

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



## STRUCTURA TEMEI PENTRU EXAMENUL DE HIDRAULICA Sesiunea mai-iunie 2022

### 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 ( $\vec{g}$ ), 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 cărei 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
<b>BILANTUL HIDROLOGIC</b>	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**

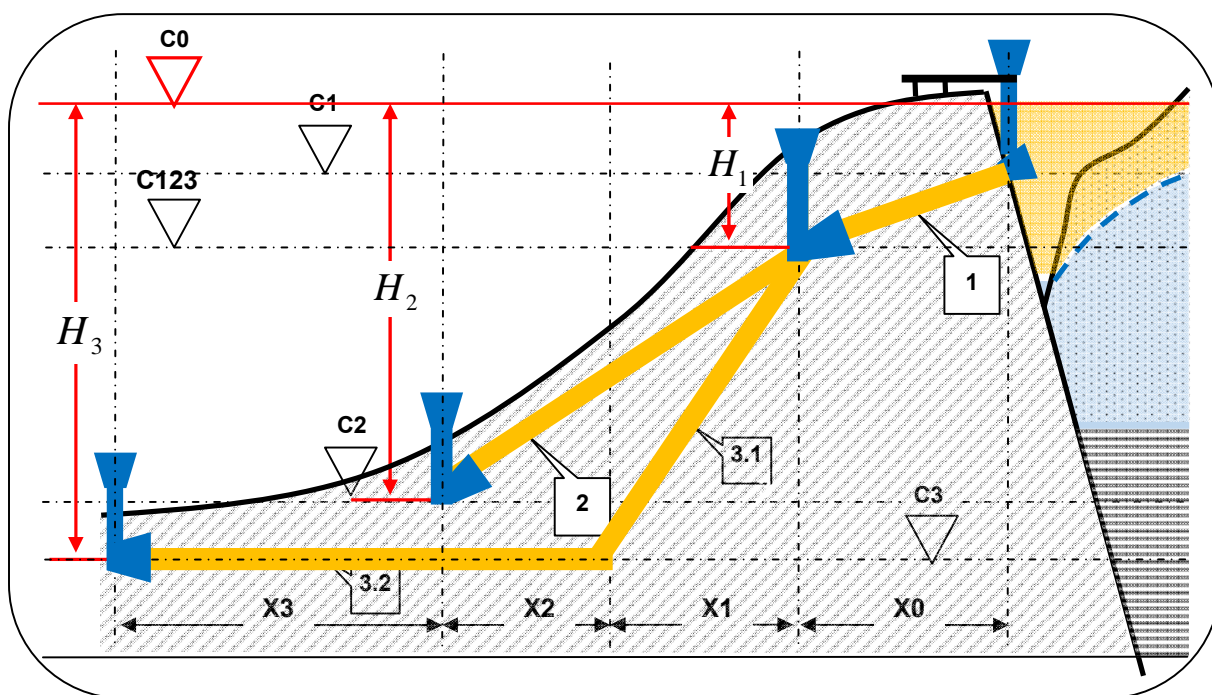
CATEGORIE DE ESTIMARE	DENUMIRE PARAMETRU	SIMBOL
<b>LAC-BARAJ</b>	Diametru mediu granule minerale	D
	Densitate sediment	Ro_sed
	Accelerație gravitațională	g
	Limită vestică perimetru	Xmin
	Limită estică perimetru	Xmax
	Limită sudică perimetru	Ymin
	Limită nordică perimetru	Ymax
	COTA_Coronament_BARAJ	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

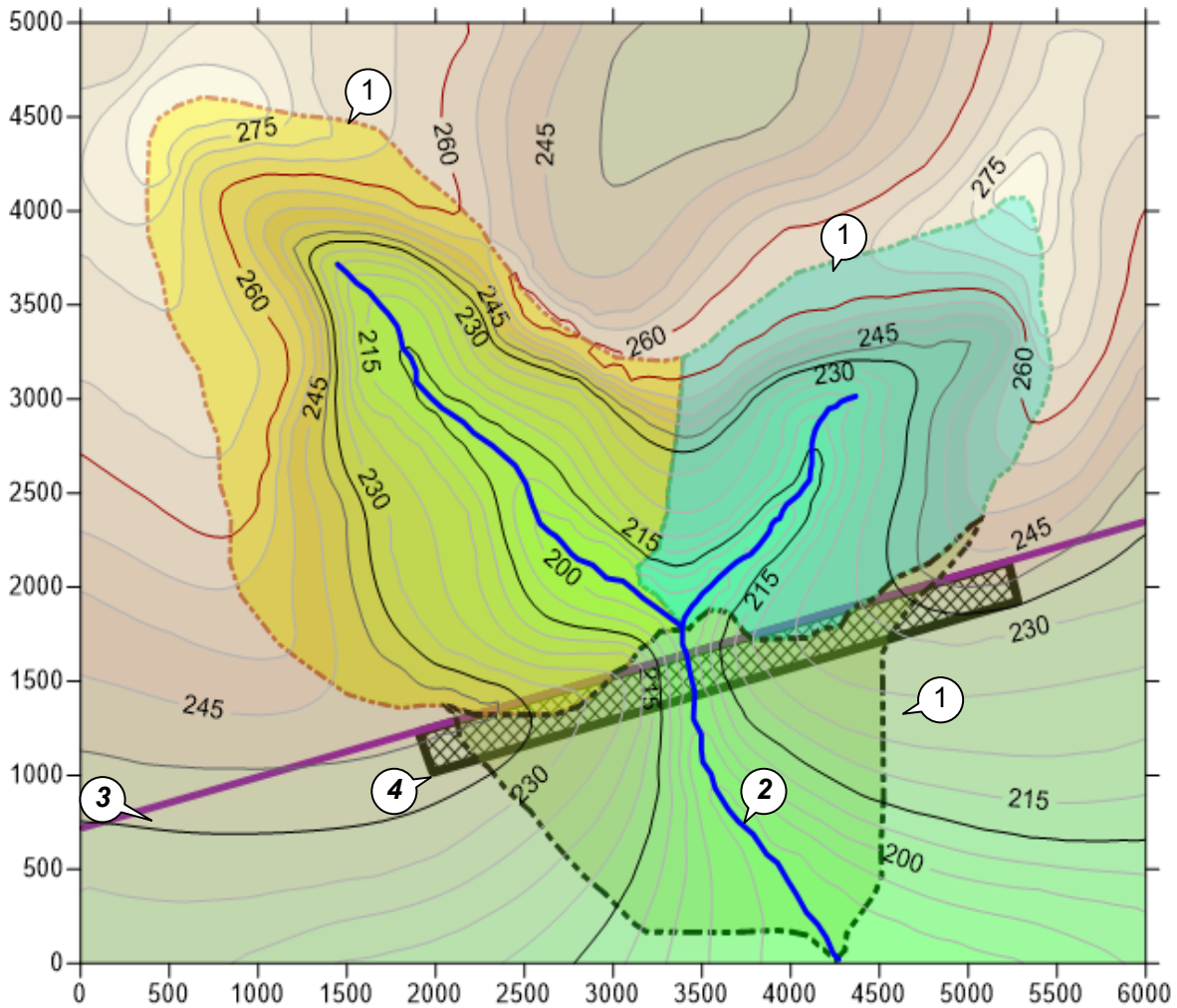
CATEGORIE DE ESTIMARE	DENUMIRE PARAMETRU	SIMBOL	UM
<b>DISTRIBUTIA APEI DIN LAC PRIN SISTEM DE CONDUCTE</b>	Cota la sorbul conductei 1	C1	m
	Cota bifurcației conductei 1	C123	m
	Cota la capătul conductei 2	C2	m
	Cota la capătul conductei 3	C3	m
	Proiecția conductei 1 pe orizontală	X0	m
	Proiecția conductei 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 distribuția 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  $\Delta t$ . 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  $\left[ \frac{\text{mm}^3}{\text{an} \cdot \text{mm}^2} \right]$

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

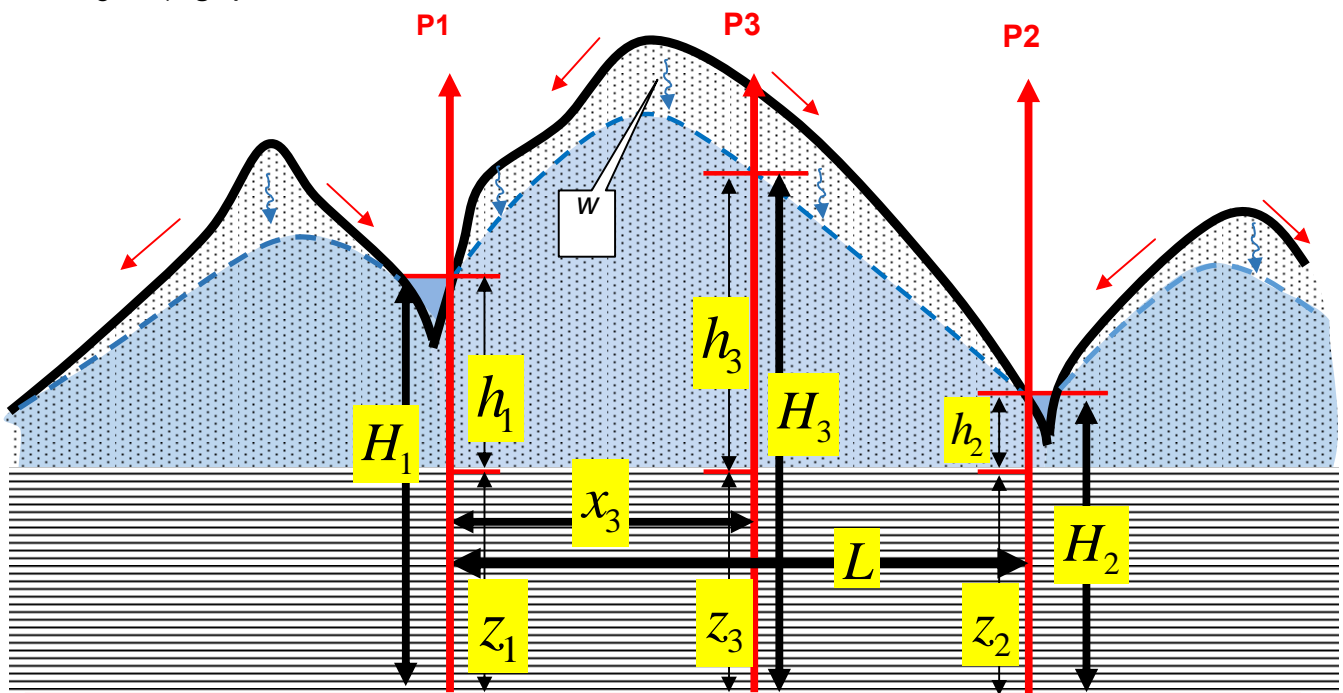
$T_m$  - temperatura medie  $[^{\circ}\text{C}]$

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

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:

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

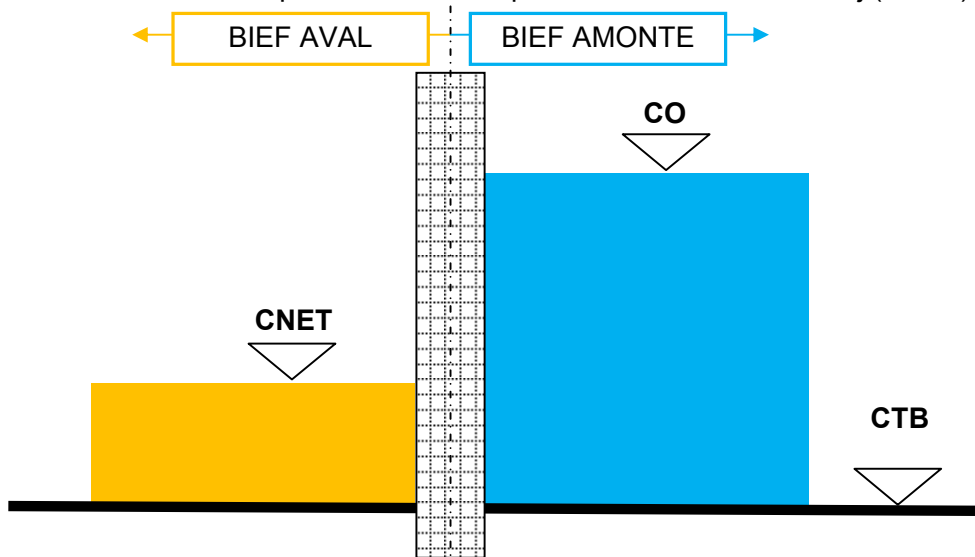
### 3. PROBLEME ALE LACULUI DE ACUMULARE

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 hidrostactice

Trasarea diagramei presiunilor hidrostactice 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 ( $Q_{rau}$ )

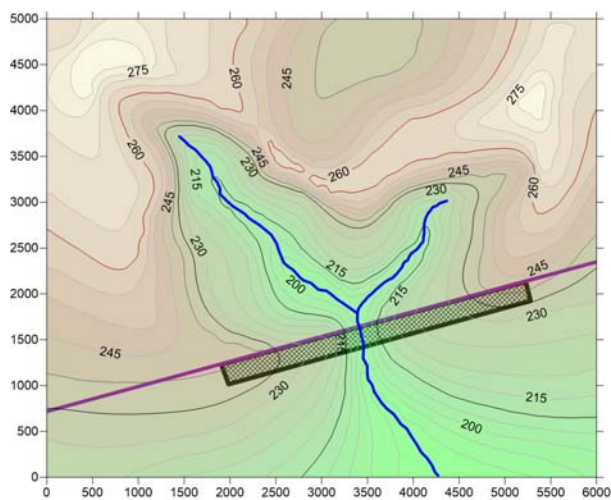
**Timpul de umplere** ( $t_u$ ) cu apă a lacului se calculează cu relația:

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

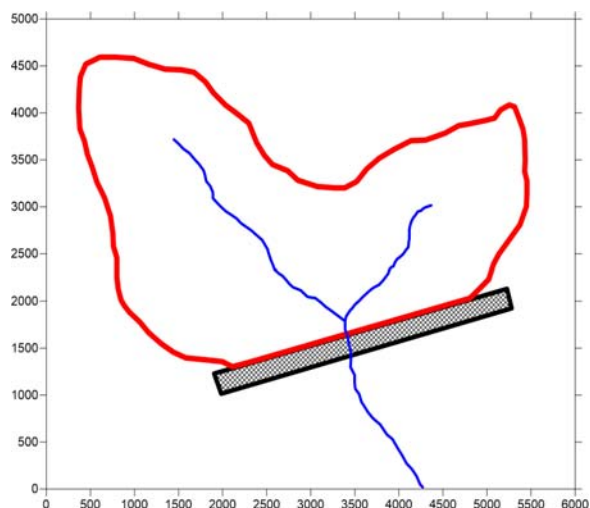


**NOTA.** Succesiunea prelucrărilor pentru calculul volumului lacului de acumulare ( $V_{lac}$ ) este:

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

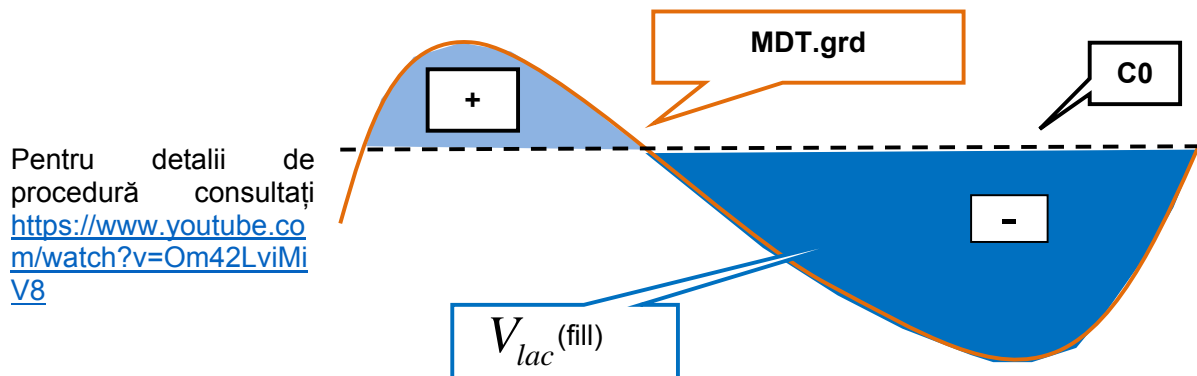


**Fig.4.** Harta topografică



**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 ( $t_c$ ):

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

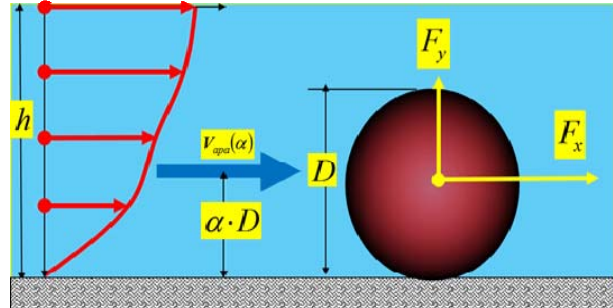
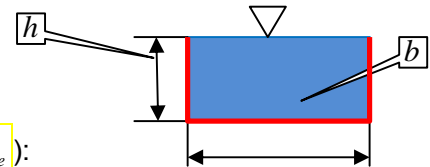
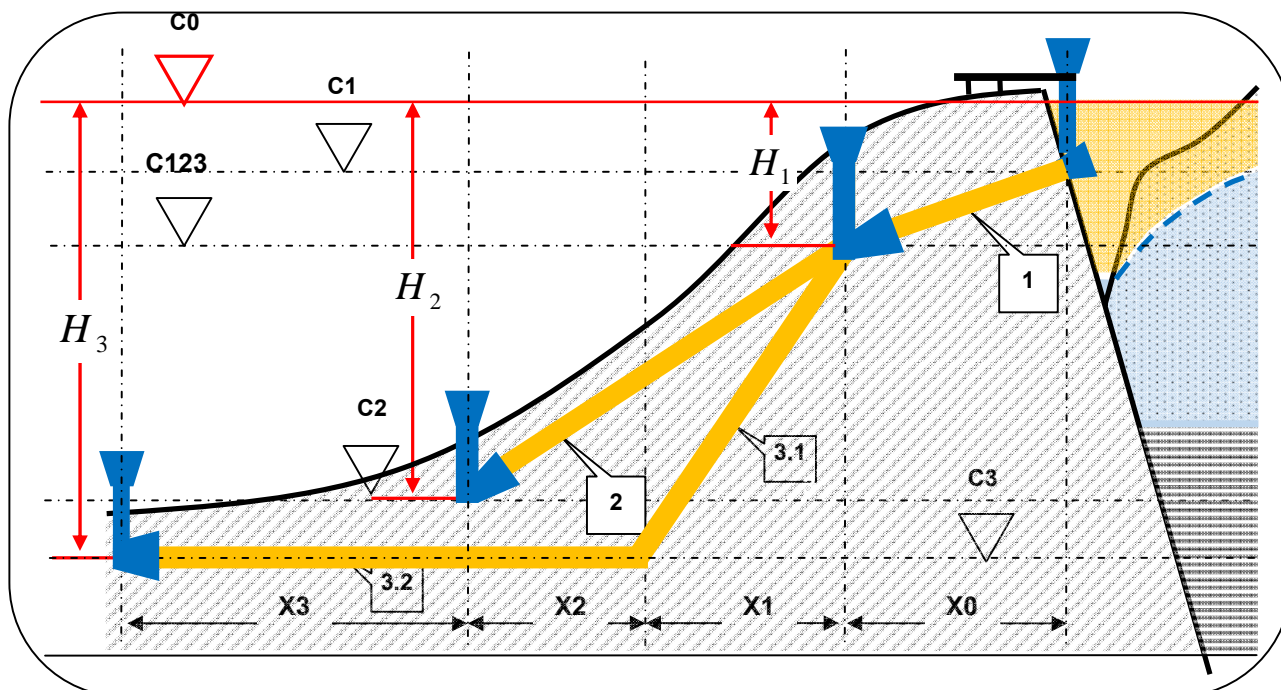


Fig.7. Model conceptual al antrenării prin alunecare pe substrat solid a sedimentelor



#### 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 curba de **cotă +240m** 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 veti prezenta cu proiectul imprimat și cu fișierul Excel (cu prelucrările numerice) în format digital.**

**SUCCES!!!**