin construcția barajului, cât și prin cea dată de către derivație;

b) cu centrala amplasată în subteran, adică o amenajare tip uzină mixtă subterană (vezi fig.2.4);

Obs.: este o soluție modernă, deci mai eficientă datorită sporirii căderii amenajate ( $H$ ), prin amplasarea centralei în subteran; evident, această soluție necesită măsuri de siguranță și tehnologie de execuție sporite.

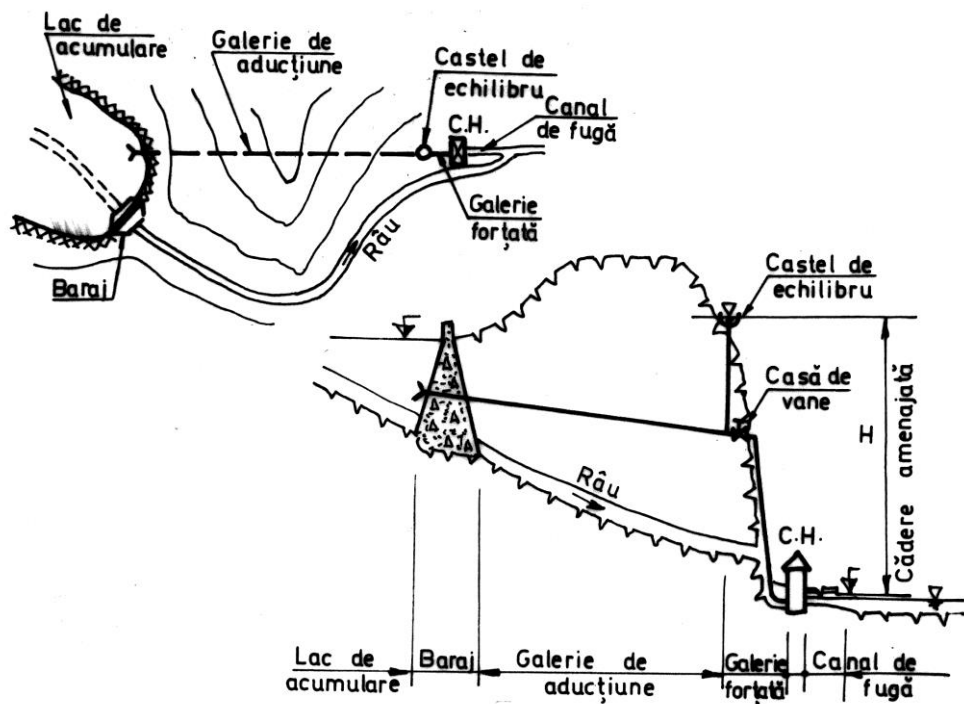


Fig.2.3.

Principalele elemente componente ale acestor tipuri de amenajări sunt prezentate în fig.(2.1 ÷ 2.4), fiecare dintre ele având un rol funcțional bine definit, roluri care vor fi prezentate pe scurt, în continuare.

*Centrala hidroelectrică (CH)* este construcția care adăpostește vanele de admisie, turbinele, generatoarele, camera de comandă.

*Barajul de derivație*, este construcția care prin barare are rolul de a ridica nivelul apei în măsura necesară pentru a fi deviată într-o aducțiune, sau pentru a concentra căderea și acumularea de apă în vederea regularizării regimului curgerii.

*Descărcătorii de apă*, au rolul evacuării apelor mari (niveluri superioare cotei maxime de retenție) și reglării nivelurilor apei în lacul de acumulare. Se realizează ca deversoare situate în corpul barajului (la partea superioară) sau pe versanți, orificii de fund, conducte și galerii de golire.

*Prizele de apă*, sunt construcții dispuse în paramentul amonte al barajului sau pe malurile râului barat, cu rolul captării apelor și conducerii lor în aducțiune. De asemenea, cu ajutorul lor se combate pătrunderea aluviunilor, a ghețurilor sau a corpurilor plutitoare, reținute de grătare.

*Aducțiunile*, au rolul de a transporta debite de ordinul zecilor sau sutelor de  $m^3/s$ , de la punctul de captare (prize) până la camerele de echilibru. Curgerea în aducțiuni se poate realiza cu nivel liber (canale betonate sau galerii subterane) sau sub presiune (conducte metalice sau de beton armat, galerii subterane.).

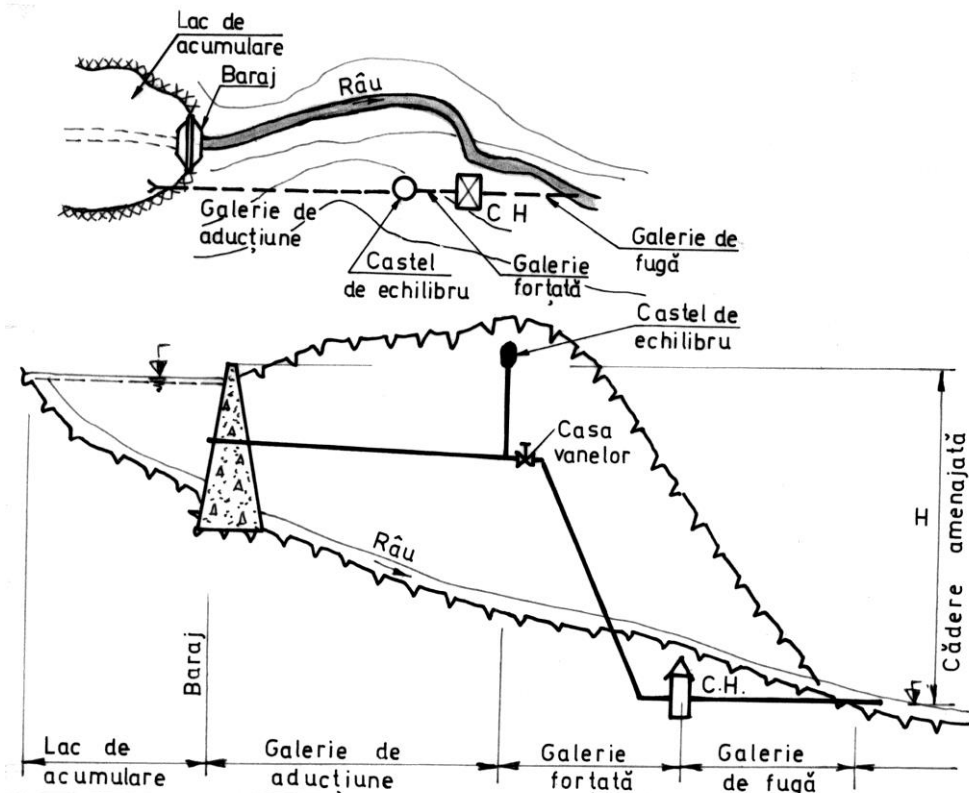


Fig.2.4.

*Camerele de echilibru*, sunt construcțiile care realizează legătura funcțională dintre aducțiuni și conductele/galeriile forțate. Au rolul de a limita suprapresiunile provocate de variațiile de sarcină ale centralei, respectiv de a menține echilibrul hidraulic pe aducțiuni la deschideri sau închideri ale vanelor. În cazul aducțiunilor cu nivel liber ele poartă denumirea de camere de încărcare, iar în cazul aducțiunilor sub presiune, de castele de echilibru.

*Casele de vane*, sunt dispuse în general imediat în avalul camerelor de echilibru, și cuprind mecanismele de închidere/deschidere a accesului apei spre centrală și instalațiile de aerisire și control pentru conductele forțate.

*Conductele sau galeriile forțate*, cu unul sau mai multe fire, conduc apa de la camerele de echilibru la centrală pe o diferență de nivel mare și pe un traseu scurt în plan. Au pantă constructivă foarte mare, realizând astfel o concentrare a căderii.

*Canalele sau galeriile de fugă*, sunt construcții care realizează evacuarea apelor turbinate spre punctele de restituție în cursurile de apă.

## 2.2. Amenajări și construcții pentru acumularea apei bazinului hidrografic, generalități, clasificări, condițiile optime cerute secțiunii de barare și structurii geologice

În conformitate cu cele menționate în paragraful 1.2.3., scopul primordial al gospodăririi apelor îl constituie satisfacerea necesarului de apă ale diverselor folosințe. Pentru realizarea acestui deziderat este necesară acumularea apei în mari rezervoare naturale (lacuri de acumulare) și alocarea ei diferitelor folosințe într-o anumită ordine de priorități. Stocarea apei în lacurile de acumulare se obține prin amenajări de barare ale cursurilor de apă (vezi fig.2.5). Bararea se realizează cu ajutorul barajelor sau stăvilarelor, în secțiuni atent alese, deci care trebuie să îndeplinească o serie de condiții absolut obligatorii.

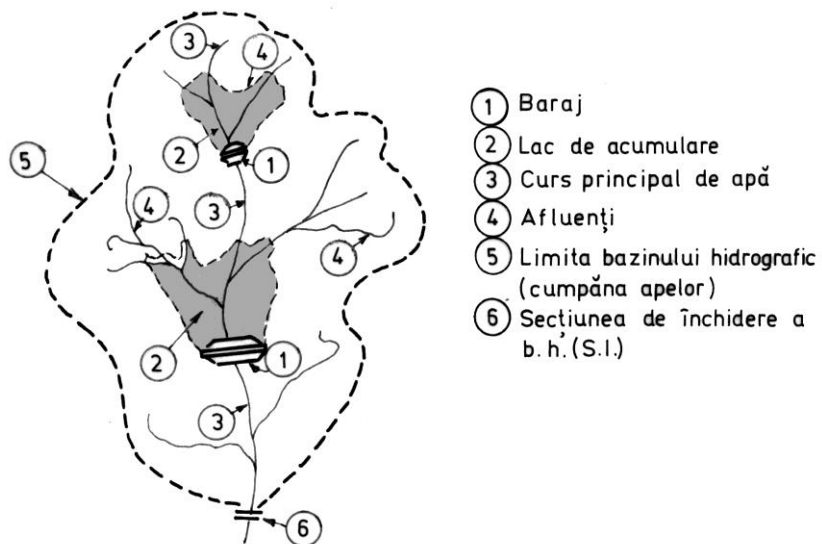


Fig.2.5.

*Barajele*, sunt construcții hidrotehnice care barează într-o secțiune un râu, ridică nivelul apelor în amonte, cu scopul derivării lor într-o aducțiune sau al acumulării în vederea regularizării regimului scurgerii (debitelor).

Barajele, forma, tipul acestora este foarte diversă, ele depinzând în principal de materialele de construcție și de condițiile geotehnice de fundare. În general, principalele părți componente ale barajelor, indiferent de tipul constructiv, sunt următoarele (vezi fig.2.6.):

1. corpul barajului;
2. talpa fundației;

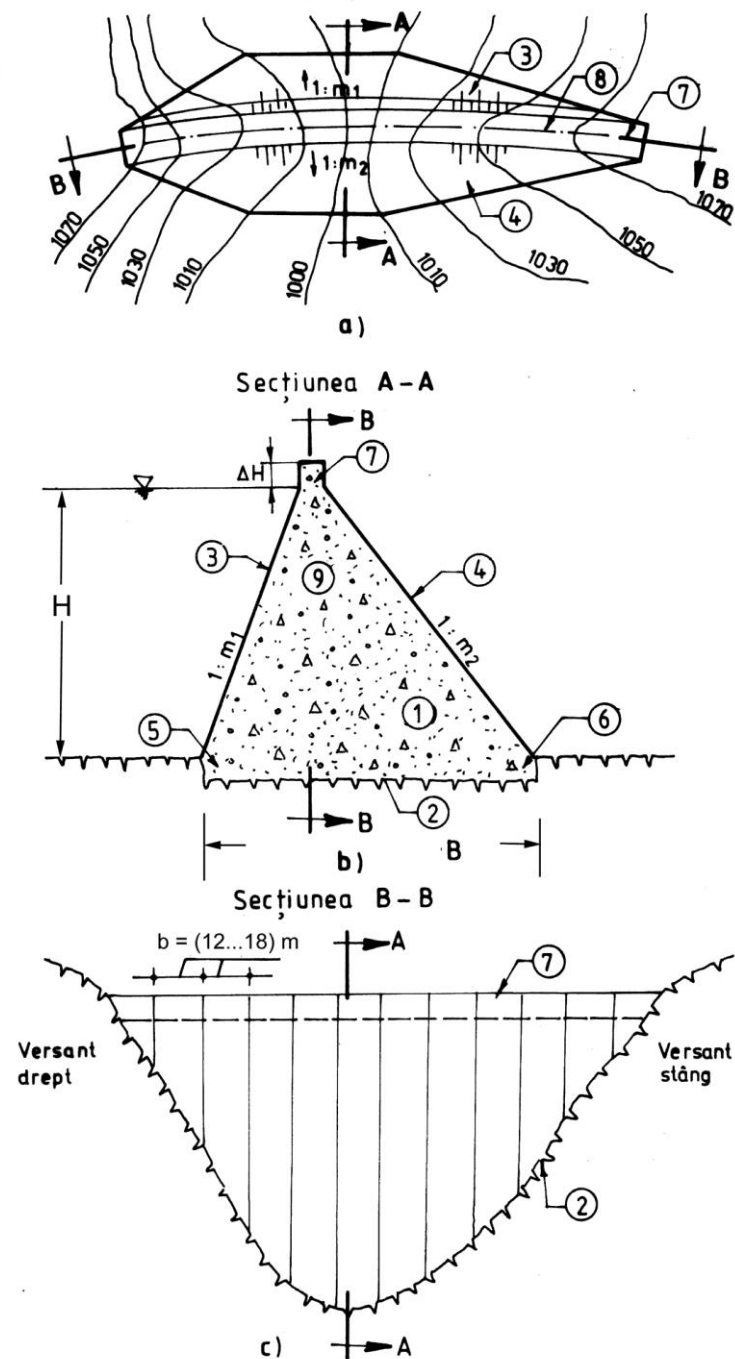


Fig.2.6.

3. paramentul amonte cu înclinația 1 :  $m_1$ ;
4. paramentul aval cu înclinația 1 :  $m_2$ ;  
Obs.:  $m_1 \geq m_2$ , funcție de tipul constructiv al barajului;
5. piciorul amonte;
6. piciorul aval;
7. coronamentul barajului;
8. axul barajului (linia orizontală situată la mijlocul coronamentului care leagă un versant de celălalt);
9. profilul barajului (secțiunea transversală de înălțime maximă, secțiunea A - A); pentru barajele arcuite acest profil are denumirea de secțiune maestră.

*Clasificarea barajelor* se poate face după mai multe criterii. Cele mai importante dintre acestea sunt:

- a) după *materialul* din care sunt executate, barajele pot fi:
  - baraje *de pământ*, pentru execuția cărora se folosesc umpluturi de argilă, balast sau alte materiale asemănătoare;
  - baraje *de piatră* sub formă de anrocamente sau zidărie uscată;
  - baraje *de beton*;
  - baraje *de beton armat*, la care se folosesc și elemente de beton armat (plăci, arce, cupole, contraforți etc.);
  - baraje *din materiale diverse*, între care lemnul și metalul; această soluție este aleasă pentru baraje de înălțime redusă (porți mobile, stăvilare, vane etc.);
- b) după *criteriul tipului constructiv*, barajele pot fi:
  - baraje *de greutate* (masive), care prin acțiunea greutății proprii asigură simultan stabilitatea la alunecare și răsturnare;
  - baraje *cu contraforți*, la care presiunea apei se transmite prin elemente în formă de plăci sau arce către contraforți, iar de aici către fundație (sunt baraje mai puțin masive, executate din beton armat);
  - baraje *în arc* (arcuite), care din punct de vedere static se comportă ca bolți și în consecință transmit solicitările (din presiunea apei) prin intermediul nașterilor (linia fundației) către versanții văii;
- c) după *scopul hidrotehnic* urmărit, deosebim:
  - baraje *derivație*, care ridică nivelul apei în măsura necesară pentru a fi derivată într-o aducțiune; au în general înălțimi reduse;
  - baraje *de acumulare*, care rețin și acumulează apele în vederea regularizării regimului scurgerii lor (pentru utilizare complexă); au cel mai adesea înălțimi mari;  
Obs.: între aceste ultime două categorii, există o delimitare relativă, deoarece sunt baraje care realizează ambele scopuri;
- d) după *criteriul tipului folosinței* apei:
  - baraje pentru producerea energiei electrice;
  - baraje pentru transporturi pe apă;

- baraje pentru lucrări hidroameliorative ale terenurilor agricole (irigații);
- baraje pentru alimentarea cu apă a centrelor populare și a zonelor industriale;
- baraje pentru combaterea acțiunilor dăunătoare ale apelor de viitură, eroziunea albiei și a versanților, spălarea și degradarea solului fertil (C.E.S.);
- baraje pentru folosințe diverse (piscicole, sanitare, sportive etc.);
- baraje care deservește simultan mai multe folosințe și care realizează în fapt utilizarea complexă a apelor.

**Alegerea secțiunii optime de barare** (secțiunea în care se construiește barajul) a cursului de apă este o problemă complexă, la a cărei rezolvare trebuie luați în considerare o multitudine de factori și anume:

- calitățile terenului de fundare, care determină tipul constructiv al barajului, potrivit cu amplasamentul și într-o oarecare măsură înălțimea acestuia;
- caracteristicile hidrologice ale cursului de apă principal și afluenților săi (debite maxime și minime anuale și multianuale) prin care se evaluează posibilitățile de satisfacere ale folosințelor dorite, de atenuare a undelor de viitură, volumul posibil al stocului realizat la o anumită înălțime de baraj etc.;
- distanțele de la rezervor până la diversele folosințe de apă și costul lucrărilor de aducțiune;
- raportul dintre volumul utilizabil al acumulării și mărimea investiției totale;
- producția de energie electrică și costul lucrărilor de producere și transformare în rețea.

**Condițiile geologice și hidrologice** necesare unui amplasament de baraj influențează în mod considerabil concepția, execuția, siguranța și economicitatea lucrării (barajului). În acest context, statisticile arată că din totalul catastrofelor care s-au produs în domeniu, 5 % s-au datorat defectelor proprii ale barajelor, 15 % insuficienței capacității de evacuare a apelor mari și 80 % condițiilor de fundare necorespunzătoare.

Calitățile cerute unui teren de fundație pentru baraje sunt următoarele:

- rezistență suficientă pentru preluarea sarcinilor date de construcție;
- compresibilitatea redusă și uniformă (practic incompresibil);
- permeabilitate mică și stabilitate la acțiunea apelor de infiltrație;
- structură monolită, fără fisuri, dislocări sau zone de alterare profundă;
- conservarea formei văii sub acțiunea fenomenelor fizico-geologice (surpări, alunecări de straturi, prăbușiri etc.).

Deoarece în natură se găsesc foarte rar amplasamente cu toate aceste calități, se impun lucrări de ameliorare a terenurilor de fundare pentru a le face capabile să preia încărcările date de baraj și să fie rezistente la acțiunea apelor.

Pentru amenajările hidrotehnice care realizează acumulări artificiale în scopul derivării apei într-o aducțiune (amenajări tip uzină de derivație sau uzină mixtă cu baraj de derivație), bararea se realizează fie numai cu ajutorul stăvilarelor / batardourilor, fie cu ajutorul barajelor de derivație echipate cu stăvilare / batardouri și evident cu mecanismele necesare manevrării acestora.

*Stavilele* sunt echipamente de control și reglaj ale nivelurilor și debitelor tranzitate prin secțiunile unei amenajări de barare, în regim de curgere cu nivel liber. Sunt construite din metal, lemn (stăvilarele plane, batardourile) sau combinația acestora. Clasificarea stăvililor destinate acestui tip de amenajare, și nu numai, se poate face după mai multe criterii. Dintre acestea, important pentru tematica acestui capitol este cel al tipului constructiv.

Conform acestui criteriu stăvilile pot fi:

- stăvile plane simple;
- stăvile plane duble;
- stăvile plane cu clapetă;
- stăvile segment;
- stăvile sector;
- stăvile cilindrice;
- stăvile acoperiș;
- stăvile clapete;

Stavila plană este construită, în principal, dintr-un panou plan (de metal, lemn, sau combinații ale acestora) care reazemă și se deplasează în sens vertical în două nișe sau ghidaje laterale ale pilelor sau culeelor. Alcătuirea și principiul funcțional ale stăvilărilor plan sunt prezentate în fig.2.7.a, b.

*Stăvilele plane simple* de metal sunt în general alcătuite dintr-un schelet de grinzi acoperit cu o căptușeală de lemn sau tablă de oțel. Scheletul de grinzi (structura de rezistență) se compune din grinzi principale și auxiliare și din montanți verticali sau antretoaze.

După tipul elementelor de reazem și de ghidaj, stăvilarele plane pot fi:

- stăvile alunecătoare, când presiunea hidrostatică și hidrodinamică se transmite direct elementelor de reazem;
- stăvile cu roți (role), când presiunea apei se transmite reazemelor (nișe/ghidaje) prin intermediul unor role fixate de panoul (tablierul) stăvilii, role care se rotesc în nișele pilelor sau culeelor.
- stăvile tip Stoney, care folosesc pentru manevrare role legate într-un cărucior special, independent de stăvilă;
- stăvile pe șenile, când presiunea apei se transmite unor role care se deplasează pe un lanț fără sfârșit (șenile).

Acest tip de stăvile se utilizează la deschideri deversoare de până la (40 ÷ 50) m, iar raportul între lungimea și înălțimea lor variază între 1 și 9.

Deși sunt stăvile cel mai adesea utilizate în practica hidrotehnicii, stăvilele plane prezintă o serie de dezavantaje/inconveniente, și anume:

- efortul de ridicare fiind proporțional cu dimensiunile în plan ale tablierului, complică foarte mult mecanismele și manevrarea lor;
- înălțimea pilelor este foarte mare în raport cu cea a stăvilii, întrucât aceasta trebuie ridicată astfel încât muchia să fie deasupra nivelului apei maxime, cu o gardă de  $\Delta h = (0,50 \div 0,75) \text{ m}$ ;

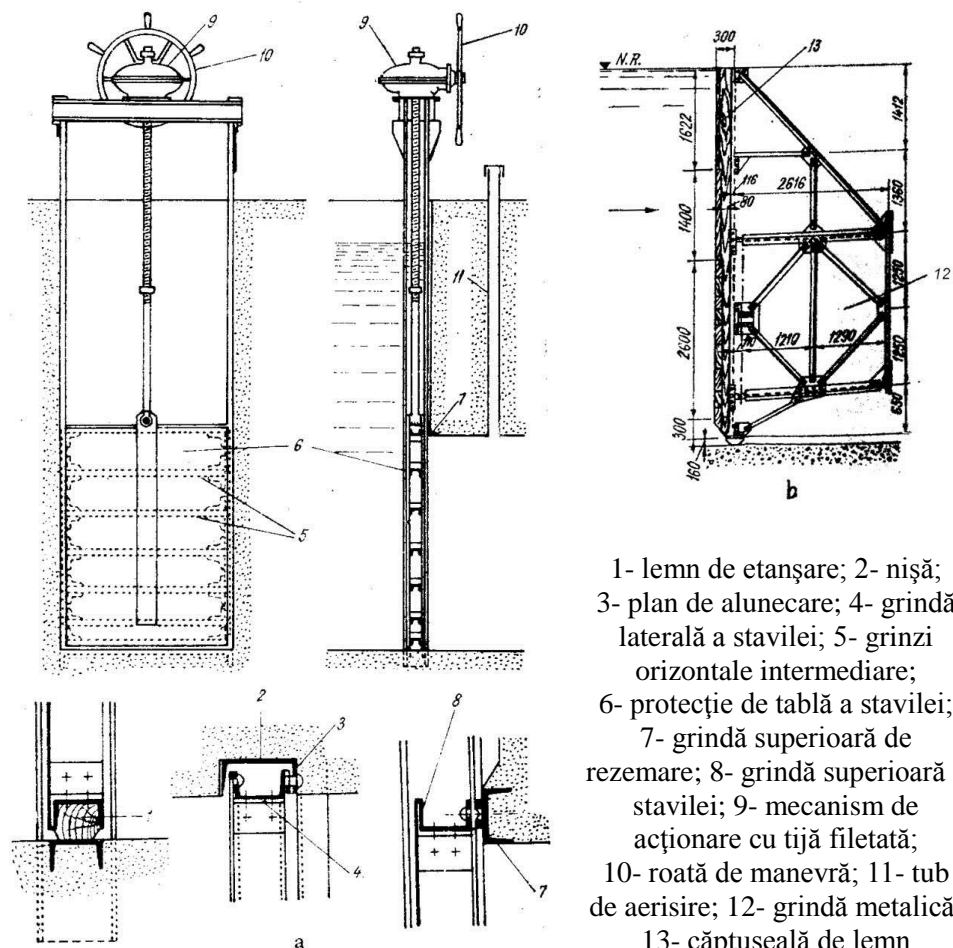


Fig.2.7. Stăvilă plană simplă. a) de lemn; b) de metal

- dificultatea regularizării nivelului în bieful amonte;
- nu permit trecerea ghețurilor și a plutitorilor decât prin ridicarea completă a tablierului.

*Stăvilele plane duble* sunt alcătuite din două panouri, unul inferior (cel clasic) și altul superior (1, în fig.2.8) a cărui formă și independență de manevrare (glisare verticală față de cel inferior) permit deversarea apelor mari, a gheții sau plutitorilor peste el. Cele mai frecvente alcătuiți constructive ale acestor stăvilare sunt următoarele

- cu panouri, care se deplasează independent în nișe diferite, cel inferior fiind amplasat spre aval;
- cu panoul inferior în consolă, limitând astfel deplasarea celor două panouri, unul față de celălalt, cu nișe de culisare comună și ridicare a lor, succesivă;

- cu consolă executată la panoul superior, care se sprijină pe cel inferior cu ajutorul unor role (vezi fig.2.8).

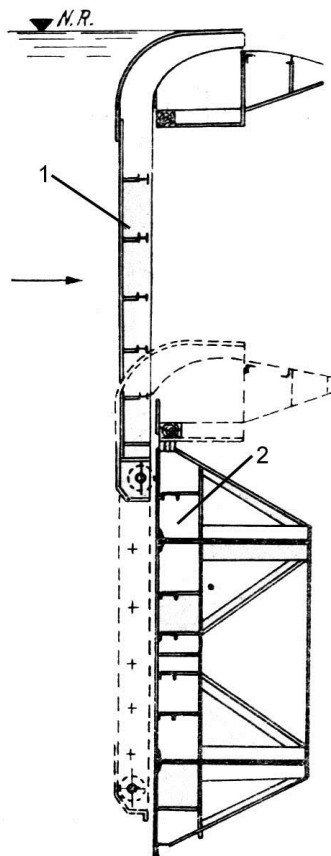


Fig.2.8.

Principalele dezavantaje ale acestor stăvilare sunt: costul sporit, cu  $(10 \div 20) \%$ , creșterea greutateii construcției cu  $(15 \div 20) \%$ , complexitatea mecanismelor de ridicare și dificultățile de exploatare, datorită ghețurilor. Se utilizează pentru înălțimi ale deschiderilor deversante de peste  $(5 \div 6)$  m sau pentru deschideri mici, care spală aluviuni și descarcă plutitorii și zaiul din fața prizei.

*Stăvilarele segment*, se deosebesc în principal de cele plane prin forma curbată a tablierului, care în secțiune transversală are forma unui segment circular și care se poate roti în jurul unei articulații prin intermediul a două brațe laterale (vezi fig.2.9). Este compusă dintr-o căptușeală etanșă (tablier) și o rețea de grinzi, contravânturi, brațe, bride care asigură rigidizarea și lucrul tablierului în jurul articulației.

Articulația se fixează în așa fel încât direcția rezultantei hidrostatice să intersecteze axul ei.

Alcătuirea lor constructivă elimină în bună măsură deficiențele funcționale ale stăvililor plane. Stăvilarele segment cel mai des utilizate în practica amenajărilor pentru acumularea apei sunt:

- stavila segment simplă manevrată mecanic (vezi fig.2.9), utilizată mai ales pentru înălțimi de retenție reduse;
- stavila segment cu clapetă, manevrată mecanic, care prin amplasarea pe muchia superioară a unei clapete are posibilitatea să descarce în mod simplu ghețurile, plutitorii și să asigure eficient reglajul nivelului apei în bieful amonte;
- stavila segment automatizată hidraulic, la care pentru manevrare se folosește energia hidraulică (a apei); este prevăzută, pentru eficientizarea travaliului, cu o contragreutate amplasată fie pe prelungirea brațelor, fie într-un puț amenajat în pilă sau culee.

Stăvilarele segment sunt utilizate în special pentru acoperirea deschiderilor deversoare cu lungimi de până la 36 m și înălțimi de  $(5 \div 7)$  m. Se recomandă ca poziția axului de rotație al stăvilii să fie fixată la o cotă rar submersibilă (nivel corespunzător cel puțin asigurării de 10 %).

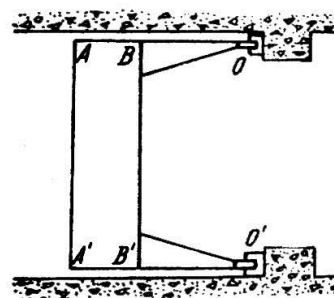
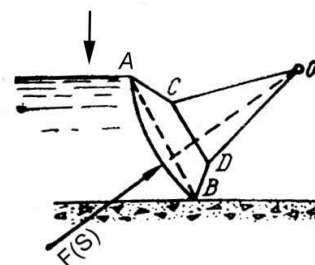
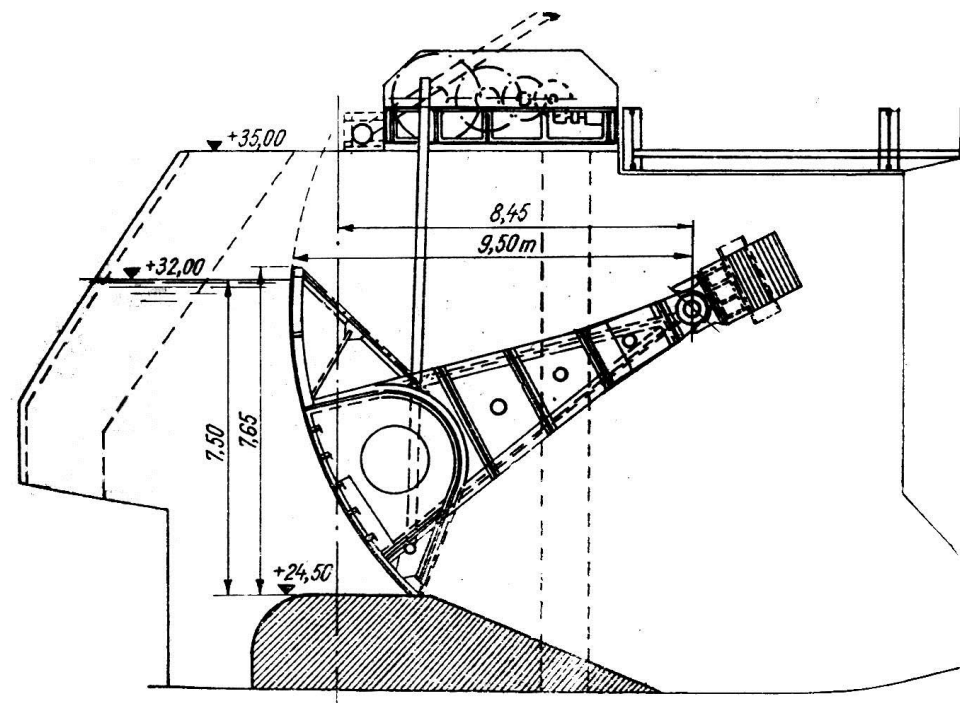


Fig.2.9.

*Stăvilarele sector*, sunt construcții metalice cu secțiunea transversală sub formă de sector de cerc, cu căptușeală pe două din fețe spre amonte. Au punctul de articulație în radier, spre deosebire de cele segment. La închidere, ele intră într-o nișă prevăzută în radierul barajului (vezi fig.2.10).

Stăvilarele sector sunt manevrabile prin automatizare hidraulică, automatizare care utilizează presiunea apei din bieful amonte asupra nișelor acestuia prin intermediul unei conducte practicate în pilă. În consecință, avantajele acestei stăvilii, față de cea tip segment, sunt simplitatea funcțională și prețurile mai reduse ale mecanismelor de manevrare. De remarcat însă dezavantajele marii complexități în exploatare și a sensibilității la îngheț a etanșărilor și camerelor de legătură cu bieful amonte.

Se utilizează pentru deschideri deversoare cu lungimi de  $(50 \div 60)$  m și înălțimi de  $(4 \div 5)$  m.

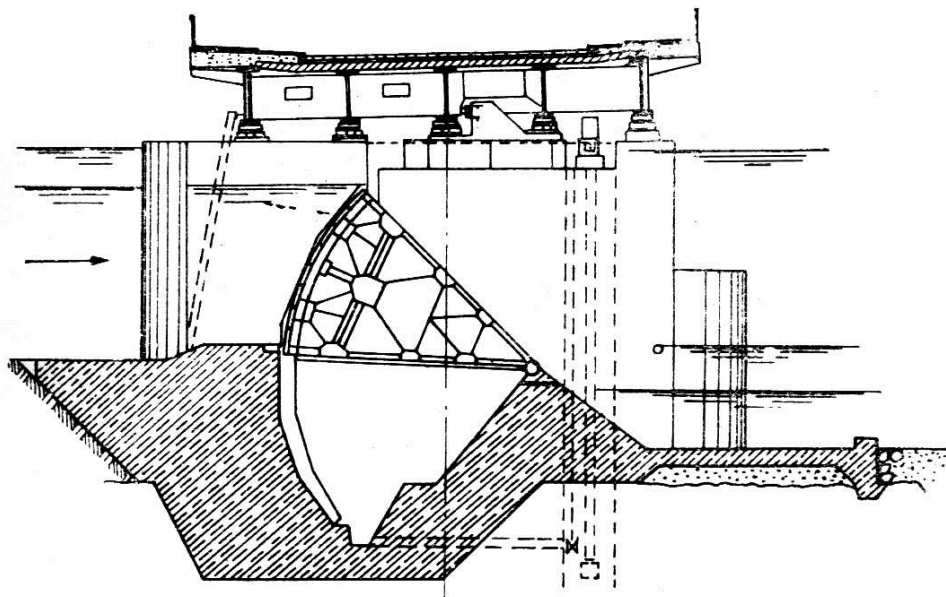


Fig.2.10.

## 2.3. Baraje de beton

Pe lângă informațiile generale despre baraje prezentate în subcapitolul 2.2, barajele de beton în particular, după modul de preluare a încărcărilor (solicitărilor), după rezistența la alunecare, forma acestora în plan, dar mai ales după cea în secțiunea transversală, pot fi:

1. baraje de greutate;
2. baraje arcuite;
3. baraje cu contraforți.

### 2.3.1. Baraje de greutate

Barajele de greutate sunt construcții amplasate cu axul perpendicular pe versanții văii, pentru a prelua principala încărcare utilă din împingerea apei, pe înălțimea de retenție ( $H$ ), și care prin acțiunea greutății proprii asigură stabilitatea la răsturnare prin momentul creat față de piciorul aval și concomitent la alunecare prin forțele de frecare ce acționează la nivelul tălpii de fundație.

Barajul este realizat fragmentat în ploturi cu lățimea  $b \in (12 \div 18)$  m, prin intermediul unor rosturi etanșe ce traversează întregul baraj, de la coronament până la fundație (vezi fig.2.6.c). Rolul constructiv al rosturilor este de preluare a eforturilor generate de dilatări sau contracții ale betonului sub influența variațiilor

de temperatură. Se evită astfel formarea fisurilor. Axa coronamentului (8 în fig.2.6.a) este de obicei dreaptă. Sunt însă cazuri când aceasta se realizează puțin curbată, pentru a putea prelua mai bine împingerea apei și a o transmite parțial și versanților secțiunii de amplasare.

Dimensiunile profilului barajului ( $B$ ,  $H$ , în fig.2.6.b) delimitează din punct de vedere constructiv barajele de greutate, prin raportul lor, adică  $\lambda = B/H = (0,75 \div 0,85)$ .

După criteriul formei secțiunii transversale (vezi fig.2.11), deosebim baraje de greutate:

- cu ambele paramente înclinate;
- cu parametul amonte vertical;
- cu parametul amonte poligonal (linie frântă);

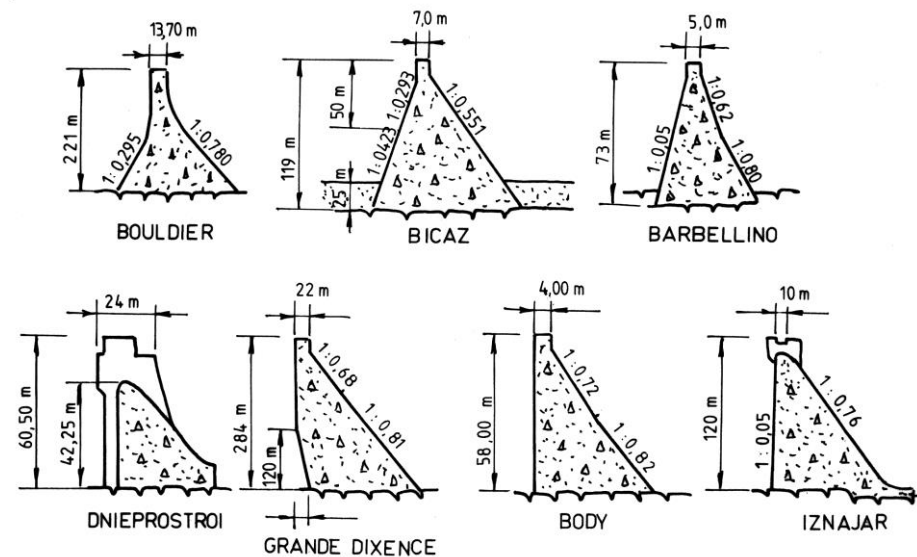


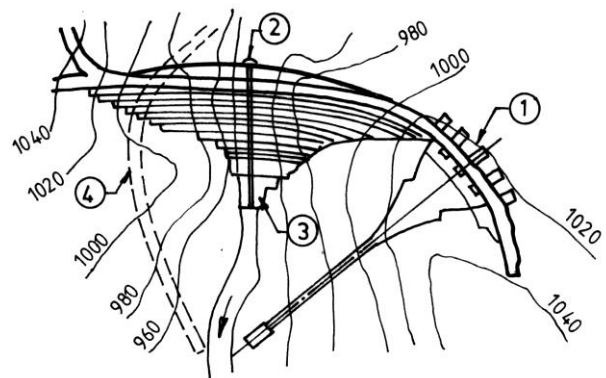
Fig.2.11.

Din punctul de vedere al posibilităților de evacuare ale apelor mari, deosebim baraje de greutate (vezi fig.2.12):

- *nedeversante*, cu descărcătorii apelor mari aflate în afara corpului barajului, sau în corpul acestora (goliri de fund);
- *deversante*, la care descărcătorii apelor mari sunt deversoare, cel mai adesea cu profil curbiliniu, amplasate în partea superioară a corpului barajului.

Aceste baraje sunt cel mai adesea construcții masive, cu înălțimi mari. Cele mai reprezentative dintre acestea sunt prezentate în tabelul 2.1.

Un indicator important al eficienței acestui tip de baraj, și nu numai, îl reprezintă raportul dintre volumul maxim al lacului de acumulare ( $m^3$  apă) și volumul corpului barajului ( $m^3$  beton). Din acest punct de vedere sunt prezentate în tabelul 2.2 câteva baraje mai reprezentative.



- ① descărcător de suprafață    ③ casa de vane  
 ② golire de fund                ④ galerie de deviere

Fig.2.12.

Tabelul 2.1.

Denumirea barajului (țara)	Înălțimea H (m)	Lungimea la coronament (m)	Volumul corpului ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Volumul de apă acumulată ( $10^9 \text{ m}^3$ )
1. Grande Dixence (Elveția)	283	700	5,957	0,40
2. Bhkara (India)	226	518	4,130	9,86
3. Boulldier (SUA)	221	379	3,364	38,29
4. Dworsak (SUA)	219	1002	4,970	4,25
5. Shasta (SUA)	183	1055	6,660	5,55
6. Alpe Gera (Italia)	178	520	1,735	0,065

Tabelul 2.2.

Denumirea barajului (țara)	Înălțimea H (m)	Volumul de apă acumulată, $V_a$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Volumul de beton $V_b$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	$\frac{V_a}{V_b}$
1. Bhratsk (URSS)	125	169.400	17,00	9.960
2. Krasnoiarsk (URSS)	124	73.300	4,35	16.800
3. Boulldier (SUA)	221	38.296	3,36	10.520
4. Bukhtarma	90	53.000	1,17	45.300

De remarcat însă faptul că barajele de greutate încarcă fundațiile lor cu eforturi moderate ( $\text{tf/m}^2$ ), adică de cca. (2,00 ÷ 2,50) ori înălțimea lor, eforturi ce

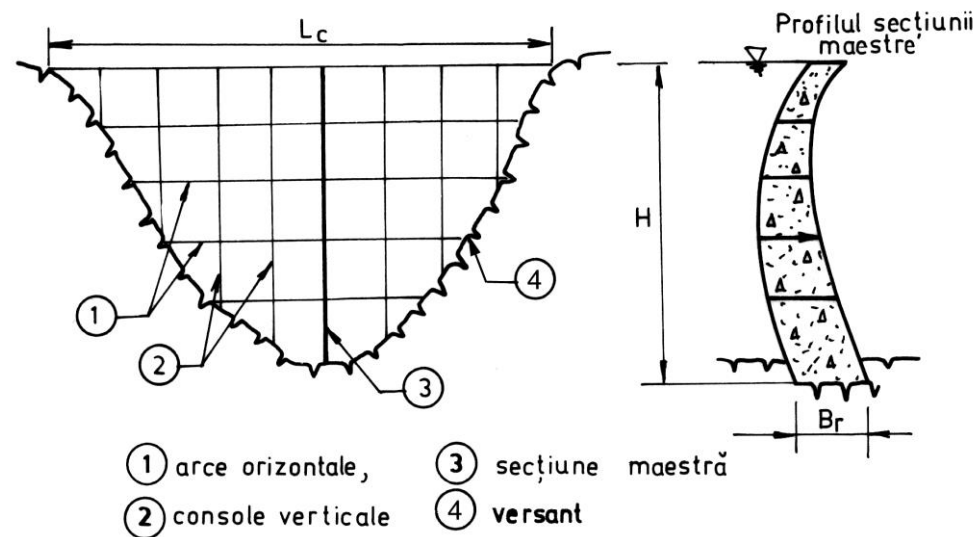
pot fi preluate în mod obișnuit de roci stâncoase sau semistâncoase. Pe terenuri de altă natură se pot construi baraje de greutate de cel mult 30 m (pe nisipuri și argile) și cel mult 40 m înălțime (pe pietriș și bolovăniș).

### 2.3.2. Baraje arcuite

Se consideră ca baraje arcuite, construcțiile cu formă curbilinie în plan, care lucrează ca bolți sau arce din punct de vedere static. Acestea transmit presiunea apei și încărcările aferente, atât după verticală cât și după orizontală, către versanții văii.

Primul baraj arcuit cunoscut în Europa este barajul Ponte Alto din Italia. Început în 1611, a fost supraînălțat în mai multe etape până în anul 1887, când a atins înălțimea de 40 m (conceput, se pare, să acționeze ca un baraj arcuit din zidărie de piatră). Primul baraj arcuit modern din Europa a intrat în funcțiune în anul 1921, în Elveția (barajul Montsalvens), înalt de 55 m.

Din punct de vedere static, un baraj arcuit poate fi considerat ca alcătuit dintr-o serie de console verticale, încastrate în roca de fundație și dintr-o serie de arce orizontale încastrate în versant.



- ① arce orizontale,                ③ secțiune maestră  
 ② console verticale              ④ versant

Fig.2.13.

Se disting două tipuri de baraje arcuite:

1. *baraje de greutate în arc*, dacă sarcinile sunt preluate în mai mare măsură pe verticală; sunt mai groase și se delimitează după forma văii;
2. *în arc pur*, dacă sarcinile sunt preluate mai mult pe orizontală; sunt mai subțiri și se delimitează după forma văii.

Între aceste două tipuri nu există o delimitare riguroasă, ci doar criterii relative. În acest context deosebim:



a) conform criteriului deschiderii relative a văii:

1) baraj de greutate în arc, dacă:  $1,50 < \frac{L_c}{H} < 3,50$ ;

2) baraj în arc pur, dacă:  $\frac{L_c}{H} < 1,50$ ;

b) după criteriul raportului complex definit prin  $\frac{H^2}{B_r}$ ;

1) baraj de greutate în arc, dacă:  $1,50 < \frac{H^2}{B_r} < 8,0$ ;

2) baraj în arc pur, dacă:  $\frac{H^2}{B_r} > 8,0$ ;

c) după criteriul coeficientului de îndrăzneală, definit prin raportul  $k = \frac{L_c^2 \cdot H^2}{V}$ , care trebuie să fie cât mai mare.

Barajele arcuite se pot construi și în văi care au raportul  $L_c/H$  superior valorii 3,5. Exemplificări în acest sens sunt date în tabelul 2.3.

Tabelul 2.3.

Barajul	Țara	Anul	Înălțimea H (m)	$L_c/H$
Cariba	Zambia	1960	125	4,20
Valle di Lei	Elveția	1961	143	3,80
Teliuc	România	1958	48	3,60

Dintre cele mai înalte baraje arcuite și cu cele mai mari valori ale coeficientului de îndrăzneală,  $k = \frac{L_c^2 \cdot H^2}{V}$ , se detașează cele prezentate în tabelul 2.4.

Tabelul 2.4.

Barajul	Țara	Anul	Înălțimea H (m)	$L_c$	Volum, V (mii m <sup>3</sup> )	$\frac{L_c^2 \cdot H^2}{V}$ (mii m)
1	2	3	4	5	6	7
Mauvoisin	Elveția	1957	227	520	2.000	7,60
Vaiont	Italia	1960	262	190	353	7,10
Tignes	Franța	1952	178	375	635	7,21

Tabelul 2.4. (continuare)

1	2	3	4	5	6	7
Karadj	Iran	1961	168	390	718	6,70
Paltinul	România	1971	108	465	280	9,00
Vidraru	România	1966	167	307	470	5,55
Teliuc	România	1963	48	222	56	1,93

În fig.2.14 sunt prezentate câteva din profilele caracteristice ale acestor baraje.

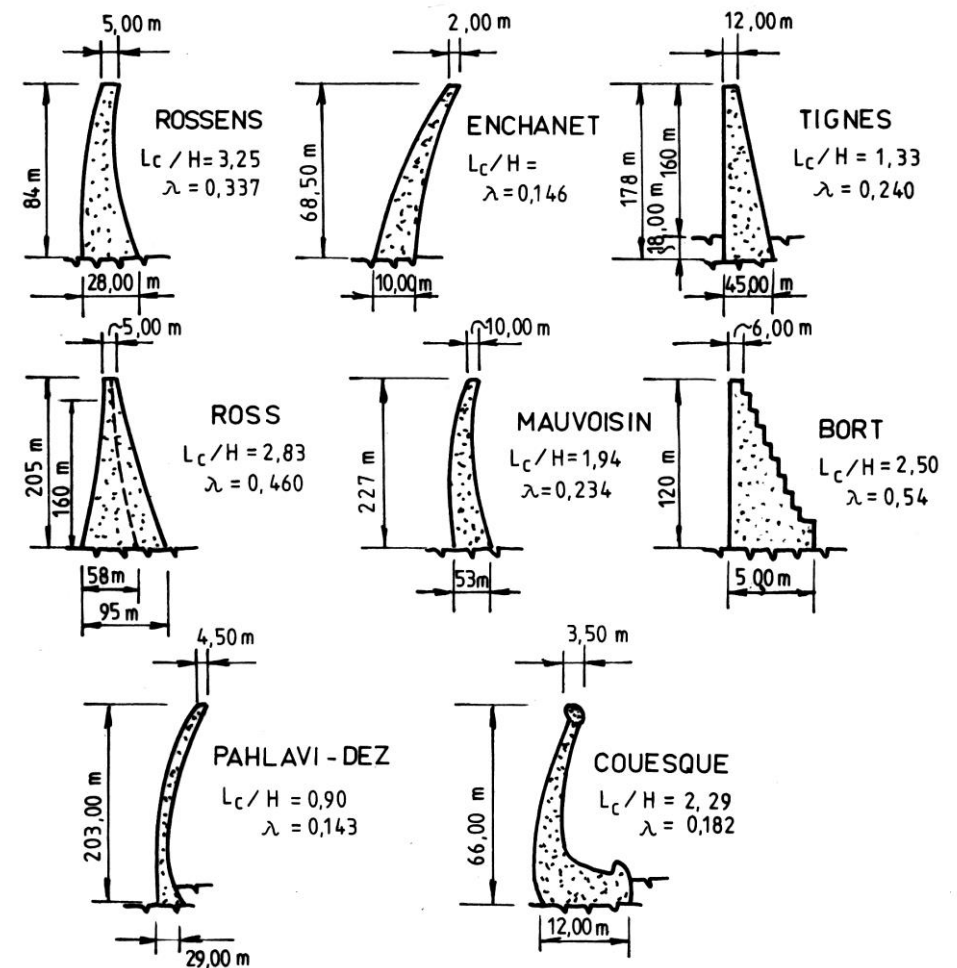


Fig.2.14.

Condițiile geologice și morfologice cerute de barajele arcuite sunt sensibile diferite de cele ale barajelor de greutate. În acest context, versanții și fundul văii

trebuie să fie alcătuiți din roci rezistente, masive, nedeformabile, etanșe și nedegradabile în contact cu apa. Dacă unele din aceste condiții nu sunt suficient de favorabile, ele pot fi îmbunătățite prin lucrări de injecții și consolidare.

De asemenea mai trebuie cunoscute: stabilitatea generală a versanților, modulul de elasticitate al terenului de fundație, rezistențele admisibile pe teren și permeabilitatea lui.

Relieful văii joacă de asemenea un rol important în alegerea soluției pentru un baraj arcuit. În acest context, relieful văii este favorabil barajului arcuit dacă  $\alpha = L_c/H$ , este cuprins între  $\alpha = 1,5 \dots 3,5$ .

### 2.3.3. Baraje cu contraforți

Sunt baraje care au goluri practicate în corpul de beton al acestora. Ideea practicării golurilor în corpul barajelor de greutate a apărut datorită faptului că eforturile care acționează în cele mai solicitate zone sunt situate în general sub valorile de care este capabil betonul. Reducerea secțiunilor active conduce la eforturi efective mai mari și implicit la o utilizare mai rațională a materialului de construcție.

Barajele cu contraforți sunt alcătuite din elemente de retenție (plăci, bolți etc.) care preiau direct presiunea apei și din contraforți verticali pe care reazemă elementele de retenție și care transmit mai departe sarcina către terenul de fundație, fie direct, fie prin intermediul unui radier. Pentru împiedicarea flambării contraforților în unele cazuri se prevăd grinzi de rigidizare. Caracteristic acestor baraje este faptul că elementele de retenție se execută înclinat, astfel încât greutatea apei de deasupra lor compensează diferența de greutate proprie față de cea a barajelor masive. De asemenea, acțiunea subpresiunii este apreciabil redusă sau înlăturată total.

Barajele cu contraforți sunt de mai multe tipuri constructive. Se vor descrie în continuare cele mai importante dintre acestea.

#### a) Baraje evidate

Sunt barajele cu goluri practicate în corpul de beton al acestora. La baza realizărilor moderne ale barajelor evidate stă propunerea inginerului italian Figari, adică a dispune goluri în zona de mijloc a barajului și prelungirea acestora până la suprafața de fundație (vezi fig.2.15). Deși propusă în anul 1900, ideea lui Figari este perfecționată și realizată de-abia în anul 1935 de către A. Stucky, prin barajul Dixence (Elveția).

Comparativ cu barajele de greutate, barajele evidate prezintă următoarele avantaje:

- reducerea subpresiunilor care acționează la talpa fundației, fenomen ce se explică prin efectul drenant al golurilor, atât pe suprafața de fundație cât și în corpul barajului;
- mărirea stabilității la alunecare prin reducerea subpresiunilor și prin contribuția pe care o aduce rezistența la forfecare a rocii cuprinse în interiorul golurilor centrale ale ploturilor componente;

- degajarea mai ușoară a căldurii de priză a cimentului, care în cazul barajelor masive produce multe inconveniente;
- posibilitatea unei supravegheri directe a comportării construcției; datorită golurilor și accesului ușor dinspre aval se pot executa fără dificultăți, eventualele lucrări de întreținere sau consolidare.

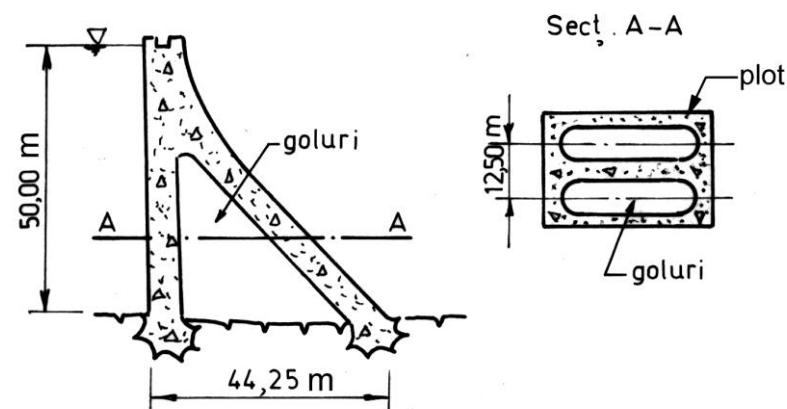


Fig.2.15. Propunerea lui Figari

Din punct de vedere geometric, plotul oricărui baraj evidat este caracterizat prin coeficienții  $\alpha$  și  $\beta$ . Coeficientul de evidare longitudinal,  $\alpha$ , este raportul dintre mărimea golului și lățimea totală a acestuia, iar cel transversal,  $\beta$ , definește mărimea umărului care încheie plotul la cei doi paramenți. Valorile acestor coeficienți variază între limitele:  $\alpha \in (0,20 \div 0,50)$ ,  $\beta \in (0,50 \div 0,80)$ .

Profilele de baraje evidate executate sau propuneri, sunt prezentate în fig.2.16.(a ÷ d).

#### b) Baraje cu contraforți ciupercă

Sunt barajele constituite din contraforți independenți, îngroșați în amonte ca niște ciuperci. Ciuperca are contur teoretic circular, practic poligonal, astfel încât presiunea hidrostatică să fie preluată radial astfel încât să apară numai eforturi de compresiune. Ingerul F.A. Noetzli este cel care a imaginat acest tip de baraj și care a intuit avantajele sale. Economii de beton care se realizează la acest tip de baraj sunt eficiente doar pentru înălțimi care depășesc 35 m.

Secțiuni și elemente caracteristice ale unui baraj cu contraforți ciupercă sunt prezentate în fig.2.17.

Exemplificări și caracteristici de asemenea baraje, în lume:

- 1) barajul *Don Martin* (Mexic), primul de acest gen, construit între anii 1927 - 1928, are înălțimea de 36 m, distanța între rosturile contraforților de 9 m, grosimea contraforților de 2 m; aceste dimensiuni au condus la un coeficient de evidare  $\beta = 7/9 = 0,78$ ;

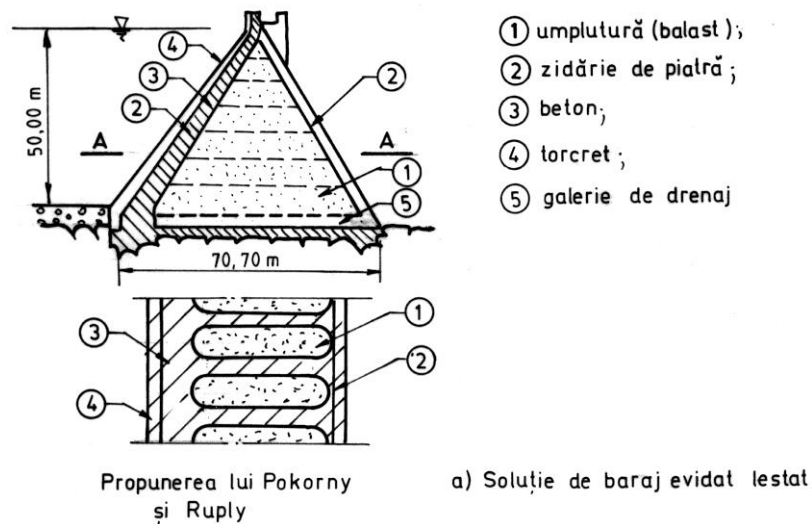


Fig.2.16.

- 2) barajul *Ikawa* (Japonia), dat în exploatare în anul 1957, cu înălțimea de 103,60 m, lungimea la coronament de 141 m și un volum de beton de 460.000 m<sup>3</sup>. Înclinarea pronunțată a paramenților amonte și aval (1 : 0,55) a rezultat din condiția de stabilitate la cutremur ( $c/g = 0,12$ ). Contraforții centrali sunt profilați pentru descărcarea frontală a apelor pentru un debit de până la 2400 m<sup>3</sup>/s.
- 3) barajul *Farahnaz Pahlavi* (Iran), dat în exploatare în anul 1967, are înălțimea de 107 m, lungimea la coronament 450 m; este alcătuit din 22 de contraforți de 14 m lățime fiecare; pentru a se asigura drenarea rocii de fundare (alcătuită din cuarțite, până la marne argiloase friabile), s-au forat peste 3.000 m de găuri cu  $\phi = 75$  mm, forajele fiind executate din galeria de drenaj de adâncime; de aici apele sunt pompate spre bazinul aval.

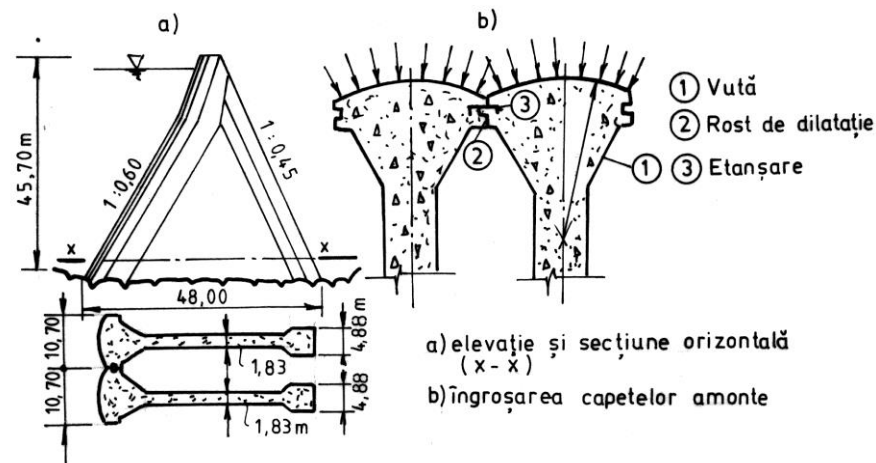


Fig.2.17.

În România, baraje evidate sunt:

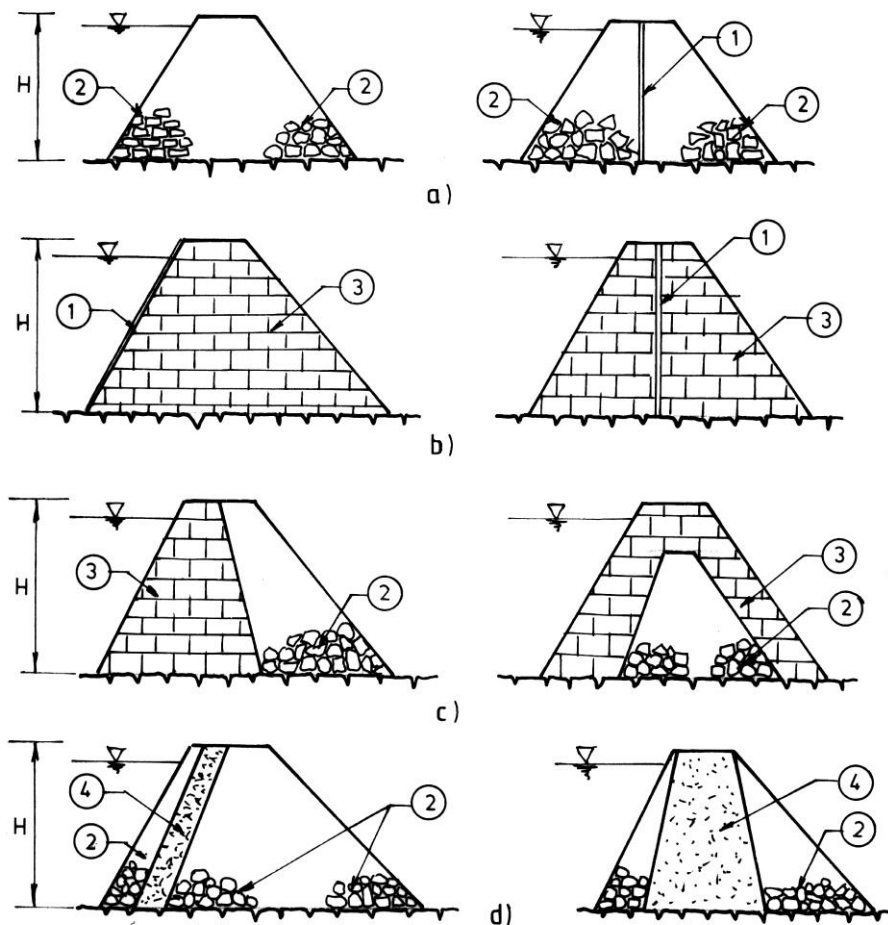
- 1) barajul *Secu*, primul baraj de acest tip din țara noastră, executat pe râul Bârzava și terminat în anul 1963; are o înălțime de 38 m și o lungime de coronament de 136 m; corpul barajului este alcătuit din 14 ploturi independente, separate prin rosturi de dilatație cu înclinația parametrului amonte 1 : 0,54, iar cea aval 1 : 0,37; lățimea ciupercilor este de 10 m, racordate în aval cu contraforți, având grosimea de 3,50 m; se realizează astfel un coeficient de evidare de  $\beta = 6,50/10 = 0,65$ ;
- 2) barajul *Strâmțori*, pe râul Firiza, proiectat și executat între anii 1960 - 1964; are înălțimea de 49,50 m, lungimea la coronament 200 m și este alcătuit din 15 ploturi, cu contraforți ciupercă;
- 3) barajul *Poiana Uzului*, dat în exploatare în anul 1972, cu înălțimea de 80,40 m, 500 m lungime la coronament și 500.000 m<sup>3</sup> de beton (a condus la o economie de 300.000 m<sup>3</sup> de beton, față de un baraj de greutate masiv); este construit din 33 ploturi de 15 m lățime fiecare, dintre care trei sunt de construcție masivă, trei deversante, iar celelalte de tip curent; ciupercile sunt de formă poligonală, de 15 m lățime, cu înclinația parametrului amonte de 1 : 0,5 și 1 : 0,45 a celui aval, rezemate pe toată înălțimea pe contraforți de 5 m lățime.

## 2.4. Baraje de piatră

Barajele de piatră sunt barajele în alcătuirea cărora intră ca element predominant piatra sub formă de blocuri de diferite dimensiuni. Aceste baraje au căpătat o răspândire considerabilă în ultimele decenii, mai ales în cazul necesității obținerii unor înălțimi mari de retenție. În același timp această soluție constructivă este cunoscută și utilizată încă din secolele XVI - XVII.

Alcătuirea generală a barajelor de piatră cuprinde: umplutura de piatră, care constituie corpul de rezistență și elementul de etanșare al acestuia. După materialul din care se realizează umplutura, deosebim:

- 1) baraje de anrocamente, realizate din piatră, piatră aruncată (neșezată) (vezi fig.2.18.a);
- 2) baraje de zidărie uscată, realizate din blocuri de piatră așezate regulat (vezi fig.2.18.b);
- 3) baraje de anrocamente și zidărie de piatră, având corpul executat parțial din anrocamente și parțial din zidărie (vezi fig.2.18.c);



- a) baraje de anrocamente; b) baraje de zidărie uscată;  
 c) baraje de anrocamente și zidărie; d) baraje de anrocamente și pământ;  
 1- element de etanșare; 2- umplutură de anrocamente; 3- zidărie de piatră;  
 4- umplutură de pământ

Fig.2.18.

- 4) baraje de piatră și pământ, având corpul executat parțial din piatră (anrocamente) și parțial din pământ; acest tip mixt de baraj face trecerea de la barajele de piatră la cele de pământ (vezi fig.2.18.d);

Elementul de etanșare al barajelor de piatră poate fi dispus:

- la mijlocul corpului acestuia (cel mai ades), caz în care poartă denumirea de diafragmă (sâmbure, nucleu);
- pe paramentul amonte, caz în care poartă denumirea de ecran (mască).

Acest element se poate executa din lemn, metal, beton armat, torcret, deci materiale rigide, sau pământuri argiloase, materiale bituminoase, materiale plastice.

Între barajele de acest tip, pot fi menționate ca reprezentative următoarele:

- a) baraje de anrocamente neșezate:
  - Paradela (Portugalia), H = 114 m;
  - Salt Springs (S.U.A.), H = 100 m;
- b) baraje de zidărie (piatră așezată):
  - Malpaso (Chile), H = 78 m (anrocamente și zidărie);
- d) baraje de anrocamente și zidărie (mixte), cu etanșare în nucleu de argilă:
  - Cheban (Turcia), H = 207 m;
  - Chepatsch (Austria), H = 153 m;
- d') baraje de anrocamente cu etanșare din ecran de argilă:
  - Miboro (Japonia), H = 131 m;
  - Brownlee (S.U.A.), H = 123,5 m;
  - Angat (Filipine), H = 120 m.

Având în vedere faptul că barajele de piatră transmit terenului de fundație eforturi mai mici decât cele din beton de aceeași înălțime, dar mai mari decât cele de pământ, acestuia i se cer calități care să asigure tasări reduse, stabilite sub acțiunea încărcărilor transmise, permeabilitate redusă și rezistență ridicată la acțiunea apelor de infiltrație. Aceste condiții sunt satisfăcute în primul rând de terenurile stâncoase, chiar și cele formate din roci mai slabe, sau nestâncoase (pietriș grosier sau bolovăniș).

Barajele de piatră nu cer calități morfologice speciale pentru valea în care se amplasează. Ele se pot construi în văi de orice formă, acest fapt constituind unul din avantajele barajelor de piatră. Aceste baraje suportă tasări importante în timpul construcției și exploatării lor. Forma văii influențează în schimb modul de tasare al materialului din corpul barajului, efect mai greu de controlat. În văile simetrice, cu pante ale versanților nu prea mari ( $\alpha < 45^\circ$ ), tasările sunt oarecum uniforme și pentru prevenirea lor sunt necesare măsuri constructive oarecum simple. În văi asimetrice cu unul sau ambii versanți abrupti tasările sunt neuniforme, rezultând deformații și deplasări importante ale materialului din corpul barajului, mai greu de controlat. Aceste deformații neuniforme au un efect negativ, în principal asupra ecranelor rigide, efect care produce fisuri periculoase. În aceste situații (văi nesimetrice) sunt necesare măsuri speciale, cum ar fi ecrane plastice, mai puțin sensibile la tasări neuniforme, sau ecrane rigide, prevăzute cu rosturi speciale, care să permită deformarea acestora fără periclitarea etanșeității.

Morfologia văii mai poate influența asupra alegerii soluției amplasării descărcătoarelor de ape mari și a lucrărilor de deviere a apelor în timpul construcției.

## 2.5. Baraje de pământ

Barajele de pământ sunt baraje alcătuite dintr-o umplutură omogenă sau neomogenă de materiale locale (în special argile, dar și nisipuri, nisipuri argiloase, argile nisipoase și pietrișuri). Corpul acestui tip de baraj poate fi executat deci dintr-un singur material sau amestecuri, astfel amplasate încât să asigure etanșeitatea și rezistența lucrării.

Ca soluție constructivă, barajele de pământ reprezintă cele mai vechi tipuri. În acest context, există informații despre baraje de pământ executate cu scopul acumulării apei pentru irigații, în Ceylon, construit între anii 500 și 200 î.Ch., având 18 km lungime la coronament, înălțimea  $H = 25$  m și un volum de cca. 17 mil.  $m^3$ , sau în India, construite în jurul anului 1000, din care unele mai sunt în funcțiune și astăzi. Cel mai mare dintre acestea a fost Madduk - Masur, de 33 m înălțime, distrus în timpul unei viituri (din cauza lipsei evacuatoarelor de ape mari).

Secțiunea transversală a acestor baraje este cel mai adesea de formă trapezoidală, cu taluzurile (amonte și aval) line (pante mici), rezultate din condițiile de stabilitate. Barajele de pământ se pot executa, practic, pe orice teren de fundație, excepție făcând măturile foarte curgătoare, terenurile cu materiale solubile în apă (gips, sare), straturile groase de turbă.

Barajele de pământ pot fi de tip:

- a) *omogen*, dacă se execută dintr-un singur tip de material, care prin proprietățile sale asigură etanșeitatea și rezistența barajului;
- a) *neomogen*, dacă profilul barajului se execută din materiale diferite; mai concret, elementul care asigură etanșeitatea (ecrane sau nuclee) de argilă, beton, metal etc., iar cele de rezistență (corpul barajului) din nisipuri, pietrișuri etc.

Barajele de tip neomogen sunt cele mai răspândite, datorită posibilităților de adaptare la condițiile locale. Ca și în cazul barajelor de piatră, elementul de etanșare amplasat pe paramentul amonte poartă denumirea de *ecran* sau *mască*, iar amplasat în partea centrală a corpului, poartă denumirea de *nucleu* sau *sâmbure*. Ecranele barajelor neomogene se execută cel mai adesea dintr-un material plastic format dintr-un strat de argilă, argilă nisipoasă sau turbă compactă. Ecranele rigide se execută din beton, beton armat, lemn sau metal (foarte rar), atunci când materialul de umplutură este foarte permeabil.

Principalele tipuri de baraje de pământ (secțiuni transversale tip) și elementele componente sunt prezentate în fig.2.19.

În cazul terenurilor de fundație permeabile, aceste baraje se completează cu elementul de racordare al corpului etanș la roca etanșă de bază. Pentru terenurile stâncoase, acest element de racordare cu stânca este un pînten (pană) de argilă sau

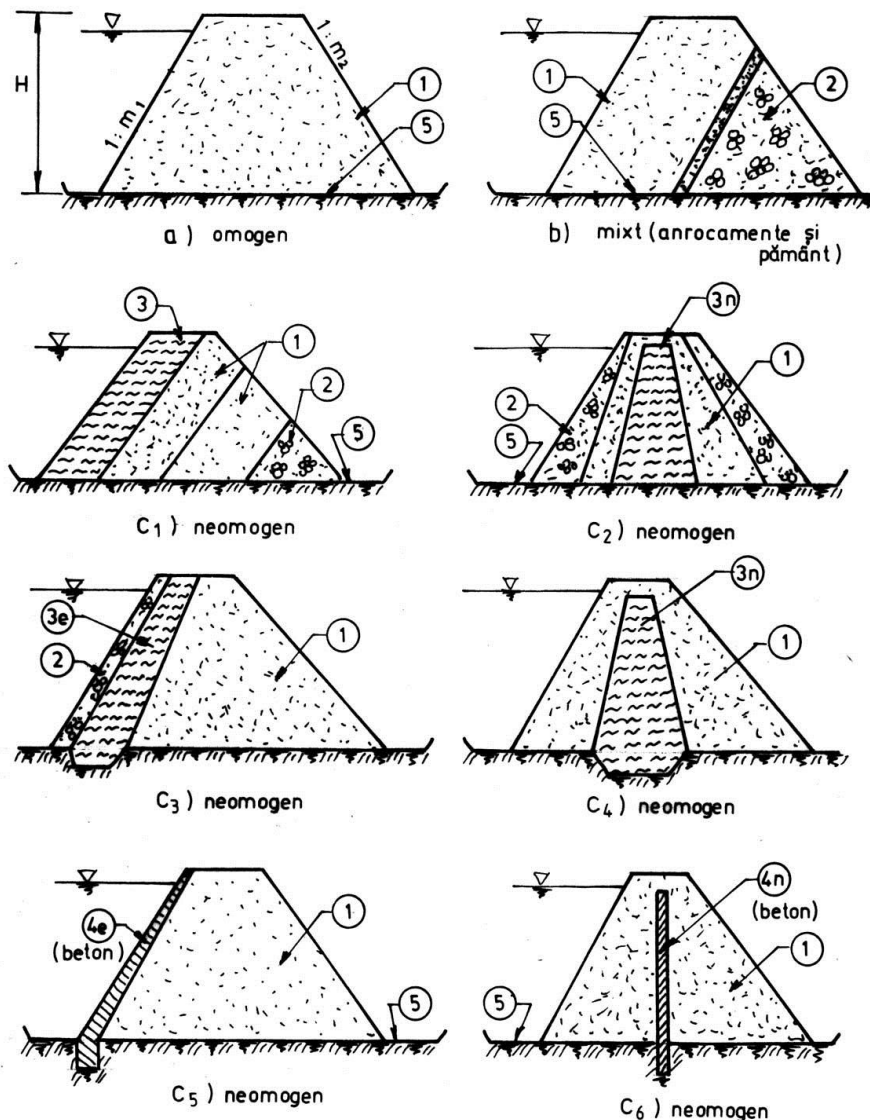


Fig.2.19

beton, prelungit, dacă este cazul, cu o perdea de etanșare prin cimentare, bitumare sau argilare (vezi fig.2.20 a, b). Pentru terenurile de fundație nestâncoase și permeabile, acesta se realizează prin prelungirea elementului de etanșare din baraj până la stratul impermeabil, dacă acesta se găsește la o adâncime acceptabilă (vezi fig.2.20 c, d, e, f). O altă soluție de lungire a drumului de infiltrație a apei pe sub baraj este cea dată de executarea unui anteradier (fig.2.20.g), sau al unui perete de palplanșe (fig.2.20.h).

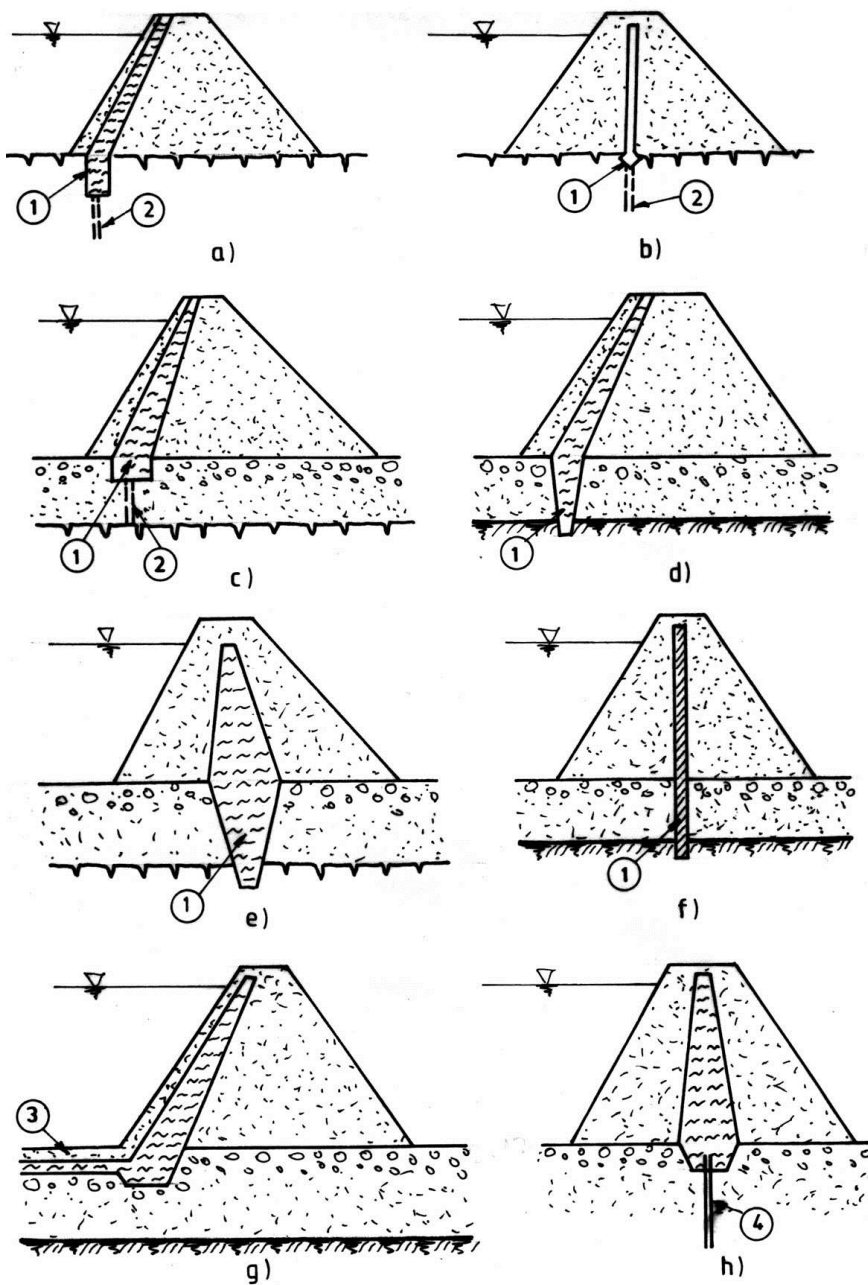


Fig.2.20.

Un alt element caracteristic barajelor de pământ este dispozitivul de drenaj (alcătuit din material cu granulație mare și rezistență foarte mică la infiltrație). Acest

element este prevăzut în scopul captării curentului de infiltrație al apei prin corpul barajului, reducând astfel zona saturată cu apă și măbind stabilitatea taluzurilor (paramenților).

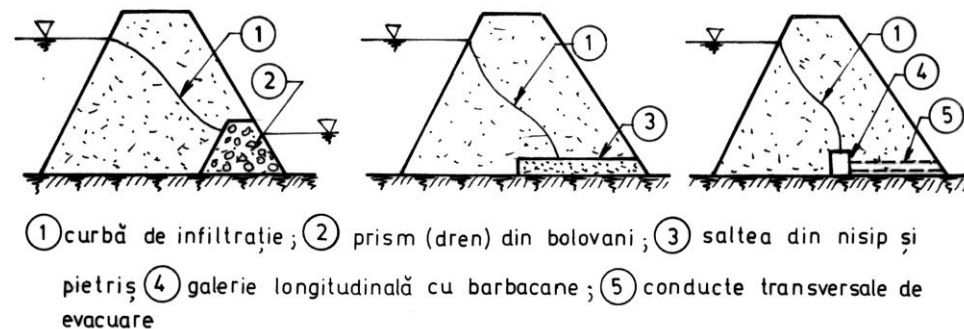


Fig.2.21.

Cele mai înalte baraje de pământ executate până în anul 1980 sunt prezentate în tabelul 2.5.

Tabelul 2.5.

Barajul	Țara	Înălțimea H (m)	Lungimea la coronament L <sub>c</sub> (m)	Volumul de pământ, (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Volumul lacului, (10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )
Nurek	URSS	310	730	58,000	10,400
Oroville	SUA	236	2.316	59,639	4,299
W.A.C. Bennet	Canada	183	2.040	43,729	70,100
Don Pedro	SUA	178	579	12,815	2,504
Charvak	URSS	168	762	2,499	2,00

În tabelul 2.6. se prezintă evoluția numerică a barajelor construite între anii 1945 - 1964 pe tipuri constructive, deci și orientările determinate de criteriile tehnico-economice.

Tabelul 2.6.

Perioada de construcție	Nr. total	Tipul barajelor							
		Materiale locale		Greutate și contraforți		Arcuite		Alte tipuri	
		Nr.	%	Nr.	%	Nr.	%	Nr.	%
1945 - 1949	400	217	54,00	212	28,00	42	10,50	29	7,50
1950 - 1954	853	436	51,00	279	33,00	81	9,50	57	6,50
1955 - 1959	1.156	620	53,00	370	32,00	85	7,50	81	7,00
1960 - 1964	1.580	927	59,00	418	27,00	141	8,00	94	6,00