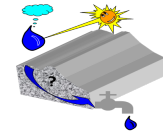


APA din cer ajunge în adâncuri iar
APA din adâncuri este adusă la robinet



STRUCTURA TEMEI PENTRU EXAMENUL DE HIDRAULICA Sesiunea iunie-iulie 2024

CUPRINS

| | |
|---|----|
| INTRODUCERE..... | 2 |
| 1. BAZA DE DATE..... | 2 |
| 1.1. Datele pentru estimarea resurselor de apă..... | 2 |
| 1.2. Datele pentru managementul sistemului lac–baraj..... | 3 |
| 1.3. Datele pentru proiectarea distribuției apei din lac..... | 4 |
| 2. BILANTUL HIDROLOGIC..... | 5 |
| 2.1. Evapotranspirația reală..... | 7 |
| 2.2. Modulul de infiltrare..... | 7 |
| 3. PROBLEME ALE LACULUI DE ACUMULARE..... | 8 |
| 3.1. Presiunea pe baraj..... | 8 |
| 3.2. Timpul necesar umplerii cu apă a lacului de acumulare..... | 8 |
| 3.3. Timpul necesar colmatării lacului cu sedimente..... | 10 |
| 4. DISTRIBUTIA APEI PE CONDUCTE..... | 11 |
| 4.1. Calculul debitelor pe conducte..... | 12 |
| 4.2. Calculul diametrului D_1 | 12 |
| CONCLUZII..... | 13 |

ATENȚIE !

Cu excepția precipitațiilor,
toate valorile din baza de date sunt exprimate în
sistemul internațional de unități (SI).

Utilizarea formulelor empirice impune restricții
speciale în privința unităților de măsură utilizate.
Respectați-le și reveniți la sistemul internațional (SI)
pentru unitățile de măsură ale **rezultatelor** obținute!

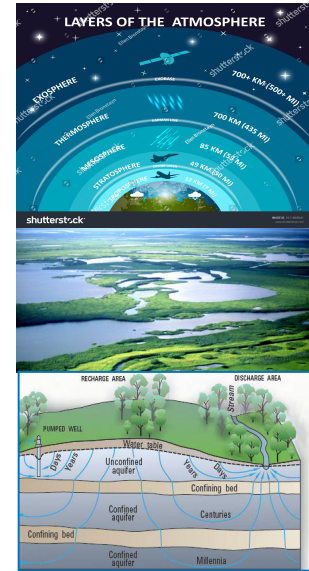
INTRODUCERE

Tema pentru examenul de **HIDRAULICA** vizează două **investiții**, plasate pe traseul cu **trei** trepte al **circuitului hidrologic global al apei** din câmpul gravitațional terestru (g), susținut de energia solară, preluată de apă sub forma **sarcinii hidrodinamice**.

$$H = z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Cele trei trepte parcurse de **apă** în acest circuit sunt:

- **Atmosfera**, unde **apa** există sub formă de:
 - **vapori**;
 - **precipitații**.
- **Bazinul hidrografic**, unde **apa** participă la:
 - **curgerea de suprafață** care o drenează spre rețeaua hidrografică sau apele de suprafață stagnante (zone umede, lacuri, mări, oceane).
- **Bazinul hidrogeologic**, unde **apa** participă la:
 - **curgerea subterană** care drenează apa spre rețeaua hidrografică (pentru alimentarea rețelei hidrografice permanente), apele de suprafață stagnante, sau o stochează temporar în structurile geologice adânci.



Cele două investiții utilizează **apa** și **potențialul ei energetic**:

- **lacul de acumulare**, pentru a cărui proiectare se calculează:
 - timpul necesar umplerii cu apă a lacului până la cota proiectată;
 - diagrama presiunilor pe baraj;
 - timpul de colmatare a lacului de acumulare cu sedimente.
- **distribuția apei** din lacul de acumulare printr-un sistem de conducte pentru a cărui proiectare se calculează:
 - diametrul conductei principale de aducțiune (D_1);
 - debitul de apă care circulă prin conducta principală de aducțiune (Q_1);
 - debitul de apă care ajunge la microhidrocentrală (Q_2);
 - debitul de apă care ajunge la captare (Q_3).

1. BAZA DE DATE

Baza de date este constituită din trei grupe de date:

- Datele pentru estimarea resurselor de apă care alimentează **lacul de acumulare**;
- Datele pentru managementul sistemului **lac-baraj**;
- Datele pentru proiectarea **distribuției apei** din lacul de acumulare.

1.1. Datele pentru estimarea resurselor de apă

Estimarea resurselor de apă care alimentează lacul de acumulare se bazează pe **ecuația bilanțului hidrologic (Tabelul 1.1)**.

Tabelul 1.1. Datele pentru estimarea resurselor de apă

| CATEGORIE DE ESTIMARE | DENUMIRE PARAMETRU | SIMBOL |
|--------------------------------|---------------------------------|--------|
| BILANTUL HIDROLOGIC | Conductivitate hidraulică | K |
| | Cota culcuș acvifer în P1 | z1 |
| | Cota culcuș acvifer în P2 | z2 |
| | Cota culcuș acvifer în P3 | z3 |
| | Sarcina piezometrică în P1 | H1 |
| | Sarcina piezometrică în P2 | H2 |
| | Sarcina piezometrică în P3 | H3 |
| | Distanța dintre P1-P2 | L |
| | Distanța dintre P1-P3 | x3 |
| | Suprafața bazinului hidrografic | SBH |
| | Precipitații medii | P |
| | Temperatura | T |
| | Lățimea talvegului | b |
| | Grosimea curentului de apă | h |

1.2. Datele pentru managementul sistemului lac-baraj

Datele pentru managementul sistemului **lac-baraj** vizează proiectarea barajului și întreținerea lacului de acumulare (**Tabelul 1.2**)

Tabelul 1.2. Datele pentru managementul sistemului lac-baraj

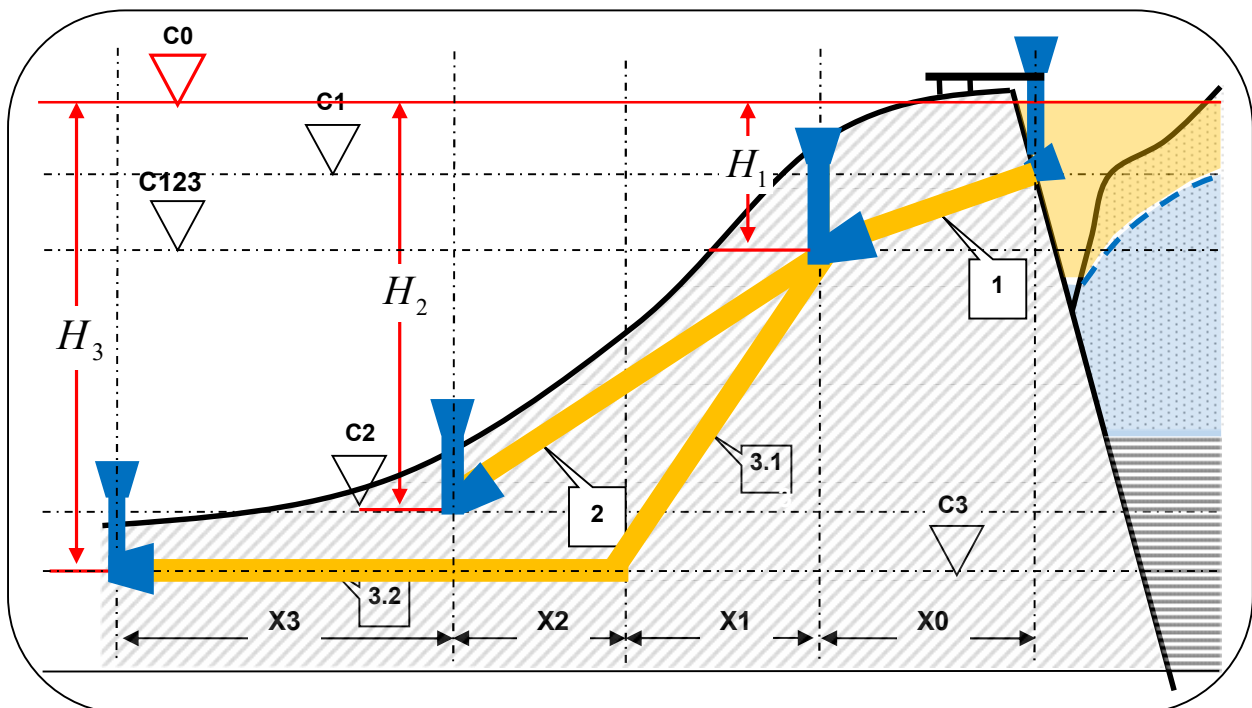
| CATEGORIE DE ESTIMARE | DENUMIRE PARAMETRU | SIMBOL |
|-----------------------|---------------------------------|--------|
| LAC-BARAJ | Diametru mediu granule minerale | D |
| | Densitate sediment | Ro_sed |
| | Accelerație gravitațională | g |
| | Limită vestică perimetru | Xmin |
| | Limită estică perimetru | Xmax |
| | Limită sudică perimetru | Ymin |
| | Limită nordică perimetru | Ymax |
| | COTA Coronament BARAJ | CCB |
| | Cota nivel maxim in lac | C0 |
| | Cota nivel etiaj | CNET |
| | Densitate apă | Ro_apa |
| | Durata unui an hidrologic | AN |

1.3. Datele pentru proiectarea distribuției apei din lac

Datele pentru proiectarea distribuției prin conducte a apei din lacul de acumulare (**Tabelul 1.3**) pentru **sistemul de conducte din figura alăturată**, sunt utilizate pentru evaluarea debitelor de apă și a diametrelor.

Tabelul 1.3. Datele pentru calculul distribuției apei

| CATEGORIE DE ESTIMARE | DENUMIRE PARAMETRU | SIMBOL | UM |
|---|--|--------|----|
| DISTRIBUTIA APEI DIN LAC PRIN SISTEM DE CONDUCTE | Cota la sorbul conductei 1 | C1 | m |
| | Cota bifurcației conductei 1 | C123 | m |
| | Cota la capătul conductei 2 | C2 | m |
| | Cota la capătul conductei 3 | C3 | m |
| | Proiecția conductei 1 pe orizontală | X0 | m |
| | Proiecția conductei 3.1 pe orizontală | X1 | m |
| | Proiecția conductei 2 pe orizontală | X1+X2 | m |
| | Proiecția conductei 3.2. pe orizontală | X2+X3 | m |
| | Diametrul conductei 2 | D2 | m |
| | Diametrul conductei 3 | D3 | m |



Sistemul de conducte pentru distribuirea apei din lacul de acumulare
(comun pentru toți studenții)

2. BILANTUL HIDROLOGIC

Obiectivul bilanțului hidrologic este evaluarea **debitului** râului (Q_{rau} - debitul de apă care curge pe talvegul râului) ce urmează să fie barat pentru realizarea unui **lac de acumulare (Fig.1).**

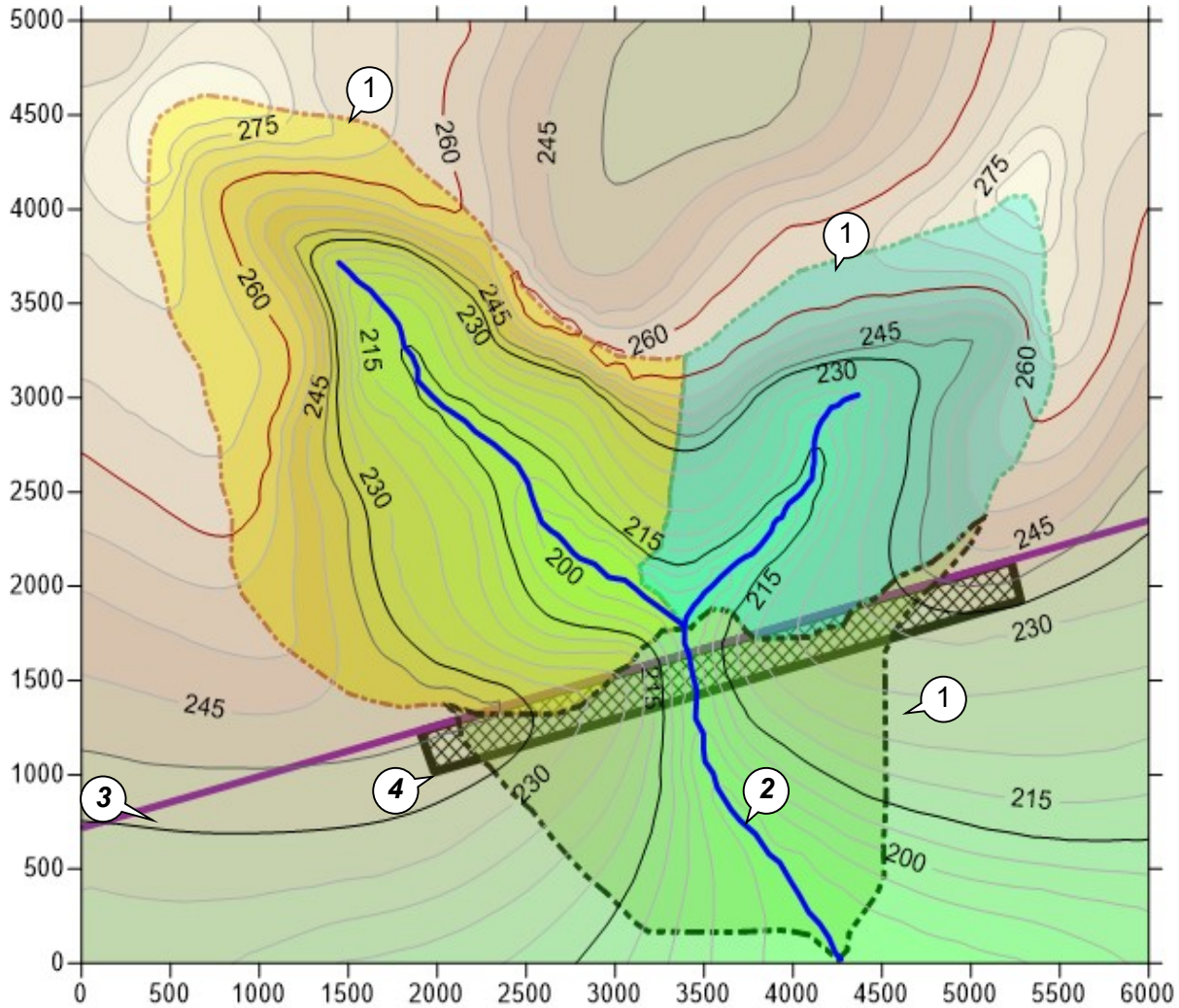


Fig.1. Harta topografică a zonei în care se realizează lacul de acumulare (echidistanța curbelor de nivel $e = 5$ m)

- 1-Linia de cumpană a apelor de suprafață care separă bazinele hidrografice
- 2-Rețeaua hidrografică
- 3-Aliniamentul de amplasare al barajului
- 4-Corpul barajului

Ecuția bilanțului hidrologic anual, în forma cea mai acoperitoare (se neglijează stocările și alimentarea subterană a cursului de apă barat pentru realizarea lacului de acumulare) are următoarele componente:

- P - precipitațiile medii anuale; $\left[\frac{m^3}{an \cdot m^2} \right]$
- E - evapotranspirația care revine în atmosferă; $\left[\frac{m^3}{an \cdot m^2} \right]$
- w - modulul de infiltrare atmosferică; $\left[\frac{m^3}{an \cdot m^2} \right]$

Debitul râului (Q_{rau}) care este alimentat din curgerea de suprafață a bazinului hidrografic, provine din cantitatea de apă care rămâne după evapotranspirație și infiltrare și se calculează cu relația:

$$Q_{rau} = [P - (E + w)] \cdot S_{BH}$$

în care:

S_{BH} - suprafața bazinului hidrografic $[m^2]$

Q_{rau} - debitul râului; $\left[\frac{m^3}{an} \right]$

NOTA. Pentru amenajările hidrotehnice reale, debitul râului utilizat este valoarea medie a debitelor râului măsurate o perioadă de minimum 10 ani pentru a avea o **asigurare experimentală** corespunzătoare pentru debitul minim și debitul maxim al râului ce va fi barat.

Asigurarea experimentală se definește pentru un șir de n valori ale debitului râului (Q_1, Q_2, \dots, Q_n), măsurate la fiecare interval de timp Δt . Dacă cele n valori ale debitului (Q)

sunt **independente** și cu probabilitățile de realizare egale ($p = \frac{1}{n}$), se ordonează **descrescător**

și se definesc două tipuri de asigurări experimentale:

- **asigurarea empirică de egalare sau depășire** $P_m^{egalare} = \sum_{i=1}^{i=m} p_i = \frac{m}{n}$
- **asigurarea empirică de nedepășire** $P_m^{nedepasire} = \sum_{i=m}^{i=n} p_i = \frac{n-m}{n}$

relații în care m este rangul valorii (poziția valorii în șirul ordonat descrescător) iar n este numărul total de valori disponibile.

(Detalii găsiți în <https://www.scribd.com/document/268674516/Curs-Hidrogeologie-Generala>).

2.1. Evapotranspirația reală

Evapotranspirația este prima componentă a bilanțului hidrologic care se poate măsura cu ajutorul **lizimetrului** și estima cu diverse relații empirice. Recomandăm pentru temă, utilizarea relației (L. Turc):

P - precipitațiile medii anuale $\left[\frac{\text{mm}^3}{\text{an} \cdot \text{mm}^2} \right]$

$$L_T = 300 + 25 \cdot T_m + 0,05 \cdot T_m^2$$

T_m - temperatura medie $[^\circ\text{C}]$

$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L_T^2}}}; \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{an} \cdot \text{mm}^2} \right]$$

Evapotranspirația este cantitatea de apă care revine în atmosferă datorită **evaporării** apei care cade pe suprafața morfologică sau a lacurilor/râurilor și **transpirației** plantelor. Evaluarea prin relația empirică a lui L. Turc poate conduce la erori de estimare de 40-50%.

2.2. Modulul de infiltrare

Modulul de infiltrare (w) poate fi estimat cu ajutorul modelului matematic al curgerii staționare, neconservative, plan verticale, din acviferele cu nivel liber, omogene și izotrope pe baza cunoașterii a trei cote ale nivelului piezometric (H_1, H_2, H_3) pe o secțiune paralelă cu direcția de curgere (Fig.2).

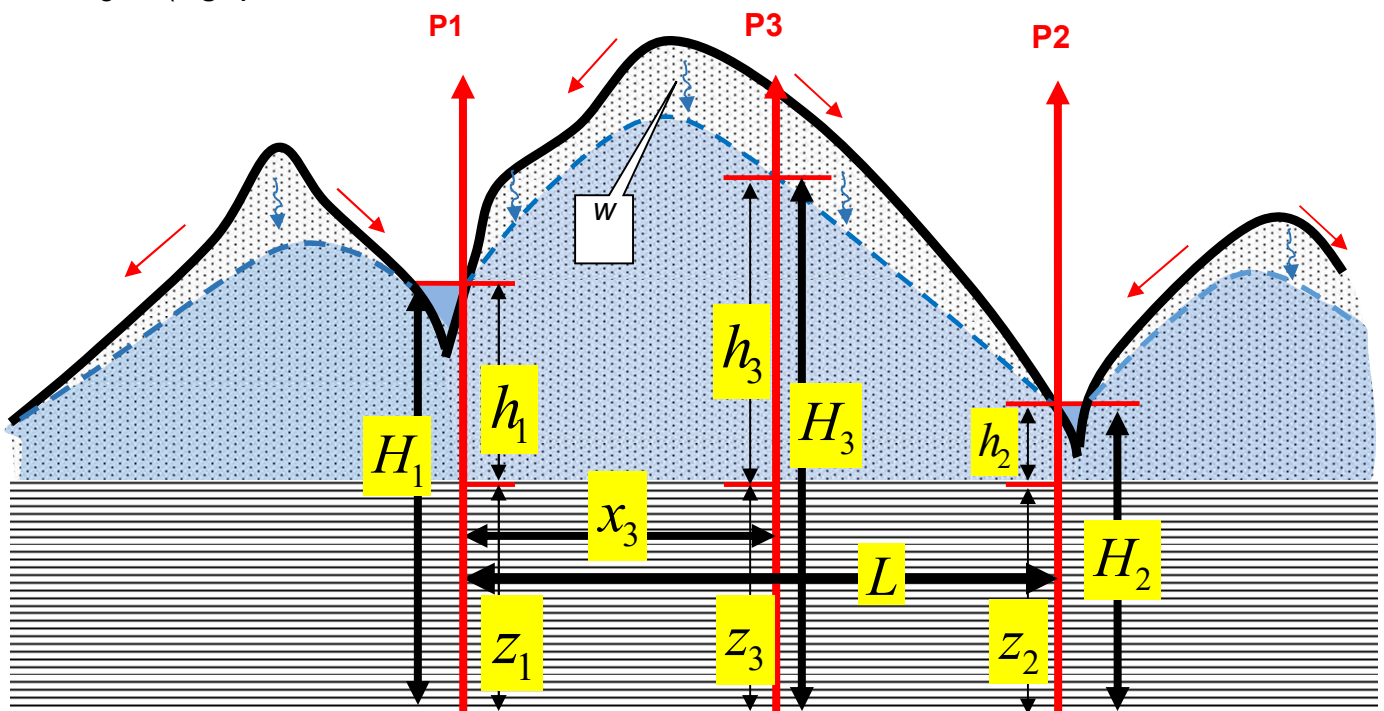


Fig.2. Secțiune pentru calculul modului de infiltrare (w)

Pentru calculul modului de infiltrare (w) este necesară și cunoașterea conductivității hidraulice a terenurilor permeabile (K), relația de calcul fiind:

$$w = K \cdot \left[\frac{h_1^2 - h_2^2}{L \cdot (L - x_3)} - \frac{h_1^2 - h_3^2}{x_3 \cdot (L - x_3)} \right]$$

3. PROBLEME ALE LACULUI DE ACUMULARE

Principalele probleme ale lacului de acumulare sunt legate de stabilitatea barajului sub presiunea exercitată de apa din lac, durata de umplere cu apă a lacului până la cota maximă proiectată și durata de colmatare cu sedimente a lacului.

3.1. Presiunea pe baraj

Barajul este solicitat pe ambele părți de presiunea exercitată de apă (**Fig.3**):

- în bieful amonte cota apei este cea corespunzătoare nivelului maxim (**CO**)
- în bieful aval cota apei este cea corespunzătoare nivelului de etiaj (**CNET**)

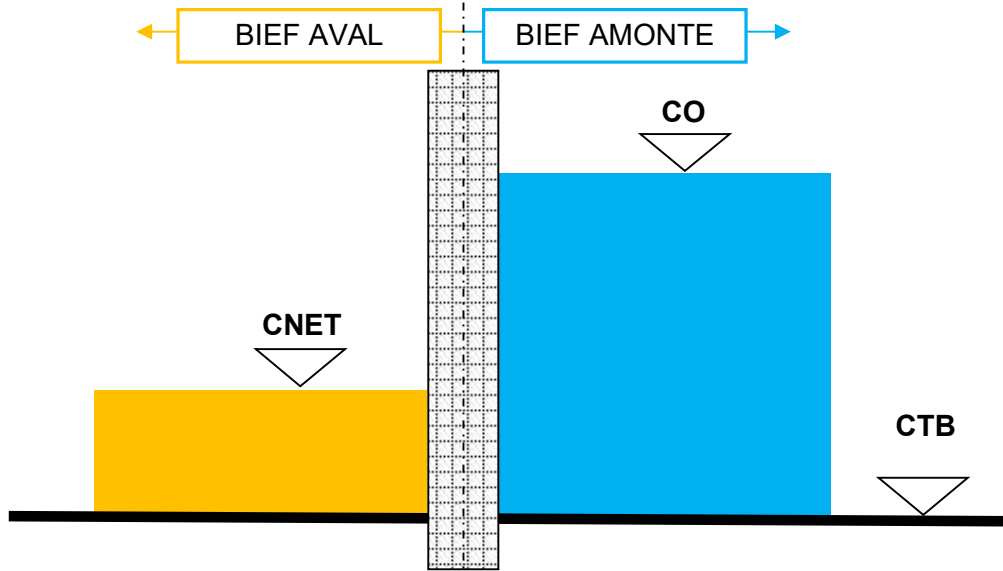


Fig.3. Schematizarea barajului pentru calculul diagramei presiunilor hidrostatice

Trasarea diagramei presiunilor hidrostatice pe baraj se face în ipoteza că greutatea volumică a apei este aceeași atât în bieful amonte cât și în bieful aval.

3.2. Timpul necesar umplerii cu apă a lacului de acumulare

Estimarea timpului necesar umplerii cu apă a lacului de acumulare până la cota maximă proiectată se bazează pe:

- **Volumul lacului** (V_{lac}) estimat din (se utilizează programul Surfer, v10):
 - Modelul digital al terenului pe baza hărții topografice a zonei de amplasare a barajului (**Fig.1**);
 - Poziția barajului (**Fig.1**);
 - Cota maximă a apei în lac (**CO**; **Fig.3**).
- **Debitul râului** estimat în paragraful anterior (Q_{rau})

Timpul de umplere (t_u) cu apă a lacului se calculează cu relația:

$$t_u = \frac{V_{lac}}{Q_{rau}}$$

NOTA. Succesiunea prelucrărilor pentru calculul volumului lacului de acumulare (V_{lac}) este:

- Calculul modelului digital al terenului (MDT) prin digitizarea hărții topografice a zonei (**Fig.4**) și realizarea grid-ului de interpolare a cotelor terenului;

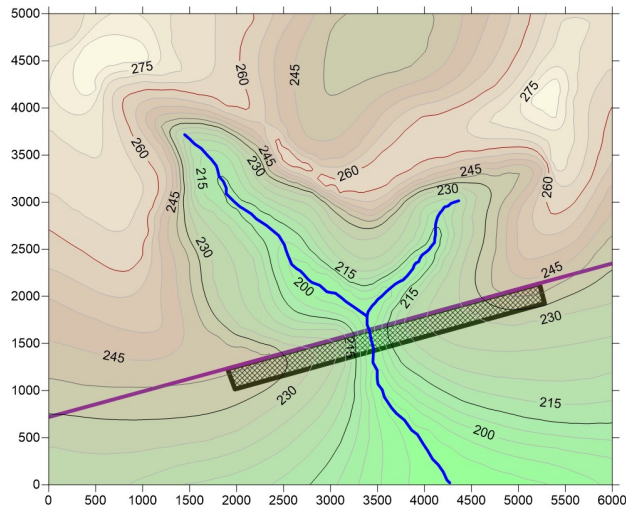


Fig.4. Harta topografică

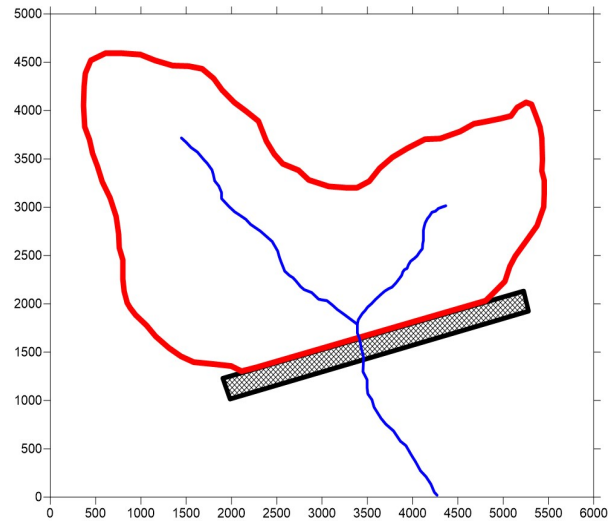


Fig.5. Bazinul hidrografic al secțiunii barajului

- Delimitarea bazinului hidrografic al secțiunii barajului (**Fig.5**);
- Stergerea (Blank) grid-ului MDT în exteriorul bazinului hidrografic al secțiunii barajului.
- Calculul volumului lacului de acumulare corespunzător cotei nivelului maxim din lac (C_0 ; **Tabelul 1.2**) cu ajutorul programului surfer (Grid_Blank+volume.... ; **Fig.6**). Rezultatul calculului se salvează într-un fișier de de tip Rich Text Format care poate fi citit cu editorul de text (Word) din Office. Valoarea volumului calculat este exprimată în unitatea de măsură a coordonatelor sistemului de referință în care se lucrează (L^3).

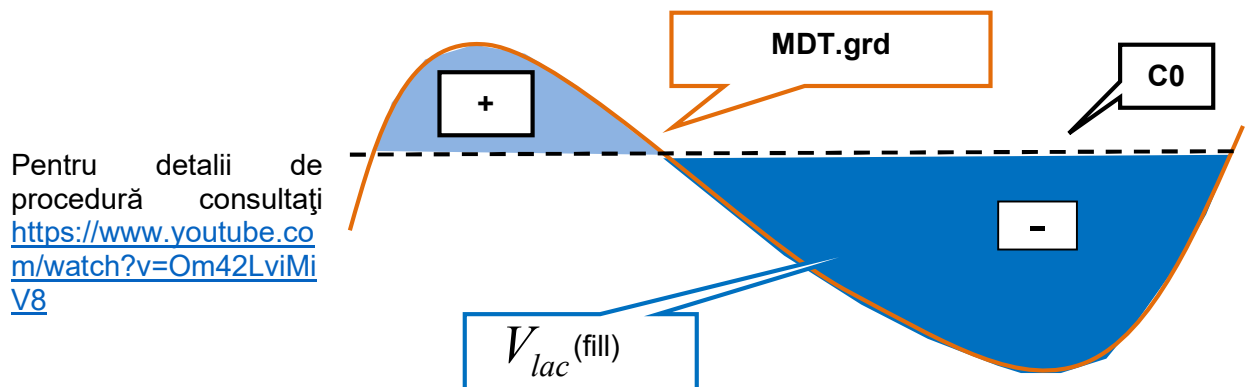


Fig.6. Modelul de calcul al volumului lacului

3.3. Timpul necesar colmatării lacului cu sedimente

Estimarea timpului de umplere cu sedimente a lacului va lua în considerare numai sedimentele antrenate prin **alunecare în contact cu substratul solid** (Fig. 7) și presupune următoarea succesiune de calcule:

- **viteza de antrenare a sedimentelor:**

- panta hidraulică medie a râului barat (J):

$$J = \frac{Cota_{sup} - Cota_{inf}}{Lungime_{rau}}$$

- raza hidraulică a talvegului râului barat (R_h):

$$R_h = \frac{b \cdot h}{2 \cdot h + b}$$

- viteza medie de antrenare a sedimentelor (\bar{V}_{ss_medie}):

$$\bar{V}_{ss_medie} \left[\frac{m}{sec} \right] = 26 \cdot \left(\frac{R_h}{D} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot \sqrt{R_h \cdot J}; J[-]; D[m]; R[m]$$

- viteza minimă de antrenare a sedimentelor (V_{ss0}):

$$V_{ss0} \left[\frac{cm}{sec} \right] = \sqrt{g \cdot (15 \cdot D + 0,6)}; g \left[\frac{cm}{sec^2} \right]; D[cm]$$

- **Debitul de sediment**

- grosimea minimă de apă corespunzătoare vitezei minime (h_0):

$$h_0 = h \cdot \left(\frac{V_{ss0}}{\bar{V}_{ss_medie}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

- debitul unitar de fluid pentru viteza minimă (q_0):

$$q_0 = h_0 \cdot V_{ss0}$$

- debitul unitar de fluid pentru viteza medie (q):

$$q = h \cdot \bar{V}_{ss_medie}$$

- debitul unitar solid masic (q_s)

$$q_s \left[\frac{kg}{sec \cdot m} \right] = \frac{7000}{\sqrt{D}} \cdot J^{\frac{3}{2}} (q - q_0); D[mm]; J[-]; q \left[\frac{m^3}{sec \cdot m} \right]; q_0 \left[\frac{m^3}{sec \cdot m} \right]$$

- debitul total solid masic (Q_s):

$$Q_s = q_s \cdot b$$

- debitul total solid volumic (Q_V):

$$Q_V = \frac{q_s \cdot b}{\rho_{sed}}$$

- **Timpul de colmatare** a lacului cu sediment (t_c):

$$t_c = \frac{V_{lac}}{Q_V}$$

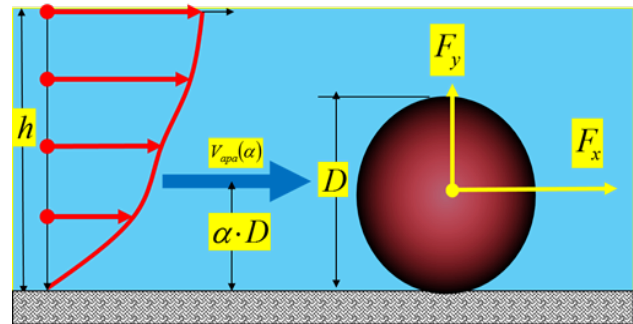
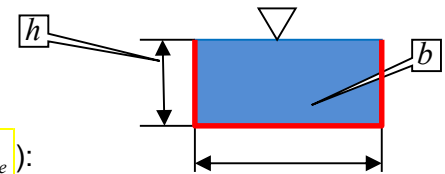


Fig.7. Model conceptual al antrenării prin alunecare pe substrat solid a sedimentelor



4. DISTRIBUTIA APEI PE CONDUCTE

Distribuția apei din lacul de acumulare spre cele două investiții presupune cunoașterea geometriei sistemului de conducte (**Fig.8**) și caracteristicile materialului din care sunt construite conductele.

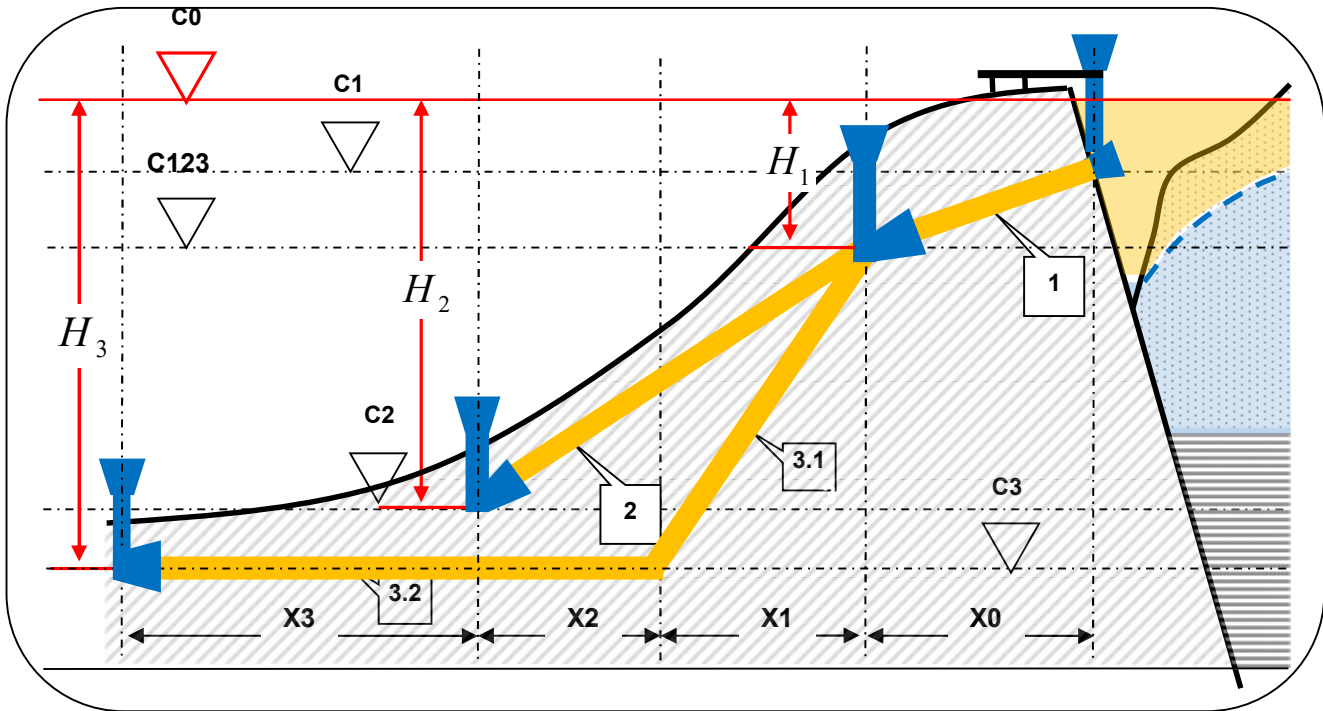


Fig. 8. Sistemul de conducte pentru distribuirea apei din lacul de acumulare

Cele două investiții sunt:

- **Microhidrocentrala**, la capătul conductei 2;
- **Alimentarea** cu apa, la capătul conductei 3 (cu cele două tronsoane: 3.1 și 3.2).

Managementul apei din lacul de acumulare pentru cele două investiții se bazează pe:

- D_1 - *diametrul* conductei principale de aducțiune;
- Q_1 - *debitul de apă* care circulă prin conducta principală de aducțiune;
- Q_2 - *debitul de apă* care ajunge la microhidrocentrală ;
- Q_3 - *debitul de apă* care ajunge la captare.

Calculul debitelor de lichid pe sistemul de conducte ramificate se face pe baza celor două principii fundamentale ale hidrodinamicii:

- Principiul **conservării energiei** exprimat de sistemul de ecuații:

$$\begin{cases} H_1 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} \cdot L_1 \\ H_2 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} \cdot L_1 + \frac{Q_2^2}{K_2^2} \cdot L_2 \\ H_3 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} \cdot L_1 + \frac{Q_3^2}{K_3^2} \cdot L_3 \end{cases}$$

- Principiul **conservării masei** exprimat de ecuația:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

În ecuațiile sistemului conservării energiei, modulii de debit (K_1, K_2, K_3) sunt în funcție de diametrul conductelor (D_1, D_2, D_3) cu un coeficient Manning: $n = 0,013$ (Tabelul 4.1).

4.1. Calculul debitelor pe conducte

Calcul debitelor Q_1, Q_2, Q_3 și al diametrului conductei 1 (D_1) în condițiile respectării principiului conservării energiei se bazează pe rezolvarea sistemului de ecuații:

$$\begin{cases} Q_1 = K_1 \cdot \sqrt{\frac{H_1}{L_1}} \\ Q_2 = K_2 \cdot \sqrt{\frac{H_2 - \frac{Q_1^2}{K_1^2} \cdot L_1}{L_2}} \\ Q_3 = K_3 \cdot \sqrt{\frac{H_3 - \frac{Q_1^2}{K_1^2} \cdot L_1}{L_3}} \end{cases}$$

Sucesiunea calculelor pentru determinarea **debitelor** Q_1, Q_2, Q_3 este:

- Se calculează debitele Q_1, Q_2, Q_3 conform sistemului care exprimă conservarea energiei pentru un diametru D_1 oarecare (se recomandă utilizarea diametrului conductei 2 - D_2 - care este cunoscut).
- Se stabilește prin încercări valoarea modulului de debit care asigură respectarea principiului conservării masei ($Q_1 = Q_2 + Q_3$);
- Se stabilește corelația dintre modulul de debit și diametrul conductei: $D = 22,448 \cdot K^{0,375}$

4.2. Calculul diametrului D_1

- Se determină diametrul D_1 corespunzător modulului de debit care asigură respectarea principiului conservării masei pe baza corelației: $D = 22,448 \cdot K^{0,375}$

| Tabelul.4.1. $K=f(D)$ | |
|-----------------------|--------------|
| D[mm] | K[litri/sec] |
| 50 | 8.46 |
| 75 | 24.94 |
| 100 | 53.72 |
| 125 | 97.4 |
| 150 | 158.4 |
| 175 | 238.9 |
| 200 | 341.1 |
| 225 | 467 |
| 250 | 618.5 |
| 300 | 1006 |
| 350 | 1517 |
| 400 | 2166 |
| 450 | 2965 |
| 500 | 3927 |
| 600 | 6386 |
| 700 | 9632 |
| 750 | 11580 |
| 800 | 13750 |
| 900 | 18830 |
| 1000 | 24930 |
| 1200 | 40550 |
| 1400 | 61160 |
| 1600 | 87320 |
| 1800 | 119500 |
| 2000 | 158300 |

CONCLUZII

Concluziile trebuie să fie un comentariu al rezultatelor obținute, rezultate care să fundamenteze o **evaluare a eficienței economice a lacului de acumulare**.

Evaluarea preliminară a eficienței economice a lacului de acumulare presupune identificarea **factorilor** care determină creșterea/reducerea profitului adus de:

- lacul de acumulare
- distribuția apei din lac pentru:
 - microhidrocentrală;
 - alimentarea cu apă.

Finalizarea temei constă în identificarea acestor **factori** și comentarea **corelației** cu **rezultatele** obținute prin prelucrarea datelor din baza de date.

NOTA.

Datele pentru întocmirea temei vor fi particularizate pentru fiecare student:

- **fișier png** cu harta topografică a zonei barajului (comună pentru toți studenții);
- **fișier xls** cu datele numerice (diferite pentru fiecare student).

Redactarea temei va urma structura prezentată mai sus, cu următoarele precizări:

- **Tabelele 1.1, 1.2, 1.3** vor fi completate cu două coloane suplimentare în care vor fi înscrise **valorile parametrilor (VALOARE)** și unitățile de măsură (**U.M.**) din fișierul xls primit.
- **Formulele** utilizate pentru calcul vor fi reproduse în două variante:
 - **forma inițială** din structura temei;
 - cu valorile parametrilor corespunzători înlocuite și rezultatele obținute prin calculele realizate (cu afișarea unităților de măsură utilizate).
- Pentru calculul **volumului lacului**:
 - valorile rezultate în urma digitizării hărții topografice a zonei barajului (X, Y, cota teren), utilizate pentru calculul Modelului Digital al Terenului (MDT), se vor salva într-o foaie de lucru a **fișierului xls cu baza de date primit**;
 - **fișierul "Boundary line"** (*.bln) pentru ștergerea (Blank) **rețelei de interpolare a MDT** în exteriorul bazinului hidrografic al secțiunii barajului se va realiza prin digitizarea **conturului închis** determinat de **limita bazinului hidrografic și amplasamentul barajului (Fig.5. Bazinul hidrografic al secțiunii barajului: conturul roșu)**;
 - **harta conturală a MDT** (doar cea din interiorul bazinului hidrografic!) completată cu rețeaua hidrografică, poziția barajului) construită în Sufer va fi inserată în fișierul Word;
 - în fișierul Word va fi inserată imaginea cu **valoarea volumului lacului** (Print Screen cu fragmentul corespunzător din raportul generat de programul Surfer).
- Pentru **diagramele de presiune** pe baraj vor fi incluse în temă **graficele**.
- Pentru **distribuția apei pe conducte** vor fi incluse în temă și rezultatele **intermediare**, corespunzătoare **succesiunii prelucrărilor** până la obținerea rezultatelor finale.

Examenul oral se va desfășura în format fizic. În ziua examinării va veni prezenta cu proiectul imprimat și cu fișierul Excel (cu prelucrările numerice) în format digital.

SUCCES!!!