



POTENȚIALUL HIDROENERGETIC AL CURSURILOR DE APĂ

1.1. Noțiuni teoretice

Potențialul hidroenergetic reprezintă energia disponibilă a unui volum de apă și caracterizează valoric resursele hidroenergetice ale apei de pe un teritoriu.

Potențialul hidroenergetic teoretic reprezintă energia totală disponibilă a apelor precipitate sau care se scurg pe suprafața unui teritoriu (*de suprafață din precipitații sau din scurgere*) sau de pe cursurile de apă (*liniar*), fără a ține seama de posibilitățile tehnice de amenajare, pierderile de debit, de cădere și de randamentele de transformare a energiei hidraulice în energie electrică.

Este indicat ca potențialul hidroenergetic să fie exprimat în *energie productibilă* deoarece valoarea acesteia suferă variații în timp mai mici decât ale puterii. Cu toate acestea, dacă se dorește să nu se facă referire la un anumit interval de timp, exprimarea potențialului se poate face în termeni de putere hidraulică.

Potențialul teoretic liniar este o categorie a potențialului hidroenergetic teoretic și reprezintă energia totală disponibilă calculată în lungul cursurilor de apă, de la izvoare și până la vărsare.

Pentru calculul *puterii hidraulice* teoretice se utilizează relația:

$$P = \gamma QH \text{ [W]}, \quad (1.1)$$

unde γ reprezintă greutatea specifică a apei, $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$, Q – debitul cursului de apă, iar H – căderea hidroenergetică (numită pe scurt cădere) definită ca diferența dintre cotele capetelor tronsonului de râu pentru care se

calculează puterea. Prin înlocuirea greutății specifice se obține o relație practică pentru calculul puterii hidraulice teoretice:

$$P = 9,81 \cdot QH \text{ [kW]}. \quad (1.2)$$

Debitul cursului de apă se definește ca volumul de apă care străbate o secțiune transversală râului în unitatea de timp, variază continuu și este o mărime complexă și dificil de determinat. Debitele se obțin prin inventariere pe un număr foarte mare de ani (25...40 ani) a valorilor medii orare, zilnice, lunare etc. măsurate la stațiile hidrometrice. Ca debit caracteristic pentru un râu se poate considera debitul cu asigurarea de 50 sau 90-95% sau, în general, debitul mediu multianual.

Pentru aplicarea relației 1.2 cursul de apă trebuie împărțit în *sectoare*. Ca limite de sectoare se aleg în general secțiunile de confluență cu deferiții afluenți, secțiunile de schimbare de pantă, limitele localităților importante, amplasamentele unor eventuale captări sau baraje pentru amenajări hidrotehnice. Capetele sectoarelor se reperează – de exemplu – prin kilometrajul față de limita aval a râului (de exemplu secțiunea de vărsare) considerată origine.

Se poate aplica relația 1.2 și se scrie pentru *puterea teoretică* ΔP_k corespunzătoare unui sector de râu, k , $k = \overline{1, n}$, cu n numărul de sectoare:

$$\Delta P_k = 9,81 \overline{Q}_k \Delta Z_k \text{ [kW]}, \quad (1.3)$$

unde: \overline{Q}_k [m³/s] este debitul mediu și

ΔZ_k [m] este căderea corespunzătoare sectorului.

Debitul mediu al unui sector, \overline{Q}_k , se determină în general ca medie aritmetică a debitelor medii înregistrate în secțiunile care limitează sectorul respectiv.

Căderea unui sector, ΔZ_k , se determină ca diferență între cotele – față de un nivel de referință oarecare – ale celor două limite ale sectorului. Cotele se citesc pe hărți sau se obțin prin nivelment. În țara noastră nivelul de referință este nivelul Mării Negre, considerat cota “0”, iar cotele față de

acest nivel se exprimă în [mdM]. În anumite zone se mai utilizează exprimarea cotelor față de nivelul Mării Adriatice, [mdMA], sau față de nivelul Mării Baltice, [mdMB]. Simplificat se poate considera că Marea Neagră este mai sus cu 16...20 cm decât Marea Baltică și cu 40...44 cm mai sus decât Marea Adriatică.

Puterea teoretică a unui râu, divizat în n sectoare, se calculează ca sumă a puterilor sectoarelor:

$$P = \sum_{k=1}^n \Delta P_k = 9,81 \sum_{k=1}^n \bar{Q}_k \Delta Z_k \quad [\text{kW}]. \quad (1.4)$$

Energia teoretică anuală corespunzătoare unui sector k , $k = \overline{1, n}$, se calculează cu relația:

$$\Delta E_k = T \Delta P_k = 86000 \bar{Q}_k \Delta Z_k \quad [\text{kWh}], \quad (1.5)$$

iar energia teoretică anuală a râului cu relația:

$$E = 8760 \sum_{k=1}^n \Delta P_k = 86000 \sum_{k=1}^n \bar{Q}_k \Delta Z_k \quad [\text{kWh}], \quad (1.6)$$

unde $T = 8760$ h/an reprezintă numărul mediu de ore dintr-un an iar $86000 \cong 9,81 \cdot 8760$.

O mărime caracteristică pentru un anumit sector îl constituie *potențialul teoretic liniar specific* care se calculează prin raportarea puterii teoretice – caz în care se notează cu p – sau a energiei teoretice – caz în care se notează cu e – a râului la lungimea acestuia. Astfel, dacă se notează cu L lungimea râului, se poate scrie:

$$p = \frac{\Delta P}{L} = 9,81 \cdot \bar{Q} \frac{\Delta H}{L} \quad [\text{kW/km}], \quad (1.7)$$

$$e = \frac{\Delta E}{L} = 86000 \cdot \bar{Q} \frac{\Delta H}{L} \quad [\text{kWh/km}], \quad (1.8)$$

pentru putere și respectiv pentru energie. Între cele două mărimi există relația evidentă: $e/p = 8760$ h.

Potențialul liniar specific reprezintă puterea medie sau producția de energie hidroelectrică teoretică ce poate fi obținută prin amenajarea unui km de râu. O valoare mare a potențialului liniar specific semnifică o concentrare a potențialului hidroenergetic și deci condiții favorabile de amenajare hidroenergetică.

Când se calculează potențialul liniar specific pe sectoare, se raportează puterea teoretică sau energia teoretică a sectorului la lungimea sectorului, ΔL_k , lungime care se măsoară șerpuit pe firul râului și se obține prin diferența kilometrajelor capetelor sectorului. Astfel se poate scrie potențialul liniar specific pentru un sector k , $k = \overline{1, n}$:

$$p_k = \frac{\Delta P_k}{\Delta L_k} \text{ [kW/km]}, \quad (1.9)$$

calculat ca putere specifică, și respectiv:

$$e_k = \frac{\Delta E_k}{\Delta L_k} \text{ [kWh/km]}, \quad (1.10)$$

calculat ca energie specifică.

Reprezentarea sinoptică a potențialului liniar specific constă în reprezentarea prin benzi transversale râului a potențialului teoretic liniar specific și pune în evidență zonele de concentrare a potențialului hidroenergetic, zone cărora trebuie să li se acorde prioritate în studiul amenajării. Reprezentarea în funcție de putere se mai numește și *harta puterilor unitare la modul*.

Pentru a obține o imagine clară a sectoarelor unui râu din punct de vedere hidroenergetic este util să se reprezinte *cadastrul hidroenergetic* sau *profilul longitudinal hidroenergetic*. Acesta este reprezentarea grafică pe aceeași diagramă în funcție de lungimea râului a mai multor mărimi hidroenergetice: profilul în lung al râului – cotele corespunzătoare talvegului albiciei, debitele medii multianuale, potențialul teoretic liniar specific și puterea teoretică a râului până în fiecare secțiune în parte, ca

sumă a puterilor teoretice ale sectoarelor cuprinse între limita respectivă și capătul amonte al râului.

1.2. Definirea problemei, relații de calcul

Scopul lucrării este studiul unui râu din punctul de vedere hidroenergetic. Se propune reprezentarea sinoptică a potențialului liniar specific și reprezentarea grafică a cadastrului hidroenergetic.

Se consideră un râu pentru care se cunosc în n secțiuni: debitele module Q , cotele Z față de nivelul Mării Negre și lungimile L față de secțiunea situată la capătul aval al râului.

Pentru efectuarea calculelor se atașează sectorului curent indicele k , același cu cel al secțiunii amonte care îl limitează, unde $k = \overline{1, n-1}$ pentru sectoare mergând până la n pentru secțiuni. Calculul se face pe fiecare sector în parte și urmărește etapele de mai jos:

a) căderea sectorului ΔZ_k ,

$$\Delta Z_k = Z_k - Z_{k+1} \text{ [m];} \quad (1.11)$$

b) debitul mediu pe sectorul k ,

$$\bar{Q}_k = \frac{Q_k + Q_{k+1}}{2} \text{ [m}^3\text{/s];} \quad (1.12)$$

c) puterea teoretică a sectorului k ,

$$\Delta P_k = 9,81 \cdot \bar{Q}_k \Delta Z_k \text{ [kW];} \quad (1.13)$$

d) energia teoretică a sectorului k ,

$$\Delta E_k = 8760 \cdot \Delta P_k \text{ [kWh];} \quad (1.14)$$

e) lungimea sectorului k ,

$$\Delta L_k = L_k - L_{k+1} \text{ [km];} \quad (1.15)$$

f) potențialul teoretic liniar specific al sectorului k ,

$$p_k = \frac{\Delta P_k}{\Delta L_k} \text{ [kW/km]}, \quad (1.16)$$

calculat ca putere specifică, și respectiv:

$$e_k = \frac{\Delta E_k}{\Delta L_k} \text{ [kWh/km]}, \quad (1.17)$$

calculat ca energie specifică.

Se dorește reprezentarea sinoptică a potențialului teoretic liniar specific, p , și a cadastrului hidroenergetic: Z_k , Q_k , p_k , $\sum_{i=1}^k \Delta P_i$ în funcție de L .

1.3. Aplicație numerică

Se consideră porțiunea de râu din figura 1.1 împărțită prin intermediul a 7 secțiuni în sectoare. Limitele acesteia sunt numerotate astfel: 1 secțiunea amonte, 7 secțiunea aval, 2 ...6 fiind secțiuni intermediare care împart râul în sectoare.

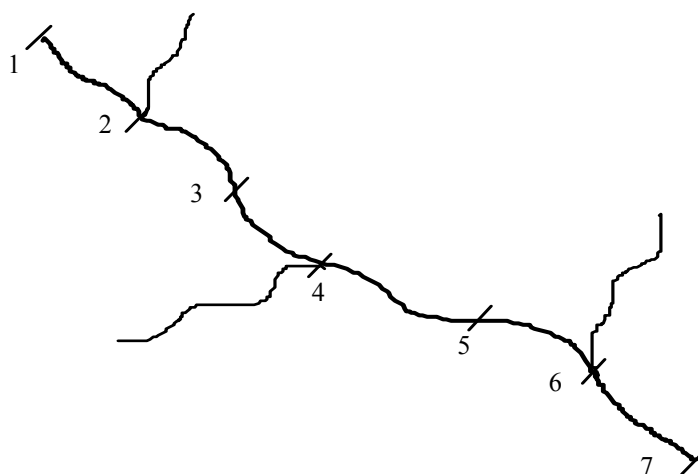


Fig. 1.1. Schema sectorului de râu analizat.

În fiecare secțiune caracteristică: 1, 2, ...7, se cunosc debitele medii multianuale – Q , cotele față de nivelul Mării Negre – Z , și lungimile față de secțiunea 7 (aval) – L , valori care sunt prezentate în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

Date privind secțiunile caracteristice

Secțiune		1	2	3	4	5	6	7
Q	[m ³ /s]	16,86	17,26/17,46	17,91	19,23/20,46	20,86	21,86/23,46	24,26
Z	[mdM]	1130	1100	1000	900	850	820	790
L	[km]	25	21,5	17,2	12	7,8	4	0

În secțiunile în care râul are afluenți, cele două valori pentru debit reprezintă mărimea acestuia amonte, respectiv aval de confluență, iar diferența reprezintă aportul afluentului.

Se aplică valorilor din tabelul 1.1 relațiile de calcul 1.9 – 1.15 și se determină mărimile ce caracterizează fiecare sector în parte. Rezultatele se prezintă în tabelul 1.2. Pe ultima linie, puterea teoretică corespunzătoare fiecărei limite de sector în parte, reprezintă suma puterilor teoretice ale sectoarelor între limita amonte a râului și secțiunea aval ce limitează sectorul curent.

Tabelul 1.2

Mărimi caracteristice ale sectoarelor de râu

Mărimea/Sectorul		1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7
ΔZ	[m]	30	100	100	50	30	30
\bar{Q}	[m ³ /s]	17,06	17,685	18,57	19,845	21,36	23,86
ΔP	[kW]	5021	17349	18217	9734	6286	7022
ΔE	[GWh]	43,98	151,98	159,58	85,27	55,07	61,51
ΔL	[km]	3,5	4,3	4,4	5	3,8	4

p	[kW/km]	1434,50	4034,65	4140,27	1946,79	1654,28	1755,50
e	[GWh/km]	12,57	35,34	36,27	17,05	14,49	15,38
$\Sigma\Delta P$	[kW]	5021	22370	40587	50321	56607	63629

Figura 1.2 conține *reprezentarea sinoptică a potențialului teoretic liniar specific, p* , urmând etapele de mai jos:

- se alege o scară convenabilă pentru lungimi și se reprezintă traseul râului,

- se inspectează linia corespunzătoare lui p din tabelul 1.2 și se alege scara convenabilă pentru reprezentarea acestuia,

- pe fiecare sector în parte se reprezintă p ca benzi de lățime proporțională cu acesta, la scara aleasă, simetric de o parte și de cealaltă a râului și se hașurează perpendicular pe traseul râului.

Pe figura 1.3 se reprezintă *cadastrul sau profilul hidroenergetic* astfel:

- în abscisă se reprezintă lungimea desfășurată a râului, L , și se pun în evidență secțiunile care delimitează sectoarele,

- în ordonată se reprezintă:

- profilul în lung al râului - cotele corespunzătoare secțiunilor caracteristice, Z ; se alege o scară cu minimumul la 700 mdM și maximumul la 1200 mdM – a doua linie din tabelul 1.1,

- debitele măsurate în secțiunile caracteristice, Q ; se pun în evidență salturile corespunzătoare aporturilor de debite ale afluenților – prima linie din tabelul 1.1,

- potențialului teoretic liniar specific, p , având valori constante pe sectoare – a șasea linie din tabelul 1.2 și

- puterea teoretică corespunzătoare fiecărei limite de sector în parte, ca sumă a puterilor teoretice ale sectoarelor cuprinse între limita respectivă și limita amonte a râului – ultima linie din tabelul 1.2. Astfel, curba pornește din zero în secțiunea 1 și se termină în secțiunea 7 la valoarea egală cu puterea teoretică a râului.

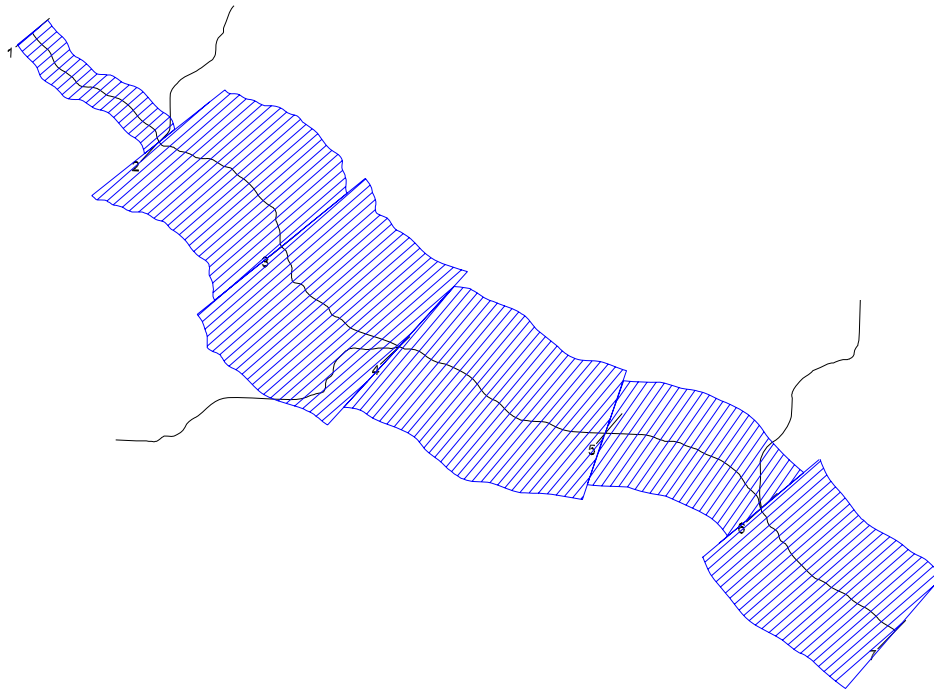


Fig. 1.2. Representarea sinoptică a potențialului hidroenergetic specific.

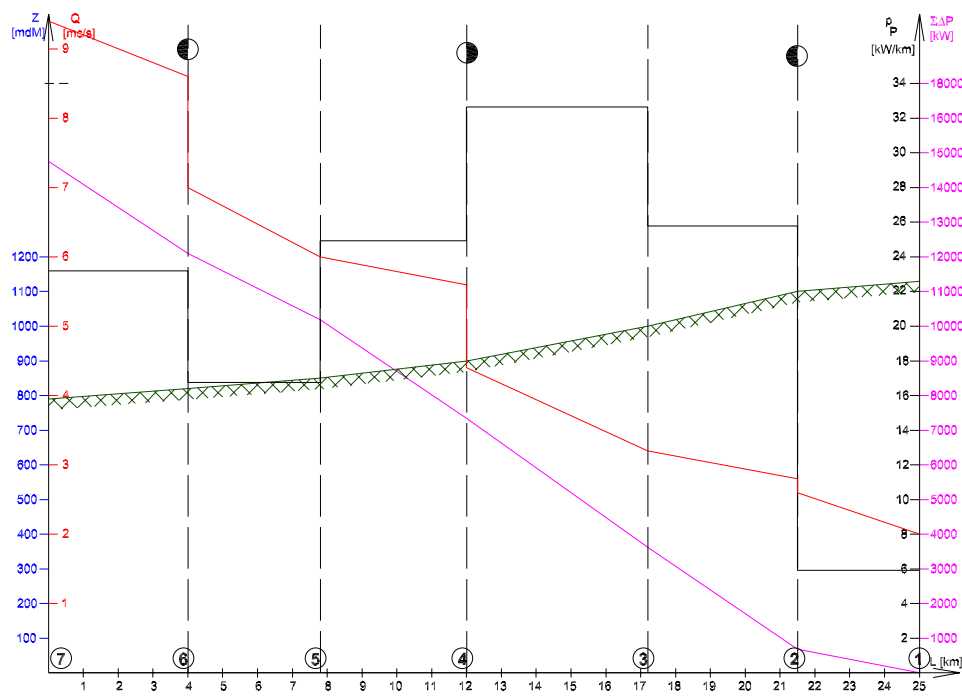


Fig. 1.3. Representarea cadastrului hidroenergetic.

Analizând figura 1.2 se observă că valoarea maximă a potențialului hidroenergetic specific se obține pe sectorul 3-4. Prin urmare acesta este cel mai potrivit pentru realizarea unei amenajări hidroenergetice.

1.4. Concluzii

Pentru râul analizat este avantajos să se realizeze un baraj în secțiunea 4, secțiune caracterizată de:

- cota talvegului:

$$Z_0 = 900 \text{ mdM} , \quad (1.15)$$

- debitul mediu multianual:

$$Q_m = 20,46 \text{ m}^3/\text{s} . \quad (1.16)$$

2

CURBE, NIVELURI ȘI VOLUME CARACTERISTICE ALE ACUMULĂRILOR

2.1. Noțiuni teoretice

2.1.1. Plan de situație, curbe caracteristice

La realizarea unei scheme de amenajare hidroenergetică a unui curs de apă, unul dintre elementele cele mai importante îl reprezintă lacul de acumulare. Acesta este în general format prin bararea cursului de apă cu un baraj transversal și realizează două deziderate importante din punct de vedere hidroenergetic: concentrarea căderii în secțiunea barajului și regularizarea debitelor. Acumulări importante se găsesc în zona muntoasă unde este posibilă realizarea unui volum cât mai mare pentru lac cu inundarea unor zone cât mai restrânse.

În faza inițială se analizează planuri de situație – care pot fi la scara 1:5000, de exemplu – pe care să fie reprezentate curbele de nivel, și se caută amplasamente favorabile realizării acumulării. Dispunându-se și de studiile topogeodezice se alege amplasamentul barajului și nivelul retenției apei în lacul de acumulare.

Curbele de nivel reprezintă urma intersecției dintre planuri orizontale situate la diferite cote față de nivelul Mării Negre, considerat de cotă 0 absolut, și relief. Se reprezintă în general echidistante din 0,5 în 0,5 m, din 1 în 1 m, din 5 în 5 m, din 10 în 10 m, echidistanța crescând în general o dată cu altitudinea. Deoarece suprafața liberă a apei este orizontală, prin planimetrarea suprafețelor închise de curbe de nivel de diferite cote, Z_k [mdM], $k = \overline{1, n}$, se poate determina aria suprafeței libere a lacului de acumulare corespunzătoare, S_k , $k = \overline{1, n}$, care coincide cu suprafețele inundate.

După alegerea variantei constructive a barajului și reprezentarea acestuia pe planul de situație se determină cota cea mai joasă a albiei (cota talvegului) în zona piciorului barajului, fie aceasta Z_0 . *Talvegul* reprezintă curba care se obține prin unirea punctelor de cea mai mică cotă a secțiunilor transversale ale albiei unui râu în lungul acestuia.

Prin scăderea acestei valori din fiecare cotă a liniilor de nivel se obțin adâncimile apei în lac în secțiunea barajului:

$$h_k = Z_k - Z_0, \quad k = \overline{1, n}. \quad (2.1)$$

Observație. Când se face referire la adâncimea apei într-o secțiune transversală este vorba despre adâncimea maximă și anume cea corespunzătoare talvegului, iar când se face referire la adâncimea apei în lac este vorba despre adâncimea maximă în secțiunea barajului.

Cu cele două șiruri de valori, Z_k sau h_k și respectiv S_k , $k = \overline{1, n}$, se poate reprezenta grafic primă curbă caracteristică a lacului de acumulare și anume *curba suprafețelor*, ca variație a ariei suprafeței libere a acumulării în funcție de cotă sau de adâncime. Se obișnuiește să se figureze cota sau adâncimea în ordonată, iar aria suprafeței libere în abscisă, figura 2.1.

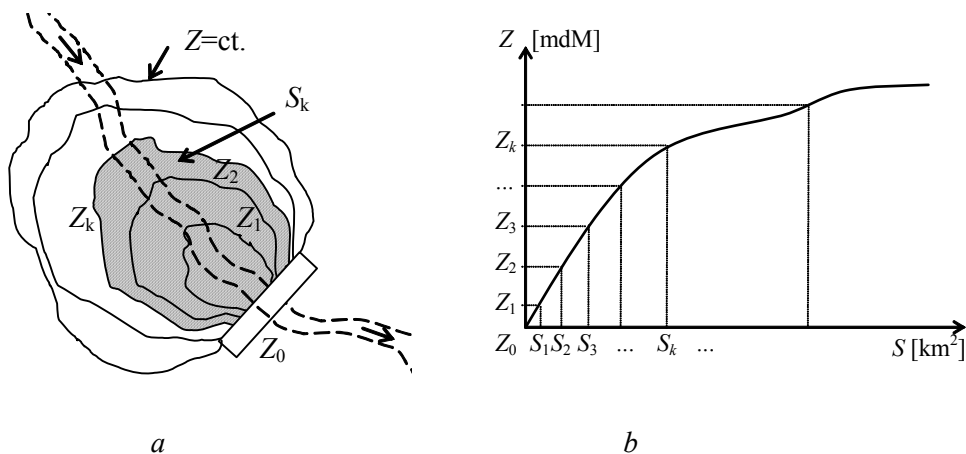


Fig. 2.1. a) Vedere în plan a curbelor de nivel din amplasamentul lacului de acumulare și b) curba suprafețelor lacului de acumulare.

Pe figura 2.2 sunt ilustrate notațiile utilizate și o schiță pentru determinarea volumelor de apă din lac la diferite cote ale suprafeței libere în funcție de ariile S_k .

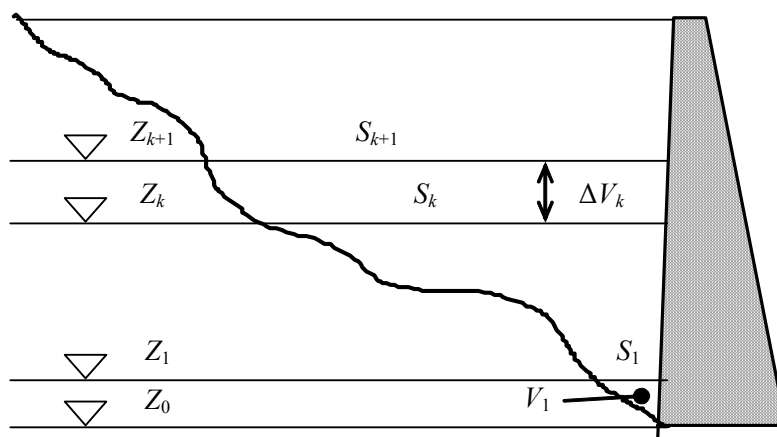


Fig. 2.2. Schiță pentru ilustrarea determinării volumelor de apă din lac la diferite cote.

O a doua curbă caracteristică a acumulărilor este curba volumelor de apă din lac sau *curba de capacitate*, care reprezintă variația volumului de apă din acumulare în funcție de cotă sau de adâncime. Aproximând porțiunea dintre piciorul barajului și prima curbă de nivel cu o piramidă de arie S_1 și înălțime $\Delta Z_1 = Z_1 - Z_0$ se poate scrie pentru volumul acesteia:

$$V_1 = \frac{1}{3} S_1 \Delta Z_1. \quad (2.2)$$

Pentru fiecare cotă superioară, Z_{k+1} , $k = \overline{1, n-1}$, se poate scrie volumul V_{k+1} ca fiind volumul corespunzător cotei anterioare, V_k , la care se adună volumul cuprins între cele două cote, ΔV_k :

$$V_{k+1} = V_k + \Delta V_k. \quad (2.3)$$

Volumul cuprins între două curbe de nivel consecutive poate fi calculat fie ca volumul unui cilindru cu suprafața bazei egală cu media aritmetică a suprafețelor corespunzătoare celor două cote fie ca volumul unui trunchi de piramidă cu bazele de suprafețe S_k și S_{k+1} . În ambele cazuri înălțimea este egală cu echidistanța curbelor de nivel, ΔZ . În primul caz relația de calcul utilizată este:

$$\Delta V_k = \frac{1}{2} (S_k + S_{k+1}) \Delta Z, \quad (2.4)$$

iar în cel de-al doilea caz:

$$\Delta V_k = \frac{1}{3} (S_k + \sqrt{S_k S_{k+1}} + S_{k+1}) \Delta Z. \quad (2.5)$$

Având perechi de valori h_k sau Z_k și respectiv V_k , $k = \overline{1, n}$, se poate reprezenta curba de capacitate a lacului de acumulare.

Pentru simplificarea utilizării în modelarea funcționării acumulării a curbei de capacitate se propune aproximarea acesteia printr-o expresie analitică. Dintre posibilitățile de aproximare ale curbei de capacitate se pot enumera: funcția polinomială, funcția exponențială – curba geometrică și forma poligonală.

Dacă se alege să se aproximeze curba de capacitate printr-o funcție exponențială:

$$V = ah^m, \quad (2.6)$$

unde V reprezintă volumul de apă din lac corespunzător unei adâncimi măsurată în secțiunea barajului h , iar a și m sunt coeficienți care se determină prin *metoda celor mai mici pătrate*.

Se consideră n curbe de nivel peste cota piciorului barajului până la nivelul retenției normale (NRN), deci pentru care se cunosc volumele de apă în lac. Coeficienții a și m ai funcției exponențiale se calculează cu relațiile:

$$m = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y})}{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}, \quad a = e^{\bar{y} - m\bar{x}}, \quad (2.7)$$

unde s-au utilizat notațiile:

$$x_k = \ln h_k, \quad y_k = \ln V_k, \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_k, \quad k = \overline{1, n}, \quad (2.8)$$

indicele k corespunde curbelor de nivel și s-a considerat că sunt n asemenea curbe.

2.1.2. Niveluri și volume caracteristice

Prima cotă caracteristică a amplasamentului acumulării este *cota talvegului în secțiunea barajului*, Z_0 , care se consideră a fi – cu o aproximație oarecare – cota talvegului corespunzătoare secțiunii 4 a sectorului de râu analizat, figura 1.1:

$$Z_0 = 900 \text{ mdM}. \quad (2.9)$$

Două niveluri caracteristice ale acumulărilor sunt *nivelul minim de exploatare* – NmE și *nivelul retenției normale* – NRN, niveluri între care are

loc exploatarea în condiții normale a lacurilor. Cotele corespunzătoare celor două niveluri se notează Z_{NmE} și respectiv Z_{NRN} . Volumul de apă cuprins între cele două niveluri se numește *volum util*, se notează V_u , și reprezintă tranșa de volum din acumulare care este utilizată în condiții normale de exploatare.

Volumul cuprins între cota talvegului și cota prizei de apă se numește *volum mort*, se notează V_m , întrucât apa corespunzătoare nu poate fi utilizată, iar volumul cuprins între cota prizei de apă și cota corespunzătoare NmE se numește *rezerva de fier*, se notează V_{RF} , fiind utilizată doar în situații excepționale. Se obișnuiește ca cele două volume caracteristice de sub NmE să fie considerate împreună, caz în care se utilizează denumirea de *volum mort și al rezervei de fier*, se notează V_{m+RF} .

Volumul mort și al rezervei de fier împreună cu volumul util formează volumul de apă din lac corespunzător NRN care se notează V_{lac} .

$$V_{m+RF} + V_u = V_{lac}. \quad (2.10)$$

Un indice caracteristic al acumulărilor este *coeficientul de acumulare* – α , care se definește ca raportul dintre volumul util al acumulării – V_u și stocul mediu anual afluent în acumulare, notat W_{an} , adică cu relația:

$$\alpha = \frac{V_u}{W_{an}}. \quad (2.11)$$

Stocul mediu anual afluent în acumulare se definește ca volumul de apă ce intră în acumulare într-un an hidrologic mediu, caracterizat de debitul mediu multianual:

$$W_{an} = Q_m \cdot T_{an} \text{ [m}^3\text{]}. \quad (2.12)$$

unde Q_m reprezintă debitul mediu multianual, iar T_{an} numărul de secunde dintr-un an.

Lacul de acumulare servește alimentării cu apă a unei folosințe de apă, în cazul considerat o centrală hidroelectrică – CHE. Este nevoie în acest sens de o construcție specială numită *priză de apă* pentru prelevarea apei din lac și conducerea acesteia printr-un canal, conductă sau galerie hidrotehnică până la CHE. O altă cotă caracteristică a acumulării este astfel cota prizei de apă, Z_{pa} , care reprezintă cota apei în lac pentru care începe accesul apei în aducțiunea care transportă apa către CHE. NmE trebuie să fie cu cel puțin 1 m mai sus ca prizei de apă.

Pe figura 2.3 este prezentată alura curbei de capacitate a unui lac de acumulare cu evidențierea nivelurilor și volumelor caracteristice.

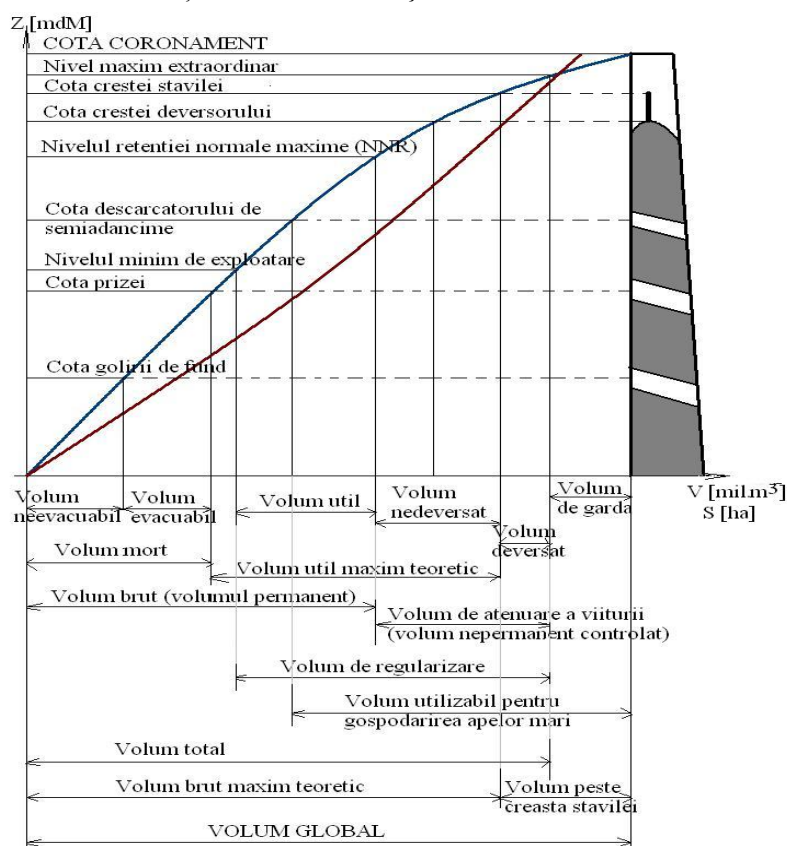


Fig. 2.3. Alura curbei de capacitate a unui lac de acumulare; niveluri și volume caracteristice.

2.2. Aplicație numerică

În capitolul anterior s-a calculat potențialul hidroenergetic specific pentru un râu și a rezultat ca avantajos a fi amenajat din punct de vedere energetic, în prima fază, sectorul 3-4 (figura 1.1).

Se consideră că se dispune de un plan de situație corespunzător râului studiat, figura 2.2.

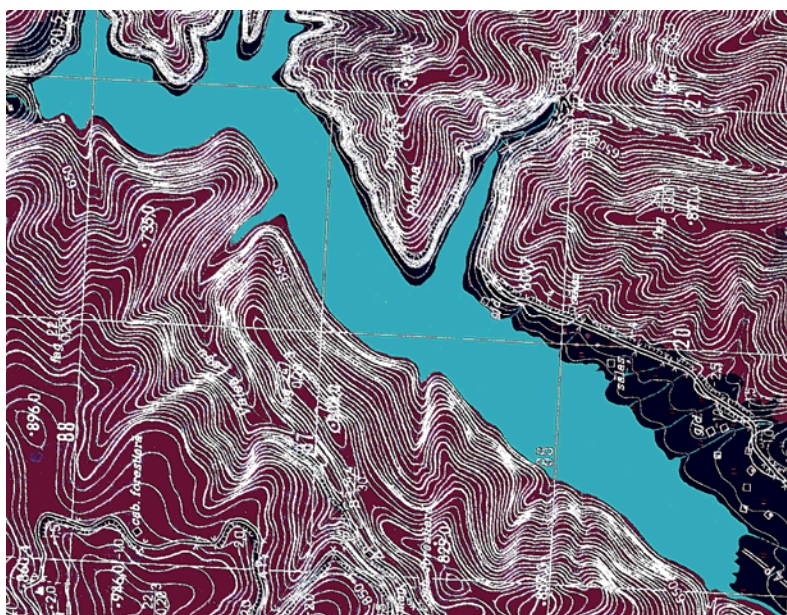


Fig. 2.2. Plan de situație cu amplasarea barajului și curbe de nivel.

Se consideră că se realizează un baraj în secțiunea 4, iar pe planul de situație se figurează poziția barajului și se evidențiază curbele de nivel din amplasamentul acumulării. Prin planimetrare se determină valorile ariei suprafeței libere a lacului de acumulare corespunzătoare curbilor de nivel.

Planimetrarea constă în a suprapune peste planul de situație o coală de hârtie milimetrică și a determina cu cât mai mare precizie numărul de cm^2 și/sau mm^2 cuprinși în interiorul fiecărei curbe de nivel. Prin înmulțirea valorilor obținute cu factorul de scară se determină aria suprafețelor închise de curbele de nivel. Dacă de exemplu scara lungimilor pe planul de situație este 1:100.000 (1 cm : 1 km), factorul de scară pentru arii este $1 \text{ cm}^2 : 1 \text{ km}^2$.

Curba de capacitate se determină utilizând relațiile 2.3 și 2.5 unde schema și semnificația notațiilor utilizate sunt prezentate pe figura 2.1.

Valorile determinate pentru suprafețele și volumele corespunzătoare cotelor din amplasamentul lacului de acumulare sunt prezentate în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1

**Suprafețele și volumele corespunzătoare cotelor
din amplasamentul lacului de acumulare**

Z [mdM]	900	910	920	930	940	
S [ha]	0	19,26	51,32	114,54	178,20	
V [mil.m³]	0	0,64	4,04	12,13	26,65	

Z [mdM]	950	960	970	980	990	1000
S [ha]	269,87	359,86	476,29	589,83	728,82	864,08
V [mil.m³]	48,89	80,27	121,94	175,15	240,96	320,51

Pentru exemplul numeric considerat, respectiv perechile de valori (Z , V) din tabelul 2.1, în vederea determinării celor doi coeficienți a și m de aproximare a curbei de capacitate printr-o funcție exponențială: $V = ah^m$, se propune tabelul 2.2 în care notațiile utilizate corespund relațiilor 2.8.

Tabelul 2.2

Determinarea elementelor necesare calculului coeficienților a și m

h [m]	V [mil.m ³]	x_k	y_k	$x_k - \bar{x}$	$y_k - \bar{y}$	$(x_k - \bar{x})^2$	$(x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y})$
10	0,64	2,303	0,443	-1,510	-4,066	2,281	6,142
20	4,04	2,996	1,397	-0,817	-2,226	0,668	1,819
30	12,13	3,401	2,495	-0,412	-1,128	0,170	0,464
40	26,65	3,689	3,283	-0,124	-0,340	0,015	0,042
50	48,89	3,912	3,890	0,099	0,267	0,010	0,026
60	80,27	4,094	4,385	0,281	0,762	0,079	0,214
70	121,94	4,248	4,804	0,435	1,181	0,190	0,514
80	175,15	4,382	5,166	0,569	1,543	0,324	0,878
90	240,96	4,500	5,485	0,687	1,862	0,472	1,279
100	320,51	4,605	5,770	0,792	2,147	0,627	1,701
Suma	–	3,813	3,623	–	–	4,836	13,080

Aplicând relația 2.7 se obțin valorile:

$$a = 0,001243, m = 2,705, \quad (2.13)$$

deci pentru aproximarea curbei de capacitate a acumulării a rezultat funcția:

$$V = 0,001243 \cdot h^{2,705}, \quad (2.14)$$

unde s-a introdus adâncimea h în [m] și rezultă volumul de apă din lac V în [mil.m³].

În relația 2.10 se înlocuiesc valorile adâncimii h din 10 în 10 m și se recalculează valorile volumelor de apă din lac corespunzătoare lor. Rezultatele se trec în tabelul 2.3.

Tabelul 2.3

Volumele de apă din lac calculate cu relația de aproximare

h [m]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
V [mil.mc]	0	0,63	4,11	12,29	26,77	48,95	80,15	121,62	174,52	240,00	319,13

Cu ajutorul valorilor din tabelele 2.1 și 2.3 se reprezintă grafic pe figura 2.4 curba suprafețelor lacului de acumulare și curba volumelor lacului de acumulare în cele două variante: cea determinată grafo-analitic cu relațiile 2.3 și 2.4 și cea calculată cu relația de aproximare 2.10.

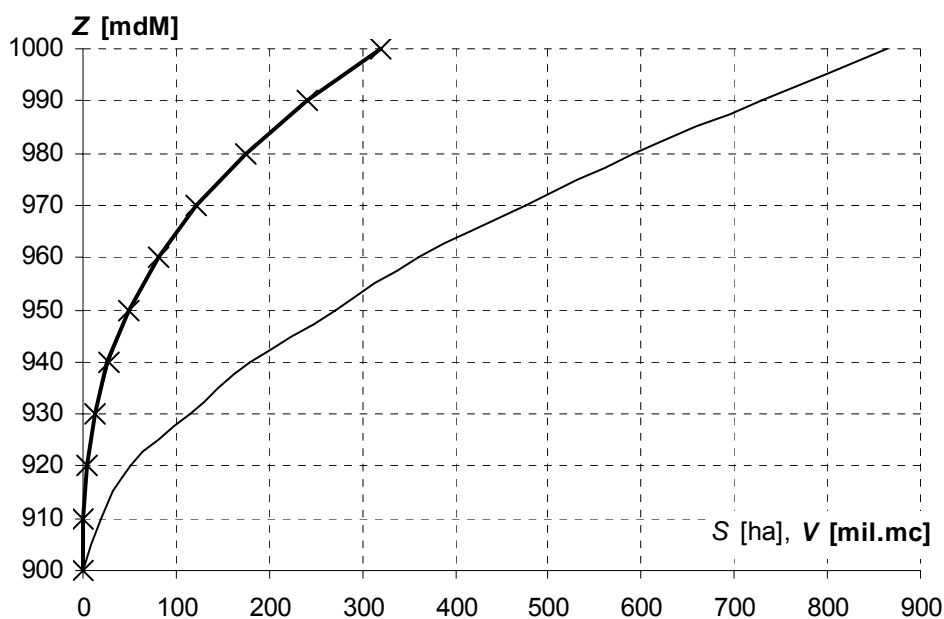


Fig. 2.4. Curba suprafețelor – cu linie subțire, curba volumelor – cu linie îngroșată cea calculată cu relațiile 2.3 și 2.4 și reprezentarea volumelor cu steluțe utilizând relația de aproximare 2.10 pentru lacul de acumulare.

Se observă că relația 2.14 aproximează foarte bine curba de capacitate a lacului de acumulare și în consecință poate fi utilizată în calculele ulterioare pentru a exprima legătura între adâncimea apei în secțiunea barajului și volumul de apă în lac.

Stocul mediu anual afluent în acumulare se calculează cu relația (2.12) în care $Q_m = 20,46 \text{ m}^3/\text{s}$, iar $T_{an} = 31,54 \cdot 10^6 \text{ s}$, rezultând:

$$\boxed{W_{an} = 645,3 \text{ mil.m}^3}. \quad (2.15)$$

Se consideră că se dorește ca acumularea să corespundă unui coeficient de acumulare:

$$\alpha = 30\%; \quad (2.16)$$

rezultă corespunzător relației 2.11 volumul util al lacului:

$$V_u = 193,53 \text{ mil.m}^3. \quad (2.17)$$

Se consideră că acumularea se realizează astfel încât volumul mort și al rezervei de fier să reprezinte 20% din volumul de apă din lac corespunzător NRN (total), astfel:

$$V_{m+RF} = 0,2 \cdot V_{lac}. \quad (2.18)$$

Ținând cont de relațiile (2.10) și (2.18) rezultă pentru volumul de apă din lac corespunzător NRN și pentru volumul mort și al rezervei de fier valorile:

$$V_{lac} = 241,91 \text{ mil.m}^3, \quad (2.19)$$

$$V_{m+RF} = 48,38 \text{ mil.m}^3. \quad (2.20)$$

Introducând valorile de mai sus în relația (2.14) de aproximare a curbei de capacitate a acumulării se determină adâncimile apei în lac corespunzătoare NRN și NmE:

$$h_{NRN} = 90,22 \text{ m}, \quad (2.21)$$

$$h_{NmE} = 49,77 \text{ m}, \quad (2.22)$$

și respectiv cotele față de nivelul Mării Negre, $Z = Z_0 + h$, unde $Z_0 = 900 \text{ mdM}$:

$$Z_{NRN} = 990,22 \text{ mdM}, \quad (2.23)$$

$$Z_{NmE} = 949,77 \text{ mdM}. \quad (2.24)$$

Se consideră accesul apei în priza de apă pe o diferență de nivel de 2 m și partea superioară a gurii de acces a apei în priza de apă amplasată cu 1,77 m mai jos ca NmE, astfel că se poate alege drept cotă corespunzătoare prizei de apă (radierului):

$$Z_{pa} = 946 \text{ mdM}. \quad (2.25)$$

2.3. Concluzii

Pentru râul analizat la realizarea unui baraj în secțiunea 4 pentru formarea unei acumulări hidroenergetice în amonte, variația volumului de apă din lac cu adâncimea măsurată în secțiunea barajului poate fi foarte bine descrisă cu relația 2.14, $V = 0,001243 \cdot h^{2,705}$, unde h se introduce în [m] și V rezultă în [mil.m³].

Se pot pune în evidență:

Niveluri și volume caracteristice

$$W_{an} = 645,1 \text{ mil.m}^3$$

$$\alpha = 30\%$$

$$V_{m+RF} = 0,2 \cdot V_{lac} \text{ rezultă}$$

$$V_u = 193,53 \text{ mil.m}^3, V_{lac} = 241,91 \text{ mil.m}^3, V_{m+RF} = 48,38 \text{ mil.m}^3.$$

$$h_{NRN} = 90,22 \text{ m}, h_{NmE} = 49,77 \text{ m},$$

$$Z_0 = 900 \text{ mdM} : Z_{NRN} = 990,22 \text{ mdM}, Z_{NmE} = 949,77 \text{ mdM},$$

$$Z_{pa} = 946 \text{ mdM}.$$

3

DEBITELE CURSURILOR DE APĂ

3.1. Noțiuni teoretice

3.1.1. Definiții

Debitul lichid al unui râu (Q) reprezintă volumul de apă care se scurge printr-o secțiune transversală în decursul unei unități de timp; se exprimă în $[m^3/s]$ sau $[l/s]$.

Debitul mediu specific de scurgere pe suprafața unui bazin hidrografic (debitul pe unitate de suprafață) (q) este raportul dintre debit (Q) și suprafața bazinului hidrografic (F) și se exprimă în $[m^3/s/km^2]$ sau $[l/s/km^2]$:

$$q = \frac{Q}{F}. \quad (3.1)$$

Debitul unui râu depinde de: suprafața bazinului hidrografic; precipitațiile căzute într-un interval de timp (oră, zi, lună, an).

Coeficientul de scurgere, σ , indică fracțiunea din apa căzută sub formă de precipitații care se scurge efectiv pe râu, restul, $1 - \sigma$, se evaporă și se infiltrează în sol. Acesta depinde de mulți factori cum ar fi: precipitații, temperatură, vânt, umiditate, coeficient de împădurire, coeficient de permeabilitate a solului, panta medie a talvegului scurgerii, altitudinea medie a bazinului.

Debitele unui curs de apă se determină într-o anumită secțiune transversală, la un moment dat, prin metoda directă, prin măsurători pe teren, sau prin metoda indirectă cu ajutorul relației de calcul:

$$Q = \sigma \frac{Sh}{t}, \quad (3.2)$$

unde: σ este coeficientul de scurgere;

S - suprafața bazinului de recepție corespunzător secțiunii pentru care se estimează debitul, [km²];

h - înălțimea medie a precipitațiilor, [mm];

t - intervalul de timp pentru care s-a înregistrat precipitația, [s].

Prin raportarea debitului scurs (Q) într-un interval de timp dat (T) (zi, lună, an) la suprafața bazinului (F sau S_b) se obține înălțimea stratului de apă scurs (h_{mm}) de pe un areal (referitor la arie, la suprafață) dat:

$$h_{[mm]} = \frac{QT}{F}. \quad (3.3)$$

Cele mai importante valori ale debitului unui curs de apă sunt:

Debitul maxim maximorum ($Q_{max.max}$) reprezintă cea mai mare valoare a debitului înregistrată până în prezent. Poate avea și caracter *catastrofal* (Q_{cat}).

Debitul extraordinar ($Q_{max.ex}$) reprezintă cea mai mare valoare a debitului înregistrată într-o perioadă de 30 ani consecutivi.

Debitul maxim anual ($Q_{max.an}$) reprezintă cea mai mare valoare a debitului înregistrată în timp de un an și are o durată de o zi în cadrul aceluși an.

Debitul normal sau debitul modul (Q_{mm}) reprezintă media aritmetică a debitelor anuale pe un șir îndelungat de ani (30-40).

Debitul mediu ($Q_{med.anual}$; $Q_{med.lunar}$; $Q_{med.decadă}$; $Q_{med.vară}$ etc.) reprezintă valoarea medie a debitului pentru o anumită perioadă de timp (an, lună, decadă, anotimp).

Debitul de etiaj (Q_{etj}) este considerat ca fiind debitul cu durata de 355 zile/an, astfel că numai 10 zile din an debitul ar putea fi mai mic decât Q_{etj} . Debitele specifice cu cantitatea de apă mai mică de 1 l/s/km² sunt considerate debite de etiaj.

Debitul minim minimorum ($Q_{min.min}$) este debitul cu cea mai mică valoare, produs până în prezent.

3.1.2. Alegerea unei perioade caracteristice

Pentru reducerea volumului de calcule se poate alege o perioadă caracteristică. Aceasta este reprezentativă pentru întreaga perioadă istorică pentru care se dispune de măsurători de debite, este mai scurtă – diminuându-se corespunzător volumul de calcule, iar rezultatele și concluziile elaborate se pot extinde și considera valabile pentru întreg șirul de debite.

Perioada caracteristică trebuie să respecte următoarele condiții:

- anii să fie consecutivi,
- debitul mediu să fie apropiat de debitul mediu multianual,
- caracterul hidrologic să fie apropiat de cel al întregii perioade.

Pentru respectarea condițiilor de mai sus se determină mai întâi *caracterul hidrologic* pentru fiecare an în parte. În acest scop se împart în câte trei intervale egale intervalul cuprins între debitul mediu multianual – Q_m și debitul maxim multianual – Q_{\max} și intervalul cuprins între debitul mediu multianual și debitul minim multianual – Q_{\min} . Echidistanțele celor două intervale se calculează cu relațiile (3.1):

$$\Delta Q_{\max} = \frac{Q_{\max} - Q_m}{3}, \quad \Delta Q_{\min} = \frac{Q_m - Q_{\min}}{3}. \quad (3.4)$$

De la valori maxime către minime se consideră pentru un an cu debitul mediu Q_{an} că este:

- foarte ploios (FP) pentru: $Q_{\max} \geq Q_{an} > Q_{\max} - \Delta Q_{\max}$,
- ploios (P) pentru: $Q_{\max} - \Delta Q_{\max} \geq Q_{an} > Q_m + \Delta Q_{\max}$,
- normal (N) pentru: $Q_m + \Delta Q_{\max} \geq Q_{an} > Q_m - \Delta Q_{\min}$,
- secetos (S) pentru: $Q_m - \Delta Q_{\min} \geq Q_{an} > Q_{\min} + \Delta Q_{\min}$,

(3.2)

- foarte secetos (FS) pentru: $Q_{\min} + \Delta Q_{\min} \geq Q_{an} \geq Q_{\min}$.

Se rețin câteva perioade a căror structuri din punct de vedere hidrologic sunt apropiate de structura întregului interval și se calculează debitele medii multianuale ale acestora.

Se alege ca perioadă caracteristică perioada care are structura hidrologică cea mai apropiată de cea a întregii perioade, iar debitul mediu apropiat de debitul mediu multianual. Calculele se efectuează în continuare cu debitele medii lunare corespunzătoare perioadei caracteristice iar rezultatele obținute în final se consideră valabile prin extensie pentru întreaga perioadă.

3.1.3. Curbe caracteristice ale debitelor

Curbele caracteristice ale debitelor unui curs de apă sunt:

- cheia limnimetrică;
- curba de regim (hidrograful);
- curba de durată (clasată);
- curba de frecvență;
- curba integrală a debitelor;
- curba integrală a diferențelor de debit.

1. Cheia limnimetrică

Cheia limnimetrică sau cheia debitelor printr-o secțiune a unui râu reprezintă legătura dintre adâncimea apei în secțiune și debitul care o străbate. Această legătură este exprimată de relația lui Chézy:

$$Q = AC\sqrt{Ri}, \text{ în } [m^3/s], \quad (3.5)$$

unde: A este aria secțiunii vii (curgerii);

C - coeficientul lui Chézy;

R - raza hidraulică;

i - panta hidraulică (panta suprafeței libere; în mișcarea uniformă este egală cu panta talvegului).

Raza hidraulică se calculează cu relația:

$$R = \frac{A}{P}, \quad (3.6)$$

unde P este perimetrul udat; iar una dintre relațiile de calcul pentru C este relația lui Pavlovski:

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (3.7)$$

în care n este rugozitatea patului albiei, definită ca înălțime medie a asperităților, iar y este un coeficient care se poate considera conform lui Manning:

$$y = \frac{1}{6}. \quad (3.8)$$

2. Curba de regim

Curba de regim sau *hidrograful* reprezintă variația în timp a debitului. Pentru a reprezenta curba de regim, este important de stabilit perioada și pasul de timp pentru care se construiește. Pentru a construi o curbă de regim, este necesar să se calculeze debitele medii pe intervale de timp. Debitul mediu pe un interval de timp T se obține cu relația:

$$\bar{Q}_T = \frac{1}{T} \int_0^T Q(t) dt = \frac{W_T}{T}, \quad (3.9)$$

unde W_T reprezintă volumul scurs prin secțiunea de referință în perioada T .

Dacă se mediază un șir de debite pe intervale de timp Δt , se obține un șir de debite medii, $\bar{Q}_{\Delta t}$. În funcție de pasul de timp Δt pentru care se determină valorile medii, rezultatul medierii poate fi:

$$\bar{Q}_{\Delta t} = \bar{Q}_z, \bar{Q}_l, \bar{Q}_{an}; \text{ pentru } \Delta t = 1 \text{ zi, } 1 \text{ lună, } 1 \text{ an.}$$

Altfel spus, rezultatul poate fi: debit mediu zilnic, prin medierea debitelor instantanee; debit mediu lunar, prin medierea debitelor medii zilnice sau instantanee pe perioada unei luni; debit mediu anual, prin medierea debitelor medii lunare, zilnice sau instantanee pe perioada unui an. Prin medierea debitelor instantanee, medii zilnice, medii lunare sau medii anuale pe perioada mai multor ani se obține debitul mediu multianual.

Întotdeauna, debitul maxim al șirului de debite medii rezultate este mai mic decât debitul maxim al șirului de debite inițial, iar debitul minim al șirului de debite medii rezultate este mai mare decât debitul minim al șirului de debite inițial:

$$\overline{Q}_{\Delta t}^{\max} < Q_{\max}, \overline{Q}_{\Delta t}^{\min} > Q_{\min}. \quad (3.10)$$

Dacă se mediază pe toată perioada T șirul inițial de debite și se mediază și șirul de debite medii pe intervale Δt , se observă că cele două valori ale mediilor sunt egale:

$$\overline{(\overline{Q}_{\Delta t})}_T = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \overline{Q}_{\Delta t, j} = \overline{Q}_T. \quad (3.11)$$

3. Curba de durată (clasată)

În multe dintre cazurile practice nu interesează succesiunea cronologică a valorilor debitului ci *durata* lor. Durata unei valori a debitului reprezintă fracțiunea din orizontul de timp considerat, cât valoarea respectivă a fost prezentă (realizată, depășită, disponibilă).

Reprezentarea grafică a valorilor debitului în ordine descrescătoare păstrând în abscisă pasul de timp cu care se cunosc debitele medii se numește *curbă de durată* sau *curba clasată* a debitelor. Această curbă arată că pentru un interval de timp, T , pe un anumit râu și într-o anumită secțiune, o anumită valoare a debitului, Q^* , a fost depășită o anumită durată, d^* .

Durata d^* , a unei valori a debitului, Q^* , pentru un interval de timp T , se poate determina de pe curba de regim ducând o paralelă la axa timpului în dreptul valorii Q^* și însumând intervalele de timp delimitate pe această paralelă de curba de regim când $Q \geq Q^*$.

Dacă se consideră durata în procente din perioada T , se obține *asigurarea* debitului, care arată cât la sută din perioada T o valoare a debitului a fost depășită. Reprezentarea grafică a curbei de durată cu abscisa în procente se mai numește curbă de asigurare.

Asigurarea sau probabilitatea de depășire p^* a unei valori a debitului, Q^* , pentru un interval de timp foarte mare T , se calculează cu relația:

$$p^* = \frac{d^*}{T} \cdot 100 \text{ [%]}, \quad (3.12)$$

iar curba de durată tinde la o curbă de probabilitate de depășire.

De exemplu, o valoare a debitului are o asigurare de 10% pe o perioadă de 50 de ani, înseamnă că acel debit a fost depășit 5 ani, cumulată pe perioadă de 50 ani.

3.1.4. Calculul curbei de frecvență a debitelor medii lunare

Se consideră că perioada caracteristică este formată dintr-un șir de N valori de debite medii lunare. *Curba de frecvență* este reprezentarea grafică a frecvențelor relative ale debitelor. Se recomandă alegerea unui număr de intervale m , acesta fiind dat de aproximarea prin adaos a valorii rezultate aplicând relația: $m = 1 + 1,33 \ln N$. Mărimea unui interval va rezulta egală cu:

$$\Delta Q = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{m}, \text{ iar frecvența relativă pentru intervalul } l,$$

$l = \overline{1, m}$, se calculează cu relația:

$f_l = \frac{n_l}{N}$, unde n_l este numărul de valori de debite cuprinse în intervalul $(Q_l, Q_l + \Delta Q)$, unde $Q_l = Q_1 + (l-1) \cdot \Delta Q$, $l = \overline{1, N}$. Reprezentarea grafică a curbei de frecvență a debitelor medii lunare se face având în ordonată debitele iar în abscisă frecvențele.

3.1.4. Calculul curbei integrale a debitelor și curbei integrale a diferențelor de debite medii lunare

Pentru perioada caracteristică aleasă, considerată ca fiind formată dintr-un șir de N valori de debite medii lunare, se calculează curba integrală a debitelor și curba integrală a diferențelor debitelor medii lunare cu relațiile:

$$W_k = W_{k-1} + Q_k \Delta t \text{ [m}^3\text{]}, W_0 = 0, k = \overline{1, N}, \quad (3.13)$$

și respectiv:

$$\Delta W_k = \Delta W_{k-1} + (Q_k - Q_0) \Delta t \text{ [m}^3\text{]}, \Delta W_0 = 0, k = \overline{1, N}, \quad (3.14)$$

unde s-au utilizat notațiile:

ΔW_k – volumul în lac pentru luna curentă k ,

Q_k – debitul mediu afluent în lac pentru luna curentă k ,

Q_0 – o valoare caracteristică a debitelor de apă afluate în lac,

Δt – numărul de secunde dintr-o lună medie considerată ca având 30,5 zile, adică 2,63 mil.s.

Pentru calcule se consideră $Q_0 = Q_5$, deci se alege ca valoare caracteristică a debitelor afluate în lac debitul mediu multianual al perioadei caracteristice. Această alegere asigură faptul că la sfârșitul perioadei curba integrală a diferențelor de debite se închide în zero.

Debitul se introduce în calcule în m^3/s iar timpul în s, numărul de s dintr-o lună este: $\Delta t = 2,63 \cdot 10^6 \text{ s}$, de unde relațiile (3.13) și (3.14) se pot scrie:

$$W_k = W_{k-1} + 2,63 \cdot Q_k \text{ [mil.m}^3\text{]}, W_0 = 0, k = \overline{1, N}, \quad (3.15)$$

și respectiv:

$$\Delta W_k = \Delta W_{k-1} + 2,63 \cdot (Q_k - Q_0) \text{ [mil.m}^3\text{]}, \Delta W_0 = 0, k = \overline{1, N}, \quad (3.16)$$

volumele rezultând direct în mil.m³.

3.2. Definirea problemei și modul de lucru

În capitolele anterioare s-a calculat potențialul hidroenergetic specific pentru un râu și a rezultat ca avantajoasă realizarea unui baraj în secțiunea 4, figurile 1.1, respectiv 1.2. Din înregistrări se cunosc debitele medii lunare în secțiunea aleasă pentru o perioadă de 25 ani, tabelul 3.1, în care lunile sunt ordonate după ani hidrologici.

Pentru exemplificarea reprezentărilor grafice ale debitelor se calculează debitele medii anuale și se ordonează descrescător și debitele medii lunare multianuale, valori care se trec în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1

**Debitele medii lunare, medii anuale – cronologic și descrescător – și
medii lunare multianuale în acumulare**

An/L	apr	mai	iun	iul	aug	sep	oct	nov	dec	ian	feb	mar	Qan	Qan,d	Tip
1	22,46	56,75	51,95	40,97	20,1	13,63	13,05	21,46	12,17	10,42	8,75	16,17	23,99	28,73	P
2	33,83	19,96	17,26	34,16	36,08	28,46	11,23	11,6	18,51	11,65	9,94	11,32	20,33	26,23	N
3	37,47	50,25	34,74	25,18	22,64	9,58	8,7	11,02	12,12	10,48	18,71	9,83	20,89	24,08	N
4	47,25	44,26	40,47	17,86	17,72	13,35	18,07	36,52	15,78	10,35	12,26	15,01	24,08	23,99	P
5	24,52	35,81	19,57	14,06	20,67	24,09	16,72	26,89	20,18	13,26	10,17	15,12	20,09	23,85	N
6	26,57	44,44	35,03	17,84	13,91	9,09	7,61	14,58	10,54	9,41	8,87	8,83	17,23	23,18	S
7	46,58	55,55	37,76	26,3	13,39	10,29	19,2	25,88	15,95	11,14	9,85	14,31	23,85	22,81	P
8	37,48	54,65	50,45	24,3	24,3	12,61	8,72	7,43	10	9,4	9,41	10,86	21,63	21,72	N
9	31,32	58,05	28,57	15,35	11,25	7,52	6,99	8,58	8,21	10,01	10,24	7,13	16,94	21,63	S
10	46,58	50,75	52,95	47,88	17,61	35,4	18,32	30,45	13,95	10,53	9,41	10,95	28,73	20,89	FP
11	14,96	31,83	29,67	18,43	8,22	9,33	6,71	6,68	7,97	7,69	11,14	11,14	13,65	20,35	FS
12	44,92	46,76	38,23	22,84	15,33	13,44	54,65	36,04	11,51	9,62	9,72	11,72	26,23	20,35	FP
13	26,42	36,14	21,58	9,41	9,24	11,31	14,66	19,72	15,37	12,61	12,61	15,53	17,05	20,33	S
14	34,07	35,21	19,74	7,57	5,1	6,41	4,58	26,38	24,96	15,47	21,68	31,34	19,38	20,09	N
15	21,24	16,29	19,76	16,31	11,21	12,15	7,78	16,78	33,77	26,97	14,84	13,56	17,56	19,38	S
16	41,02	47,38	57,25	33,58	13,98	8,76	7,76	7,17	14,15	10,89	10,33	8,37	21,72	19,14	N
17	14,85	29,88	47,73	39,81	18,65	14,66	10,18	25,01	13,63	9,14	8,87	11,77	20,35	19,05	N
18	32,72	29,87	16,48	12,56	9,59	6,73	8,83	29,51	17,88	11,48	9,83	16,69	16,85	18,44	S
19	30,02	44,08	33,04	20,25	24,15	14,23	9,71	9,07	6,69	9,94	9,38	10,74	18,44	18,11	N
20	37,51	39,82	26,26	14,3	11,5	9,11	13,48	13,68	17,6	18,18	14,46	13,74	19,14	17,56	N
21	43	49,01	50,9	19,36	12,13	9,07	7,4	6,48	7,6	7,52	5,65	10,43	19,05	17,23	N
22	16,25	46,33	36,08	20,9	11,63	7,36	9,8	13,13	11,79	11,28	11,28	21,43	18,11	17,05	S
23	23,93	54,35	46,3	32,85	25,65	22,6	17,18	13,75	11,38	8,97	7,84	8,88	22,81	16,94	N
24	45,45	51,75	44,52	21,76	11,34	9,26	8,69	7,71	11,08	7,8	11,33	13,5	20,35	16,85	N
25	26,65	49,55	44,89	31,57	30,39	16,11	12,11	12,92	11,46	13,29	15,23	14	23,18	13,65	N
Qlm	32,28	43,15	36,05	23,42	16,63	13,38	12,89	17,54	14,17	11,5	11,27	13,29	20,46		

3.2. Alegerea perioadei caracteristice

Pentru exemplul de calcul considerat, tabelul 3.1, debitele: mediu, maxim și respectiv minim multianual sunt:

$$\begin{aligned} Q_m &= 20,46 \text{ m}^3/\text{s}, \\ Q_{\max} &= 28,73 \text{ m}^3/\text{s}, \\ Q_{\min} &= 13,65 \text{ m}^3/\text{s}. \end{aligned} \quad (3.17)$$

Cu valorile (3.7) s-au obținut echidistanțele superioară și respectiv inferioară:

$$\Delta Q_{\max} = 2,76 \text{ m}^3/\text{s}, \quad \Delta Q_{\min} = 2,27 \text{ m}^3/\text{s}. \quad (3.18)$$

Se notează Q_{an} – debitul mediu din anul curent, iar pentru valorile numerice considerate se obține an:

- foarte ploios (FP) pentru: $28,73 \geq Q_{an} > 25,98 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - ploios (P) pentru: $25,98 \geq Q_{an} > 23,22 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - normal (N) pentru: $23,22 \geq Q_{an} > 18,19 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - secetos (S) pentru: $18,19 \geq Q_{an} > 15,92 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - foarte secetos (FS) pentru: $15,92 \geq Q_{an} \geq 13,65 \text{ m}^3/\text{s}$.
- (3.19)

În tabelul 3.1, se completează ultima coloană cu tipul hidrologic al fiecărui an. Se constată că structura din punct de vedere hidrologic al perioadei de 25 ani este:

$$\text{FP} - 2 \text{ ani}, \text{ P} - 3 \text{ ani}, \text{ N} - 13 \text{ ani}, \text{ S} - 6 \text{ ani}, \text{ FS} - 1 \text{ an}.$$

După cum era de așteptat majoritatea sunt ani normali din punct de vedere hidrologic și din ce în ce mai puțini cu cât se merge către maxim și respectiv către minim.

Se propune ca perioada caracteristică să fie alcătuită din 5 ani.

Astfel, se rețin câteva perioade de câte 5 ani a căror structuri din punct de vedere hidrologic sunt apropiate cu intervalul de 25 ani și se calculează debitele medii multianuale ale acestora, tabelul 3.2.

Tabelul 3.2

Tipul hidrologic și debitul mediu multianual pentru compararea mai multor serii de câte 5 ani și alegerea perioadei caracteristice

Perioada [ani]	Structura hidrologică	Media multianuală [m ³ /s]
2-6	NNPNS	20,52
16-20	NNSNN	19,3
17-21	NSNNN	18,76
19-23	NNNSN	19,51
20-24	NNSNN	19,89
21-25	NSNNN	20,70

Se alege ca perioadă caracteristică perioada 2-6 întrucât are structura hidrologică cea mai potrivită iar debitul mediu multianual, $Q_5 = 20,52 \text{ m}^3/\text{s}$, este cel mai apropiat de cel al întregului interval, $Q_m = 20,46 \text{ m}^3/\text{s}$, iar calculele se efectuează în continuare cu cele 60 valori de debite medii lunare corespunzătoare. Rezultatele obținute în final se consideră valabile prin extensie pentru întreaga perioadă de 25 ani.

3.4. Reprezentarea grafică a curbelor caracteristice ale debitelor

Pentru reprezentări grafice se utilizează debitele medii lunare aferente perioadei caracteristice, adică valorile din tabelul 3.1, liniile 2...6.

În figura 3.1 se reprezintă *curbele de regim și de durată* ale debitelor medii lunare pentru perioada caracteristică.

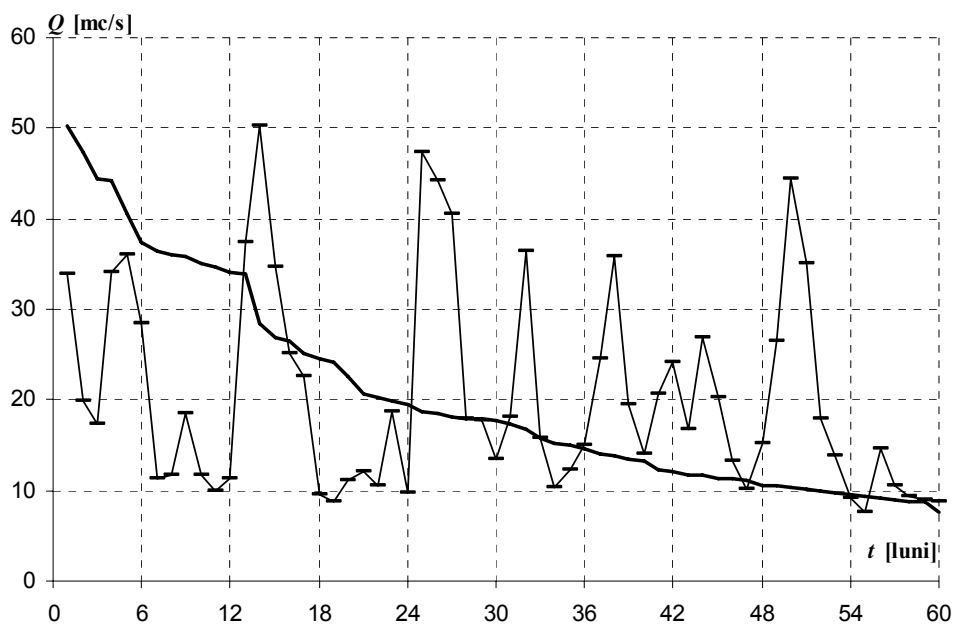


Fig. 3.1. Curbele de regim (linie subțire și marker) și de durată (linie groasă) a debitelor medii lunare pentru perioada caracteristică.

Pentru *curba de frecvență*, numărul de valori este: $N = 60$, rezultând un număr de 6,44 intervale, deci, prin rotunjire la valoarea superioară, $m = 7$. Având: $Q_{\max} = 50,25 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\min} = 7,61 \text{ m}^3/\text{s}$, rezultă mărimea unui interval $\Delta Q = 6,09 \text{ m}^3/\text{s}$. Se determină limitele fiecărui interval de frecvență, numărul de valori de debite din fiecare interval și se calculează frecvența relativă corespunzătoare fiecărui interval, tabelul 3.3.

Tabelul 3.3

Frecvențele relative asociate intervalelor de frecvență

Mărime	Q_{\max}	Q_{\min}	n	f
Interval	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[-]	[%]
1	50,25	44,16	2	3,33
2	44,16	38,07	3	5,00
3	38,07	31,98	6	10,00
4	31,98	25,88	4	6,67
5	25,88	19,79	10	16,67
6	19,79	13,70	13	21,67
7	13,70	7,61	22	36,67

În figura 3.2 se reprezintă grafic curba de frecvență a debitelor medii lunare, având în ordonată debitele iar în abscisă frecvențele.

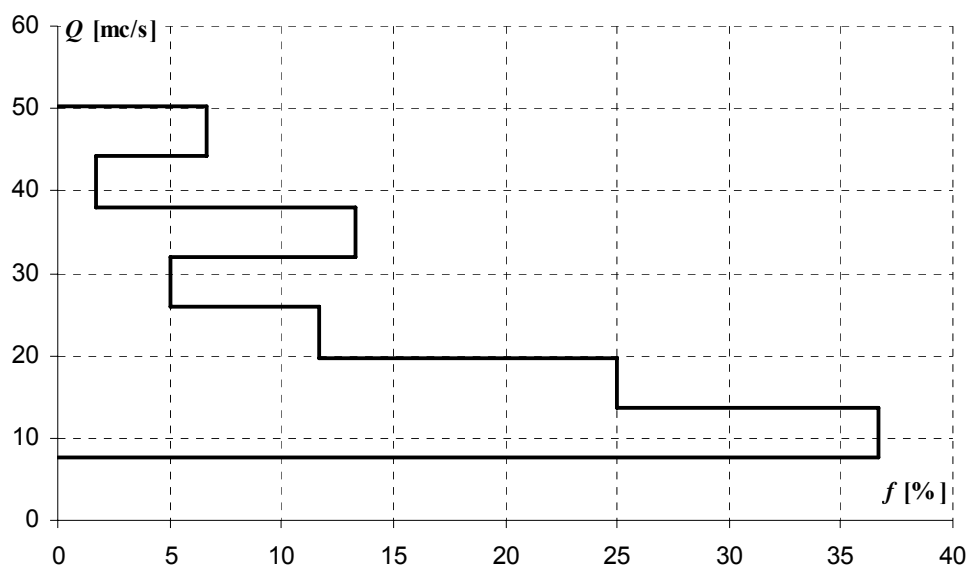


Fig. 3.2. Curba de frecvență a debitelor medii lunare pentru perioada caracteristică.

Pentru perioada caracteristică aleasă, anii 2-6, pentru care $N = 60$ valori de debite medii lunare, se calculează curba integrală a debitelor și curba integrală a diferențelor debitelor medii lunare cu relațiile 3.5 și 3.6. Rezultatele calculelor se trec în tabelul 3.4.

Tabelul 3.4

Curbele integrală a debitelor și integrală a diferențelor de debite

t [luni]	W [mil.mc]	ΔW [mil.mc]	t [luni]	W [mil.mc]	ΔW [mil.mc]	t [luni]	W [mil.mc]	ΔW [mil.mc]
0	0,00	0,00	21	1198,49	65,17	42	2425,75	159,12
1	88,97	35,01	22	1226,05	38,77	43	2469,73	149,12
2	141,47	33,53	23	1275,26	34,01	44	2540,45	165,87
3	186,86	24,96	24	1301,11	5,89	45	2593,52	164,98
4	276,70	60,83	25	1425,38	76,19	46	2628,40	145,89
5	371,59	101,75	26	1541,78	138,63	47	2655,14	118,67
6	446,44	122,64	27	1648,22	191,10	48	2694,91	104,46
7	475,98	98,20	28	1695,19	184,10	49	2764,79	120,38
8	506,49	74,74	29	1741,80	176,74	50	2881,66	183,28
9	555,17	69,46	30	1776,91	157,88	51	2973,79	221,45
10	585,81	46,13	31	1824,43	151,44	52	3020,71	214,40
11	611,95	18,30	32	1920,48	193,52	53	3057,30	197,01
12	641,72	-5,89	33	1961,98	181,05	54	3081,20	166,95
13	740,27	38,69	34	1989,20	154,30	55	3101,22	133,00
14	872,42	116,88	35	2021,44	132,58	56	3139,56	117,38
15	963,79	154,28	36	2060,92	118,09	57	3167,28	91,13
16	1030,01	166,53	37	2125,41	128,61	58	3192,03	61,91
17	1089,56	172,11	38	2219,59	168,82	59	3215,36	31,27
18	1114,75	143,34	39	2271,06	166,32	60	3238,58	0,53
19	1137,63	112,25	40	2308,04	149,33			
20	1166,62	87,26	41	2362,40	149,73			

Se reprezintă grafic, pentru perioada caracteristică, curba integrală a debitelor în figura 3.3 și curba integrală a diferențelor de debite medii lunare în figura 3.4.

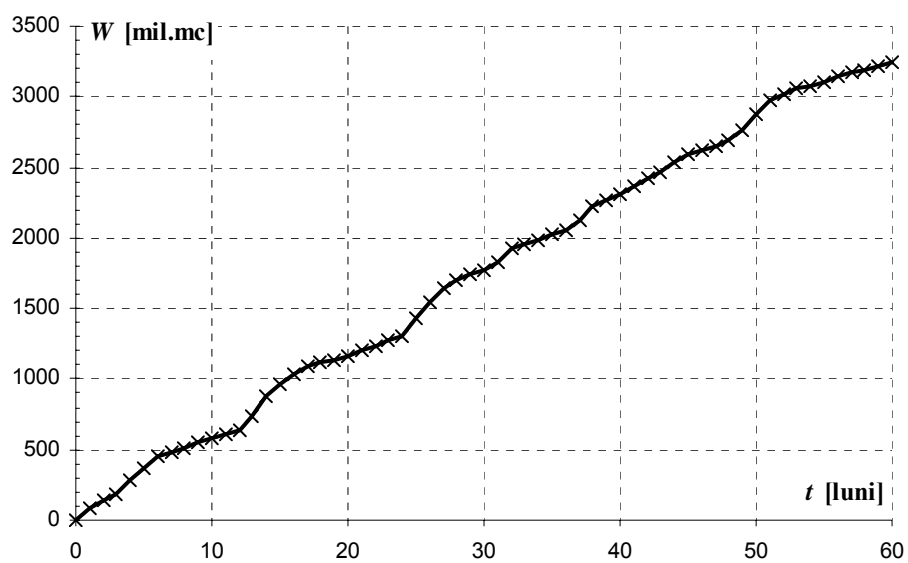


Fig. 3.3. Curba integrală a debitelor medii lunare pentru perioada caracteristică.

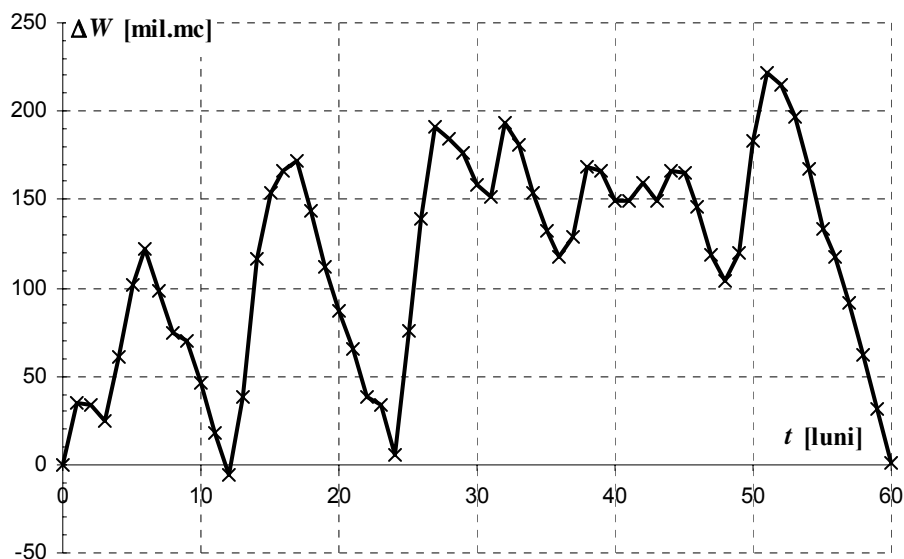


Fig. 3.4. Curba integrală a diferențelor de debite medii lunare pentru perioada caracteristică.

3.5. Concluzii

Se alege ca perioadă caracteristică perioada 2-6 întrucât are structura hidrologică cea mai potrivită iar debitul mediu multianual, $Q_5 = 20,52 \text{ m}^3/\text{s}$, apropiat de cel al perioadei istorice de 25 ani.

O mărime importantă asociată debitului mediu multianual deoarece în funcție de ea se dimensionează lacul de acumulare, este stocul mediu anual afluent în acumulare care se poate, eventual, recalcula corespunzător debitului mediu al perioadei caracteristice, Q_5 , cu relația 2.12:

$$W_5 = Q_5 \cdot T_{an} [\text{m}^3], \quad (3.20)$$

unde $T_{an} = 31,54 \cdot 10^6 \text{ s}$ reprezintă numărul de secunde dintr-un an, rezultând:

$$W_5 = 647,2 \text{ mil.m}^3. \quad (3.21)$$

În calculele ulterioare se poate utiliza oricare dintre valorile date de relațiile 2.15 sau 3.21, aceasta din urmă fiind totuși mai potrivită având în vedere că se vor efectua calcule asupra debitelor corespunzătoare perioadei caracteristice.

4

DETERMINAREA DEBITELOR REGULARIZATE PRIN METODA FIRULUI ÎNTINS

4.1. Noțiuni teoretice

Dacă nu se cunosc cerințele de apă din aval, metoda care se utilizează pentru regularizare în cazul lacurilor mari este metoda “firului întins”.

Pentru calculul regularizării se utilizează curba integrală a diferențelor de debit. De la o origine a timpului ($t = 0$), se calculează $\Delta V_{\text{afluent}}$ în lac, pe baza relației:

$$\Delta V_{a,i} = \Sigma(Q_{a,i} - Q_m) \cdot t = \Sigma(V_{a,i} - V_m) \quad (4.1)$$

unde $Q_{a,i}$ - debitul mediu afluent în perioada i ;

Q_m - debitul mediu multianual;

Δt - intervalul de timp (în general se folosesc intervale de timp lunare, 1 lună = 2,63 mil. secunde)

$V_{a,i}$ - stocul afluent în perioada i ;

V_m - stocul mediu multianual afluent.

Pentru studiul regularizării debitelor în cazul unui volum util V_u cunoscut, se translatează curba integrală a diferențelor de debit cu segmentul corespunzător volumului util V_u de pe scara volumelor. Curba superioară corespunde nivelului minim de exploatare (lac gol), iar cea inferioară nivelului retenției normale (lac plin). În acest mod se obțin limitele de regularizare: depășirea curbei inferioare conduce la deversări, iar a celei superioare coboară nivelul în lac sub nivelul minim (cum se poate observa în figura 3.12).

Având cele două limite, se trasează firul întins luând ca punct de plecare începutul primului interval și ca punct final sfârșitul ultimului interval de timp din șirul celor n ani (ca și cum ar fi un fir de care se trage, între cele două curbe).

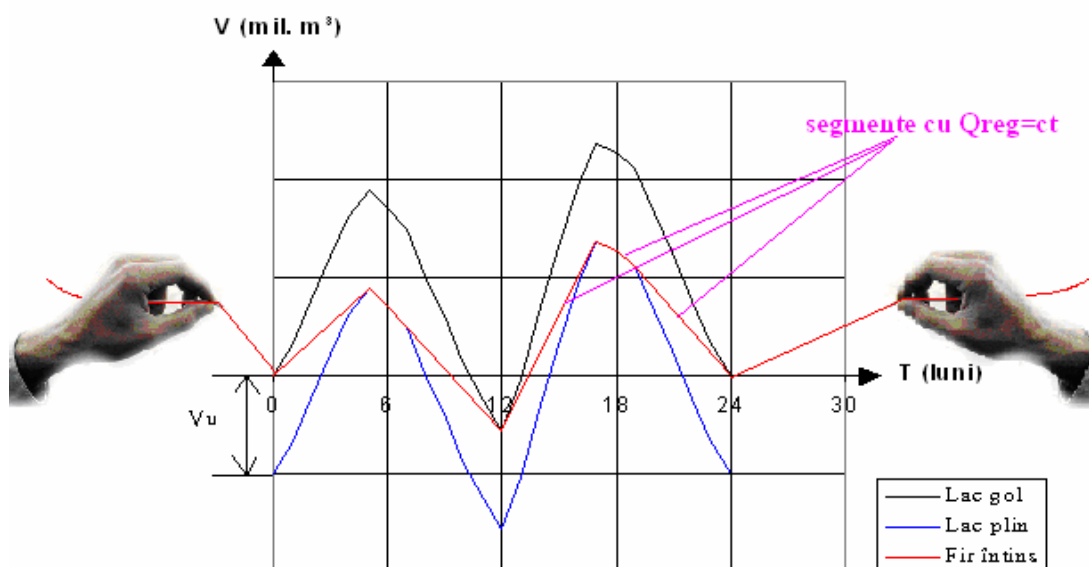


Fig. 4.1. Prezentarea metodei de regularizare “firul întins”

Debitul regularizat dat de firul întins se calculează **pentru fiecare segment** al firului cu următoarea formulă:

$$Q_{reg,i} = \frac{V_i - V_{i-1}}{\Delta t} + Q_m \quad (4.2)$$

V_i - volumul în punctul final al segmentului;

V_{i+1} - volumul în punctul inițial al segmentului;

Δt - diferența de timp (exprimată în secunde) dintre punctul final și cel inițial al segmentului;

i - numărul de segmente rezultate;

Q_m - debitul mediu multianual.

Stocul regularizat într-o lună i conform "firului întins" este:

$$V_{reg,i} = Q_{reg,i} \cdot 2,63 \cdot 10^6 \text{ (mil.m}^3\text{)} \quad (4.3)$$

4.2. Aplicație numerică pentru trei variante de volum util ale lacului de acumulare

Lacul de acumulare are două roluri esențiale: concentrarea căderii în secțiunea barajului și regularizarea debitelor. Se vor determina debitele regularizate prin metoda firului întins pentru trei variante de volum util și anume care corespund unor coeficienți de acumulare α de 10, 20 și respectiv 30% din stocul mediu anual afluent în acumulare. Stocul mediu reprezintă volumul de apă afluent în acumulare în anul mediu și se calculează cu relația:

$$W_{an} = \bar{Q} \cdot T_{an} \text{ [m}^3\text{]}, \quad (4.4)$$

unde \bar{Q} reprezintă debitul mediu multianual, iar T_{an} numărul de secunde dintr-un an, rezultând:

$$W_{an} = 645,43 \text{ mil.m}^3. \quad (4.5)$$

Pentru determinarea volumelor utile, V_u , se ține cont de relația de definiție a coeficientului de acumulare:

$$\alpha = \frac{V_u}{W_{an}}. \quad (4.6)$$

Volumul acumulării se consideră ca reprezentând 40% din stocul mediu anual.

Pentru fiecare variantă se calculează volumul mort și al rezervei de fier, V_{m+RFe} , ca fiind diferența dintre volumul acumulării corespunzător NRN și volumul util.

Nivelul minim energetic de exploatare corespunzător V_{m+RFe} al variantei respective se determină direct prin citire de pe curba de capacitate a acumulării.

Prin calcule se obțin valorile din tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

**Mărimi caracteristice ale acumulării
pentru cele trei variante de volum util**

Varianta	1	2	3
Coeficient de acumulare, [%]	10	20	30
Volum util, [mil.m ³]	64,54	129,09	193,63
Volum mort și al rezervei de fier, [mil.m ³]	177,49	112,95	48,41
Nivel minim energetic, [mdM]	180,23	167,87	149,59

Se verifică faptul că în varianta 3 nivelul minim energetic de exploatare, 149,59 mdM, nu coboară la mai puțin de un metru deasupra prizei de apă a centralei hidroelectrice amplasată la cota 147,70 mdM.

Pentru a putea aplica metoda firului întins pentru regularizarea debitelor, se procedează astfel: pe figura 5, anexa 6 se tranzlatează curba

integrală a diferențelor debitelor în lungul axei volumelor, în sens negativ cu valoarea volumului util corespunzător variantei 1; curba nou obținută se tranzlatează cu valoarea corespunzătoare variantei 2 și noua curbă cu valoarea corespunzătoare variantei 3. Se obțin trei culoare de lățimi egale cu valorile volumelor utile din cele trei variante studiate. Curba care limitează superior un culoar reprezintă curba de lac gol din varianta respectivă, iar cea care îl limitează inferior – curba de lac plin.

Metoda firului întins constă în a parcurge pentru fiecare variantă, deci fiecare culoar, pe drumul cel mai scurt, între punctul de abscisă 0 și punctul de abscisă 60 (în abscisă s-a reprezentat timpul în luni iar perioada caracteristică aleasă pentru studiu are 5 ani). Punctul inițial al firului întins are aceeași ordonată cu punctul final și se alege către curba de lac gol, către mijlocul culoarului de lățime egală cu volumul util sau către curba de lac plin după cum ultimul an al perioadei caracteristice este secetos, normal sau ploios. Argumentul pentru aceste alegeri îl constituie faptul că se consideră că perioada caracteristică se repetă în mod identic, anterior primului an fiind ultimul iar ulterior ultimului an fiind primul.

Debitele regularizate sunt proporționale cu pantele porțiunilor de fir întins. Pentru determinarea acestora se utilizează o metodă grafică. Se construiește pe același grafic al curbei integrale a diferențelor debitelor o axă verticală pentru debite, se alege o scară de reprezentare a acestora și se duce o perpendiculară în dreptul valorii debitului mediu multianual al perioadei caracteristice, Q_5 . La o distanță numită lungime polară, l_P , se figurează un punct, P , numit pol. Lungimea polară se calculează cu ajutorul unei relații între scările de reprezentare utilizate pentru mărimile fizice de pe grafic, și anume: debitul, timpul și volumul. Se poate scrie astfel pentru lungimea polară:

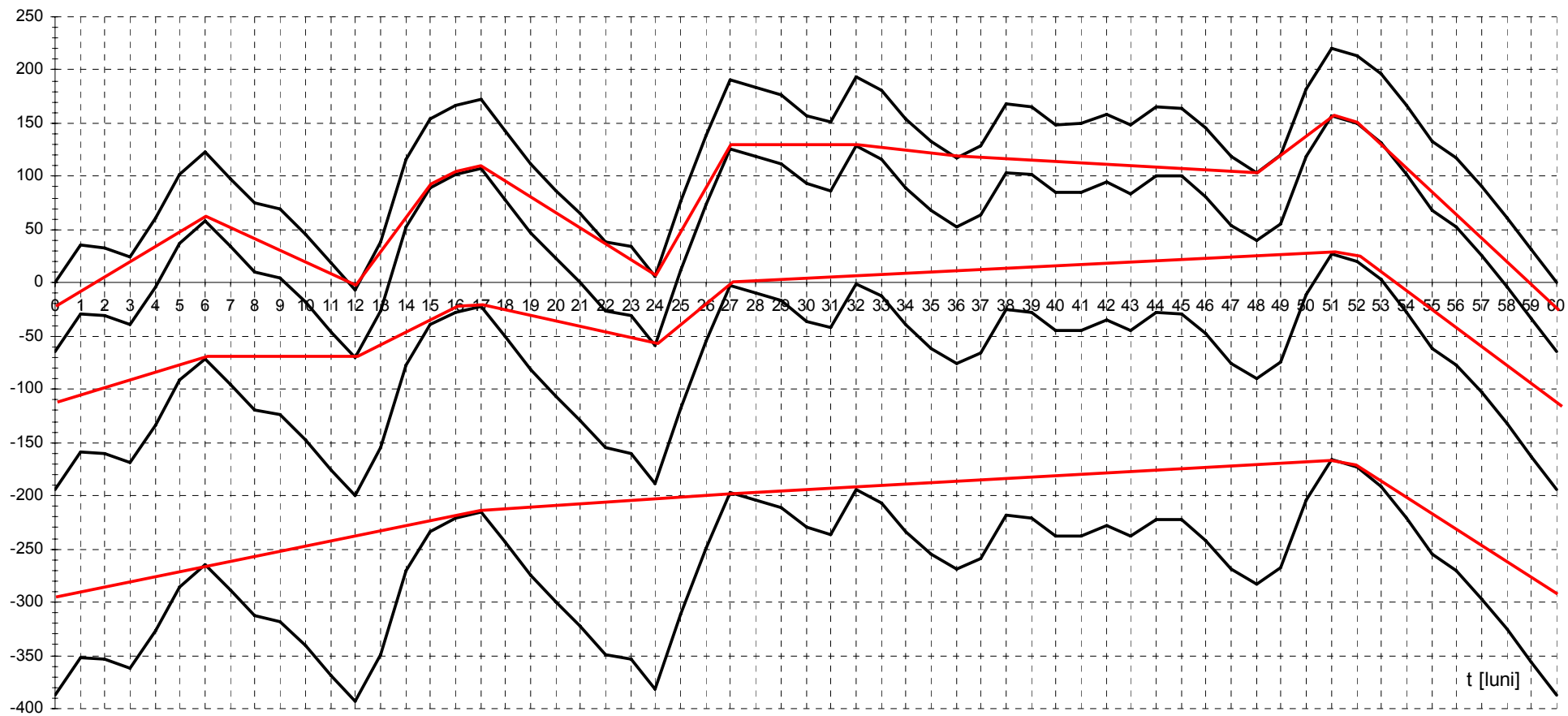
$$l_P = \frac{S_Q \cdot S_t}{S_V}, [\text{cm}]. \quad (4.7)$$

Prin pol se duc paralele la porțiunile de fir întins și se determină prin citire directă pe axa debitelor valorile debitelor regularizate corespunzătoare lunilor acoperite de porțiunea de fir întins respectiv.

Rezultatul îl reprezintă debitele regularizate pentru fiecare lună a perioadei caracteristice. Valorile acestora se trec în tabelele din anexele de la sfârșitul îndrumarului.

dW [mil.mc]

Fig. 4.2. Curba integrală a diferențelor de debite. Firul întins.



5

PUTERI CARACTERISTICE ALE UNEI AMENAJĂRI HIDROENERGETICE

5.1. Noțiuni teoretice

Relațiile practice de calcul ale energiei E_h și puterii P_h hidraulice (brute teoretice) sunt:

$$E_h = 0,00272 \cdot V H_b, \text{ [kWh]} \quad (5.1)$$

și respectiv

$$P_h = 9,81 \cdot Q H_b, \text{ în [kW]}. \quad (5.2)$$

Energia și puterea hidraulice (brute teoretice) au semnificația de *disponibil* al unui volum de apă, sau potențial teoretic.

Puterea hidraulică P_h este transformată de turbină în *putere mecanică* P_m , numită *putere la arborele turbinei* și se calculează cu relația:

$$P_m = P_h \cdot \eta_h \cdot \eta_t = 9,81 \cdot Q \cdot H_b \cdot \eta_h \cdot \eta_t, \text{ în [kW]}, \quad (5.3)$$

unde cu η_h și η_t s-au notat respectiv randamentele hidraulic și al turbinei.

Randamentul hidraulic este asociat pierderilor de energie pe traseul hidraulic: priză de apă, aducțiune, nod de presiune, conducta forțată, vană amonte de turbină.

Randamentul turbinei este asociat pierderilor de energie la transformarea energiei hidraulice disponibile a curentului de apă care ajunge la turbină în energie mecanică de rotație la arborele turbinei.

Generatorul electric transformă puterea mecanică P_m în putere electrică P , numită *putere la borne*:

$$P = P_m \cdot \eta_g = P_h \cdot \eta_h \cdot \eta_t \cdot \eta_g = 9,81 \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta_h \cdot \eta_t \cdot \eta_g, \text{ în [kW]}, \quad (5.4)$$

unde cu η_g s-a notat *randamentul generatorului*, asociat pierderilor de energie la transformarea energiei mecanice de rotație a rotorului generatorului (învârtit de arborele turbinei) în energie electrică la bornele generatorului.

Energia produsă de o centrală hidroelectrică este energia produsă la bornele generatorului și se calculează pentru un interval de timp T dat (24 h pentru o zi, 8 760 ore pentru un an etc.) prin integrarea puterii electrice în raport cu timpul:

$$E = \int_0^T P dt = 9,81 \cdot \int_0^T Q(t) \cdot H_b \cdot \eta_h \eta_t \eta_g dt, \text{ în [kWh]}. \quad (5.5)$$

Fiind asociat pierderilor de energie pe traseul hidraulic, randamentul hidraulic se definește ca raport dintre căderea netă, H_n și căderea brută, H_b , căderea netă fiind cea brută din care se scad pierderile de sarcină pe traseul hidraulic, h_r . Astfel se poate scrie pentru randamentul hidraulic:

$$\eta_h = \frac{H_n}{H_b} = \frac{H_b - h_r}{H_b} = 1 - \frac{h_r}{H_b}. \quad (5.6)$$

Pierderile de sarcină pe traseul hidraulic se scriu ca sumă a pierderilor de sarcină liniare și locale:

$$h_r = \sum_{i=1}^m h_{lin,i} + \sum_{j=1}^n h_{loc,j}, \quad (5.7)$$

care se calculează cu relațiile:

$$h_{lin,i} = \lambda_i \frac{l_i}{D_i} \frac{v_i^2}{2g}, \quad h_{loc,j} = \zeta_j \frac{v_j^2}{2g}. \quad (5.8)$$

Dacă se ține cont că viteza medie se poate exprima în funcție de debit:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2}, \quad (5.9)$$

și de valoarea coeficientului numeric: $8/\pi^2 g = 0,0826$, relația (5.7) devine:

$$h_r = 0,0826 \left(\sum_{i=1}^m \frac{\lambda_i Q_i^2}{D_i^5} l_i + \sum_{j=1}^n \zeta_j \frac{Q_j^2}{D_j^4} \right). \quad (5.10)$$

Valoarea debitului variază în timp, valoarea căderii nete variază în raport cu debitul afluent și cel turbinat la momentul t , iar valorile randamentelor variază în raport cu căderea netă.

Pentru un calcul aproximativ al energiei produse de o centrală hidroelectrică se pot utiliza valori medii ale parametrilor variabili. Astfel, pentru calculul producției medii anuale de energie electrică a unei centrale hidroelectrice se poate utiliza relația:

$$E_{an} = 9,81 \cdot Q_m \cdot H_{n,an} \cdot \eta_{t,an} \eta_{g,an} \cdot \varepsilon \cdot T_f, \text{ în [kWh/an]}, \quad (5.11)$$

unde: reprezintă debitul mediu multianual;

$H_{n,an}$, $\eta_{t,an}$, $\eta_{g,an}$ - valorile medii ale căderii nete, randamentului turbinei și generatorului;

ε - coeficient de utilizare al stocului, este subunitar, se exprimă în procente și reprezintă pierderea de stoc, fie prin deversarea la ape mari, fie prin calculul energiei la valori medii;

T_f - numărul mediu de ore de funcționare pe an.

Semnificația coeficientului de utilizare poate fi ilustrată prin următorul exemplu: dacă în calcul se intră cu valoarea debitului mediu lunar, în oricare dintre zilele din luna respectivă care are debitul afluent mai mare decât debitul instalat al centralei, se poate pierde, la centralele pe firul apei sau cele cu o acumulare mică, diferența de debit între debitul afluent și cel instalat.

Valoarea coeficientului de utilizare se poate considera, pentru centrale hidroelectrice cu regularizare:

- multianuală, $\varepsilon = 0,98$;

- anuală, $\varepsilon = 0,95$;
- sezonieră, $\varepsilon = 0,9$;
- pe firul apei, $\varepsilon = 0,75 - 0,85$, variază în funcție de gradul de supraechipare k_i al centralei.

Coeficientul de utilizare depinde de *gradul de supraechipare* sau *coeficientul de instalare* al centralei hidroelectrice, k_i :

$$k_i = \frac{Q_i}{Q_m}, \quad (5.12)$$

unde: Q_i este debitul instalat în turbinele centralei hidroelectrice;
 Q_m - debitul mediu multianual.

Puterile caracteristice ale unei centrale hidroelectrice reflectă condițiile de exploatare ale amenajării. Astfel, se pot defini:

- *puterea instalată* – reprezintă suma puterilor nominale ale hidroagregatelor instalate (puterea nominală a fiecărui grup hidrogenerator poate fi citită pe plăcuța generatorului);

- *puterea disponibilă* – reprezintă puterea maximă pe care o poate dezvolta amenajarea la un moment dat, în condiții de debit și cădere diferite de cele de calcul; puterea disponibilă nu poate fi decât mai mică, cel mult egală, cu puterea instalată, diferența reprezentând așa numita *putere indisponibilă* dată de coeficientul de indisponibilitate al agregatului (datorat uzurii, deficitului de debit sau de cădere);

- *puterea asigurată (garantată)* – este puterea cu o anumită asigurare, de obicei între 75% și 95%, în funcție de tipul amenajării, care se citește pe curba de durată a puterilor (analogă curbei de durată a debitelor);

- *puterea utilizabilă* – reprezintă puterea maximă care o poate dezvolta amenajarea la un moment dat, luând în considerare grupurile în reparație și parametrii disponibili la acel moment;

- *puterea în funcțiune* – este dată de suma puterilor reale, dezvoltate de hidroagregate, la un moment dat.

Trebuie specificat faptul că, puterea instalată și asigurată sunt valori caracteristice constante, în timp ce puterea disponibilă, utilizabilă și în funcțiune sunt valori caracteristice variabile în timp.

5.2. Calculul puterii medii lunare

Pentru variantele studiate, 0, ... 3, se calculează puterea medie lunară cu relația:

$$P_l = 9,81 \cdot \eta_{CHE} Q H_{br}, \text{ [kW]}, \quad (5.13)$$

unde Q reprezintă debitul mediu lunar turbinat în CHE, iar H_{br} – căderea brută medie lunară a amenajării.

Pentru varianta 0: Q reprezintă debitele medii lunare afluate în acumulare, iar H_{br} corespunde exploatării cu nivel constant (NRN), deci nivelului retenției normale.

Pentru variantele 1, 2, 3: Q reprezintă debitele regularizate, iar H_{br} corespund cotelor medii lunare ale suprafeței libere a lacului de acumulare, calculate în funcție de volumele medii lunare de apă din acumulare. Astfel, căderea brută se poate scrie ca fiind:

$$H_{br} = Z_0 - Z_{av} + \bar{h}, \text{ [m]}, \quad (5.14)$$

unde cu \bar{h} s-a notat adâncimea medie lunară a apei din lac măsurată în secțiunea barajului. Din relația (4) se deduce:

$$\bar{h} = \left(\frac{V_{m+RFe} + \bar{V}}{0,00128} \right)^{1/2,7}, \text{ [m]}, \quad (5.15)$$

unde V_{m+RFe} reprezintă volumul mort și al rezervei de fier corespunzător variantei curente, iar cu \bar{V} s-a notat volumul de apă mediu lunar în acumulare de deasupra nivelului minim energetic. Valoarea volumului \bar{V} se determină măsurând lună de lună, la mijlocul fiecărei luni, diferența de

ordonată între curba de lac gol și firul întins, pentru fiecare variantă în parte. Pe figură se exemplifică determinarea lui \bar{V} pentru luna 29 în varianta 2.

6

PRODUCȚIA DE ENERGIE A UNEI CENTRALE HIDROELECTRICE DE VÂRF

6.1. Calculul producției medii lunare de energie și echivalarea la energie asigurată vara la baza graficului zilnic de sarcină

Cunoscându-se puterile medii lunare se poate scrie pentru producția zilnică de energie relația:

$$E_{zi} = 24 \cdot P_l = T_u \cdot P_i, \quad (6.1)$$

unde s-a notat cu T_u durata medie zilnică de utilizare a puterii instalate P_i , iar 24 reprezintă numărul de ore dintr-o zi. Se poate calcula T_u ca fiind:

$$T_u = 24 \cdot \frac{P_l}{P_i}, \text{ [h/zi]}. \quad (6.2)$$

Puterea instalată se calculează cu relația:

$$P_i = 9,81 \cdot \eta_{CHE} Q_i H_{CG}, \text{ [kW]}, \quad (6.3)$$

unde Q_i reprezintă debitul instalat în centrala hidroelectrică și se calculează ca produsul dintre debitul mediu multianual afluent în acumulare, Q_5 și coeficientul de instalare, k_i :

$$Q_i = k_i Q_5, \quad (6.4)$$

iar H_{CG} reprezintă căderea brută corespunzătoare centrului de greutate al acumulării și se determină cu relația:

$$H_{CG} = Z_0 - Z_{av} + h_{CG}, \text{ [m]}, \quad (6.5)$$

unde h_{CG} reprezintă adâncimea apei corespunzătoare centrului de greutate al acumulării măsurată în secțiunea barajului. Această adâncime se definește ca fiind ordonata pe curba de capacitate a acumulării care corespunde împărțirii volumului util în două tranșe egale.

Astfel, pentru varianta 0 la care exploatarea acumulării se face la nivel constant, NRN, H_{CG} este căderea corespunzătoare nivelului retenției normale. Pentru fiecare dintre variantele 1, 2 sau 3, h_{CG} se determină grafic de pe curba de capacitate a acumulării sau analitic cu relația:

$$h_{CG} = \left(\frac{V_{m+RFe} + \frac{V_u}{2}}{0,00128} \right)^{1/2,7}, \text{ [m]}. \quad (6.6)$$

În tabelul 6.1 se prezintă valorile care se obțin pentru căderea brută corespunzătoare centrului de greutate al acumulării și pentru puterea instalată în variantele studiate.

Tabelul 6.1

Puterea instalată în cele patru variante studiate

Varianta	0	1	2	3
H_{CG} , [m]	120	115,35	110,23	104,49
P_i , [MW]	48,32	46,53	44,20	42,13

Cunoscând puterea instalată se poate calcula durata medie zilnică de utilizare a puterii instalate pentru fiecare lună a perioadei de calcul, în fiecare din variantele studiate. Valorile obținute se compară în funcție de anotimp cu valorile care delimitează zonele funcționale ale graficului zilnic de sarcină determinându-se pentru fiecare lună tipul energiei produse.

$$\text{vara} \quad T_u < 4 < T_u < 8 < T_u < 20 < T_u, \text{ [m]}, \quad (6.7)$$

$$\text{iarna} \quad T_u < 6 < T_u < 12 < T_u < 20 < T_u, \text{ [m]}, \quad (6.8)$$

Neas V sV B

6.2. Aplicație numerică

Producția lunară de energie se obține prin înmulțirea producției zilnice fie cu numărul mediu de zile dintr-o lună, 30,5 zile, fie cu numărul real de zile din luna respectivă.

Pentru echivalarea energiei la baza graficului zilnic de sarcină se înmulțește fiecare energie medie lunară cu un coeficient de echivalare care se calculează ca produs a trei coeficienți: unul ține cont de anotimp, al doilea ține cont de faptul că energia este asigurată sau neasigurată, iar al

treilea se referă la încadrarea centralei hidroelectrice în graficul zilnic de sarcină.

Se alege ca variantă optimă din punctul de vedere al nivelului minim energetic, varianta cu producție de energie echivalentă maximă.

A N E X E

TABELE DE CALCUL A
PRODUȚIILOR MEDII LUNARE DE
ENERGIE PENTRU CELE 4
VARIANTE CONSIDERATE

ANEXA 1

Tabelul 1		Total E= 1879,81					Varianta:0	
Nr.crt.	Luna	Qreg [mc/s]	Hbr [m]	PI [MW]	Tu [h]	E [GWh]	k [-]	Ee [GWh]
1	apr	33,83	120	31,86	15,82	23,32	1,40	32,65
2	mai	19,96	120	18,80	9,34	13,76	1,40	19,26
3	iun	17,26	120	16,25	8,07	11,90	1,40	16,66
4	iul	34,16	120	32,17	15,98	23,55	1,40	32,97
5	aug	36,08	120	33,98	16,88	24,87	1,40	34,82
6	sep	28,46	120	26,80	13,31	19,62	1,40	27,47
7	oct	11,23	120	10,58	5,25	7,74	3,36	26,01
8	nov	11,60	120	10,92	5,43	8,00	3,36	26,87
9	dec	18,51	120	17,43	8,66	12,76	4,80	61,25
10	ian	11,65	120	10,97	5,45	8,03	3,36	26,98
11	feb	9,94	120	9,36	4,65	6,85	3,36	23,02
12	mar	11,32	120	10,66	5,30	7,80	3,36	26,22
13	apr	37,47	120	35,29	17,53	25,83	1,40	36,16
14	mai	50,25	120	47,32	23,51	34,64	1,00	34,64
15	iun	34,74	120	32,72	16,25	23,95	1,40	33,53
16	iul	25,18	120	23,71	11,78	17,36	1,40	24,30
17	aug	22,64	120	21,32	10,59	15,61	1,40	21,85
18	sep	9,58	120	9,02	4,48	6,60	2,40	15,85
19	oct	8,70	120	8,19	4,07	6,00	3,36	20,15
20	nov	11,02	120	10,38	5,15	7,60	3,36	25,53
21	dec	12,12	120	11,41	5,67	8,36	3,36	28,07
22	ian	10,48	120	9,87	4,90	7,22	3,36	24,27
23	feb	18,71	120	17,62	8,75	12,90	4,80	61,91
24	mar	9,83	120	9,26	4,60	6,78	3,36	22,77
25	apr	47,25	120	44,50	22,10	32,57	1,00	32,57
26	mai	44,26	120	41,68	20,70	30,51	1,00	30,51
27	iun	40,47	120	38,11	18,93	27,90	1,40	39,06
28	iul	17,86	120	16,82	8,35	12,31	1,40	17,24
29	aug	17,72	120	16,69	8,29	12,22	1,40	17,10
30	sep	13,35	120	12,57	6,24	9,20	2,40	22,09
31	oct	18,07	120	17,02	8,45	12,46	4,80	59,79
32	nov	36,52	120	34,39	17,08	25,18	2,80	70,49
33	dec	15,78	120	14,86	7,38	10,88	4,80	52,22
34	ian	10,35	120	9,75	4,84	7,13	3,36	23,97
35	feb	12,26	120	11,55	5,73	8,45	3,36	28,40
36	mar	15,01	120	14,14	7,02	10,35	4,80	49,67

Tabelul 1							Total E=	1879,81		Varianța:0
Nr.crt.	Luna	Qreg	Hbr	PI	Tu	E	k	Ee		
37	apr	24,52	120	23,09	11,47	16,90	1,40	23,66		
38	mai	35,81	120	33,72	16,75	24,69	1,40	34,56		
39	iun	19,57	120	18,43	9,15	13,49	1,40	18,89		
40	iul	14,06	120	13,24	6,58	9,69	2,40	23,26		
41	aug	20,67	120	19,47	9,67	14,25	1,40	19,95		
42	sep	24,09	120	22,69	11,27	16,61	1,40	23,25		
43	oct	16,72	120	15,75	7,82	11,53	4,80	55,33		
44	nov	26,89	120	25,32	12,58	18,54	2,80	51,90		
45	dec	20,18	120	19,00	9,44	13,91	4,80	66,77		
46	ian	13,26	120	12,49	6,20	9,14	4,80	43,88		
47	feb	10,17	120	9,58	4,76	7,01	3,36	23,56		
48	mar	15,12	120	14,24	7,07	10,42	4,80	50,03		
49	apr	26,57	120	25,02	12,43	18,32	1,40	25,64		
50	mai	44,44	120	41,85	20,79	30,64	1,00	30,64		
51	iun	35,03	120	32,99	16,39	24,15	1,40	33,81		
52	iul	17,84	120	16,80	8,34	12,30	1,40	17,22		
53	aug	13,91	120	13,10	6,51	9,59	2,40	23,01		
54	sep	9,09	120	8,56	4,25	6,27	2,40	15,04		
55	oct	7,61	120	7,17	3,56	5,25	3,36	17,63		
56	nov	14,58	120	13,73	6,82	10,05	4,80	48,24		
57	dec	10,54	120	9,93	4,93	7,27	3,36	24,41		
58	ian	9,41	120	8,86	4,40	6,49	3,36	21,80		
59	feb	8,87	120	8,35	4,15	6,11	3,36	20,55		
60	mar	8,83	120	8,32	4,13	6,09	3,36	20,45		

1879,81

$W_{an} = 648,987$
 $V_{lac} = 259,595$
 $V_u =$
 $V_m + R_{fe} =$
 $m = 2,70094$
 $a = 0,00128$
 $H_0 = 30$
 $H_{cg} = 120$
 $P_i = 48,3194$

ANEXA 2

Tabelul 2		Total E= 2286,41							Varianta: 1	
Nr.crt.	Luna	Qreg [mc/s]	V* [mil.mc]	h* [m]	Hbr [m]	PI [MW]	Tu [h]	E [GWh]	k [-]	Ee [GWh]
1	apr	26,12	41,49	89,18	119,18	24,43	12,35	17,88	1,4	25,03
2	mai	26,12	43,36	89,44	119,44	24,48	12,38	17,92	1,4	25,09
3	iun	26,12	23,39	86,58	116,58	23,90	12,08	17,49	1,4	24,49
4	iul	26,12	22,42	86,44	116,44	23,87	12,07	17,47	1,4	24,46
5	aug	26,12	45,67	89,76	119,76	24,55	12,41	17,97	1,4	25,16
6	sep	26,12	61,70	91,93	121,93	24,99	12,63	18,29	1,4	25,61
7	oct	16,52	57,80	91,41	121,41	15,74	7,96	11,52	4,8	55,29
8	nov	16,52	44,48	89,60	119,60	15,50	7,84	11,35	4,8	54,46
9	dec	16,52	40,76	89,08	119,08	15,43	7,80	11,30	4,8	54,23
10	ian	16,52	37,11	88,56	118,56	15,37	7,77	11,25	4,8	53,99
11	feb	16,52	22,16	86,40	116,40	15,09	7,63	11,04	4,8	53,01
12	mar	16,52	6,12	83,98	113,98	14,77	7,47	10,81	4,8	51,91
13	apr	32,49	6,37	84,02	114,02	29,07	14,70	21,28	1,4	29,79
14	mai	32,49	35,90	88,39	118,39	30,19	15,26	22,10	1,4	30,94
15	iun	32,49	61,88	91,96	121,96	31,10	15,72	22,76	1,4	31,87
16	iul	25,12	64,70	92,33	122,33	24,12	12,19	17,65	1,4	24,71
17	aug	22,62	64,70	92,33	122,33	21,71	10,98	15,89	1,4	22,25
18	sep	15,07	57,56	91,38	121,38	14,35	7,25	10,50	2,4	25,21
19	oct	15,07	42,12	89,27	119,27	14,10	7,13	10,32	4,8	49,55
20	nov	15,07	28,58	87,34	117,34	13,87	7,01	10,16	4,8	48,75
21	dec	15,07	19,55	86,02	116,02	13,72	6,93	10,04	4,8	48,20
22	ian	15,07	9,80	84,55	114,55	13,54	6,85	9,91	4,8	47,58
23	feb	15,07	8,73	84,38	114,38	13,52	6,84	9,90	4,8	47,52
24	mar	15,07	6,81	84,09	114,09	13,49	6,82	9,87	4,8	47,39
25	apr	35,63	15,07	85,35	115,35	32,25	16,30	23,61	1,4	33,05
26	mai	35,63	41,28	89,15	119,15	33,31	16,84	24,38	1,4	34,14
27	iun	35,63	58,56	91,51	121,51	33,97	17,17	24,87	1,4	34,82
28	iul	20,70	60,95	91,83	121,83	19,79	10,01	14,49	1,4	20,28
29	aug	20,70	53,27	90,80	120,80	19,63	9,92	14,37	1,4	20,11
30	sep	20,70	39,65	88,92	118,92	19,32	9,77	14,14	1,4	19,80
31	oct	20,70	26,49	87,04	117,04	19,01	9,61	13,92	4,8	66,81
32	nov	20,70	43,86	89,51	119,51	19,42	9,82	14,21	4,8	68,22
33	dec	19,50	59,81	91,68	121,68	18,62	9,41	13,63	4,8	65,43
34	ian	19,50	42,89	89,37	119,37	18,27	9,24	13,37	4,8	64,19
35	feb	19,50	21,32	86,28	116,28	17,79	9,00	13,03	4,8	62,52
36	mar	19,50	5,90	83,95	113,95	17,44	8,82	12,76	4,8	61,27

Tabelul 2								Total E=	Varianta: 1	
Nr.crt.	Luna	Q _{reg} [mc/s]	V* [mil.mc]	h* [m]	H _{br} [m]	PI [MW]	Tu [h]	E [GWh]	k [-]	E _e [GWh]
37	apr	20,09	5,84	83,94	113,94	17,97	9,08	13,15	1,4	18,41
38	mai	20,09	32,40	87,89	117,89	18,59	9,40	13,61	1,4	19,05
39	iun	20,09	52,43	90,69	120,69	19,03	9,62	13,93	1,4	19,50
40	iul	20,09	43,81	89,50	119,50	18,84	9,53	13,79	1,4	19,31
41	aug	20,09	36,32	88,45	118,45	18,68	9,44	13,67	1,4	19,14
42	sep	20,09	42,35	89,30	119,30	18,81	9,51	13,77	1,4	19,28
43	oct	20,09	43,50	89,46	119,46	18,84	9,52	13,79	4,8	66,19
44	nov	20,09	48,02	90,08	120,08	18,94	9,57	13,86	4,8	66,53
45	dec	20,09	57,10	91,32	121,32	19,13	9,67	14,00	4,8	67,22
46	ian	20,09	48,23	90,11	120,11	18,94	9,58	13,86	4,8	66,55
47	feb	20,09	26,16	86,99	116,99	18,45	9,33	13,50	4,8	64,82
48	mar	20,09	6,55	84,05	114,05	17,98	9,09	13,16	4,8	63,19
49	apr	26,50	0,00	83,02	113,02	23,50	11,88	17,20	1,4	24,08
50	mai	27,38	22,38	86,44	116,44	25,02	12,65	18,31	1,4	25,64
51	iun	27,38	54,73	91,00	121,00	26,00	13,14	19,03	1,4	26,64
52	iul	17,73	64,70	92,33	122,33	17,03	8,61	12,46	1,4	17,45
53	aug	14,13	64,70	92,33	122,33	13,56	6,86	9,93	2,4	23,83
54	sep	11,71	61,39	91,89	121,89	11,20	5,66	8,20	2,4	19,68
55	oct	11,71	52,82	90,74	120,74	11,09	5,61	8,12	3,36	27,29
56	nov	11,71	51,49	90,56	120,56	11,08	5,60	8,11	3,36	27,25
57	dec	11,71	54,02	90,90	120,90	11,11	5,62	8,13	3,36	27,32
58	ian	11,71	49,60	90,30	120,30	11,05	5,59	8,09	3,36	27,19
59	feb	11,71	43,11	89,40	119,40	10,97	5,55	8,03	3,36	26,98
60	mar	11,71	36,00	88,41	118,41	10,88	5,50	7,96	3,36	26,76

2286,41

Wan= 648,99 mil mc
 V_{lac}= 259,59 mil mc
 V_{ul}= 64,90 mil mc
 V_m+R_{fe}= 194,70 mil mc
 m= 2,70094
 a= 0,00128
 H₀= 30,00 m
 H_{cg}= 117,90 m
 P_i= 47,47 MW
 Q_m= 20,52

ANEXA 3

Tabelul 3		Total E= 2418,15							Varianta: 2	
Nr.crt.	Luna	Qreg [mc/s]	V* [mil.mc]	h* [m]	Hbr [m]	PI [MW]	Tu [h]	E [GWh]	k [-]	Ee [GWh]
1	apr	24,16	77,39	84,96	114,96	21,79	11,49	15,95	1,40	22,33
2	mai	24,16	84,49	86,02	116,02	21,99	11,60	16,10	1,40	22,54
3	iun	24,16	69,76	83,78	113,78	21,57	11,38	15,79	1,40	22,10
4	iul	24,16	73,74	84,40	114,40	21,69	11,44	15,87	1,40	22,22
5	aug	24,16	102,52	88,64	118,64	22,49	11,86	16,46	1,40	23,05
6	sep	24,16	123,78	91,56	121,56	23,04	12,15	16,87	1,40	23,61
7	oct	20,56	117,11	90,66	120,66	19,47	10,27	14,25	4,80	68,40
8	nov	20,56	93,01	87,27	117,27	18,92	9,98	13,85	4,80	66,48
9	dec	20,56	78,51	85,13	115,13	18,57	9,80	13,60	4,80	65,26
10	ian	20,56	64,07	82,89	112,89	18,21	9,61	13,33	4,80	64,00
11	feb	20,56	38,34	78,64	108,64	17,53	9,24	12,83	4,80	61,58
12	mar	20,56	12,17	73,86	103,86	16,76	8,84	12,27	4,80	58,88
13	apr	24,58	16,91	74,76	104,76	20,21	10,66	14,80	1,40	20,71
14	mai	24,58	67,53	83,44	113,44	21,89	11,54	16,02	1,40	22,43
15	iun	24,58	114,60	90,31	120,31	23,21	12,24	16,99	1,40	23,79
16	iul	24,58	128,68	92,21	122,21	23,58	12,43	17,26	1,40	24,16
17	aug	22,62	129,40	92,30	122,30	21,71	11,45	15,89	1,40	22,24
18	sep	18,53	117,64	90,73	120,73	17,56	9,26	12,85	1,40	17,99
19	oct	18,53	92,95	87,27	117,27	17,05	8,99	12,48	4,80	59,92
20	nov	18,53	70,17	83,85	113,85	16,56	8,73	12,12	4,80	58,17
21	dec	18,53	51,90	80,93	110,93	16,13	8,51	11,81	4,80	56,68
22	ian	18,53	32,91	77,69	107,69	15,66	8,26	11,46	4,80	55,02
23	feb	18,53	22,60	75,83	105,83	15,39	8,12	11,27	4,80	54,07
24	mar	18,53	11,43	73,72	103,72	15,08	7,95	11,04	4,80	53,00
25	apr	27,54	25,86	76,42	106,42	23,00	12,13	16,84	1,40	23,57
26	mai	27,54	73,63	84,38	114,38	24,72	13,04	18,10	1,40	25,34
27	iun	27,54	112,47	90,02	120,02	25,94	13,68	18,99	1,40	26,58
28	iul	21,00	125,26	91,75	121,75	20,06	10,58	14,68	1,40	20,56
29	aug	21,00	116,80	90,61	120,61	19,87	10,48	14,55	1,40	20,37
30	sep	21,00	102,39	88,62	118,62	19,54	10,31	14,31	1,40	20,03
31	oct	21,00	88,45	86,61	116,61	19,21	10,13	14,06	4,80	67,51
32	nov	21,00	105,04	88,99	118,99	19,61	10,34	14,35	4,80	68,89
33	dec	21,00	118,61	90,86	120,86	19,91	10,50	14,58	4,80	69,97
34	ian	21,00	97,70	87,95	117,95	19,43	10,25	14,23	4,80	68,28
35	feb	21,00	72,14	84,15	114,15	18,81	9,92	13,77	4,80	66,09
36	mar	21,00	52,73	81,06	111,06	18,30	9,65	13,40	4,80	64,30

Tabelul 3									Total E= 2418,15		Varianta: 2	
Nr.crt.	Luna	Q _{reg} [mc/s]	V* [mil.mc]	h* [m]	H _{br} [m]	PI [MW]	Tu [h]	E [GWh]	k [-]	E _e [GWh]		
37	apr	21,00	49,48	80,53	110,53	18,21	9,60	13,33	1,40	18,66		
38	mai	21,00	73,63	84,38	114,38	18,85	9,94	13,80	1,40	19,31		
39	iun	21,00	91,25	87,02	117,02	19,28	10,17	14,11	1,40	19,76		
40	iul	21,00	80,23	85,39	115,39	19,01	10,03	13,92	1,40	19,48		
41	aug	21,00	70,33	83,87	113,87	18,76	9,89	13,73	1,40	19,23		
42	sep	21,00	73,96	84,43	114,43	18,86	9,94	13,80	1,40	19,32		
43	oct	21,00	72,71	84,24	114,24	18,82	9,93	13,78	4,80	66,14		
44	nov	21,00	74,83	84,57	114,57	18,88	9,95	13,82	4,80	66,33		
45	dec	21,00	81,50	85,58	115,58	19,04	10,04	13,94	4,80	66,91		
46	ian	21,00	70,22	83,86	113,86	18,76	9,89	13,73	4,80	65,92		
47	feb	21,00	45,75	79,90	109,90	18,11	9,55	13,26	4,80	63,63		
48	mar	21,00	23,73	76,03	106,03	17,47	9,21	12,79	4,80	61,39		
49	apr	21,00	23,32	75,96	105,96	17,46	9,21	12,78	1,40	17,89		
50	mai	21,00	61,54	82,49	112,49	18,53	9,77	13,57	1,40	18,99		
51	iun	21,00	110,91	89,81	119,81	19,74	10,41	14,45	1,40	20,23		
52	iul	17,73	129,40	92,30	122,30	17,02	8,97	12,46	1,40	17,44		
53	aug	14,13	129,47	92,31	122,31	13,56	7,15	9,93	2,40	23,82		
54	sep	13,44	123,78	91,56	121,56	12,82	6,76	9,39	2,40	22,53		
55	oct	13,44	110,59	89,76	119,76	12,63	6,66	9,25	4,80	44,39		
56	nov	13,44	104,64	88,93	118,93	12,55	6,62	9,18	4,80	44,08		
57	dec	13,44	102,55	88,64	118,64	12,51	6,60	9,16	4,80	43,97		
58	ian	13,44	93,50	87,35	117,35	12,38	6,53	9,06	4,80	43,49		
59	feb	13,44	82,39	85,71	115,71	12,21	6,44	8,93	4,80	42,89		
60	mar	13,44	70,66	83,92	113,92	12,02	6,34	8,80	4,80	42,22		

2418,15

Wan= 648,987 mil mc
 V_{lac}= 259,595 mil mc
 V_{u2}= 129,797 mil mc
 V_m+R_{fe}= 129,797 mil mc
 m= 2,70094
 a= 0,00128
 H₀= 30 m
 H_{cg}= 113,023 m
 P_i= 45,5101 MW
 Q_m= 20,52

ANEXA 4

Tabelul 4		Total E= 2443,71							Varianta: 3	
Nr.crt.	Luna	Q _{reg} [mc/s]	V* [mil.mc]	h* [m]	H _{br} [m]	PI [MW]	Tu [h]	E [GWh]	k [-]	E _e [GWh]
1	apr	22,18	112,37	80,19	110,19	19,18	10,63	14,04	1,40	19,66
2	mai	22,18	124,74	82,22	112,22	19,54	10,82	14,30	1,40	20,02
3	iun	22,18	115,26	80,67	110,67	19,27	10,67	14,10	1,40	19,74
4	iul	22,18	124,51	82,18	112,18	19,53	10,82	14,30	1,40	20,01
5	aug	22,18	158,55	87,37	117,37	20,43	11,32	14,96	1,40	20,94
6	sep	22,18	185,07	91,07	121,07	21,08	11,67	15,43	1,40	21,60
7	oct	22,18	178,86	90,23	120,23	20,93	11,59	15,32	4,80	73,54
8	nov	22,18	150,43	86,18	116,18	20,22	11,20	14,80	4,80	71,06
9	dec	22,18	131,60	83,31	113,31	19,72	10,93	14,44	4,80	69,31
10	ian	22,18	112,82	80,27	110,27	19,20	10,63	14,05	4,80	67,45
11	feb	22,18	82,76	74,94	104,94	18,27	10,12	13,37	4,80	64,19
12	mar	22,18	52,26	68,79	98,79	17,20	9,53	12,59	4,80	60,43
13	apr	22,18	58,04	70,03	100,03	17,41	9,65	12,75	1,40	17,85
14	mai	22,18	115,06	80,64	110,64	19,26	10,67	14,10	1,40	19,74
15	iun	22,18	168,54	88,79	118,79	20,68	11,46	15,14	1,40	21,19
16	iul	22,18	189,02	91,60	121,60	21,17	11,73	15,50	1,40	21,69
17	aug	22,18	193,52	92,20	122,20	21,27	11,78	15,57	1,40	21,80
18	sep	21,23	178,73	90,21	120,21	20,03	11,10	14,66	1,40	20,53
19	oct	21,23	146,84	85,64	115,64	19,27	10,67	14,11	4,80	67,71
20	nov	21,23	116,85	80,93	110,93	18,49	10,24	13,53	4,80	64,95
21	dec	21,23	91,36	76,53	106,53	17,75	9,83	12,99	4,80	62,37
22	ian	21,23	65,16	71,50	101,50	16,91	9,37	12,38	4,80	59,43
23	feb	21,23	47,64	67,77	97,77	16,29	9,02	11,93	4,80	57,25
24	mar	21,23	29,27	63,45	93,45	15,57	8,63	11,40	4,80	54,71
25	apr	21,23	48,50	67,97	97,97	16,32	9,04	11,95	1,40	16,73
26	mai	21,23	113,10	80,31	110,31	18,38	10,18	13,46	1,40	18,84
27	iun	21,23	168,76	88,82	118,82	19,80	10,97	14,49	1,40	20,29
28	iul	21,00	189,96	91,73	121,73	20,06	11,11	14,68	1,40	20,55
29	aug	21,00	181,50	90,59	120,59	19,87	11,01	14,54	1,40	20,36
30	sep	21,00	167,09	88,59	118,59	19,54	10,82	14,30	1,40	20,02
31	oct	21,00	153,15	86,58	116,58	19,21	10,64	14,06	4,80	67,49
32	nov	21,00	167,74	88,68	118,68	19,55	10,83	14,31	4,80	68,71
33	dec	21,00	183,31	90,83	120,83	19,91	11,03	14,57	4,80	69,95
34	ian	21,00	162,40	87,92	117,92	19,43	10,76	14,22	4,80	68,27
35	feb	21,00	136,84	84,12	114,12	18,80	10,42	13,76	4,80	66,07
36	mar	21,00	117,43	81,03	111,03	18,29	10,13	13,39	4,80	64,28

Total									Varianta: 3	
E= 2443,71										
Nr.crt.	Luna	Q _{reg}	V*	h*	H _{br}	P _I	T _u	E	k	E _e
		[mc/s]	[mil.mc]	[m]	[m]	[MW]	[h]	[GWh]	[-]	[GWh]
37	apr	21,00	114,18	80,49	110,49	18,21	10,08	13,33	1,40	18,66
38	mai	21,00	138,33	84,35	114,35	18,84	10,44	13,79	1,40	19,31
39	iun	21,00	155,95	86,99	116,99	19,28	10,68	14,11	1,40	19,75
40	iul	21,00	144,93	85,36	115,36	19,01	10,53	13,91	1,40	19,48
41	aug	21,00	135,03	83,84	113,84	18,76	10,39	13,73	1,40	19,22
42	sep	21,00	138,66	84,40	114,40	18,85	10,44	13,80	1,40	19,32
43	oct	21,00	137,41	84,21	114,21	18,82	10,42	13,78	4,80	66,12
44	nov	21,00	139,53	84,54	114,54	18,87	10,45	13,81	4,80	66,31
45	dec	21,00	146,20	85,55	115,55	19,04	10,55	13,94	4,80	66,89
46	ian	21,00	134,92	83,83	113,83	18,75	10,39	13,73	4,80	65,90
47	feb	21,00	110,45	79,87	109,87	18,10	10,03	13,25	4,80	63,61
48	mar	21,00	88,43	76,00	106,00	17,46	9,67	12,78	4,80	61,36
49	apr	21,00	88,02	75,92	105,92	17,45	9,67	12,78	1,40	17,89
50	mai	21,00	126,24	82,46	112,46	18,53	10,26	13,56	1,40	18,99
51	iun	21,00	175,61	89,78	119,78	19,74	10,93	14,45	1,40	20,23
52	iul	17,73	194,10	92,28	122,28	17,02	9,43	12,46	1,40	17,44
53	aug	15,04	192,88	92,11	122,11	14,42	7,99	10,55	1,40	14,77
54	sep	15,04	183,90	90,91	120,91	14,27	7,91	10,45	2,40	25,08
55	oct	15,04	166,44	88,50	118,50	13,99	7,75	10,24	4,80	49,15
56	nov	15,04	156,22	87,03	117,03	13,82	7,65	10,11	4,80	48,54
57	dec	15,04	149,85	86,09	116,09	13,70	7,59	10,03	4,80	48,15
58	ian	15,04	136,53	84,07	114,07	13,47	7,46	9,86	4,80	47,32
59	feb	15,04	121,15	81,64	111,64	13,18	7,30	9,65	4,80	46,31
60	mar	15,04	105,15	78,97	108,97	12,86	7,13	9,42	4,80	45,20

2443,71

Wan= 648,987 mil mc
 V_{lac}= 259,595 mil mc
 V_{u3}= 194,696 mil mc
 V_m+R_{fe}= 64,8987 mil mc
 m= 2,70094
 a= 0,00128
 H₀= 30 m
 H_{cg}= 107,604 m
 P_i= 43,3279 MW
 Q_m= 20,523