



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI**

**FACULTATEA DE HIDROTEHNICĂ,
GEODEZIE ȘI INGINERIA MEDIULUI**



STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND EXPLOATAREA ACUMULĂRILOR COMPLEXE LA APE MARI

- TEZĂ DE DOCTORAT -

**Conducător științific:
Prof. univ. dr. ing. Ion GIURMA**

**Doctorand:
Ing. Ioan BALAN**

IAȘI – 2024

UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI
RECTORATUL

Către

Vă facem cunoscut că, în ziua de 26.04.2024 la ora 09:00, in Sala de Conferinte a Facultatii de Hidrotehnica, Geodezie și Ingineria Mediului va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:

„Studii si cercetari privind exploatarea acumularilor complexe la ape mari”

elaborata de d.l ing. Ioan Balan în vederea conferirii titlului științific de doctor.

Comisia de doctorat este alcătuită din:

- | | |
|---|------------------------|
| 1. Marcoie,Nicolae, conf. univ. dr. ing.,
Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași | președinte |
| 2. Giurma, Ion, prof. univ. dr. ing.,
Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași | conducător de doctorat |
| 3. Florescu, Constantin, prof. univ.dr. ing.,
Universitatea „Politehnică” Timișoara | referent oficial |
| 4. Bucur,Daniel, prof. univ. dr. ing.,
Universitatea de Științele Vieții „Ion Ionescu de la Brad” din Iași | referent oficial |
| 5. Cercel, Petru, conf. univ. dr. ing.,
Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași | referent oficial |

Cu această ocazie vă invităm să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.

RECTOR, /

Prof.univ.dr.ing. Dan Cașcaval



Secretar universitate,

Ing. Cristina Nagiț

*pentru susținerile online se va preciza link-ul și soluția de software

BORDEROU

Capitolul I	GOSPODĂRIREA CANTITATIVĂ A ACUMULĂRILOR COMPLEXE	3
1.1.	Informații generale	3
1.2.	Exploatarea coordonată a lacurilor de acumulare	3
1.3.	Modele pentru exploatarea lacurilor de acumulare	4
Capitolul II	ASPECTE TEORETICE PRIVIND ACUMULĂRILE COMPLEXE	5
2.1.	Aspecte privind regulile de exploatare a acumulărilor complexe	5
2.2.	Aspecte privind urmărirea comportării construcțiilor hidrotehnice	5
2.2.1.	<i>Aspecte privind regimul infiltrațiilor prin corpul unui baraj</i>	6
2.2.2.	<i>Aspecte privind deformațiile și stabilitatea unui baraj</i>	7
2.3.	Aspecte privind tranzitarea și atenuarea viiturilor	8
Capitolul III	ASPECTE PRIVIND MODELAREA MATEMATICĂ A ACUMULĂRILOR COMPLEXE	10
3.1.	Aspecte generale privind modelarea matematică a infiltrațiilor într-un baraj de pământ	10
3.1.1.	<i>Aspecte generale privind modelarea matematică a infiltrațiilor cu programul SEEP/W</i>	11
3.1.2.	<i>Aspecte generale privind modelarea matematică a infiltrațiilor cu programul SURFER</i>	11
3.2.	Aspecte generale privind modelarea matematică a stabilității unui baraj cu programul SLOPE	11
3.3.	Aspecte generale privind modelarea matematică a exploatării acumulărilor complexe cu programul HEC-ResSim	11
Capitolul IV	STUDIU DE CAZ: ACUMULAREA HĂLCENI PE RÂUL MILETIN	13
4.1.	Date caracteristice ale acumulării Hălceni	13
4.1.1.	<i>Parametrii constructivi ale acumulării</i>	13
4.1.2.	<i>Componentele sistemului de supraveghere a comportării construcțiilor</i>	15
4.2.	Aspecte privind comportamentul prognozat al barajului Hălceni	16
4.2.1.	<i>Calculul analitic al regimului infiltrațiilor</i>	16
4.2.2.	<i>Calculul analitic al stabilității taluzului amonte al barajului Hălceni</i>	17
4.2.3.	<i>Calculul analitic al tranzitării viiturilor teoretice</i>	19
4.3.	Sinteza interpretării parametrilor privind urmărirea comportării construcțiilor	20
4.3.1.	<i>Solicitările exterioare</i>	20
4.3.2.	<i>Parametrii de răspuns</i>	21
4.4.	Viitura produsă pe râul Miletin în anul 2019 și tranzitată prin uvrajele barajului Hălceni	25
Capitolul V	MODELAREA MATEMATICĂ A ACUMULĂRII HĂLCENI	26
5.1	Modelarea matematică a infiltrațiilor prin barajul Hălceni	26
5.1.1.	<i>Modelarea matematică a infiltrațiilor cu programul SEEP/W prin barajul Hălceni</i>	26
5.1.2.	<i>Modelarea matematică a infiltrațiilor cu programul SURFER prin barajul Hălceni</i>	28
5.2	Modelarea matematică a stabilității barajului Hălceni cu programul SLOPE	28
5.2.1.	<i>Verificarea stabilității barajului în ipoteza - Golirea lentă a lacului</i>	29
5.2.2.	<i>Verificarea stabilității barajului în ipoteza - Golirea bruscă a lacului</i>	30
Capitolul VI	Modelarea matematică a exploatării acumulării Hălceni cu programul HEC-ResSim	32
6.1.	Construirea unui model simplist de tranzitare	32
6.1.1.	<i>Adăugarea hărților de fundal</i>	32
6.1.2.	<i>Configurațiile bazinului hidrografic</i>	32
6.1.3.	<i>Modulul Reservoir Network</i>	32
6.2.	Construirea unui model complex de tranzitare	33
6.2.1.	<i>Rularea modelului de tranzitare a viiturii produse pe râul Miletin în anul 2019</i>	33
6.2.2.	<i>Analiza rezultatelor simulării</i>	34
6.2.3.	<i>Modificarea modelului prin aplicarea unui set diferit de reguli de exploatare</i>	36
6.2.4.	<i>Modificarea modelului prin actualizarea curbei de capacitate a lacului de acumulare</i>	37
Capitolul VII	Concluzii generale. Contribuții personale	38
7.1.	Concluzii generale	38
7.2.	Contribuții personale	38
7.3.	Dirjecții viitoare de cercetare	39

Teza de doctorat este structurată pe 7 capitole, dezvoltate în cadrul a **140 pagini** și conține **200 referințe bibliografice**, **95 figuri** (dintre care **3 fotografii**) și **19 tabele**.

CAPITOLUL I

GOSPODĂRIREA CANTITATIVĂ A ACUMULĂRILOR COMPLEXE

1.1. Informații generale

Ansamblul de măsuri și lucrări necesare pentru asigurarea necesităților de apă ale folosințelor și pentru valorificarea optimă a potențialului resurselor de apă constituie *gospodărirea apelor*.

Gospodărirea cantitativă se referă la gospodărirea apelor pentru folosințe, cuprinzând gospodărirea apelor de suprafață curgătoare și stătătoare, a apelor subterane, a apelor meteorice, a ghețurilor, ca o gospodărire a apelor mari și a debitelor solide.

Gospodărirea calitativă a apelor cuprinde gospodărirea propriu-zisă a apelor pentru satisfacerea necesităților calitative a folosințelor și protecția calității apelor.

Schema *de gospodărire a apelor* (de amenajare) a unui bazin este formată din rețeaua hidrografică, infrastructura sistemului de gospodărire a apelor, prelevările (derivațiile) și restituțiile de apă din bazinul respectiv.

Analizele de gospodărire a apelor mari și de evaluare a riscului la inundații au drept scop studiul consecințelor viiturilor, în special al inundațiilor și studiul modalităților de acțiune asupra viiturilor pentru a elimina efectele lor defavorabile. Sistemele de gospodărire a resurselor de apă, care cuprind în principal lacurile de acumulare realizate pentru stocarea apei și pentru controlul viiturilor, modifică foarte mult regimul natural al scurgerii râurilor.

Studiile proceselor hidraulice legate de propagarea undelor de viitură analizează modul în care undele de viitură se transformă în urma parcurgerii unui sector al cursului de apă studiat, precum și elementele hidraulice caracteristice ale curgerii pe sectorul respectiv. Condițiile reale de desfășurare a proceselor legate de propagarea undelor de viitură sunt foarte complexe. De aceea, în modelarea matematică a proceselor reale apar necesare numeroase simplificări și schematizări ale fenomenului.

Pentru rezolvarea calculelor de gospodărire a apelor mari se pot folosi metode bazate pe hidrografe ale viiturilor caracteristice, stabilite prin prelucrări de statistică hidrologică asupra debitelor maxime, metode bazate pe șiruri de viituri reale înregistrate, metode de generalizare a calculelor de gospodărire a apelor mari, metode de modelare statistică (*Crețu, 1976*).

Cea mai importantă folosință a acumulărilor complexe este reprezentată de atenuarea viiturilor, care mărește gradul de protecție a zonelor din aval prin diminuarea vârfurilor de viitură, decalarea timpului de producere a debitului maxim defluent.

Calculul de tranzitare a viiturilor prin lacurile de acumulare reprezintă o procedură matematică de calcul a modificărilor în timp unde de viitură afluate, tranzitate prin cuveta acumulării și evacuate prin uvrajele unei lucrări de retenție. Calculele se bazează pe curbele caracteristice ale acumulării cu relația de nivel apă – volum de înmagazinare și pe cheile de capacitate ale uvrajelor barajului. Aplicațiile acestei proceduri de calcul sunt utile pentru previziunile privind inundațiile, regularizare și protecție, proiectarea barajului și acumulării, stabilirea regulilor de exploatare, în cazul în care mărirea debitului evacuate în aval este stabilită la o valoare fixă.

1.2. Exploatarea coordonată a lacurilor de acumulare

Administrația Bazinală de Apă Prut - Bârlad gestionează infrastructura de gospodărire a apelor de pe suprafața bazinelor hidrografice Prut și Bârlad. În patrimoniul A.B.A. Prut - Bârlad există 44 baraje care realizează un luciul de apă permanent. Înălțimile acestor baraje au valori cuprinse între 4,0 și 17,0 m, iar capacitățile globale de înmagazinare la cota coronamentului au valori cuprinse între 0,020 mil m³ și 31,430 mil m³.

Lacurile de acumulare permanente se exploatează de către personalul din cadrul A.B.A. Prut-Bârlad în conformitate cu *Regulamentele de Exploatare și Graficele Dispecer*.

Exploatarea lacurilor de acumulare trebuie să țină seama de anumite restricții de ordin local, de funcționare a lacurilor din amonte și aval de acesta, precum și de modul de formare a viiturii pe ansamblul bazinului hidrografic. Rapiditatea cu care trebuie stabilite și executate deciziile în cazul perioadelor de ape mari impune o foarte bună cunoaștere atât a viiturilor, cât și a stării lacurilor de

acumulare din cadrul bazinului hidrografic, astfel ca, printr-o judicioasa coordonare a exploatării acestora, să se evite apariția unor situații critice datorita unor manevre necorespunzătoare.

Lacurile de acumulare existente într-un bazin hidrografic formează un sistem dinamic. Exploatarea unui astfel de sistem reprezintă o activitate de comandă cu conexiune inversă. Obiectivele ce se urmăresc, în mod deosebit, la exploatarea sistemului în cazul apelor mari sunt:

- a) asigurarea cantităților de apă necesare diverselor folosințe;
- b) diminuarea pagubelor produse de inundații;
- c) reducerea cantităților de aluviuni depuse în lacurile de acumulare;

Pentru evaluarea stării de siguranță ale barajelor de retenție, prevederile legislative corespunzătoare clasei de importanță a barajului impun realizarea calculele de gospodărirea apelor mari. Ulterior sunt stabilite ipotezele de funcționare și exploatarea acumulărilor.

În funcție de rezultatul acestor calcule se fac propuneri de lucrări de creștere a gradului de siguranță a structurilor de retenție. Dacă se ajunge la concluzia că barajele de retenție nu îndeplinesc cerințele pentru exploatarea în condiții de siguranță conform legislației actuale, se efectuează studii ample de gestionare a apei pentru regimul hidrologic și hidraulic modificat, pentru a identifica soluțiile tehnice necesare.

1.3. Modele pentru exploatarea lacurilor de acumulare

Scopul studiilor privind exploatarea lacurilor de acumulare este acela de a determina dacă volumul disponibil în lac este suficient, de a realiza valorificarea din punct de vedere economic, de a asigura livrările de apă către beneficiari în intervalele de timp stabilite și de a corela volumele înmagazinate cu eventualele pregoliri pentru a atenua viiturile produse în bazinul hidrografice.

Excesul de apă în anotimpurile ploioase, deficitul de apă în sezonul secetos, riscurile de cedare a barajului în caz de viituri necesită luarea unor decizii dificile de către cei care exploatează barajele și uvrajele acestora. În acest context, implementarea unor metode de optimizare a resurselor de apă este cercetată în mod detaliat de comunitatea științifică și academică. S-a studiat în special aplicarea unor metode de programare pentru a îmbunătăți eficiența exploatării barajului. (Tunçok, 1999).

Informații corecte pentru a lua deciziile necesare pot fi furnizate de un instrument de modelare computerizat care cuprinde un sistem suport decizional. Power și Sharda (2009) au definit în linii mari un sistem suport decizional – Decision Support System (DSS) ca fiind un sistem interactiv bazat pe computer care ajută oamenii să folosească comunicațiile computerizate, datele, documentele, cunoștințele și modelele pentru a rezolva probleme și a lua decizii. Sistemele Suport Decizional nu sunt menite să înlocuiască factorii de decizie calificați. (Gockcen, 2012)

Modelul generalizat de simulare reprezintă un model conceput pentru a fi aplicat cu ușurință la o varietate de sisteme râu – lac de acumulare. Cele mai populare software-uri de modelare pentru simularea sistemului râu – lac de acumulare sunt cele prezentate în tabelul 1.1 (Wurbs, 2005):

Tabelul 1.1 – Modele pentru simularea lacurilor de exploatare (Wurbs, 2005)

Denumire	Descriere	Organizația care a dezvoltat modelul
RiverWare	River and Reservoir Operation (Râul și exploatarea lacului de acumulare)	Bureau of Reclamation, TVA, CADSWES http://animas.colorado.edu/riverware/
MODSIM	Generalized River Basin Network Flow Model (bazinul Hidrografic Generalizat – modelarea scurgerii în bazin)	Colorado State University http://modsim.engr.colostate.edu
MIKE BASIN	GIS-Based Decision Support for Water Planning & Management (Suport decizional bazat pe GIS pentru gospodărirea apelor)	Danish Hydraulic Institute http://www.dhisoftware.com/mikebasin/
HEC-5	Simulation of Flood Control and Conservation Systems (Simularea sistemelor de exploatare și protecție împotriva viiturilor)	USACE Hydrologic Engineering Center http://www.hec.usace.army.mil/
HEC-ResSim	Reservoir System Simulation (Simularea lacurilor de acumulare)	USACE Hydrologic Engineering Center http://www.hec.usace.army.mil/

CAPITOLUL II

ASPECTE TEORETICE PRIVIND ACUMULĂRILE COMPLEXE

2.1. Aspecte privind regulile de exploatare a acumulărilor complexe

Importanța deosebită a procesului decizional în exploatarea acumulărilor complexe impune o analiză detaliată a sistemului suport decizional disponibil. Un prim nivel de abordare a unei probleme decizionale privind exploatarea acumulărilor constă în aplicarea la situația concretă analizată, a cadrului legal în vigoare privind siguranța și exploatarea barajelor..

Modelele hidrologice furnizează date hidrologice necesare calculului de gospodărire a apelor, pe baza măsurătorilor existente pe parcursul mai multor ani, obținute din determinări sintetice sau din date asimilate pe baza măsurătorilor din bazine hidrografice analoage.

Modelele de gospodărire a apelor cercetează probleme specifice privind amenajarea unui bazin hidrografic și pot determina efectul pe termen lung al realizării unei construcții hidrotehnice noi.

Modelele de optimizare ce țin cont de cheltuieli și beneficiile ulterioare pot sprijini deciziile privind dimensionarea corectă a construcțiilor hidrotehnice și exploatarea optimă a construcțiilor hidrotehnice.

Graficul Dispecer este o diagrama a regulilor de exploatare a acumulării în care pe ordonata este reprezentat volumul acumulat și pe abscisa timpul pe durata unui an. Regulile de exploatare se stabilesc pe baza datelor înregistrate anterior pe șiruri de ani. Elementele necesare întocmirii unui *Grafic Dispecer* sunt:

- debitele medii lunare afluențe pe un șir cât mai mare de ani (minim 20).
- normele de evaporație (m^3/ha)
- debitele folosințelor asigurate de către acumulare pentru fiecare din situațiile de satisfacere (condiții normale, debite maxime, debite minime, debite de restricții etc) în m^3/s .
- debitul ecologic (m^3/s)
- volumul util al lacului de acumulare (milioane m^3).
- suprafața de evaporație la Nivelul Normal de Retenție al lacului(ha)

Câmpul *Graficului Dispecer* este împărțit în mai multe zone de linii caracteristice:

- zona golirii forțate în care, pentru a evita deversările ulterioare, este necesară golirea unei tranșe din volumul lacului de acumulare
- zona funcționării în regim liber, în care se poate livra folosințelor un debit cuprins între minimul necesar și maximul utilizabil, fără a prejudicia funcționarea ulterioară a acestora.
- zona funcționării în regim obligat, în care debitul livrat folosințelor nu poate depăși debitul strict necesar acestora
- zona funcționării în regim de restricții, în care debitele livrate sunt debitele restricționate cu anumiți coeficienți

Calculul *Graficului Dispecer* este necesar să fie realizat, atunci când se stabilesc cerințe de apă de asigurat pentru diferiți beneficiari, pentru anul următor. Cu cât este mai lung șirul de date de intrare a apei, pe cât de precise sunt etapele de calcul.

2.2. Aspecte privind urmărirea comportării construcțiilor hidrotehnice

Prevederile legislative în vigoare stabilesc obligația permanentă a deținătorului sau administratorului unei construcții hidrotehnice de supraveghere, verificare, exploatare și întreținere corespunzătoare, avându-se astfel în vedere evitarea dezastrului legate de cedarea barajelor.

Sistemul calității în construcții descris de *Legea nr. 10/1995* privind calitatea în construcții prevede la art. 9 lit. j) obligativitatea efectuării urmăririi comportării în exploatare și realizarea intervențiilor la construcțiile existente și în cazul postutilizării construcțiilor. Legislația specifică activității de urmărire a comportării construcțiilor este reprezentată de Hotărârea Guvernului României nr. 766/ 1997 - *Regulament privind urmărirea comportării în exploatare, intervenții în timp și postutilizarea construcțiilor*", *Normativul privind comportarea în timp a construcțiilor - indicativ P130 - 1999*, *Normativul pentru urmărirea comportării construcțiilor hidrotehnice - NP 087/2003*. *Normele Tehnice pentru Lucrări Hidrotehnice 021-2002 privind stabilirea categoriilor de importanță a barajelor* stabilește modul de calcul a indicelui de risc al barajelor. *NP 087/2003* legiferează

instituirea *urmăririi speciale* la construcțiile hidrotehnice încadrate în categoriile de importanță "A" și "B".

2.2.1. Aspecte privind regimul infiltrațiilor prin corpul unui baraj

Monitorizarea și analiza numerică a modificărilor presiunii apei din porii materialului de umplură reprezintă o parte importantă a urmării comportării în timp a unui baraj de pământ.

Măsurătorile subpresiunilor din fundație sunt, în general, necesare pentru barajele fondate pe soluri sau roci cu capacitate portantă redusă. Se poate dovedi necesară monitorizarea suplimentară a subpresiunilor, în special în cazul barajelor înalte din beton. Măsurarea subpresiunilor este realizată și interpretată împreună cu evoluția nivelului apei din lacul de acumulare format de barajul respectiv (William, P.J., 2004).

Pe măsură ce are loc consolidarea umpluturilor din corpul barajului, presiunile hidrostactice în exces sunt disipate. Raportul presiunii din pori este definit ca presiunea hidstatică la un punct dat, împărțită la presiunea de suprasarcină a umpluturii deasupra acestui punct (u/γ_h). Acest raport este adimensional. Bishop, 1952 a remarcat că o avarie este probabil să apară într-un baraj în care raportul mediu al presiunii porilor pe toată secțiunea transversală a terasamentului depășește valoarea 0,60, cu excepția cazului unui baraj de înălțime redusă.

Analiza în profunzime a rezultatelor măsurătorilor nivelului de infiltrație în barajele de pământ se realizează acordând o atenție deosebită variației în timp a valorilor măsurate, în corelație cu nivelurile apei din lac. Clough G.W., Snyder J.W., 1966 au sugerat ca această analiză să se facă pe baza criteriului HILF (raportul dintre presiunea apei în pori și greutatea umpluturii din baraj la punctul respectiv de măsurare) prin care, la anumite valori de referință este recomandat a intra în *faza de atenție*, în ceea ce privește urmărirea comportării unui baraj. Acest lucru presupune calculul rapoartele presiunii porilor pentru fiecare dintre piezometrele din corpul barajului, în care se măsoară nivelul coloanei de apă rezultată din porii materialului de umplură și compararea cu valoarea admisibilă stabilită pentru fiecare baraj supus analizei.

Darcy a stabilit în cercetările sale că debitul infiltrat printr-un baraj Q este proporțional cu termenii – suprafața secțiunii de scurgere (Ω), gradientul hidraulic (I) și conductivitatea hidraulică (k) (Pietraru, 1977 :

$$Q = \Omega * k * I \quad (7)$$

Gradientul hidraulic este un raport adimensional între diferența de sarcină hidraulică și lungimea liniei de curent:

$$I = \frac{H_2 - H_1}{L} \quad (8)$$

Analiza infiltrațiilor se poate realiza în diferite regimuri de exploatare a lacului: regim de ape medii, regim de ape mari, ipoteza de golire lentă sau rapidă a lacului. Una din cele mai simple metode de calcul a infiltrațiilor este cea dezvoltată de S.N. Numerov (1965), cu rezultate bune din punct de vedere practic. Pentru a rezolva problema infiltrațiilor într-un baraj fără mască sau nucleu de etanșare, dar cu saltea de drenaj în aval, fără apă în aval, Numerov a propus schema din figura 2.3.:

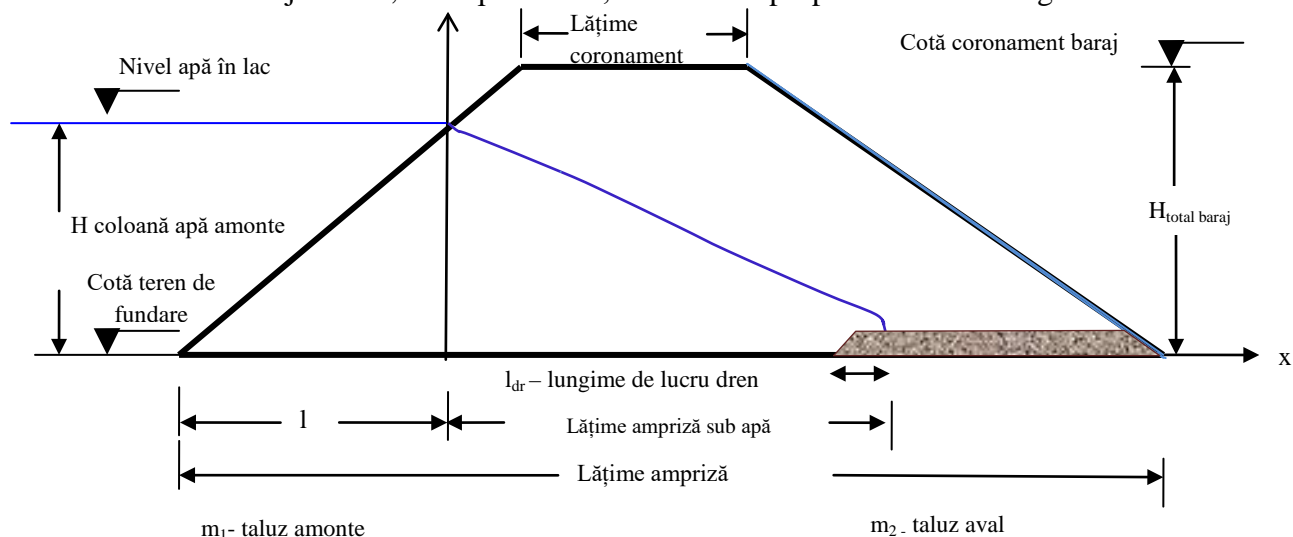


Figura 2.3 – Elemente geometrice baraj cu saltea drenantă (Pietraru, 1977)

Debitele de infiltrație se calculează cu relația:

$$\frac{q}{k} = \frac{H^2}{L+H \cdot f_1 + \sqrt{(L+H \cdot f_1)^2 + H^2 \cdot f_2}} \quad (9)$$

unde:

k = coeficient de permeabilitate (exprimat în m/zi)

H = coloana de apă amonte de baraj (m)

L = Lățime ampriză sub apă (m)

Coeficienții f_1 , respectiv f_2 se extrag din tabelul 7.4 - „Calculul infiltrațiilor” de Vitalie Pietraru - pag. 196, în funcție de m_1 (panta taluzului amonte)

Coordonatele curbei de infiltrație se calculează cu formula lui S.N. Numerov:

$$x = \frac{H^2 - y^2}{2 \frac{q}{k}} - H \cdot F_1 + \frac{q}{k} F_2 \quad (10)$$

unde: x și y – coordonatele curbei de infiltrație;

F_1 , respectiv F_2 sunt coeficienți ce se extrag din figurile 7.9 și 7.10 – „Calculul infiltrațiilor” de

$$s = th \frac{\pi(H-y)}{2 \frac{q}{k}}$$

Vitalie Pietraru, 1977 în funcție de argumentele m_1 și

Lungimea de lucru a drenajului se calculează din abscisa x_0 pentru $y = 0$, din formula (11):

$$l_{dr} = x_0 - L \quad (11)$$

2.2.2. Aspecte privind deformațiile și stabilitatea unui baraj

Deformațiile verticale ale barajelor de pământ, dacă nu sunt monitorizate eficient, ar putea fi dezastruoase pentru integritatea structurală a barajului (Osugwu J. C., 2017). Tasările pot conduce la o scădere periculoasă a cotei coronamentului și prin urmare, poate duce la depășirea barajului în cazul producerii unei viituri, care ar putea duce la cedarea barajului, la eroziune taluzului și formarea unei breșe și poate cauza daune grave în aval de baraj.

Deformațiile verticale ale barajelor de pământ trebuie monitorizate cel puțin o dată pe an. În acest fel pot fi detectate orice schimbări bruște în consolidarea umpluturii, ce necesită efectuarea unei evaluări mai detaliate. (Pytharouli, S., 2008).

Monitorizarea structurilor strategice din cadrul infrastructurii de gospodărirea apelor este o activitate de o importanță capitală. Se poate calcula procentul din înălțimea totală a barajului care s-a tasat într-un anumit punct de măsură, folosind ecuația:

$$P(\%) = \frac{s}{H_{total}} \quad (12)$$

unde

$P(\%)$ este procentul din înălțimea totală a barajului care s-a tasat într-un anumit punct de măsură

s este tasarea efectivă în punctul de măsură

H_{total} este înălțimea totală a barajului

Pentru fiecare punct de măsură se poate calcula un parametru adimensional cunoscut sub numele de *indice de tasare*. Ecuația (10) este ecuația *indicii de tasare* așa cum este stabilită de Pytharouli, S., 2008.

$$S_i = \frac{s}{1000 \cdot h \cdot \log \left(\frac{t_2}{t_1} \right)} \quad (13)$$

unde S_i este *indicele de tasare*

s este tasarea coronamentului măsurată în mm într-un interval de timp stabilit, după finalizarea construcției corpului barajului, între momentele t_1 și t_2 (Charles J.A., 1986).

Valorile rezultate pentru indicii de tasare S_i mai mari decât o valoare de referință de **0,02** indică faptul că alte mecanisme, în afara fluajului sau consolidării secundare a materialului barajului de pământ contribuie la deformațiile verticale ale barajului (Tedd et al., 1997).

Pytharouli, S., 2008 a identificat posibile alte mecanisme, altele decât fluajul (deformația lentă a unui material supus unor solicitări continue) sau consolidarea secundară, care au afectat tasările barajului Kremasta din Grecia, ca fiind:

- 1) Fluctuația nivelului apei în lacul de acumulare și
- 2) Precipitațiile

Deci, dacă valoarea lui $S_i > 0,02$, aceasta înseamnă că, în afară de fluaj sau consolidare secundară, celelalte mecanisme menționate mai sus sunt responsabile. Dacă indicii de tasare S_i calculați pentru deformațiile măsurate într-o anumită perioadă de timp sunt cu mult sub valoarea de 0,02, aceasta poate indica faptul că tasările barajului nu sunt afectate de fluaj sau consolidarea secundară a materialului barajului de pământ. Valorile limită sunt importante pentru a furniza un avertisment într-o situație de urgență (Charles J.A., 1991).

Indicele de tasare la fiecare secțiune de măsurare poate fi calculat și reprezentat grafic în funcție de perioada de timp, pentru a obține serii de timp constând din valorile indicelui de tasare mediu pentru fiecare dintre secțiuni.

Analiza stabilității barajului de pământ este foarte importantă pentru a stabili stabilitatea structurii în ansamblu și pentru a proiecta taluzuri funcționale. Stabilitatea unui baraj de pământ depinde de geometria sa, sistemul de etanșare sau de drenaj, tipul de material din care a fost realizat, distanța până la stratul impermeabil, prezența stratului freatic și solicitările exterioare la care este supus barajul. O soluție eficientă pentru stabilizarea taluzurilor este instalarea unui sistem de drenaj orizontal, cu scopul de a coborî curba de infiltrație în cadrul masei de pământ potențial instabile. Metodele de echilibru limită au fost adoptate pe scară largă pentru analiza stabilității taluzurilor datorită simplității metodelor (Pham et al., 2013).

Când lacul de acumulare este golit rapid, presiunile apei interioare din corpul barajului sunt reduse în două moduri. Există o disipare mai lentă a presiunii porilor datorată drenajului și există un efect elastic imediat, datorită eliminării totale sau parțiale a încărcăturii hidrostatice. Se presupune că lacul de acumulare a fost menținut la un nivel ridicat pentru o perioadă suficient de lungă, astfel încât materialul de umplere al barajului să fie complet saturat și să se stabilească o infiltrație constantă. Dacă lacul de acumulare este golit în această etapă, direcția curgerii este inversată, provocând instabilitate în taluzul amonte al barajului de pământ. Golirea *instantanee* este o situație ipotetică, iar presiunile porilor de-a lungul suprafeței de alunecare sunt determinate prin inspecția presiunii *instantanee* a apei din pori în diferite puncte ale rețelei cu elemente finite. Cea mai critică situație de golire rapidă înseamnă că, în timp ce presiunea apei care acționează pe taluzul amonte în starea de *lac plin* este eliminată, nu există o schimbare apreciabilă a conținutului de apă al solului saturat din baraj (Fattah, 2017).

Metoda fâșiilor pentru verificarea stabilității unui baraj constă în determinarea celei mai periculoase suprafețe de alunecare, pentru care se calculează valoarea minimă a coeficientului de stabilitate. Asupra fâșiei "i" dintr-un taluz (sau versant de pământ) acționează **greutatea G_i** (greutatea pământului), care trebuie echilibrată de forțele care se dezvoltă pe suprafața de cedare ΔA_i aferentă fâșiei.

$$\begin{cases} T_i = G_i \sin \alpha_i \\ N_i = G_i \cos \alpha_i \end{cases} \quad (14)$$

unde:

α_i - unghiul față de verticală a razei R .

N_i - componenta normală la suprafața de alunecare a greutateii G_i (kN);

T_i - componenta tangențială la suprafața de alunecare a greutateii G_i (kN);

Factorul de stabilitate se exprimă ca raportul între momentul față de centrul suprafeței de alunecare, dat de forțele care se opun alunecării și momentul dat de forțele $T_{i(-)}$ care tind să provoace alunecarea:

$$F_s = \frac{M_s}{M_r} = \frac{R \sum (F_i + C_i + T_{i(+)})}{R \sum T_{i(-)}} = \frac{\left[\sum (G_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i + c_i l_i + G_i \sin \alpha_{i(+)}) \right]}{\sum G_i \sin \alpha_{i(-)}} \quad (15)$$

Factorul de siguranță calculat trebuie să aibă valoare superioară factorului de siguranță de restricție.

2.3. Aspecte privind tranzitarea și atenuarea viiturilor

Metodele grafice utilizate pentru calculul atenuării undelor de viitură au fost treptat înlocuite de metode grafice sau grafo-analitice și metode numerice.

Procedura PULS originală a fost dezvoltată de L.G. Puls (inginer în cadrul United States Army Corps of Engineers (USACE), în anul 1928. *Procedura Puls* se bazează pe 2 ipoteze simplificatoare:

- nivelul apei este orizontal pe toată suprafața lacului, fără variații pe direcție z

- hidrograful undei de viitură se propagă instantaneu pe toată lungimea lacului.
Procedura Puls utilizează ecuația de continuitate scrisă în diferențe finite:

$$\frac{Q_{ai+1} + Q_{ai}}{2} - \frac{Q_{di+1} + Q_{di}}{2} = \frac{V_{i+1} - V_i}{\Delta t} \quad (16)$$

unde

Q_{ai} este debitul afluent la începutul intervalului de timp stabilit Δt

Q_{ai+1} este debitul afluent la sfârșitul intervalului de timp stabilit Δt

Q_{di} este debitul defluent la începutul intervalului de timp stabilit Δt

Q_{di+1} este debitul defluent la sfârșitul intervalului de timp stabilit Δt

V_i este volumul de apă acumulat în lac la începutul de timp stabilit Δt

V_{i+1} este volumul de apă acumulat în lac la sfârșitul intervalului de timp stabilit Δt

t reprezintă momentul corespunzând timpului t_i

t_{i+1} reprezintă momentul succesiv corespunzând timpului $t_{i+1} = t_i + \Delta t$

În vederea efectuării calculului atenuării unei viituri într-un lac de acumulare sunt necesare următoarele elemente:

- hidrograful undei aflente în lacul de acumulare $Q_a = f(t)$, prezentat sub forma unui șir de valori la intervale de timp Δt

- curba capacității lacului de acumulare $V = f(H)$

- cheile limnimetrice ale uvrajelor acumulării $Q_d = f(H)$

Compunerea undelor de viitură în regim amenajat

Calculul atenuării undelor de viitură tranzitate printr-o cascadă de iazuri (*Figura 2.4.*) se poate realiza conform metodologiei prezentate de Vasile BALOI în *Apărarea terenurilor agricole împotriva eroziunii, alunecărilor și inundațiilor*, Ed. Ceres 1981.

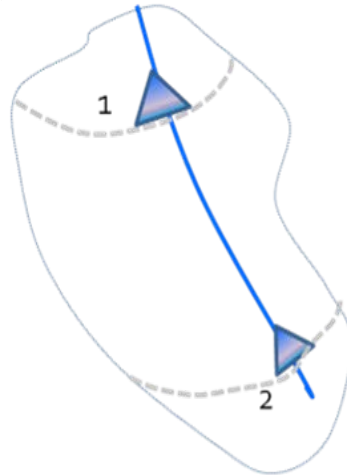


Figura 2.4 – Acumulări amplasate în serie (în cascadă) pe un curs de apă

Se procedează astfel:

- se presupune proiectarea a două lacuri pe cursul principal în secțiunile 1 și 2;
- se întocmește pentru fiecare secțiune hidrograful viiturii de calcul (unda de viitură teoretică);
- pentru lacul din secțiunea 1 se determină elementele atenuării (*volumul viiturii afluent în lac, volumul apei în lac, debitele evacuate prin uvrajele barajului, nivelul apei în lac aferent fiecărui pas de timp ales, volumul existent în lac*) după metoda Puls;
- pentru lacul din 2 pe hidrograful viiturii teoretice, se transpune hidrograful din 1 împreună cu curba debitului defluent (unda teoretică din 1 și aceeași undă de viitură atenuată) (*figura 5*)
- diferența dintre ordonatele undei teoretice și ale celei atenuate din 1 se scad din ordonatele undei de viitură din 2, pe intervalul de timp în care debitul defluent este mai mare decât cel afluent 1 se adună la ordonatele undei de viitură din 2 pe intervalul în care debitul defluent este mai mare ca cel afluent.

În felul acesta se determină unda de viitură modificată prin influența atenuării din 1. Aceasta unda de viitura modificată constituie hidrograful viiturii de calcul din 2, care stă la baza calculului atenuării din 2 (*Figura 2.5.*).

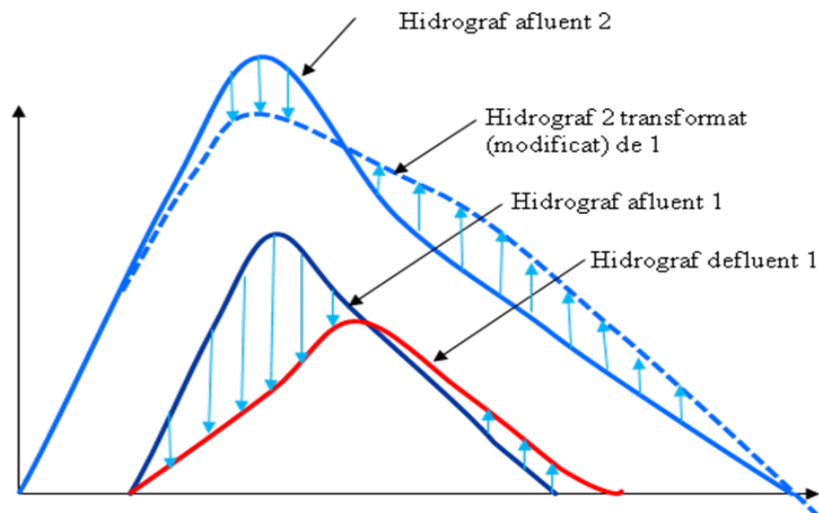


Figura 2.5 – Hidrograful acumulării 2 transformat de influența acumulării 1

În funcție de rezultatul acestor calcule se fac propuneri de lucrări de creștere a gradului de siguranța a structurilor de retenție.

CAPITOLUL III

ASPECTE PRIVIND MODELAREA MATEMATICĂ A ACUMULĂRILOR COMPLEXE

3.1. Aspecte generale privind modelarea matematică a infiltrațiilor într-un baraj de pământ

Modelarea matematică a infiltrațiilor se realizează uzual cu *Metoda diferențelor finite*, care implică discretizarea domeniului mișcării într-o rețea de elemente dreptunghiulare sau pătrate. Elementul finit al discretizării are un anumit număr de noduri prin intermediul cărora se conectează cu elementele din vecinătate. Se definesc ecuații polinomiale de aproximare pentru calculul sarcinii hidraulice în nodurile elementelor finite. Ecuațiile se rezolvă ulterior prin integrare numerică. Se însumează matricele și vectorii elementelor din discretizare și se utilizează și condițiile de margine impuse. Din rezolvarea ecuațiilor algebrice prin însumare se calculează valorile funcției necunoscute în punctele domeniului.

3.1.1. Aspecte generale privind modelarea matematică a infiltrațiilor cu programul SEEP/W

Modelarea matematică a infiltrațiilor printr-un baraj de pământ poate fi efectuată cu succes cu ajutorul programul *SEEP/W* creat de *GEO-SLOPE International Ltd.*. Programul *SEEP/W* utilizează metoda elementului finit pentru analiza infiltrațiilor apelor subterane. Metodele numerice cu elemente finite se bazează pe conceptul de divizare a unui element continuu în elemente mai mici - *elemente discrete*, pentru a descrie un anumit comportament individual, care apoi se reconectează pentru a defini comportamentul elementului continuu în ansamblu. Geometria unui baraj este definită cu *Puncte*, *Linii* și *Regiuni*, cărora li se aplică condiții la limită și proprietățile pentru materialele de umplură. Pe paramentul amonte este se adaugă un *Punct* la nivelul stabilit al apei în lacul de acumulare. Ampriza este împărțită în două segmente de dreaptă, dacă barajul este prevăzut cu saltea drenantă la bază. (*SEEP/W Tutorial*, 2017)

Din fila *Draw/ Boundary Conditions* se precizează zona potențiala de *exfiltrație*, pentru a fi astfel stabilită o condiție la limită necesară în model. Condiția la limită pentru *drenaj* se stabilește din fila *Define Boundary Conditions/Hydraulic*, de tipul debit $Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$ și se asociază paramentului aval al barajului. O condiție de limită a *presiunii zero* ($hp = 0 \text{ m}$) trebuie aplicată în punctul de la extremitatea aval a barajului. Programul se bazează în analiza sa pe legea lui Darcy, împreună cu limitele de valabilitate ale acesteia. Din fila *Solve Manager* se rulează analiza și ulterior se studiază rezultatele obținute, care sunt prezentate grafic prin distribuția vectorilor de viteză a infiltrației prin

corpul barajului, a curbei de infiltrație, linii de egală valoare pentru sarcina hidrostatică totală. În fila *View Result Information* se pot vizualiza pentru fiecare element din rețea diverse informații..

3.1.2. Aspecte generale privind modelarea matematică a infiltrațiilor cu programul SURFER

Sarcina hidrostatică este cota la care apa se ridică în mod natural într-un piezometru de monitorizare a infiltrației într-un baraj. Hidroizohipsele reprezintă liniile care unesc puncte cu aceeași valoare a cotei absolute a nivelului de infiltrație în corpul barajului. Pentru a trasa hidroizohipsele, se realizează o interpolare grafică între piezometre, pentru a determina punctele prin care vor fi trasate liniile cu aceeași valoare a cotei absolute. Numărul de izolinii (echidistanța lor) va fi determinat în funcție de ecartul disponibil între piezometre. *SURFER* este un program dezvoltat de *Golden Software* cu module disponibile pentru trasarea contururilor, realizarea unui grilă și cartografiere a unor suprafețe, generarea hărților..

3.2. Aspecte generale privind modelarea matematică a stabilității unui baraj cu programul SLOPE

Analiza stabilității structurilor pământului este cel mai vechi tip de analiză numerică din ingineria geotehnică. Analiza stabilității taluzurilor unui versant de pământ sau baraj poate fi facilitată de programul *SLOPE* dezvoltat de către *GEO-SLOPE International Ltd*, care consideră suprafața de alunecare a unui taluz de formă circulară, iar masa de alunecare se împarte în fâșii de calcul. Se generează o suprafață potențială de alunecare și se calculează factorul de siguranță asociat.

În programul *SLOPE*, presiunile apei interioare într-o analiză de stabilitate pot fi definite folosind o analiză stare staționară sau o analiză tranzitorie a infiltrației apei subterane. Programul *SLOPE* are capacitatea de analize bidimensionale ale infiltrațiilor în stare staționară și instabilă în medii poroase și de a efectua analize bidimensionale de stabilitate a taluzurilor. Acest program utilizează metoda de echilibru limită pentru a face analiza stabilității. În acest program, comportamentul solului este modelat prin relații Mohr-Coulomb. Acest software are, de asemenea, capacitatea de a modela elemente structurale, cum ar fi piloți, geotextile și ancore.

3.3. Aspecte generale privind modelarea matematică a exploatării acumulărilor complexe cu programul HEC-ResSim

Software-ul *HEC-ResSim* (*Hydrologic Engineering Center Reservoir System Simulation*) a fost dezvoltat de Corpul Inginerilor Armatei SUA pentru a modela operațiunile lacurilor de acumulare pentru o varietate de obiective și constrângeri operaționale. Software-ul și documentele sunt gratuite și pot fi descărcate de pe pagina de internet a HEC (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ResSim/>). Designul interfeței de utilizare a programului HEC - ResSim separă procesul de dezvoltare a modelului în trei etape majore și oferă funcționalitatea și activitățile asociate fiecărei etapă ca module. Aceste module sunt *Watershed Setup* (engl. – Bazinul hidrografic), *Reservoir Network* (engl. – Rețeaua Hidrografică) și *Simulation* (engl. - Simulare). Fiecare modul are un scop unic, unul sau mai multe seturi de date unice și un set de funcții accesibile prin meniuri, bare de instrumente și elemente schematice pentru crearea și editarea setului de date ale modulului respectiv. (*USACE, 2021*)

În folderul rădăcină al bazinului hidrografic sunt create patru subfoldere:

- *MAPS* - folderul hărți este locul în care se pune o copie a fișierului hărți de fundal care se vor afișa cu bazinul hidrografic schematic
- *RSS* - folderul rss este locul unde ResSim va stoca rețelele hidrografice și alternative care sunt create în modulul *Reservoir Network*, precum și fișierele de simulare create în modulul *Simulation*
- *SHARED* - folderul partajat este locul trebuie să se stocheze fișierele HEC-DSS de la care alternativele își obțin datele din seriile de timp
- *STUDY* este folderul în care ResSim stochează cea mai mare parte a bazinului hidrografic, configurația și elementele schematice asociate acestuia definite în modulul *Watershed Setup*

Editorul Reach

Sectoarele de râu tranzitează apa prin rețeaua hidrografică utilizând o metodă de tranzitare hidrologică. Se utilizează Editorul *Reach* pentru a specifica metoda de tranzitare, parametrii de tranzitare și pierderile prin infiltrație în sol pentru fiecare dintre zonele definite în model. (*USACE, 2011*).

Editorul Lacului de acumulare

Editorul *Reservoir* este utilizat pentru a specifica atât datele fizice, cât și cele operaționale pentru un lac de acumulare prin utilizarea a două fișe, o fișă *Physical* și o fișă *Operations*. Datele necesare pentru definirea unui element lac de acumulare sunt împărțite în două tipuri: *Fizice* și *Operaționale*. Elementele din fișă *Physical* descriu un aspect fizic al lacului de acumulare, cum ar fi dimensiunea și forma cuvetei lacului de acumulare, evaporatia, infiltrațiile, scurgerile, nivelul apei în aval și pierderea de sarcină din aval. *Barajul* este elementul lacului care poate tranzita apa din cuveța lacului în sistemul din aval și este elementul principal la care se adăuga elemente de evacuare a debitelor.

Exploatarea lacurilor de acumulare

Exploatarea lacurilor de acumulare trebuie să se bazeze pe un concept de optimizare pentru determinarea și efectuarea evacuărilor din lac prin uvrajele barajului, pentru a atinge și a menține lacul la o cota țintă a apei în lacul de acumulare, definită ca *Guide Curve* în programul HEC-ResSim, echivalentă cu Nivelul Normal de Retenție din legislația românească. Programul HEC-ResSim a fost proiectat și construit pentru modelatorii din cadrul Corpului Inginerilor din USA, care respectă regula generală de exploatare a lacurilor de acumulare la Nivelul Normal de Retenție. În cadrul programului, obiectivul primar este de a menține nivelul apei la N.N.R. și de reveni cât mai curând la N.N.R. Se definesc seturi de reguli de exploatare pentru a produce tranziții line în cadrul exploatării lacului, fără evacuări semnificative sau oscilații mari în variația nivelului apei în lac. Pentru a ghida procesul de luare a deciziilor în programul ResSim, a fost dezvoltat un principiu de exploatare, care descrie scopurile, obiectivele și constrângerile care definesc cum ar trebui să funcționeze un lac de acumulare; acest principiu se numește *set de reguli de exploatare*.

Un *set de operațiuni* (reguli de exploatare) este planul sau schema de operare pe care își bazează programul deciziile privind cantitatea de apă eliberată la fiecare pas de timp al unei rulări de simulare. *Zonele* sunt subdiviziuni operaționale ale volumului din cuveța lacului. Fiecare zonă este definită de o curbă care descrie partea superioară a zonei. Când se creează un set de operațiuni, programul ResSim stabilește un set implicit de zone în cadrul setului. *Regulile* reprezintă obiectivele și constrângerile asupra evacuărilor.

Guide Curve este identificată prin selectarea vârfului uneia dintre zonele operaționale și reprezintă cota țintă a lacului. În mod implicit, ResSim atribuie *Guide Curve* spre partea de sus a zonei de *Conservation*. Evacuarea dorită de *Guide Curve* este, prin definiție, evacuarea pe care ar trebui să o realizeze lacul pentru a ajunge sau rămâne la Nivelul Normal de Retenție în acest interval de timp. Acest calcul derivă de la ecuația de bază de conservare a masei:

Debitul de intrare minus debitul de ieșire este egal cu modificarea volumului

Pașii care compun procesul de decizie privind evacuările sunt:

- *Estimarea limitelor fizice*
- *Identificarea zonei curențe din tranșa de volum a lacului*
- *Identificarea regulilor active*
- *Aplicarea regulilor*
- *Calculul evacuării corespunzătoare Guide Curve*
- *Determinarea evacuărilor*

Definirea alternativei

O alternativă constă dintr-o rețea hidrografică a unui lac de acumulare (creată anterior dintr-o configurație), specificații pentru rularea simulării, un set de operații pentru lacul de acumulare, un set de operațiuni pentru stocare apă, definirea condițiilor inițiale (*Lookback*) și o legătură la toate înregistrările de date serii de timp pentru debitele afluențe.

Rularea simulărilor

Folderul de simulare este creat ca fișier DSS numit *simulation.dss*, care va conține toate debitele afluențe și defluente pentru alternativele selectate. Simularea va rula dacă se apasă pe **Compute** în Panoul de control al simulării. Când simularea a rulat și calculul este finalizat, bara de progres este complet de culoare albastră și indică mesajul **Compute Complete** (USACE, 2011).

Plots și *Tables* din modulul de simulare oferă vederi grafice și tabelare detaliate ale datelor și rezultatelor modelului. Se pot accesa graficele folosind meniurile contextuale din Modul de simulare..

CAPITOLUL IV

STUDIUL DE CAZ: ACUMULAREA HĂLCENI PE RÂUL MILETIN

4.1. Date caracteristice ale acumulării Hălceni

Studiul de caz ales pentru prezentarea în această teză este reprezentat de acumularea Hălceni, amplasată în bazinul inferior al râului Miletin, în județul Iași. Râul Miletin este un afluent de dreapta al râului Jijia, are o lungime totală de 90 km și o suprafață a bazinului hidrografic de 675 km².

Pentru apărarea împotriva inundațiilor produse de râul Miletin pe teritoriul județului Botoșani, a fost construit barajul *acumulării nepermanente Câmpeni* ce controlează o suprafață din bazinul hidrografic al râului Miletin de 330 km². Aval de acumularea nepermanentă Câmpeni (la circa 38 km) pe teritoriul județului Iași, a fost construită acumularea complexă Hălceni. *Acumularea complexă Hălceni* este amplasată pe râul Miletin, afluent de dreapta al râului Jijia, la circa 16 km de la confluența cu râul Jijia. *Acumularea complexă Hălceni* este deținută de Statul Român prin Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor, Administrația Națională “Apele Române”, A.B.A. Prut – Bârlad și este exploatată de S.G.A. Iași. (figura 4.1).

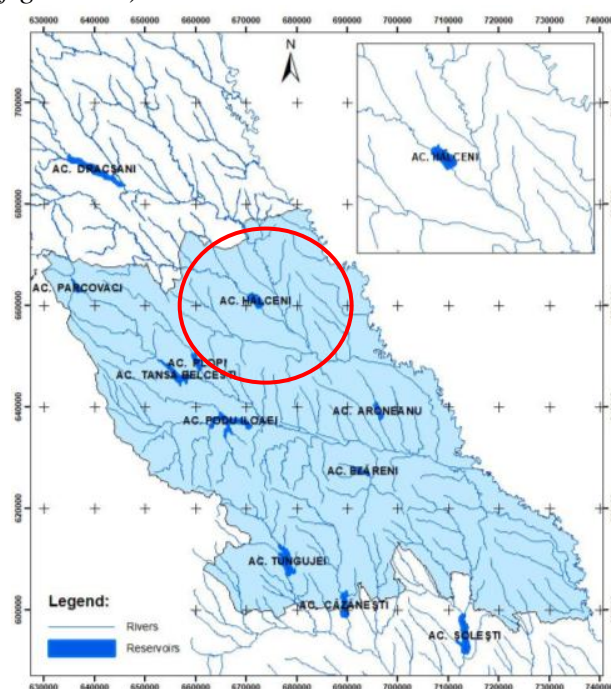


Figura 4.1. – Plan de încadrare în zonă – acumulare Hălceni

În conformitate cu STAS 4273 din anul 1983, lucrarea este încadrată în clasa a-III-a de importanță. Conform STAS 4068 din 1962 acumularea Hălceni se calculează la debite cu probabilitatea de depășire de 2% și se verifică la probabilitatea de 0,5%. Barajul acumulării Hălceni se încadrează în categoria de importanță B - categoria de importanță **deosebită**.

4.1.1. Parametrii constructivi ale acumulării

Măsurătorile topobatimetrice pentru lacul de acumulare și releveele pentru construcțiile hidrotehnice au fost efectuate în luna mai 2011, respectiv în luna august 2022, de către biroul de specialitate din cadrul A.B.A. Prut- Bârlad.

Tabelul 4.1 – Niveluri și volume caracteristice ale barajului și acumulării

Parametri caracteristici	Niveluri	proiect (mdMN)	2011 (mdMN)	2022 (mdMN)
determinați de caracteristici constructive	- radier golire de fund	47,35	47,35	47,16
	- creastă deversor	55,23	55,23	55,23
	- coronament baraj frontal	58,00	57,75	57,75
determinați de condițiile de exploatare	- N. N. R.	54,50	54,50	54,50
	- Nivel de calcul (2%)	56,08	56,35	56,37
	- Nivel maxim verificare (0.5 %)	56,63	56,76	56,85
Parametri caracteristici	Volume	(mil. m ³)		
	- global (cotă coronament)	42,800	39,398	31,823

determinații de caracteristici constructive	- total (nivel maxim de verificare – 0,5%)	22,120	29,410	23,137
	- brut (la N.N.R.)	13,000	11,249	9,668
determinații de condițiile de exploatare	- util	11,800	10,191	8,563
	- de atenuare (între niv. maxim de verificare și N.N.R.)	19,200	20,379	13,469
	- de gardă (între niv. maxim de verificare și coronament)	8,600	7,770	8,586

Barajul frontal este de tip omogen, realizat din argile prăfoase și este amplasat transversal pe cursul de apă la hm 830 pe râul Miletin, în localitatea Vlădeni, județul Iasi. Caracteristicile constructive ale barajului sunt:

- secțiune trapezoidală
- lungimea frontului de barare - 1013.00 m;
- cotă coronament - 57,75 mdMN
- cotă parapet din beton - 58,75 mdMN;
- lățimea la coronament - 5,00 m;
- înălțime maximă - 10,50 m;
- pantele taluzurilor - amonte 1:4, - aval 1:3,5 (figura 4.2)



Figura 4.2 – Vedere taluz amonte și taluz aval corp baraj

În vederea consolidării pământurilor compresibile din fundație, precum și pentru coborârea curbei de infiltrație prin baraj, s-a realizat o saltea drenantă pe treimea aval a amenajării în lățime de 40,0 m cu o grosime de circa 0,90 m. Pentru colectarea apelor din saltea drenantă, precum și a celei din forajele autodescărcătoare s-a realizat un dren sub formă de filtru invers ce înglobează conducta din tuburi de beton simplu perforate cu Dn 200 mm. (figura 4.3).

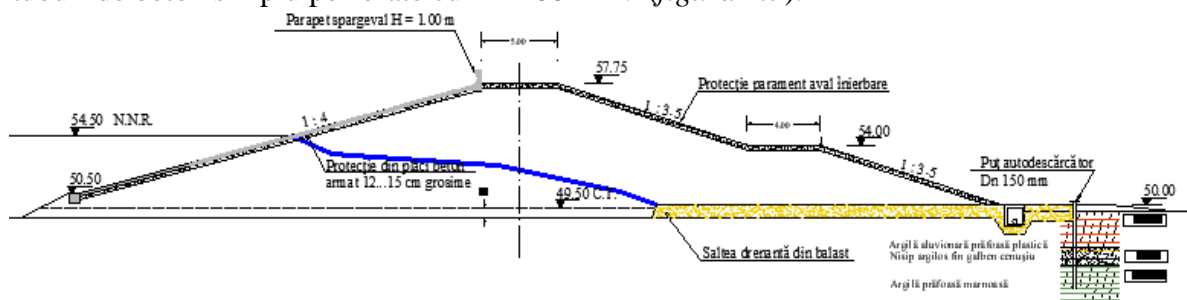


Figura 4.3. – Profil transversal tip al barajului (A.B.A. Prut-Bârlad, 2022)

Descărcătorul de ape mari este amplasat în versantul stâng și are un front deversant frontal de secțiune triunghiulară cu lungime de 45,0 m și cota deversantă de 55,23 mdMN (figura 4.5, 4.6).



Figura 4.5. – Prag deversor și canal rapid - descărcător de ape mari

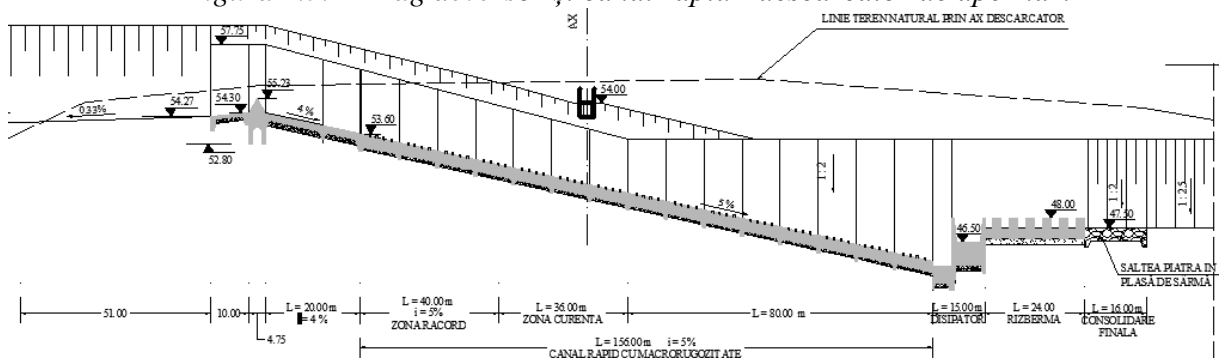


Figura 4.6. – Profil longitudinal al descărcătorului de ape mari (A.B.A. Prut-Bârlad, 2022)

Golirea de fund se compune din construcțiile (din amonte spre aval): avancamă, consolidarea racordării cu canalul de acces, turnul de manevră tip călugăr, conductă casetată, bazin disipator de energie, risbermă și consolidarea racordării cu canalul de evacuare. Corpul orizontal (golirea propriu-zisă) este de tip casetă, cu trei galerii de $b \times h = 1,35 \times 1,76$ m din care: 2 galerii se utilizează pentru evacuarea de debite, iar în galeria din stânga este amplasată conducta (Dn 800 mm) de alimentare cu apă. (figura 4.8, 4.9)



Figura 4.8. – Vedere turn de manevră și deșușarea golirii de fund

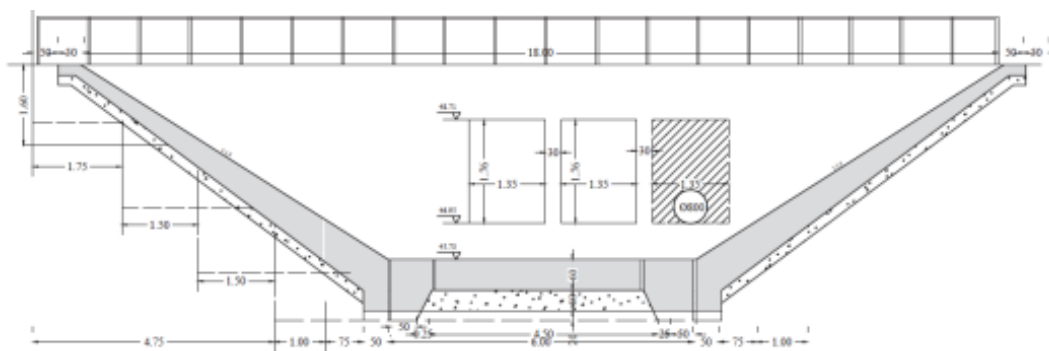


Figura 4.9. – Secțiune transversală - deșușarea golirii de fund

4.1.2. Componentele sistemului de supraveghere a comportării construcțiilor

Urmărirea specială pentru barajul acumularii Hălçeni se realizează prin prelucrarea și interpretarea măsurătorilor la aparatura de măsură și control, privind modul de evoluție a unor parametri semnificativi sau aspecte de comportare. Sistemul de urmărirea specială la barajul acumularii Hălçeni cuprinde următoarele aparate de măsură și control:

Tabelul 4.2 – Aparatură de măsură și control pentru barajul și acumularea Hălçeni

Categoria de aparat	Număr	Parametrul urmărit	Locație
Mire hidrometrice	1	- debite afluate	-s.h. Șipote
	1	- nivel în lac	-perete turn de manevră
	1	- sarcina pe deversorul de ape mari	- deversorul de ape mari
	1	- debite defluate	-s.h. aval acumulare Hălçeni
Pluviometru	1	- precipitații	- canton de exploatare
Foraje piezometrice	16	-variația nivelului infiltrațiilor prin	5 (corp baraj)

		corpul barajului	
Foraje piezometrice	9	-monitorizarea pânzei freatice	5 (corp baraj)
Cămine de vizitare	29	-descărcarea subpresiunilor din talpa fundației	la baza piciorului taluz aval
Foraje autodescărtoare	10		la piciorul aval baraj, cu descărcare în canalul colector
Reperi mobili	29	- tasări corp baraj	-coronament baraj
Reperi fiși	3		-2-versantul stâng și 1-versantul drept
Reperi geodezici (mărci)	5	- tasări placă turn de manevră și pasarelă	-2-placa turnului de manevră și 3-pasarelă

Piezometrele sunt grupate în principal în 5 secțiuni de control pentru monitorizare regimului infiltrațiilor prin corpul barajului și subpresiunile din terenul de fundare (figura 4.11)

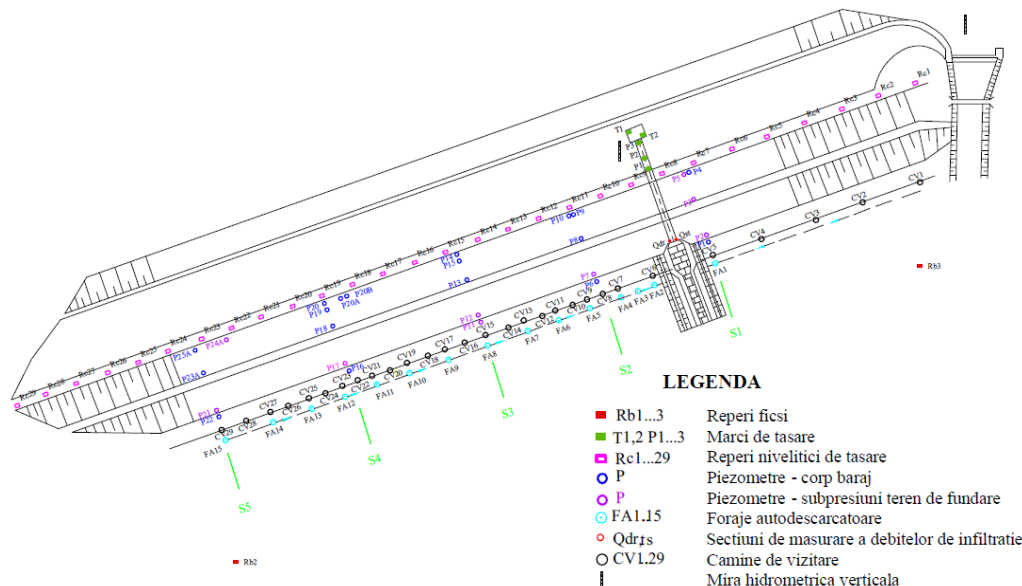


Figura 4.11 – Amplasarea aparatului de măsură și control a comportării barajului

4.2. Aspecte privind comportamentul prognozat al barajului Hălceni

4.2.1. Calculul analitic al regimului infiltrațiilor

Parametrii curbelor de infiltrație au fost stabiliți cu ajutorul unui program construit în Microsoft Office - Excel, cu formulele analitice preluate din metoda lui S.N. Numerov, pentru *baraj de pământ cu saltea drenantă*, descrisă în *Calculul infiltrațiilor* (Pietraru, 1977). Calculele pentru infiltrațiile prin corpul barajului Hălceni s-au realizat în 3 ipoteze:

- regim de ape medii - nivelul apei în lac la Nivelul Normal de Retenție (54,50 mdMN)
- regim de ape mari
 - coloană de apă corespunzătoare cotei de acces a deversorului de ape mari (55,23 mdMN);
 - coloană de apă la cota corespunzătoare nivelului maxim (58,66 mdMN) înregistrat în timpul viiturii istorice produse în luna iunie 2019;

Datele utilizate în cadrul calculului infiltrațiilor, pentru cele 3 coloane diferite de apă în lac, sunt prezentate în tabelul de mai jos:

Tabelul 4.3 – Parametrii Numerov de calcul a infiltrațiilor

Parametri	Nivel maxim– 54,50 mdMN	Nivel maxim– 55,23 mdMN	Nivel maxim– 55,86 mdMN
L (m)	22,625	19,75	17,185
H (m)	5,5	6,23	6,86
m1	4,0	4,0	4,0
m2	3,5	3,5	3,5
f1	0,40	0,40	0,40
f2	0,825	0,825	0,825
q/k	0,6032	0,859	1,153
q (m ³ /m/zi)	0,0000006	0,000000859	0,00000012
l _{dr} (m)	0,32	0,45	0,596

Coordonatele curbelor de infiltrație se calculează cu parametrii definiți anterior în cele 3 ipoteze de exploatare a barajului. Curbele de infiltrații rezultate în urma calculelor efectuate distinct,

pentru cele 3 niveluri ale apei în lac, sunt trasate în secțiunea transversală a barajului, prezentată în figura 4.12.

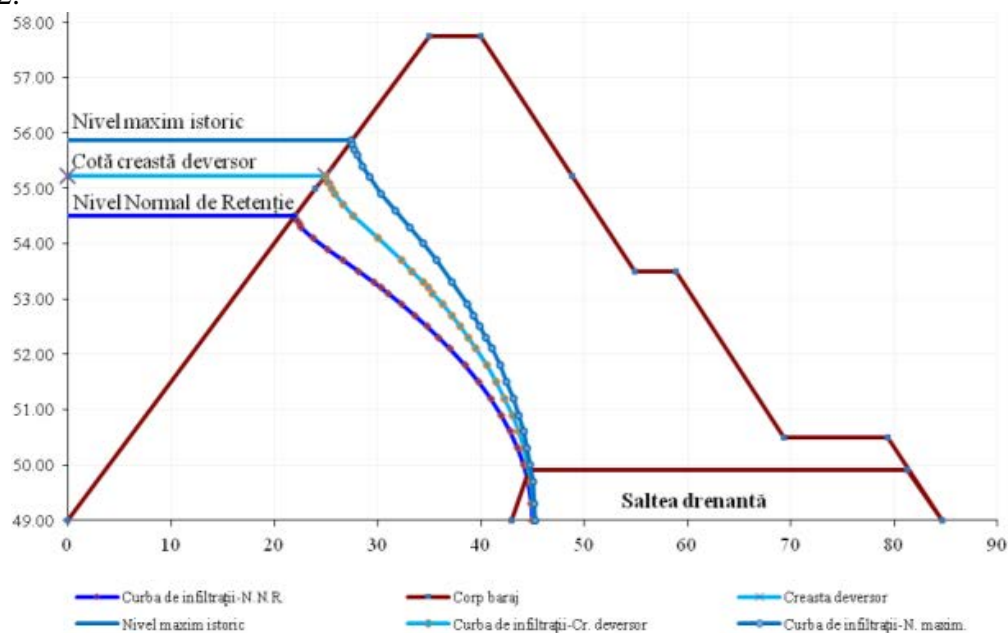


Figura 4.12 - Curbele de infiltrații calculate pentru barajul Hălțeni

4.2.2. Calculul analitic al stabilității taluzului amonte al barajului Hălțeni

Cu ajutorul programului Microsoft Office-Excel s-au transpus formulele stabilite de W. Fellenius în **metoda fâșiilor** pentru verificarea stabilității barajului Hălțeni în 2 ipoteze de funcționare a acumulării:

- Regim de ape medii – exploatarea lacului la Nivelul Normal de Retenție =54,50 mdMN;
- Regim de ape mari, la viitura produsă în luna iunie 2019 – nivelul în lac de 55,86 mdMN;

4.2.2.1. Verificarea stabilității taluzului amonte al barajului Hălțeni - regim de ape medii

Centrul cercului corespunzător suprafeței de alunecare a fost stabilit în funcție de distanța egală cu $4,5 \cdot H$ spre amonte, de înălțimea barajului, de panta taluzului amonte. Curba de alunecare se trasează începând cu piciorul taluzului amonte. Pentru barajul Hălțeni s-au trasat 10 fâșii verticale: 1 fâșie cu lățimea de 3,75 m, 8 fâșii verticale cu lățimea de 4,0 m și o fâșie cu lățimea de 4,15 m. Numerotarea fâșiilor s-a realizat în sensul acelor de ceasornic.

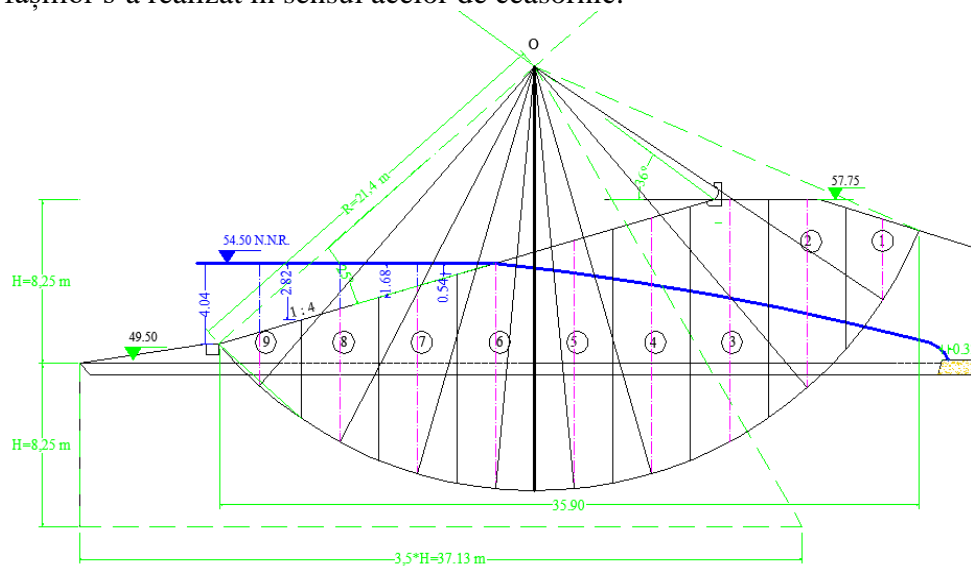


Figura 4.13 – Suprafața de alunecare și curba de infiltrație pentru nivelul 54,50 mdMN

Figura 4.13 reprezintă grafic suprafața de alunecare și curba de infiltrație corespunzătoare nivelului apei în lac la Nivelul Normal de Retenție = 54,50 mdMN, pentru ipoteza de exploatare - regim de ape medii. Pentru ca taluzul să nu alunece, coeficientul de siguranță calculat trebuie să fie supraunitar, adică $F_s > 1$. Pentru valori subunitare, masivul își pierde echilibrul natural și are loc alunecarea taluzului examinat. Tabelul 4.7. stabilește forțele ce se opun alunecării și forțele ce

Se constată că taluzul amonte al barajul Hălçeni are stabilitatea la alunecare asigurată în regimul de exploatare a lacului de ape mari.

4.2.3. Calculul analitic al tranzitării viiturilor teoretice

Acumularea Hălçeni amplasată la hectometrul 810, pe râul Miletin, în localitatea Hălçeni, jud. Iasi, controlează o suprafață de bazin hidrografic de 664 km².

Tabelul 4.9– Debitele naturale cu diverse probabilitati de depășire

Sectiunea	Suprafață km ²	Q max m ³ /s / W max.mil.m ³						T _i	T _c	γ	
		0,01%	0,1%	0,5%	1%	2%	5%	ore	ore		
Miletin	Câmpeni	330	780,0/ 50,544	540,0/ 34,992	385,0/ 24,948	320,0/ 7,949	250,0/ 20,736	175,0/ 14,515	60	15	0,30
		Hălçeni	664	880,0/ 80,499	620/ 56,715	440/ 40,249	360/ 32,931	285/ 26,071	195/ 17,838	77	15

Calcululele de gospodărire a apelor mari au fost efectuate în secțiunea cumulativă Hălçeni, aval de acumularea Câmpeni amplasată pe râul Miletin la hectometrul 490 și aval de incinta indiguită – polder amplasat lateral râului Miletin, imediat amonte de lacul de acumulare Hălçeni. Caracteristicile undelor de viitură în secțiunea acumulării Hălçeni sunt prezentate în tabelul de mai jos:

Tabelul 4.10 – Caracteristicile undelor de viitură componente

Probabilitatea	Debite naturale m ³ /s	Debite naturale ac. Câmpeni m ³ /s	Debite defluente ac. Câmpeni m ³ /s	Debite aport bazin Câmpeni – Hălçeni m ³ /s	Debit modificat ac. Hălçeni m ³ /s
0,5%	440,0	385,0	206,49	101,97	302,50
2%	285,0	250,0	98,85	65,85	164,14

Calcululele de atenuare a viiturilor produse de debitele modificate cu probabilitățile de calcul și verificare au fost realizate în ipoteza exploatării acumulării la N.N.R. = 54.50 mdMN, cu stavilele pentru golirea acumulării (amplasate amonte) în poziția **închis** și stavilele plane rulante deversante (amplasate aval) menținute permanent **ridicate**:

Tabelul 4.11.– Atenuarea viiturilor de calcul si verificare

Q natural m ³ /s	Q modificat m ³ /s	Q atenuat m ³ /s	Q evacuat uvraje baraj Hălçeni m ³ /s	Q acces polder m ³ /s	Nivel în polder mdMN	Nivel în lac mdMN
Q 0,5% = 440,0	302,50	215,06	188,47	26,59	54,88	56,85
Q 2% = 285,0	164,14	118,91	114,40	4,51	53,41	56,37

Figurile 4.15 și 4.16 prezintă hidrografele debitelor afluențe si atenuate în acumularea Hălçeni și polderul amonte, cu probabilitățile de depășire de calcul, respectiv de verificare.

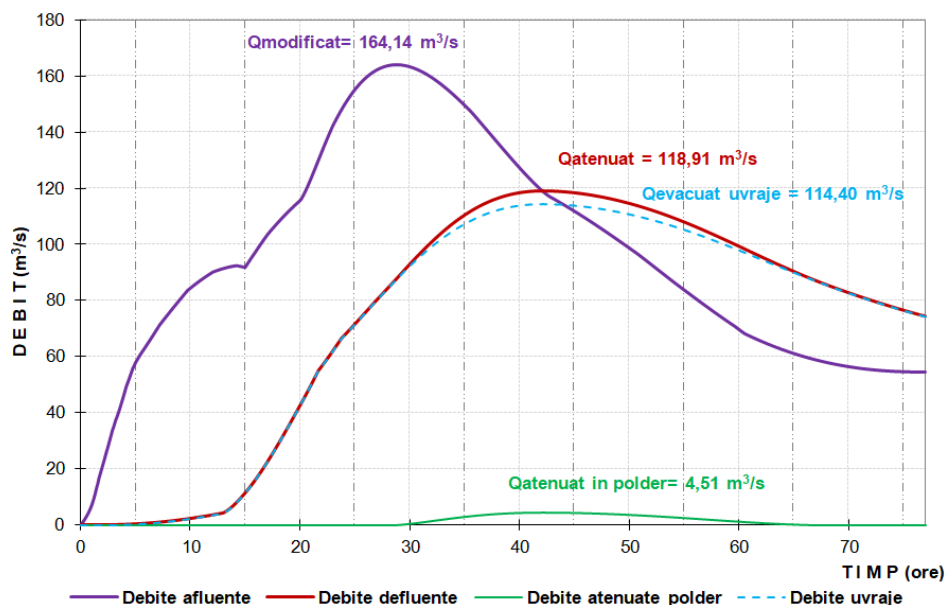


Figura 4.15- Hidrografele debitelor afluențe si atenuate - viitura de calcul

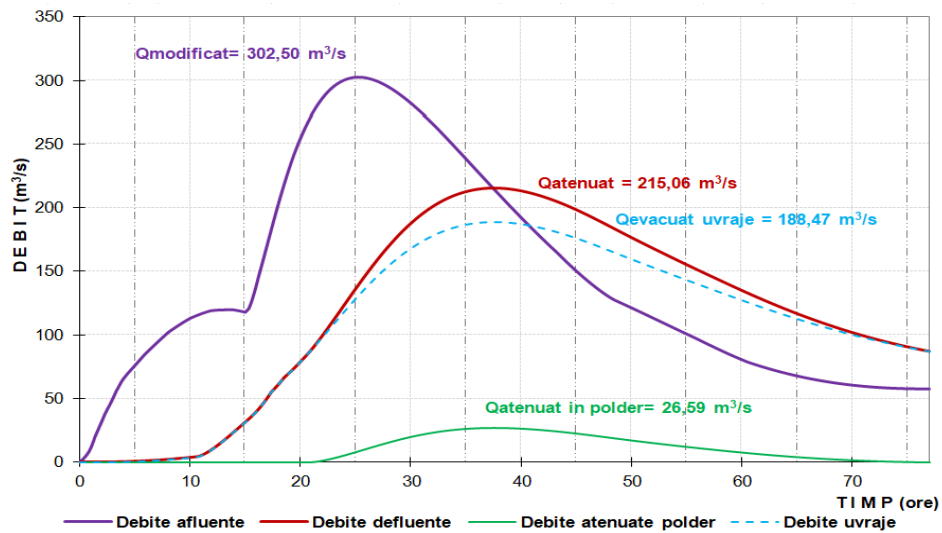


Figura 4.16- Hidrografele debitelor afluate si atenuate - viitura de verificare

Acumularea poate atenua viiturile cu probabilitățile de depășire de calcul și de verificare fără depășiri ale coronamentului barajului (figura 4.17 și 4.18).

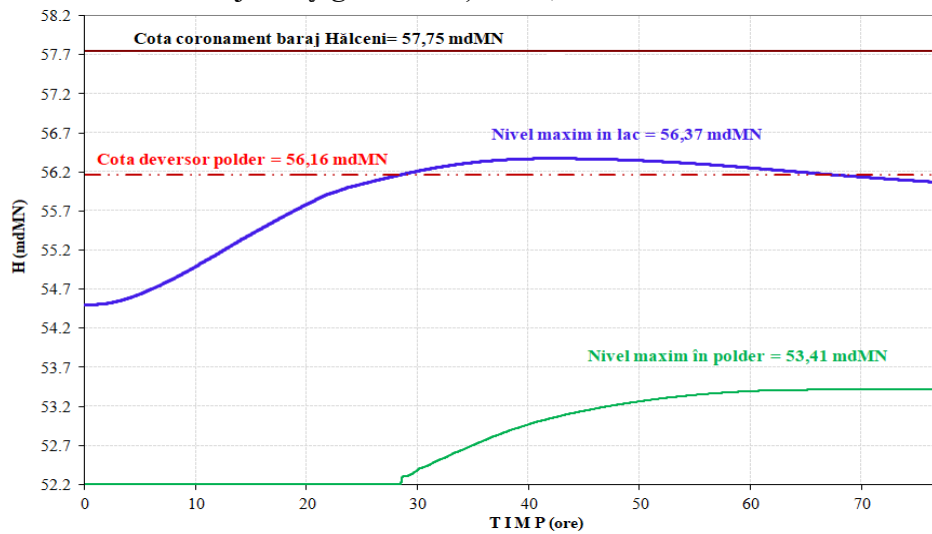


Figura 4.17- Hidrografele nivelurilor în lac și în polder cu probabilitatea de depășire de calcul

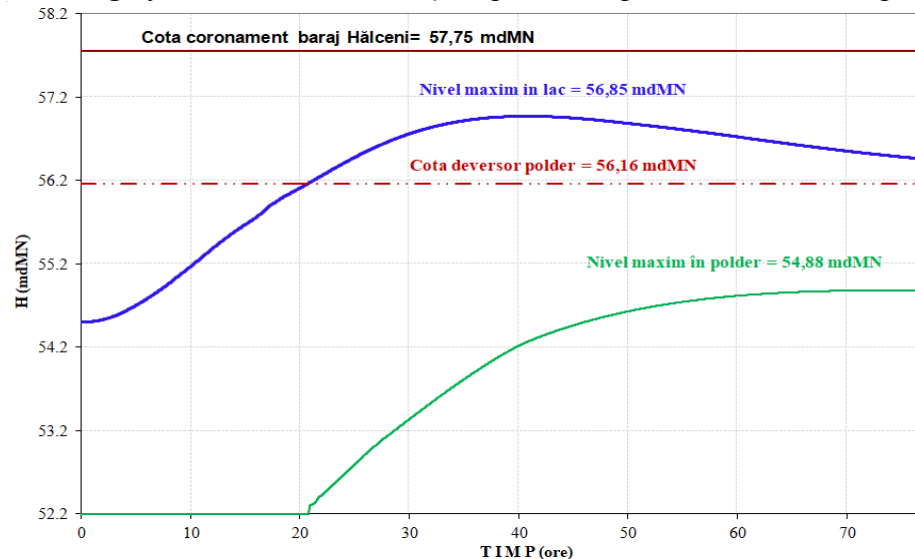


Figura 4.18- Hidrografele nivelurilor în lac și în polder cu probabilitatea de depășire de verificare

4.3. Sinteza interpretării parametrilor privind umărirea comportării construcțiilor

4.3.1. Solicitățile exterioare

Figura 4.20 prezintă evoluția nivelurilor apei în lacul Hălțeni în perioada 1997 – 2022. Se remarcă perioadele de intrare în funcțiune a descărcătorului de ape mari – 2002, 2006, 2008, 2010, 2018, 2019.

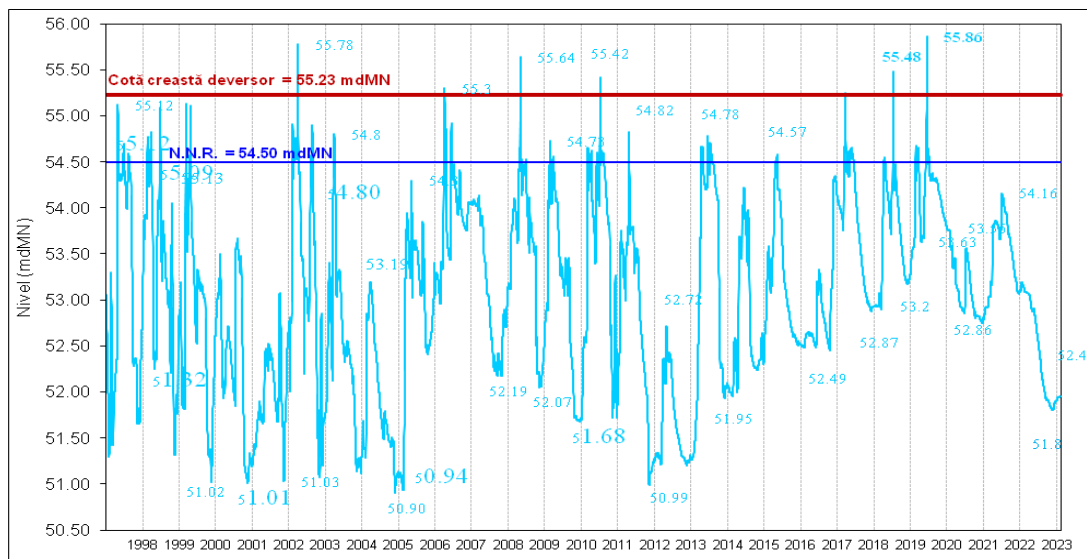


Figura 4.20– Niveluri în lacul Hălceni înregistrate în perioada 1997- 2022

Figura 4.21 prezintă evoluția precipitațiilor înregistrate la acumularea Hălceni în perioada 1997 – 2022.

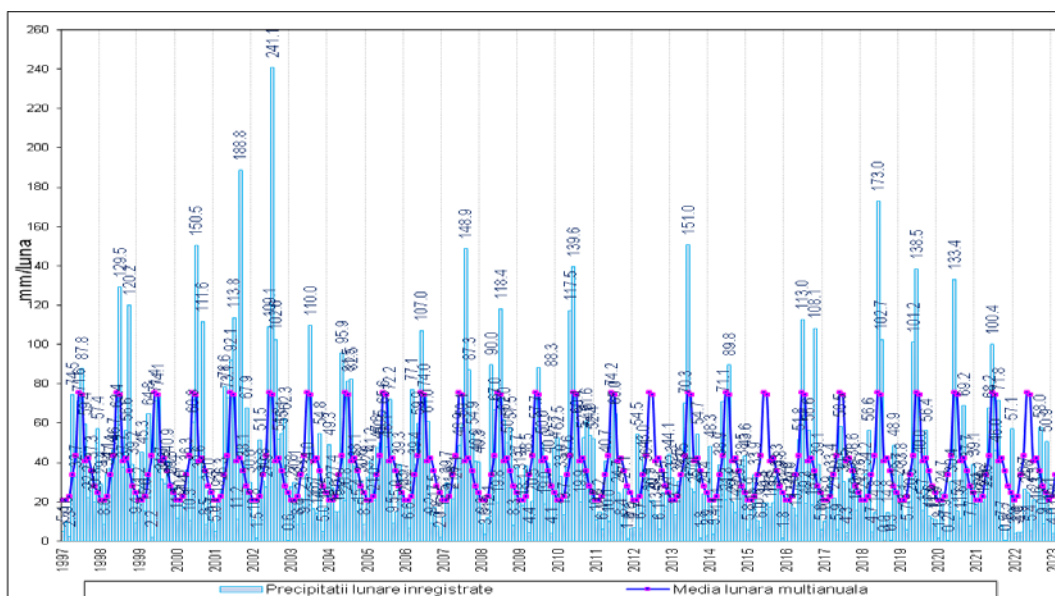


Figura 4.21. - Precipitații lunare înregistrate la acumularea Hălceni în perioada 1997- 2022

Bazinul hidrografic al râului Miletin se caracterizează printr-o medie a precipitațiilor maxime zilnice de 5,0 mm, care se produc mai ales în perioada verii. Precipitația maximă istorică zilnică de 82,4 mm a fost înregistrată în data de 14 iulie 2000.

4.3.2. Parametrii de răspuns

4.3.2.1. Infiltrații prin corpul barajului

Analiza comportării în timp a barajului Hălceni s-a făcut studiind evoluția parametrilor de răspuns (nivel hidrostatic în puțurile piezometrice, infiltrații, deformații verticale) la solicitările exterioare. Interpretarea datelor a fost completată de observații vizuale directe efectuate pe toată perioada de existență a lacului de acumulare Hălceni.

Figurile 4.22-4.26 prezintă variația nivelurilor de infiltrație prin corpul barajului, măsurate în perioada 2003-2022 în cele 5 secțiuni caracteristice cu grupuri de piezometre.

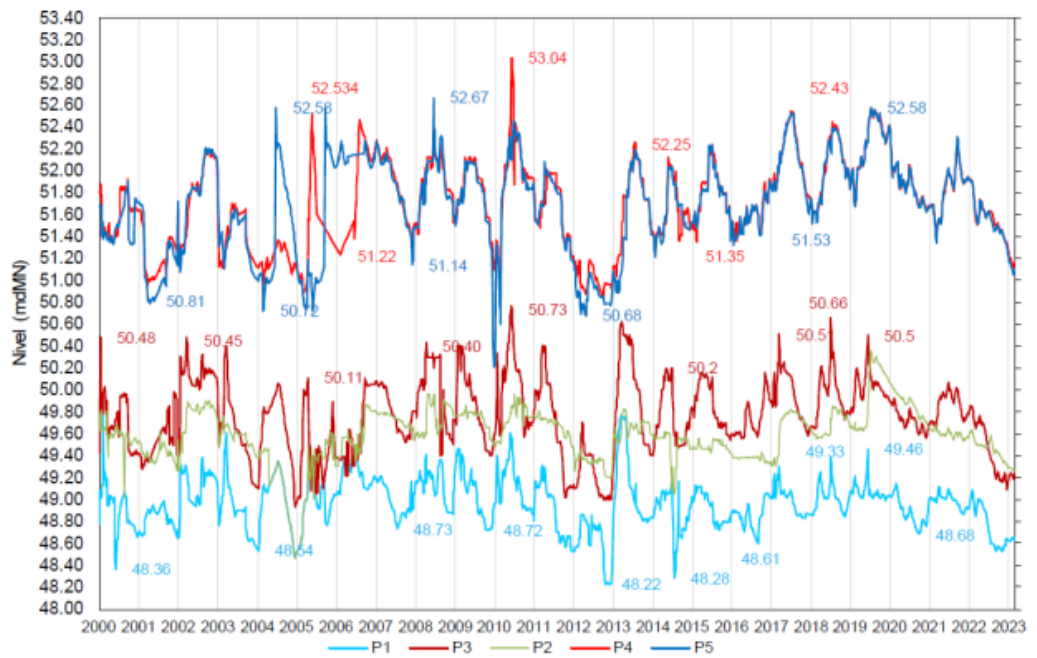


Figura 4.22. - Niveluri in piezometrele din Secțiunea I inregistrate in perioada 2003 - 2022

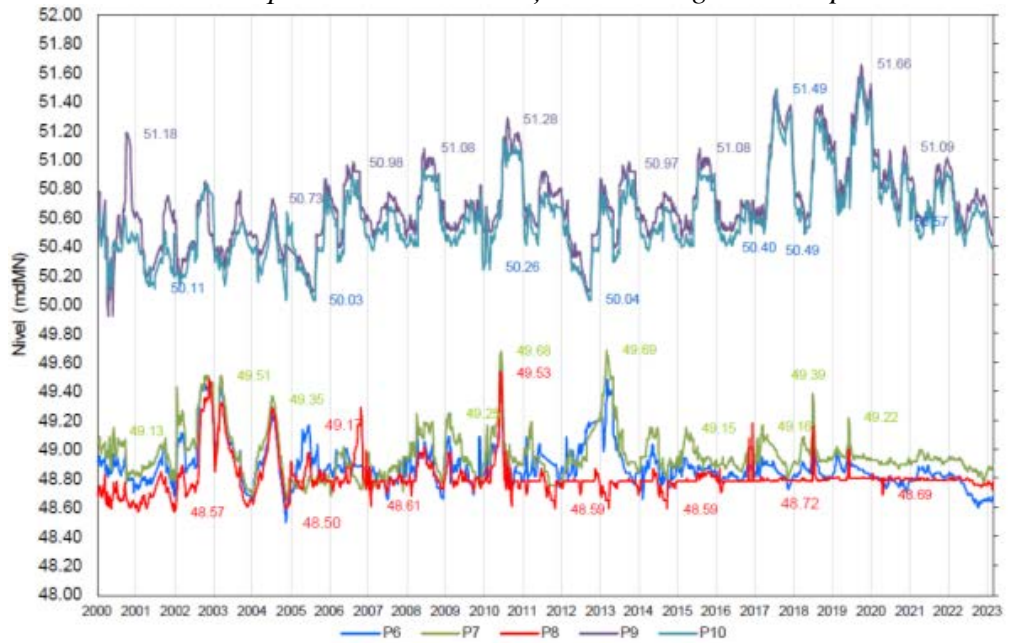


Figura 4.23. - Niveluri in piezometrele din Secțiunea II inregistrate in perioada 2003 - 2022

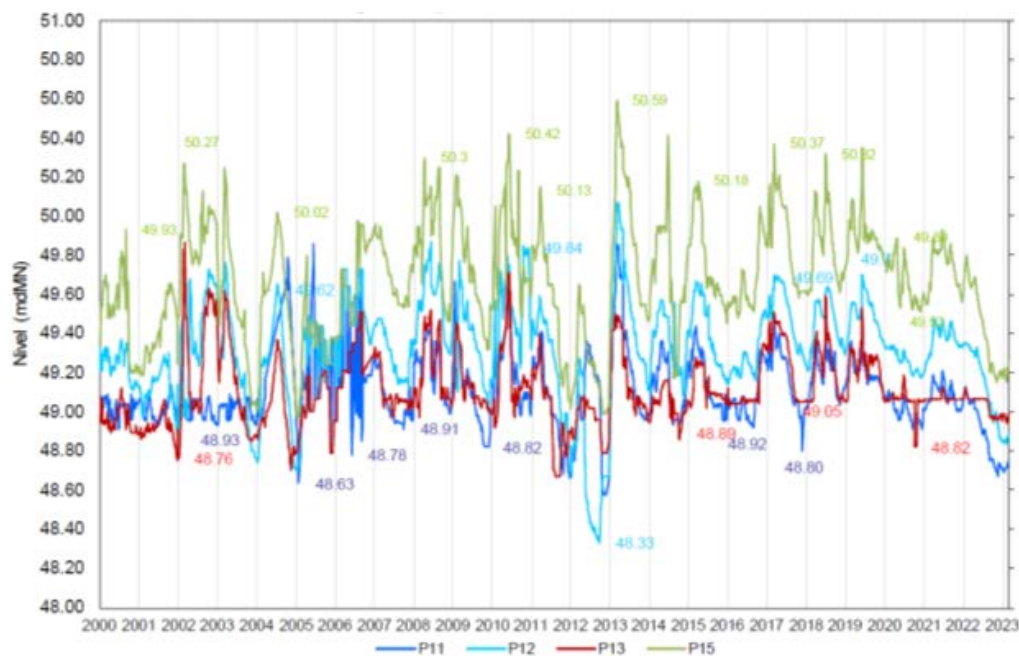


Figura 4.24. - Niveluri in piezometrele din Secțiunea III inregistrate in perioada 2003 - 2022

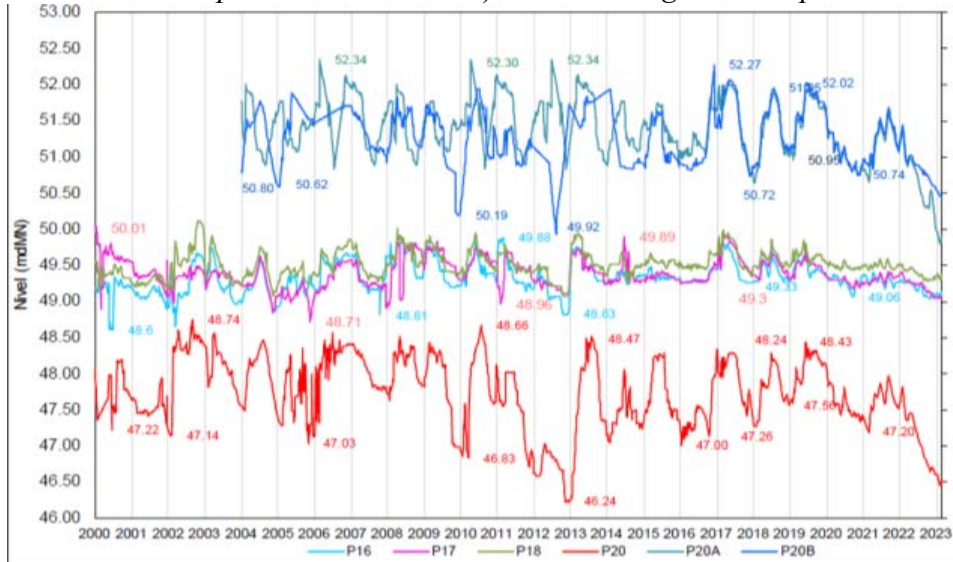


Figura 4.25. - Niveluri in piezometrele din Secțiunea IV inregistrate in perioada 2003 - 2023



Figura 4.26. - Niveluri in piezometrele din Secțiunea V inregistrate in perioada 2003 - 2022

Interpretarea măsurătorilor realizate în piezometrele amplasate în cele 5 secțiuni transversale de control, indică faptul că variațiile nivelurilor hidrostatice în piezometrele aferente corpului barajului au fost moderat influențate de solicitările exterioare care au acționat asupra barajului.

4.3.2.2. Subpresiuni din terenul de fundare

Valorile subpresiunilor din pori au fost interpretate împreună cu evoluția nivelului apei din lacul de acumulare format de barajul Hălțeni. Clough G.W., Snyder J.W., 1966 au sugerat ca această analiză să se facă pe baza criteriului **HILF**.

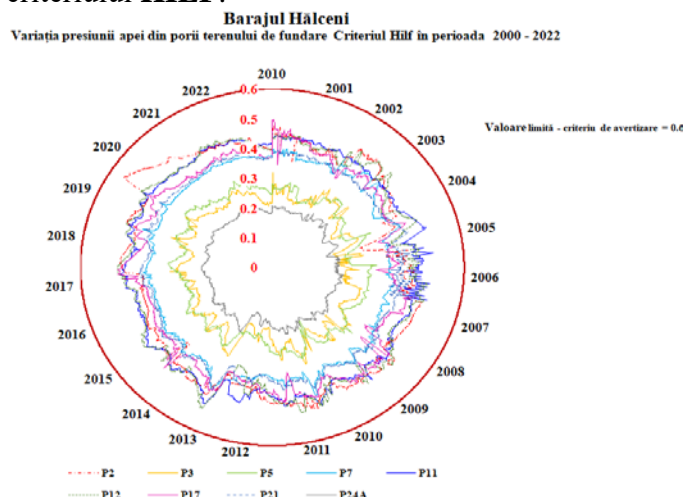


Figura 4.27. - Variația presiunii apei din porii terenului de fundare

Figura 4.27 prezintă variația raportului de presiune al porilor pentru umplutura barajului calculat în cele 9 piezometre cu captorul în terenul de fundare. Se constată că valorile subpresiunilor din porii terenului de fundare nu depășesc valoarea limită de atenție **0,6** stabilită pentru criteriul HILF.

4.3.2.3. Deformații verticale

Valorile maxime și minime ale deformațiilor verticale în ultimele 3 serii de măsurători sunt prezentate în tabelul următor:

Tabelul 4.13 – Valori maxime și minime ale deformațiilor verticale ale barajului Hălceni

Data	Deformație relativă (mm)		Deformație totală (mm)	
	Valoare Maximă	Valoar Minimă	Valoar Maximă	Valoar Minimă
11.11.2019	-1,4 Rc15	-0,2 Rc12, Rc10, Rc13, Rc24	-86,0 c26	-35,9 Rc29
25.11.2020	-1,0 Rc4	0,0 Rc22	-86,8 Rc26	-36,6 Rc29
25.11.2022	-0,9 Rc29	-0,2 Rc13	-87,5 Rc26	-37,5 Rc29

Figura 4.27 prezintă variația deformațiilor verticale ale barajului în cele 19 serii de măsurători. Tasarea maximă de 87,5 mm a fost măsurată la reperul Rc 26.

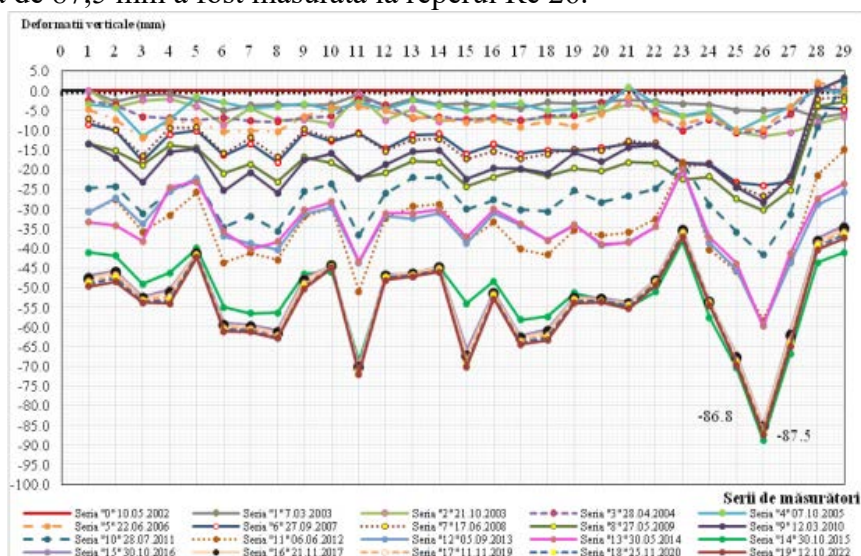


Figura 4.27. – Diagrama deformațiilor verticale ale barajului măsurate în perioada 2002 - 2022

S-a calculat **procentul din înălțimea totală a barajului** care s-a tasat într-un anumit punct de măsură, ca raport între deformația totală a barajului și înălțimea barajului. Din diagramele procentelor de tasare ce au fost prezentate în figurile 4.28, respectiv 4.29 se observă că procentul maxim de 0,8% a fost stabilit pentru reperul Rc26.

Pentru fiecare punct de măsură s-a calculat valoarea parametrului adimensional cunoscut sub numele de **indice de tasare** cu ecuația stabilită de Pytharouli, S., 2008, în funcție de tasarea coronamentului măsurată în mm, într-un interval de timp stabilit. Au fost calculați indicii de tasare (*Settlement Indexes*, engl.) S_i pentru cei 29 de reperi, pentru perioada de 2002-2022, corespunzător unor intervale de timp de 3 ani. (figura 4.30 și 4.31)

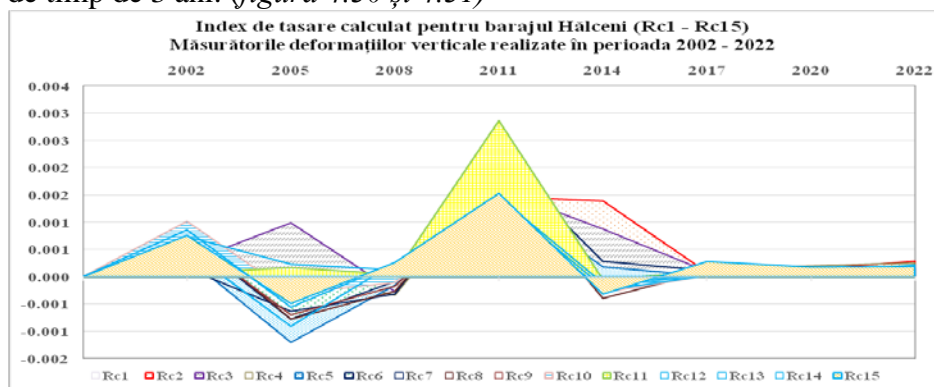


Figura 4.30. – Indici de tasare calculati pentru interval de 3 ani (reperii Rc1-Rc15)

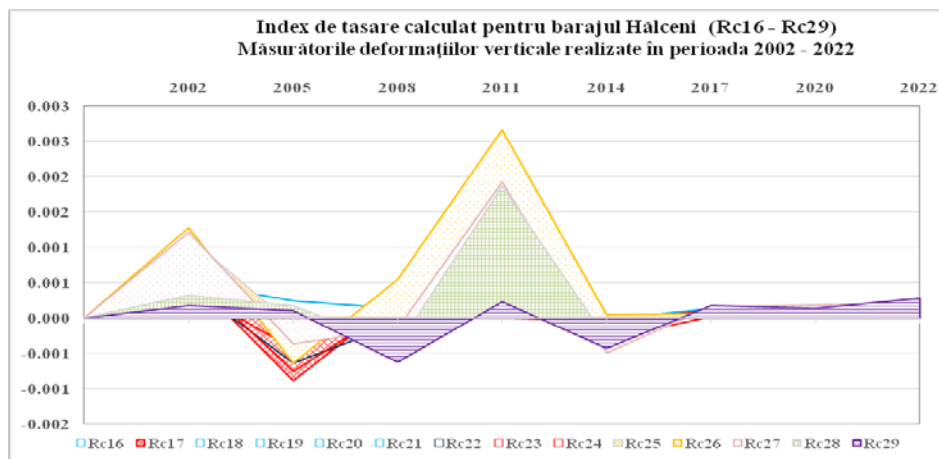


Figura 4.31. – Indici de tasare calculați pentru interval de 3 ani (reperii Rc16-Rc29)

Așa cum se observă în figurile 4.30 și 4.31, indicii de tasare calculați pentru deformațiile verticale măsurate în perioada 2001-2022 au valori inferioare valorii de atenție $0,02$, ceea ce confirmă faptul că barajul nu este afectat de fluaj sau consolidare suplimentară a umpluturii barajului.

Valorile maxime ale indicilor de tasare au fost calculate pentru deformațiile măsurate în cursul anului 2011. Nivelul apei în lacul Hălțeni a avut o variație semnificativă pe parcursul anului 2011. Prin urmare se constată că deformațiile umpluturii de pământ sunt afectate de fluctuațiile de nivel, iar indicii de tasare sunt influențați în mod direct de variația nivelului apei în lac.

4.4. Viitura produsă pe râul Miletin în anul 2019 și tranzitată prin uvrajele barajului

A fost studiată baza de date cu perioadele de viituri pe râul Miletin, pentru a identifica viitura istorică care a fost atenuată în acumularea Hălțeni și tranzitată prin uvrajele barajului. În luna iunie 2019 s-au înregistrat cantități importante de precipitații în bazinul hidrografic al râului Miletin, în amonte de lacul Hălțeni.

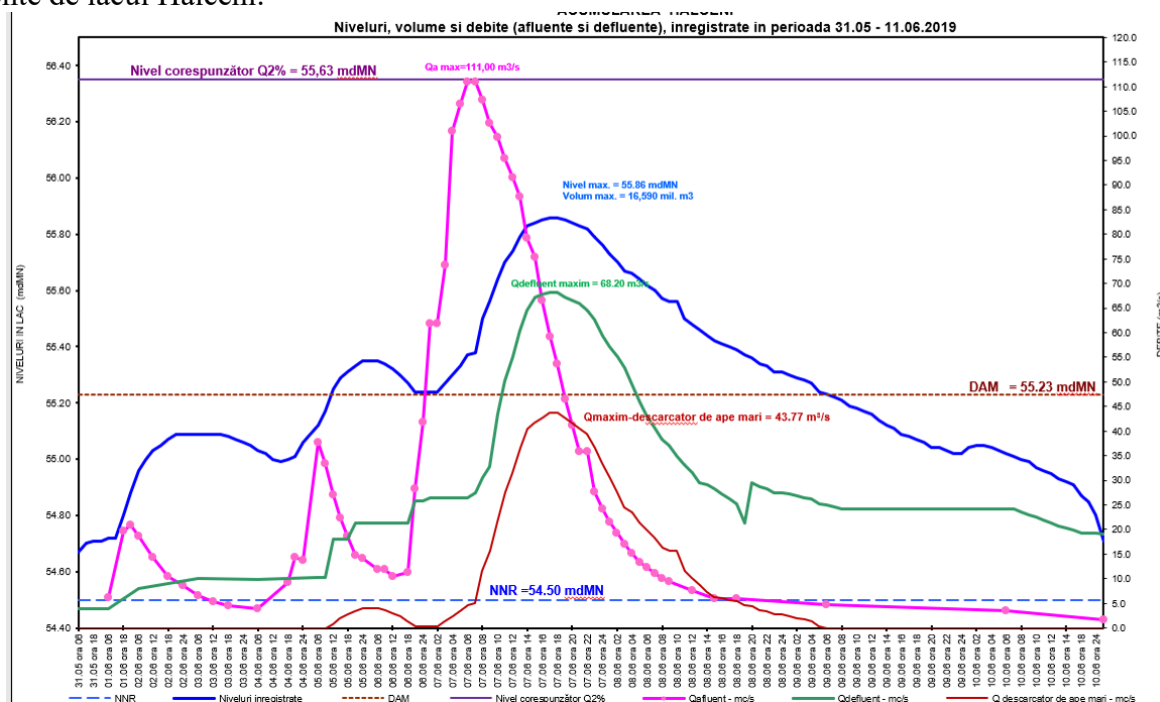


Figura 4.33. – Hidrograful debitelor afluențe și defluente și niveluri – viitura iunie 2019

În figura 4.33 este prezentat hidrograful debitelor afluențe măsurate la s.h. Șipote, respectiv hidrograful debitelor defluente din lac, măsurate la s.h. aval acumulare Hălțeni, inclusiv variația nivelului apei din lacul de acumulare, în timpul acestei viituri istorice. Debitul maxim afluent în acumulare (măsurat la s.h. Șipote) a avut valoarea de $111,00 \text{ m}^3/\text{s}$ în data de 07.06.2019 - ora 06^{00} . Nivelul maxim al perioadei de viitură din luna iunie 2019, de $55,86 \text{ mdMN}$ a fost înregistrat în data de 07.06.2019 – ora 17^{00} . Înălțimea maximă a lamei deversante peste descărcătorul de ape mari a fost de 63 cm. Observațiile vizuale nu au evidențiat aspecte care să pună în pericol funcționarea în siguranță a lacului de acumulare Hălțeni.

CAPITOLUL V

MODELAREA MATEMATICĂ A ACUMULĂRII HĂLCENI

5.1. Modelarea matematică a infiltrațiilor prin barajul Hălțeni

5.1.1. Modelarea matematică a infiltrațiilor cu programul SEEP/W prin barajul Hălțeni

Programul SEEP/W-GEO-SLOPE International Ltd .a fost utilizat pentru realizarea unei modelări numerice a infiltrațiilor prin corpul barajului Hălțeni. Modelul bidimensional pentru barajul Hălțeni a fost inițiat prin reproducerea secțiunii transversale barajului. Au fost definite *Puncte*, *Linii*, *Regiunii* pentru conturul barajului. Barajul Hălțeni a fost realizat din argilă prăfoasă cu un conținut de apă de 0,3. A fost definit în program tipul de material pentru umplutura barajului, s-a impus conținutul de apă de 0,3 pentru materialul barajului. Au fost definite funcțiile *Conținut volumetric de apă* (*Volumetric Water Content-engl.*), respectiv *Conductivitate hidraulică* (*Hydraulic Conductivity, engl.*) pentru metoda Van Genuchten . După definirea caracteristicilor tipurilor de material, acestea au fost asociate regiunilor barajului prin fila *Draw Materials*. (Figura 5.4.)

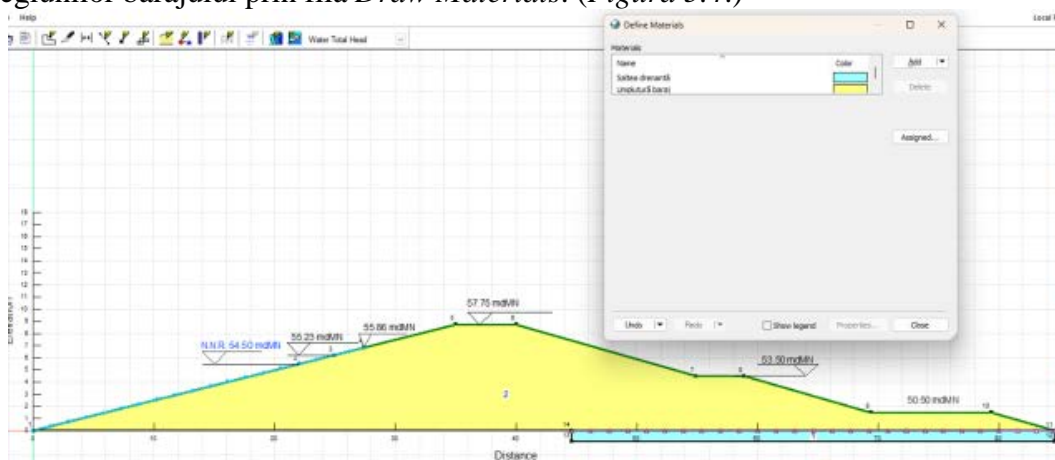


Figura 5.4 - Definirea și asocierea materialelor din structura barajului Hălțeni

După ce au fost asociate materialele de umplură, programul SEEP/W a creat automat o rețea de elemente finite pentru dimensiunea standard de 1,0 m pentru fiecare element. Pentru barajul Hălțeni s-a optat pentru dimensiunea de 0,5 m pentru element. De-a lungul sistemului de drenaj din ampriza barajului s-a discretizat rețeaua la o dimensiune de 0,1 m, pentru a crește astfel acuratețea rezultatelor. Pentru analiza infiltrației prin corpul barajului ca mișcare permanentă, modelul construit necesită stabilirea unor condiții la limită pentru zona amonte de acces a apei și pentru zona aval de evacuare a infiltrațiilor. S-au stabilit următoarele condiții la limită pentru modelul barajului Hălțeni:

Zona amonte

- Nivelul apei în lacul de acumulare a fost specificat ca o condiție la limită în secțiunea amonte a barajului pentru 2 ipoteze de exploatare a lacului:
 - Coloana de apă în lac corespunzătoare Nivelului Normal de Retenție (54,50 mdMN);
 - Coloana de apă în lac corespunzătoare nivelului maxim istoric (55,86 mdMN) înregistrat în timpul viiturii produse pe râul Miletin în luna iunie 2019;

Zona aval

- Condiția la limită pentru drenaj s-a de tipul debitul $Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$ s-a asociat saltelei drenante.
- Condiția la limită a presiunii ($h_p = 0 \text{ m}$) a fost aplicată în extremitatea piciorului aval

Coloana de apă în lac corespunzătoare Nivelului Normal de Retenție (54,50 mdMN)

Analiza regimului infiltrației barajului Hălțeni, în ipoteza unei coloane de apă în lac, corespunzătoare Nivelului Normal de Retenție, a condus la rezultate prezentate grafic prin:

- izohipse pentru sarcina hidrostática totală
- presiunea apei din pori
- gradientul hidraulic
- vectorii de viteză a infiltrației
- curba de infiltrație (limita de saturație) (Figura 5.7)

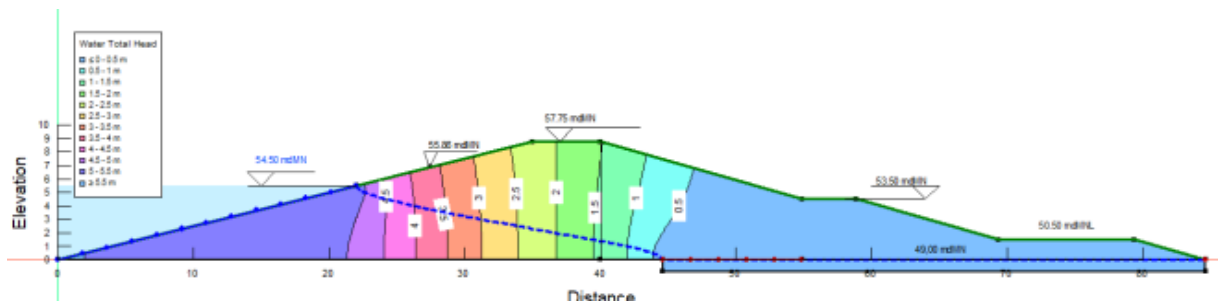


Figura 5.7- Curba de infiltrație și spectrul presiunii hidrodinamice – nivel 54,50 mdMN

Coloana de apă în lac la nivelul maxim (55,86 mdMN) înregistrat la viitura istorică produsă pe râul Miletin în luna iunie 2019

Analiza regimului infiltrației barajului Hălceni, în ipoteza nivelului maxim înregistrat la viitura istorică produsă în luna iunie 2019, a condus la rezultate prezentate grafic prin:

- izohipse pentru sarcina hidrostatică totală
- presiunea apei din pori
- gradientul hidraulic
- vectorii de viteză a infiltrației
- curba de infiltrație (limita de saturație) (Figura 5.9)

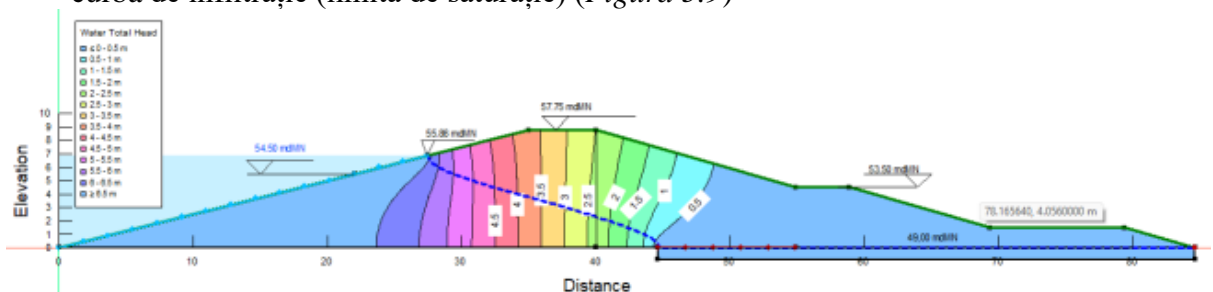


Figura 5.9 - Curba de infiltrație și spectrul presiunii hidrodinamice – nivel 55,86 mdMN

Pentru verificarea eficienței modelului construit în programul SEEP/W, s-a studiat în detaliu curba de infiltrație prin corpul barajului trasată în cadrul analizei. Având în vedere faptul că interfața oferă posibilitatea vizualizării în orice punct a coordonatelor x și y, s-au verificat coordonatele curbei de infiltrație în dreptul piezometrului P9. Piezometrul este amplasat în corpul barajului în extremitatea aval a coronamentului. După cum se observă în figura 5.11, coloana de apă infiltrată în corpul barajului este de 2,33 m, ceea ce reprezintă $49,00 + 2,33 = 51,33$ mdMN.

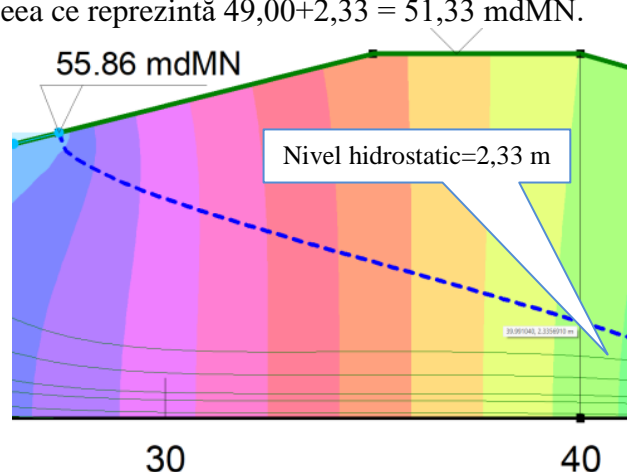


Figura 5.11 – Nivel hidrostatic simulat în piezometrul P9

Pentru analiza comparativă a rezultatelor modelate matematic cu formulele analitice și cu ajutorul programului SEEP/W, s-a studiat baza de date cu măsurătorile de infiltrație la piezometrele amplasate pe coronament în fiecare din cele 5 secțiuni de control ale barajului, în perioada viiturii din luna iunie 2019, respectiv în lunile următoare. Datele obținute din prelucrarea măsurătorilor efectuate în piezometre și studiul evoluției nivelului hidrostatic indică decalajul în timp al răspunsului barajului solicitărilor exterioare. În ziua înregistrării nivelului maxim istoric în lac, piezometrul P10 a înregistrat un nivel maxim de 50,87 mdMN. La doar 3 zile de la ziua înregistrării nivelului maxim istoric în lac, piezometrul P15 a înregistrat un nivel maxim de 50,35 mdMN. În cazul acestor 2 piezometre este

foarte posibil că precipitațiile au avut un rol mai mare decât variația nivelului apei din lac, în răspunsul barajului la solicitări. Nivelul mediu înregistrat în data de 07 iunie 2019 a fost de **51,387 mdMN**, ceea ce reprezintă o coloană de apă infiltrată în corpul barajului de **2,39 cm**. Această valoare este cu doar 6 cm mai mare decât valoarea simulată de programul *SEEP/W*, care a fost de **2,33 cm**. Eroarea dintre cele 2 valori este de 2,5%, ceea ce se poate considera acceptabilă.

5.1.2. Modelarea matematică a infiltrațiilor cu programul *SURFER* prin barajul Hălțeni

Pentru un studiu mai aprofundat al regimului de infiltrații în corpul barajului, s-a utilizat programul *SURFER – Golden Software* pentru a trasa hidroizohipsele pentru barajul Hălțeni, utilizând nivelurile hidrostatice maxime din piezometre măsurate în perioada viiturii produsă pe râul Miletin, ce a fost atenuată în acumularea Hălțeni și tranzitată de uvrajele barajului Hălțeni în luna iunie 2019.

Au fost stabilite 27 puncte pentru piezometre, 2 puncte pentru conductele de evacuare a debitelor de infiltrație din galeriile golirii de fund și 12 puncte pentru nivelul apei în lac (55,86 mdMN), de-a lungul taluzului amonte al barajului. Folosind capacitatea de suprapunere a hărților a programului *Surfer* a fost adăugată o nouă hartă în *Object Manager*, utilizând comanda *Map / Add*. A fost folosit planul topografic al barajului pentru fundalul hărții. Ambele hărți au fost desenate în același sistem de coordonate - Dealul Piscului 1970 (EPSG:6317) așa cum se vede în Figura 5.11.

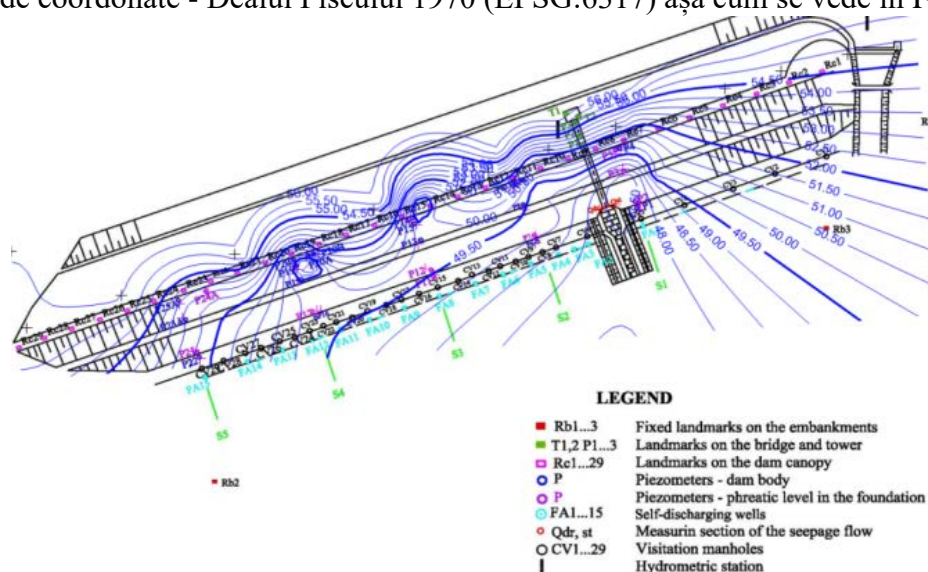


Figura 5.11 – Vedere în plan corp baraj și hidroizohipsele la nivelul maxim în lac de 55,86 mdMN

5.2. Modelarea matematică a stabilității barajului Hălțeni cu programul *SLOPE*

Programul *GeoStudio - SLOPE* a fost utilizat pentru modelarea numerică a stabilității taluzului amonte al barajului Hălțeni. Modelul bidimensional pentru barajul Hălțeni ce a fost construit și rulat în analiza infiltrațiilor cu programul *SEEP/W* a fost utilizat ca sursă pentru modelul construit în *SLOPE*. Aplicând metoda *ENTRY-EXIT* de trasare a suprafeței de alunecare s-au definit 4 puncte (2 segmente de dreaptă) pe taluzul amonte și pe taluzul aval pentru orientarea suprafeței circulare (Figura 5.12)..

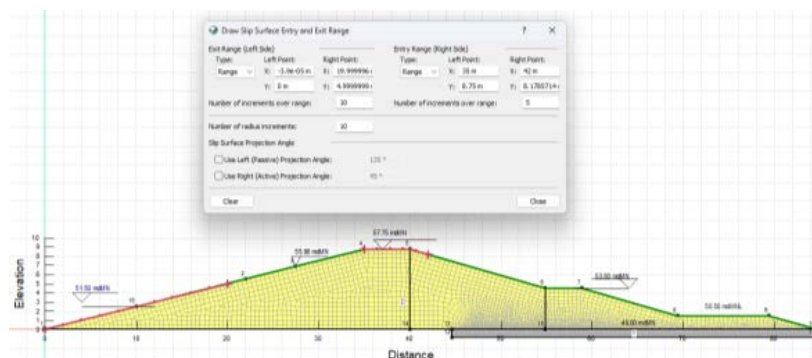


Figura 5.12 – Definirea suprafeței de alunecare pentru taluzul amonte al barajului

În prima etapă de studiu s-a ales *Metoda Spencer* din setările modelului pentru realizarea analizei stabilității taluzului amonte al barajului Hălțeni.

5.2.1. Verificarea stabilității barajului în ipoteza - Golirea lentă a lacului

Au fost realizate analize de stabilitate a taluzului amonte al barajului pentru 3 ipoteze de exploatare a lacului pentru golirea lentă a lacului:

- Cota apei în lac la Nivelul Minim de Exploatare (51,50 mdMN);
- Cota apei în lac la Nivelul Normal de Retenție (54,50 mdMN);
- Cota apei în lac la nivelul maxim istoric (55,86 mdMN);

Aceste analize tranzitorii au fost stabilite pentru un interval de 30 de zile, cu pași de calcul de 3 zile.

5.2.1.1. Golirea lentă a lacului de la Nivelul Minim de Exploatare (51,50 mdMN)

Acest tip de analiză tranzitoriu a fost stabilit pentru scăderea lentă a nivelului apei din lac.

Pentru analiza de stabilitate în ipoteza **golire lentă a lacului de la Nivelul Minim de Exploatare - 51,50 mdMN**, programul *SLOPE* a trasat 207 suprafețe circulare de alunecare și pentru fiecare dintre acestea a calculat valoarea Factorului de stabilitate (*Figura 5.14.*).

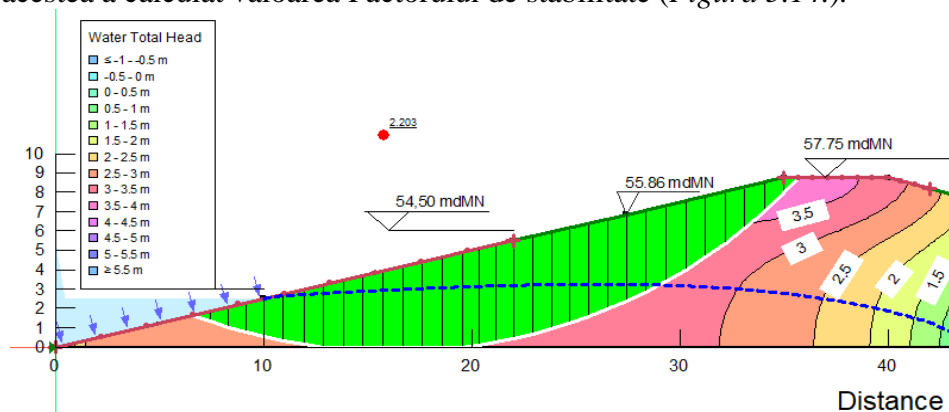


Figura 5.14 – Calculul factorilor de stabilitate în ipoteza scădere lentă a nivelului de la 51,50 mdMN

Valoarea minimă a Factorului de stabilitate este **2,203**, factor care îndeplinește condiția admisibilă pentru golire lentă a lacului $FS > 1,5$.

5.2.1.2. Golire lentă a lacului de la la Nivelul Normal de Retenție (54,50 mdMN)

Acest tip de analiză tranzitoriu a fost stabilit pentru scăderea lentă a nivelului apei din lac.

Pentru analiza de stabilitate în ipoteza **golire lentă a lacului de la Nivelul Normal de Retenție – 54,50 mdMN**, programul *SLOPE* a trasat 153 suprafețe circulare de alunecare și pentru fiecare dintre acestea a calculat valoarea Factorului de stabilitate (*Figura 5.15.*)

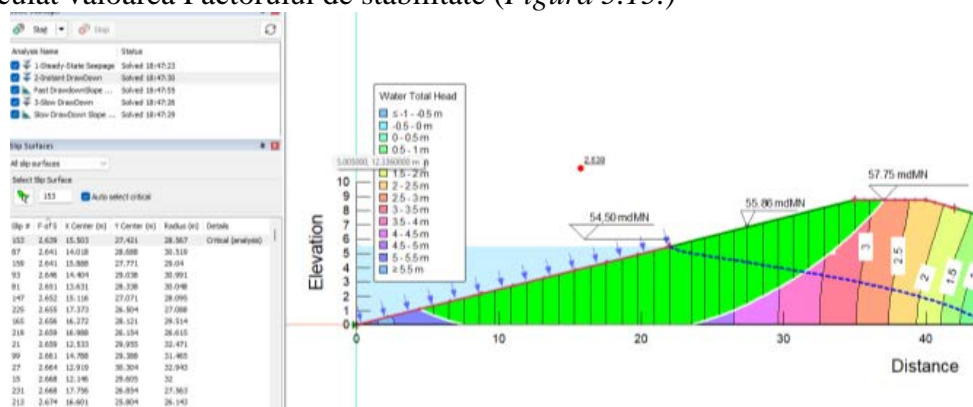


Figura 5.15 – Calculul factorilor de stabilitate în ipoteza scădere lentă a nivelului de la 54,50 mdMN

Valoarea minimă a Factorului de stabilitate este **2,639**, factor care îndeplinește condiția admisibilă pentru golire lentă a lacului $FS > 1,5$.

5.2.1.3. Golirea lentă a lacului de la Nivelul Maxim Istoric – 55,86 mdMN

Acest tip de analiză tranzitoriu a fost stabilit pentru scăderea lentă a nivelului apei din lac.

Pentru analiza de stabilitate în ipoteza **golire lentă a lacului de la Nivelul Maxim Istoric – 55,86 mdMN**, programul *SLOPE* a trasat 153 suprafețe circulare de alunecare și pentru fiecare dintre acestea a calculat valoarea Factorului de stabilitate (*Figura 5.16.*). Valoarea minimă a Factorului de stabilitate este **2,602**.

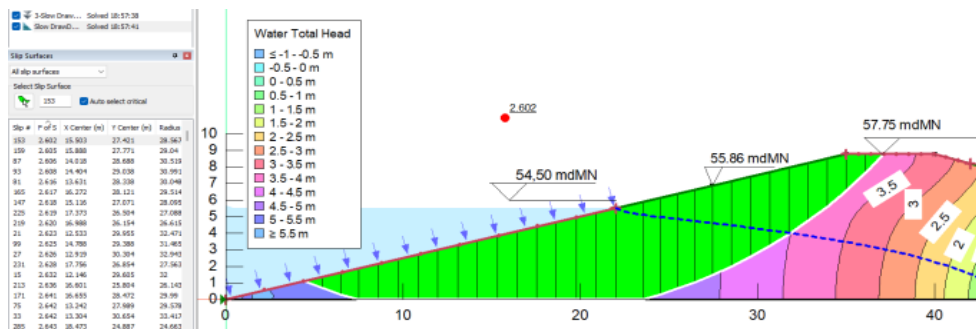


Figura 5.16 – Calculul factorilor de stabilitate în ipoteza scădere lentă a nivelului de la 55,86 mdMN

5.2.2. Verificarea stabilității barajului în ipoteza - Golirea bruscă a lacului

Acest tip de analiză tranzitoriu a fost stabilit pentru scăderea bruscă a nivelului apei în lac. Programul admite o scădere instantanee a coloanei de apă din zona amonte a barajului.

5.2.2.1. Golire bruscă a lacului de la Nivelul Minim de Exploatare – 51,50 mdMN

Pentru analiza de stabilitate în ipoteza **golire lentă a lacului de la Nivelul Minim de Exploatare – 51,50 mdMN**, programul SLOPE a trasat 147 suprafețe circulare de alunecare (Figura 5.17.).

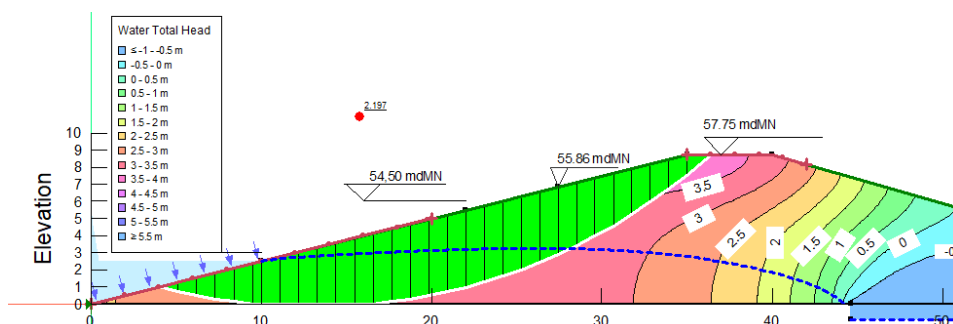


Figura 5.17 – Calculul factorilor de stabilitate în ipoteza scăderii rapide a nivelului de la 51,50 mdMN

Valoarea minimă a Factorului de stabilitate este **2,197**, factor care îndeplinește condiția admisibilă pentru golire rapidă a lacului $FS > 1,2$.

5.2.2.2. Golire bruscă a lacului de la Nivelul Normal de Retenție – 54,50 mdMN

Pentru analiza de stabilitate în ipoteza **golire lentă a lacului de la Nivelul Normal de Retenție– 54,50 mdMN**, programul SLOPE a trasat 70 suprafețe circulare de alunecare (Figura 5.18.). Valoarea minimă a Factorului de stabilitate este **2,187**.

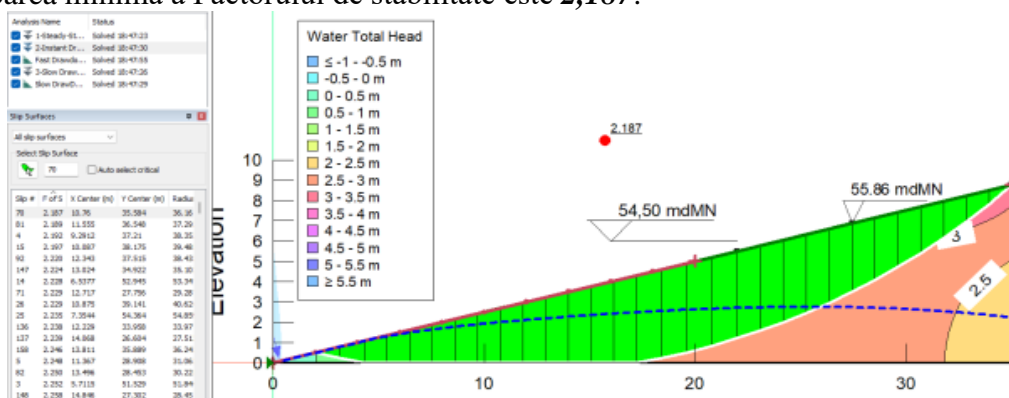


Figura 5.18 – Calculul factorilor de stabilitate în ipoteza scăderii rapide a nivelului de la 54,50 mdMN

5.2.2.3. Golire bruscă a lacului de la Nivelul Maxim Istoric – 55,86 mdMN

Acest tip de analiză tranzitoriu a fost stabilit pentru scăderea bruscă a nivelului apei în lac și programul admite o scădere instantanee a coloanei de apă din zona amonte a barajului. Pentru analiza de stabilitate în ipoteza **golire lentă a lacului de la Nivelul Maxim Istoric– 55,86 mdMN**, programul SLOPE a trasat 81 suprafețe circulare de alunecare (Figura 5.19.).

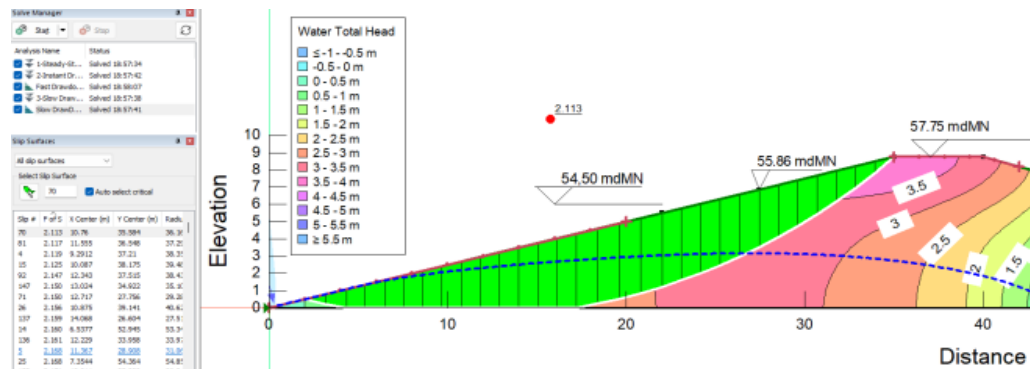


Figura 5.19 – Calculul factorilor de stabilitate în ipoteza scădere bruscă a nivelului
Valoarea minimă a Factorului de stabilitate este **2,113**.

În figura 5.21 se observă alura curbelor de infiltrație prin baraj, corespunzătoare fiecărui pas de timp definit anterior.

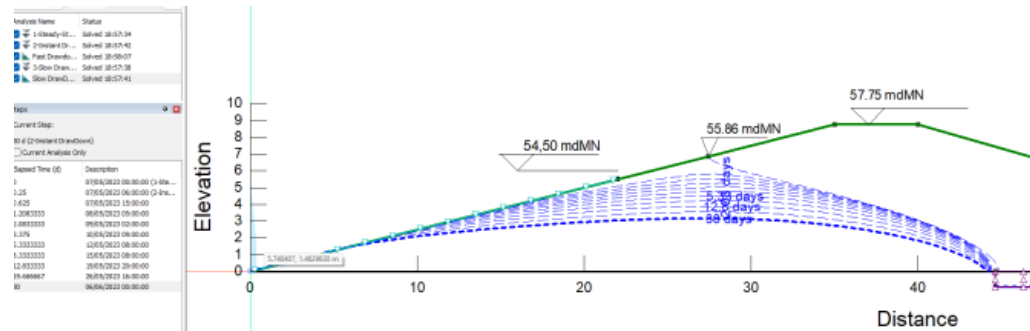


Figura 5.21 – Curbele de infiltrație la golirea bruscă a lacului

Curba care corespunde factorului de stabilitate minim intersectează taluzul amonte la o înălțime de **1,46 m**, apoi urmărește linia taluzului.

Tabelul 5.2 prezintă centralizatorul valorilor calculate prin *Metoda Spencer* pentru factorul de stabilitate al taluzului amonte al barajului Hălțeni, în cele 3 regimuri de exploatare, pentru golirea lentă a lacului, respectiv golirea rapidă a lacului.

Tabelul 5.2.- Valorile factorului de stabilitate al barajului - metoda Spencer

	Regim de ape mici	Regim de ape medii	Regim de ape mari
Nivel apă în lac	51,50	54,50	55,86
Golirea lentă a lacului	2,203	2,639	2,602
Golirea rapidă a lacului	2,197	2,187	2,113

În etapa ulterioară de studiu s-a ales *Metoda Morgenstern - Price* din setările modelului pentru realizarea analizei stabilității taluzului amonte al barajului Hălțeni. Tabelul 5.3 prezintă centralizatorul valorilor calculate prin *Metoda Morgenstern - Price* pentru factorul de stabilitate al taluzului amonte al barajului Hălțeni, în cele 3 regimuri de exploatare, pentru golirea lentă a lacului, respectiv golirea rapidă a lacului.

Tabelul 5.3.- Valorile factorului de stabilitate al barajului - metoda Morgenstern - Price

	Regim de ape mici	Regim de ape medii	Regim de ape mari
Nivel apă în lac	51,50	54,50	55,86
Golirea lentă a lacului	2,203	2,778	3,041
Golirea rapidă a lacului	2,197	2,191	2,118

Se constată că analiza efectuată prin *Metoda Spencer* conduce la valori mai mari ale factorului de stabilitate, în special în cazul regimului de ape mari (viituri). Pentru regimul de ape mici și regimul de ape medii, rezultatele celor 2 metode sunt egale sau foarte apropiate.

CAPITOLUL VI

MODELAREA MATEMATICĂ A EXPLOATĂRII ACUMULĂRII HĂLCENI CU PROGRAMUL HEC-ResSim

6.1. Construirea unui model simplist de tranzitare

Pentru o primă etapă de studiu s-a construit un model simplist pentru bazinul hidrografic inferior al râului Miletin, în vederea modelării acumulării Hălceni cu ajutorul programului HEC-ResSim.

6.1.1. Adăugarea hărților de fundal

Pentru modelul construit pe bazinul hidrografic Miletin s-au utilizat hărți în format GIS cu bazinele hidrografice pentru cursul principal și afluenți, acumulara nepermanentă Câmpeni și acumulara permanentă Hălceni.

6.1.2. Configurațiile bazinului hidrografic

Înainte de a se crea schema bazinului hidrografic pentru model (prin stabilirea traseului cursului de apă și adăugarea de proiecte și puncte de calcul), trebuie să se creeze o configurație a bazinului hidrografic. În cadrul modelului construit s-a introdus acumulara Hălceni și s-a trasat conturul urmărind traseul hărții disponibile în fundal, format GIS *shapefile.

6.1.3. Modulul Reservoir Network

Programul ResSim a creat rețeaua hidrografică pentru fiecare element schematic al bazinului hidrografic creat în Watershed Module, pe care l-a recunoscut în configurația selectată (Figura 6.7).

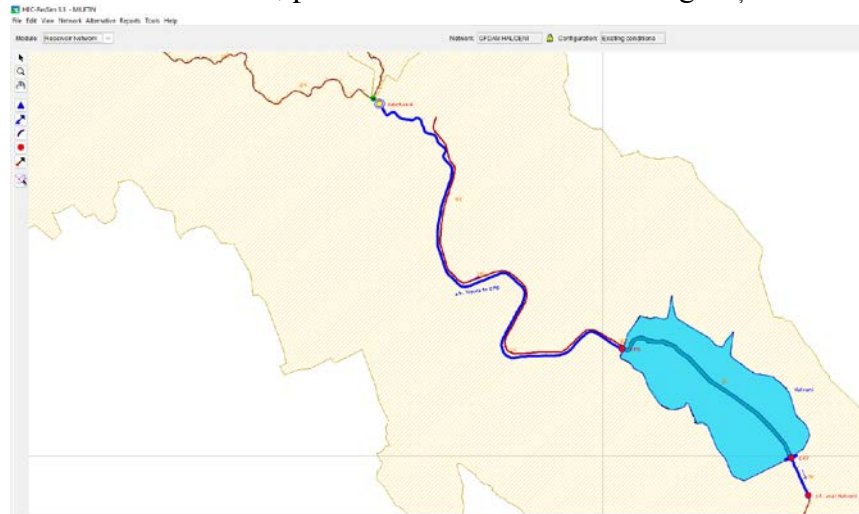


Figura 6.7. – Editor Rețea Hidrografică – lac de acumulare Hălceni

Barajul este elementul lacului care poate tranzita apa din cuveta lacului în sistemul din aval și la care se adăuga elemente de evacuare a debitelor. S-au definit caracteristicile frontului de deversare:

- Cota coronamentului – 57,75 mdMN
- Lungimea la coronament a barajului - 1013 m (Figura 6.9).

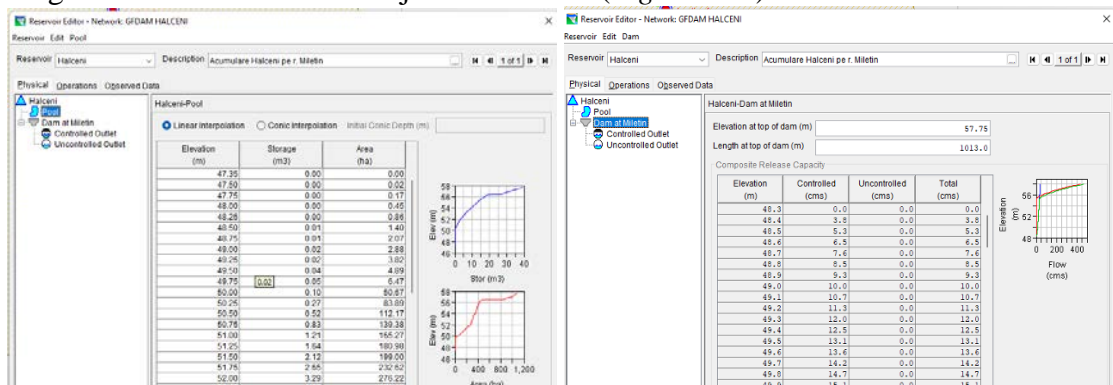


Figura 6.9. – Reservoir Editor–caracteristici fizice pentru cuveta și barajul acumulării Hălceni

Pentru modelul construit s-au utilizat curbele caracteristice ale acumulării Hălçeni preluate din *Regulamentul de exploatare* elaborat în anul 2011. În modelul construit s-au introdus la secțiunea uvraje ale barajului Hălçeni:

- *golirea de fund* cu capacitățile ei de evacuare maxime, în condițiile deschiderii totale a stavilei de control a debitelor evacuate
- *descărcătorul de ape mari* cu cheia limnometric- funcție de nivelul apei în lac.(*Figura 6.10.*)

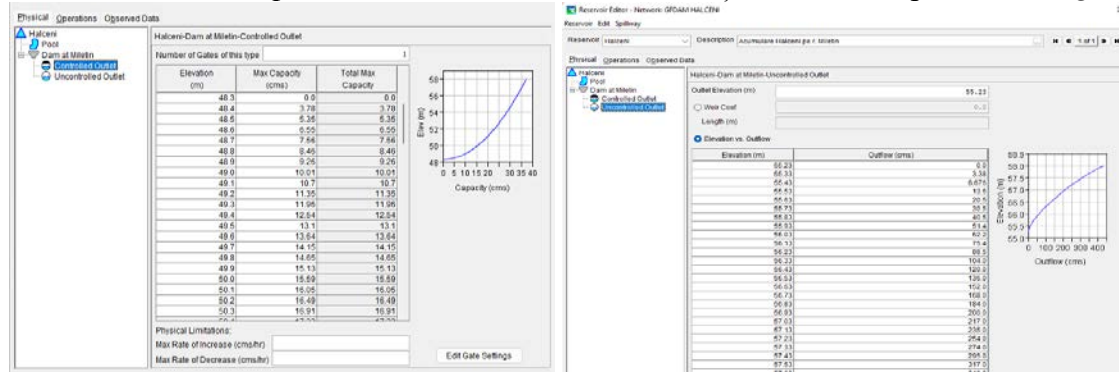
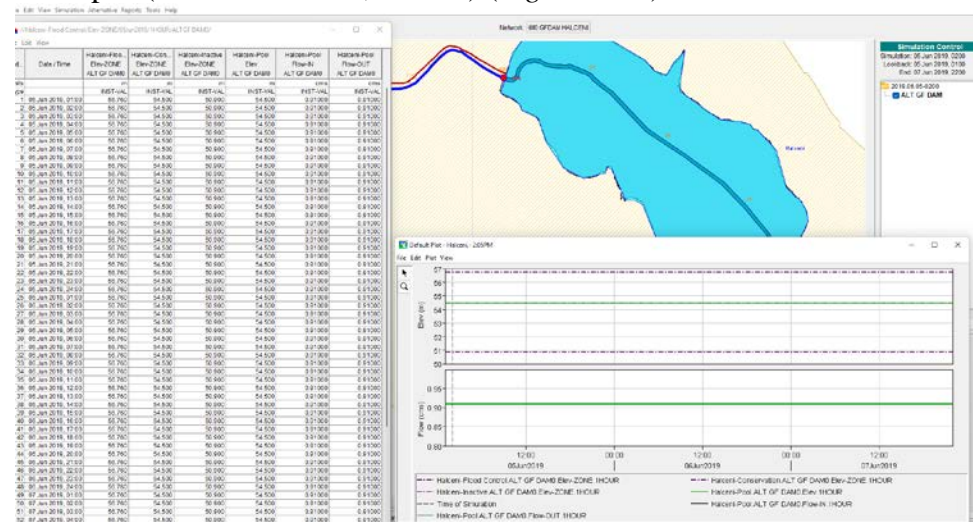


Figura 6.10. – Reservoir Editor – caracteristici fizice pentru uvrajele barajului Hălçeni

Pentru modelul construit s-au utilizat zonele implicite *FLOOD CONTROL* (s-a utilizat cota constantă 56,76 mdMN corespunzătoare nivelului maxim cu probabilitatea de depășire de verificare 0,5%), *CONSERVATION* (s-a utilizat cota constantă 54,50 mdMN corespunzătoare Nivelului Normal de Retenție), respectiv *INACTIVE* (s-a utilizat cota constantă 50,90 mdMN corespunzătoare Nivelului Mort). Nu s-au definit reguli de exploatare. S-a creat *Alternativa 1* cu Setul de Operațiuni *OP SET GF DAM* pentru lacul de acumulare și s-au specificat condițiile inițiale pentru Alternativă. S-a stabilit Nivelul Normal de Retenție ca nivel inițial și evacuarea prin golirea de fund a debitului mediu multianual de $0,91 \text{ m}^3/\text{s}$. S-a creat un fisier *INFLOW.dss* (*Data Storage System*) în programul HEC-DSSVue pentru debitul afluent în lac, pentru perioada 04-07IUN2019, cu o valoare constantă a debitului de $0,91 \text{ m}^3/\text{s}$. După ce s-au introdus toate datele necesare și s-a creat alternativă, s-a creat o simulare pentru acest model simplist. S-a definit pasul de timp al simulării de 1 oră. Programul *ResSim* a creat apoi fișierul *simulation.dss*, care conține toate înregistrările DSS pentru debitele afluențe și defluent. *Plots* și *Tables* din modulul de simulare oferă vederi grafice și tabelare detaliate ale datelor și rezultatelor modelului. Se poate vizualiza evoluția apei în lacul de acumulare Hălçeni la tranzitarea debitului afluent impus (cu valoarea de $0,91 \text{ m}^3/\text{s}$) (*Figura 6.15*)



În cadrul acestei etape de studiu s-a realizat un model complex pentru rețeaua hidrografică Miletin și lacul de acumulare Hălțeni, în care s-a încorporat seria de timp cu debitele aferente viiturii produse în luna iunie 2019, necesare a fi modelate, reguli de funcționare actualizate ale barajului și lacului de acumulare, condiții inițiale și informații de tranzitare actualizate pe traseul cursului de apă.

Pentru reproducerea modului de management al viiturii din iunie 2019 a fost definită o singură regulă de exploatare cu limitarea debitelor evacuate prin golirea de fund la anumite debite maxime, defalcat pe tranșe de nivel al apei în lac, în concordanță cu dispozițiile de manevră emise la momentul respectiv. Debitul evacuat au avut valori cuprinse între 4,0 – 25,6 m³/s, corespunzătoare anumitor tranșe de nivel din lac. (Figura 6.18)

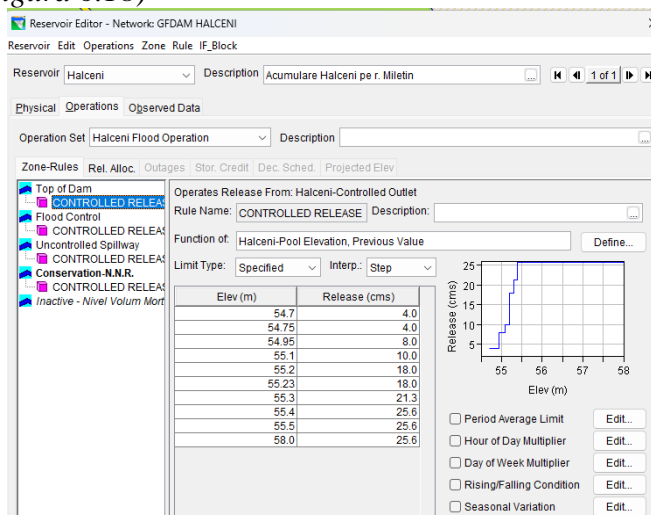


Figura 6.18 – Zone și reguli stabilite pentru acumulara Hălțeni – model complex

A fost definită alternativa de lucru *AltHALCENI* pentru lacul *Hălțeni*, rețeaua hidrografică *GFDAM HALCENI* și setul de operații *Halceni Flood Operation*. A fost definit pasul de calcul de 1 oră, metoda de calcul implicit aleasă de program, nivelul apei în lac de 54,70 mMN în perioada de retrospectiva, precum și evacuarea constantă prin golirea de fund de 4,0 m³/s. Hidrograful debitelor măsurate la stația hidrometrică Șipote în perioada viiturii din iunie 2019 a fost asociat ca serie de timp cu valori pentru debitele afluențe în acumulare. După ce s-au introdus toate datele necesare și s-a creat alternativa, s-a realizat o simulare pentru intervalul de timp de interes, s-a definit pasul de timp al simulării de 1 oră și s-a ales alternativa definită anterior.

6.2.2. Analiza rezultatelor simulării

După ce s-a rulat cu succes simularea, se pot examina rezultatele în multe forme diferite. Se poate vizualiza rezultatul simulării privind evoluția apei în lacul de acumulare Hălțeni, la tranzitarea debitului afluent introdus în model ca serie de timp. (Figura 6.21)



Figura 6.21 – Hidrograful simulat pentru nivelul apei în lac – model complex

Se poate vizualiza evoluția hidrografului defluent din lacul de acumulare Hălțeni la tranzitarea viiturii. (Figura 6.22)

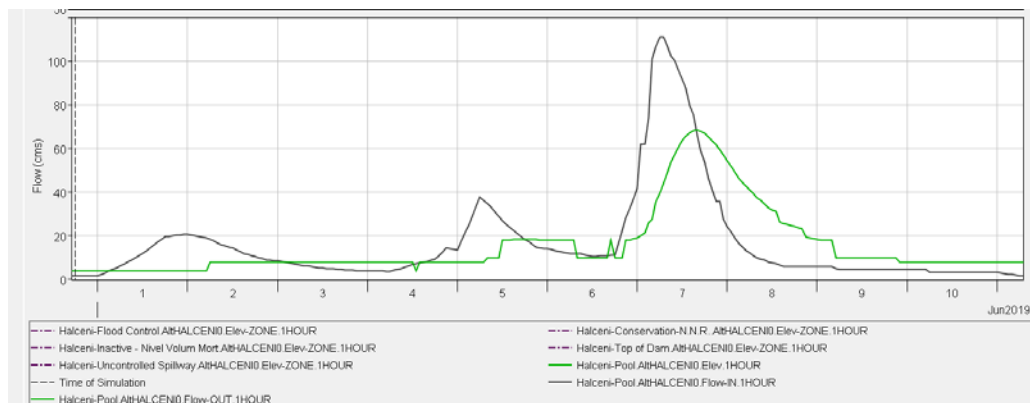


Figura 6.22 – Hidrografele simulate pentru debitele afluențe și defluente – model complex

Programul *ResSim* are un generator de Rapoarte bazate pe rezultatele simulării. Rapoartele sinteză sunt disponibile din meniul *Reports*. Pentru a verifica acuratețea modelului complex construit cu scopul de a simula viitura produsă pe râul Miletin în perioada 31 mai – 11 iunie 2019 și tranzitată de uvragele barajului Hălçeni, s-a realizat o analiză comparativă a hidrografelor de nivel și debit simulate cu cele măsurate efectiv la baraj. Au fost trasate pe același grafic hidrografele pentru evoluția nivelurilor apei în lac, cu linie solidă – hidrograful simulat, respectiv linie punctată – hidrograful afluent măsurat. În mod similar au fost trasate pe același grafic hidrografele pentru debitele afluențe în lac și debitele defluente din lac, cu linie solidă – hidrograful defluent simulat, respectiv linie punctată – hidrograful defluent măsurat (Figura 6.24 și 6.25).

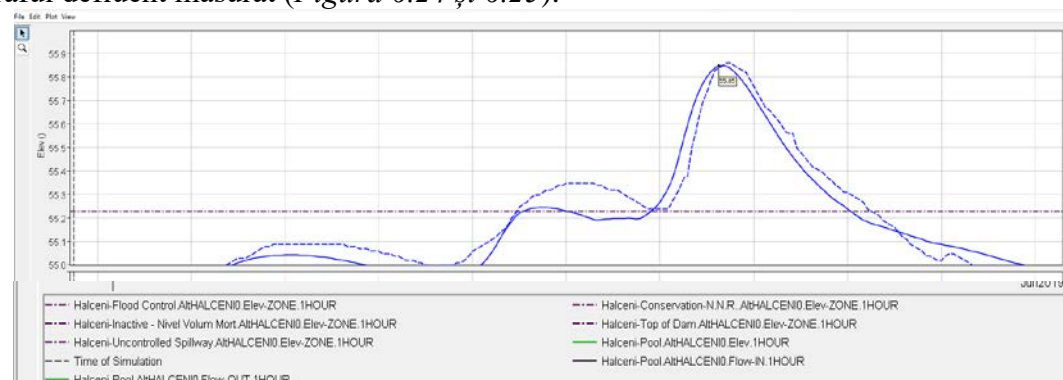


Figura 6.24 – Comparația grafică a hidrografelor de nivel simulate cu cele măsurate – model complex

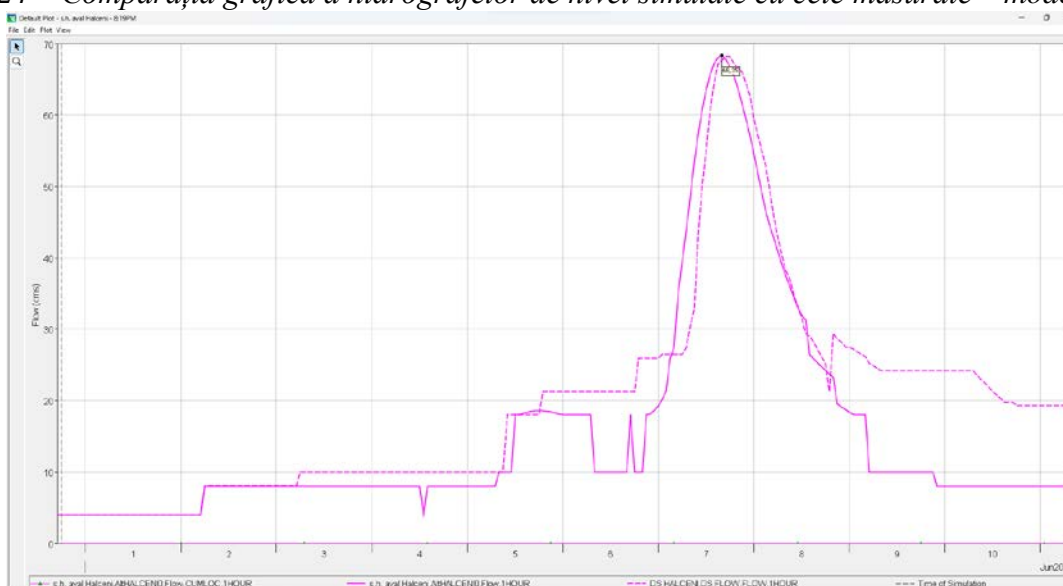


Figura 6.25 – Comparația grafică a hidrografelor de debit simulate cu cele măsurate – model complex

Rezultatele pot fi exprimate și tabelar de către program, pentru fiecare pas de calcul cu frecvență orară. Hidrografele de debit defluent și nivel în lac ce au fost produse de simularea din cadrul acestui model complex urmăresc cu precizie destul de mare inflexiunile hidrografelor măsurate.

Valorile maxime pentru parametrii simulați sunt prezentate în tabelul 6.1. comparativ cu valorile maxime ale parametrilor mășurați.

Tabelul 6.1. – Valorile maxime simulate de modelul complex construit in HEC-ResSim

	Nivel apă în lac - mdMN	Debit defluent – m ³ /s	Interval orar
Date măsurate	55,86	68,20	07.06.2019 ora 17-18 ⁰⁰
Date simulate	55,85	68,35	07.06.2019 ora 16 ⁰⁰

Se constată că modelul complex a reprodus cu acuratețe foarte mare valorile maxime pentru evoluția nivelului apei în lac și a debitelor defluente din lac. Diferența de 1 cm între valorile măsurate și simulate pentru nivel reprezintă o eroare de 0,14% pentru coloana de apă de 6,86 m acumulată în lac în perioada viiturii 2019. Diferența de 0,15 m³/s între valorile măsurate și simulate pentru debitele defluente reprezintă o eroare de 0,22%. Se poate concluziona că viitura produsă pe râul Miletin în iunie 2019 a fost modelată cu fidelitate, erorile încadrându-se în limite acceptabile.

6.2.3. Modificarea modelului prin aplicarea unui set diferit de reguli de exploatare

6.2.3.1. Eliminarea regulii de limitare a evacuărilor de debite

În ipoteza eliminării regulii de limitare a evacuărilor de debite la anumite valori diferențiate, în funcție de diferite tranșe de nivel a apei în lac, decizia de exploatare adoptată de program este de a evacua maximul posibil prevăzut de capacitatea fizică a uvrajului, respectiv de cheia limnimetrică introdusă în program în fila *Physical*. După cum se observă în *Figura 6.28*, obiectivul primar al modelului este de a menține nivelul apei la N.N.R. cât mai mult și de a reveni cât mai curând la N.N.R., în caz de creșteri sau descreșteri a nivelului, prin evacuări maxime de debite.

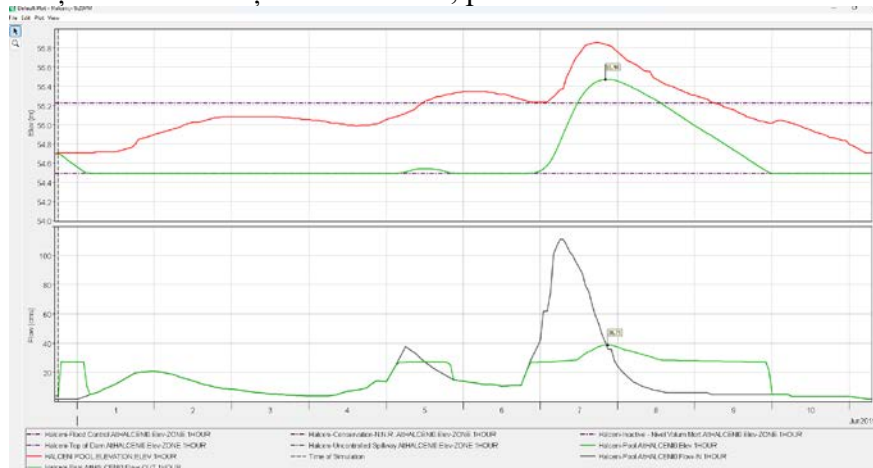


Figura 6.28 – Hidrografe simulate în ipoteza evacuării debitelor conform cu limitările fizice

Nivelul maxim simulat al apei în lac este de 55,48 mdMN, iar valoarea maximă a debitului afluent este 38,75 m³/s.

6.2.3.2. Ipoteza blocării stăvilei de la caseta din stânga a golirii de fund

În ipoteza producerii unui blocaj la stăvilei golirii de fund poziționată la caseta din stanga a golirii de fund, debitele evacuate prin golirea de fund se reduc astfel la jumătate. Ipoteza aceasta se operează în program prin modificarea cheii limnimetrice a golirii de fund în fila *Physical*. Decizia de exploatare adoptată de program este de a evacua maximul posibil prevăzut de capacitatea fizică a uvrajului controlat, respectiv de cheia limnimetrică modificată.

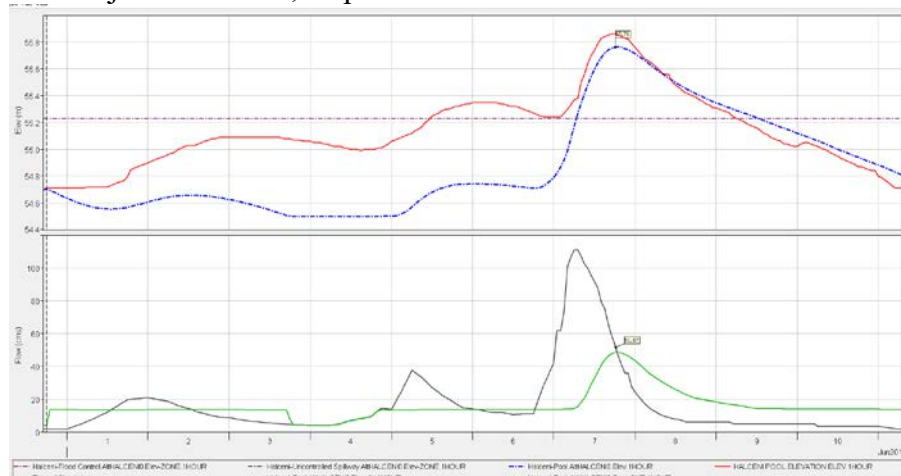


Figura 6.29 – Hidrografe simulate în ipoteza blocării unei stăvile a golirii de fund

După cum se observă în *Figura 6.29*, nivelul maxim simulat al apei în lac este de 55,76 mdMN, iar valoarea maximă a debitului afluent este 48,37 m³/s.

6.2.3.3. Ipoteza blocării stăvililor golirii de fund

În ipoteza producerii unui blocaj la stăvilile golirii de fund, debitele evacuate prin golirea de fund trebuie să fie eliminate din program în fila *Physical*. Decizia de exploatare adoptată de program este de a acumula volumul afluent în lac și de a evacua maximul posibil prevăzut de capacitatea fizică a uvraului necontrolat – descărcătorul de ape mari, respectiv de cheia limnometrică.

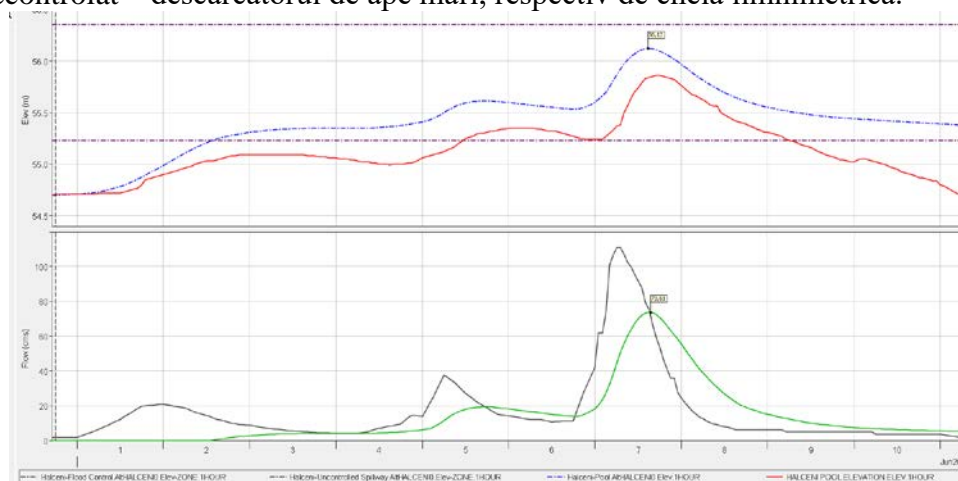


Figura 6.30– Hidrografe simulate în ipoteza blocării stăvililor golirii de fund

După cum se observă în *Figura 6.30*, nivelul maxim simulat al apei în lac este de 56,12 mdMN, iar valoarea maximă a debitului afluent este 73,61 m³/s. Nivelul maxim simulat de 56,12 mdMN nu depășește nivelul maxim de 56,37 mdMN, calculat pentru viitura cu probabilitatea de depășire de calcul de 2%. Prin urmare, chiar și în ipoteza blocării stăvililor golirii de fund și reducerii astfel a debitelor evacuate din baraj, presiunea hidrostatică exercitată pe barajul de retenție nu ar fi influențat negativ siguranța acestuia.

6.2.4. Modificarea modelului prin actualizarea curbei de capacitate a lacului de acumulare

Ulterior producerii viiturii din iunie 2019, personalul de specialitate din cadrul Administrației Bazinale de Apă Prut-Bârlad a realizat măsurători topo-batimetrice ale cuvetei lacului și a fost astfel reactualizată curba de capacitate a lacului în cursul anului 2022, care ține cont și de gradul de colmatare suplimentar produs în perioada 2019-2021. Volumul global al acumularii a suferit o reducere semnificativă, de 11,6% care conduce astfel la înregistrarea unor niveluri mai mari ale apei în lac, la tranzitarea viiturilor. S-a realizat astfel o modificare a modelului construit pentru acumularea Hălțeni și s-a introdus în fila *Physical* curba de capacitate reactualizată, iar ulterior s-a rulat simularea. După cum se observă în *Figura 6.31*, actualizarea curbei de capacitate a lacului nu produce modificări semnificative a hidrografului simulat.

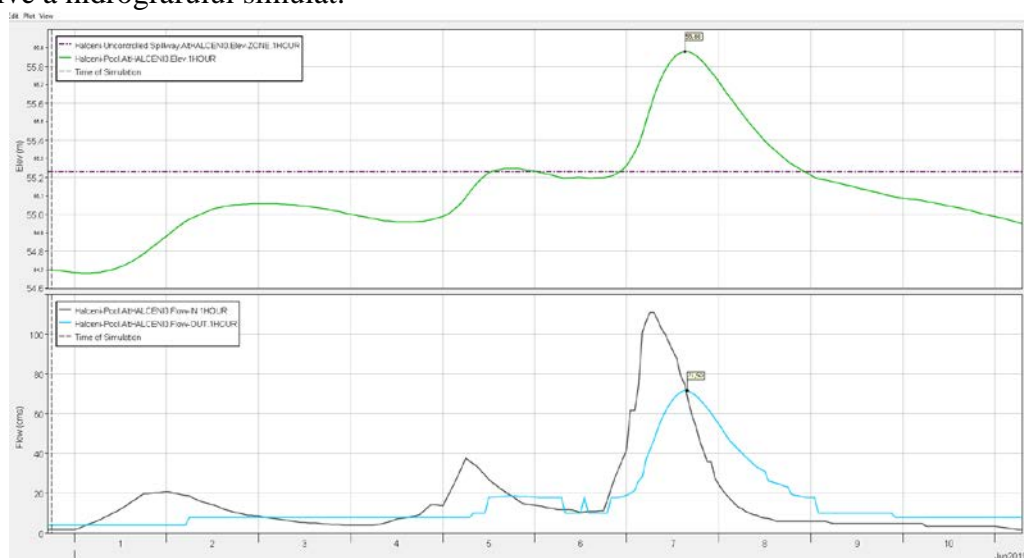


Figura 6.31 – Evoluția grafică a hidrografelor simulate în ipoteza actualizării curbei de capacitate

Nivelul maxim simulat al apei în lac este de 55,88 mdMN, iar valoarea maximă a debitului afluent este 71,5 m³/s.

Simulările efectuate cu reguli variate de evacuare a debitelor defluente în funcție de diverse limitări fizice sau scenarii de risc, pot furniza informații semnificative privind modul de exploatare a acumulărilor în diverse regimuri de exploatare, în special la tranzitarea viiturilor. Un astfel de model construit în programul *HEC-Res Sim* poate fi extrem de util ca suport decizional pentru exploatarea coordonată a acumulărilor dintr-un bazin hidrografic.

CAPITOLUL VII

CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII PERSONALE

7.1. Concluzii generale

Siguranța în exploatare a acumulărilor complexe reprezintă un concept insuficient analizat și aprofundat în literatura de specialitate națională și internațională. Exploatarea în siguranță a acumulărilor complexe reprezintă, prin scop și maniera de abordare, o activitate strategică cu importanță deosebit de mare în contextul actual. Pentru elaborarea acestei teze au fost utilizate studii din domeniile hidrologice și hidraulice, respectiv cercetări din domeniul siguranței în exploatare a acumulărilor complexe. A fost studiată o bază de date semnificativă a literaturii științifice din domeniul specific al siguranței barajelor, în special a barajelor de pământ.

Programul *HEC-ResSim* a fost prezentat în detaliu cu aspecte generale și metodologie de lucru pentru construirea unui model de simulare a exploatării unui lac de acumulare, astfel încât prezenta teză poate constitui un sprijin pentru specialiștii din domeniu, pentru a construi modelele proprii. Studiul de caz prezentat și rezultatele satisfăcătoare ale modelului prezentat reprezintă un stimulent pentru aprofundarea acestor tipuri de studii specifice gospodăririi cantitative a apelor. Temele dezvoltate în prezenta teză de doctorat sunt astfel de interes evident pentru specialiștii din domeniu. Cu ajutorul programului *HEC-ResSim* se poate realiza o prognoză a modului de exploatare și a comportării unui lac de acumulare sau a unui sistem de lacuri în studiile de gospodărire a apelor și planificării evacuărilor de debite afluate în timp real.

7.2. Contribuții personale

S-a avut în vedere etapizarea studiilor, pornind de la aspectele teoretice și practice privind rezistența și stabilitatea structurilor de retenție din pământ, urmărirea comportării construcțiilor în timp, siguranța și exploatarea acumulărilor complexe, aspecte privind tranzitarea și atenuarea viiturilor prin lacurile de acumulare, respectiv studii privind modelarea matematică a exploatării lacurilor de acumulare în funcție de diverse reguli de exploatare definite. Studiul de caz este reprezentat de acumularea complexă Hălțeni, amplasată pe râul Miletin în județul Iași, România.

Aplicând noțiunile teoretice prezentate în primele 2 capitole, respectiv metodele de modelare matematică prezentate în capitolul III, contribuția personală a autorului a constat în următoarele activități:

- Prezentarea caracteristicilor generale ale barajului și acumulării complexe Hălțeni, a curbelor caracteristice ale cuvetei lacului, a cheilor limnimetrice ale golirii de fund, respectiv ale descărcătorului de ape mari;
- Prezentarea aparaturii de măsură și control a barajului și a parametrilor urmăriți de personalul de exploatare al Sistemului de Gospodărire a Apelor Iași;
- Realizarea calculelor cu formule analitice pentru analiza infiltrațiilor prin baraj în ipoteza exploatării acumulării la nivel mediu, respectiv în perioada de viitură;
- Prezentarea calculelor analitice pentru tranzitarea viiturilor teoretice;
- Studiul bazei de date cu valorile parametrilor urmăriți pentru solicitările exterioare ale barajului și acumulării, respectiv pentru răspunsul structurii de retenție la solicitări;
- Prezentarea graficelor de variație a infiltrațiilor prin corpul barajului, a subpresiunilor din terenul de fundare și a deformațiilor verticale ale barajului;
- Studiul bazei de date a informațiilor hidrologice și hidrometrice ale acumulării complexe Hălțeni pentru regimul de ape mari;

- Identificarea viiturii istorice produsă pe râul Miletin în secțiunea barajului Hălțeni în perioada 31 mai – 11 iunie 2019 și prezentarea hidrografelor de nivel, respectiv de debite înregistrate în teren;
- Modelarea matematică a infiltrațiilor prin barajul acumulării complexe Hălțeni cu ajutorul programului *SEEP/W – GeoStudio*, în ipoteza exploatării acumulării la nivel mediu, respectiv în perioada de viitură;
- Realizarea hărții cu hidroizohipsele privind regimul infiltrațiilor prin corpul barajului, în ipoteza nivelului maxim atins istoric al apei în lac;
- Modelarea matematică cu ajutorul programului *SLOPE – GeoStudio* a stabilității barajului Hălțeni în ipoteza - Golirea lentă a lacului și în ipoteza - Golirea bruscă a lacului, în situații de regim de ape mici, de ape medii, respectiv de ape mari;
- Construirea cu ajutorul programului *HEC-ResSim* a unui model simplist pentru bazinul hidrografic inferior al râului Miletin, în vederea modelării acumulării Hălțeni și tranzitarea debitului mediu multianual, care a avut rol de calibrare;
- Construirea cu ajutorul programului *HEC-ResSim* a unui model complex pentru rețeaua hidrografică Miletin și lacul de acumulare Hălțeni, în care s-a încorporat seria de timp cu debitele aferente viiturii produse în luna iunie 2019, necesare a fi modelate, reguli de funcționare actualizate ale barajului și lacului de acumulare și condiții inițiale;
- Analizarea rezultatelor obținute și comparația hidrografelor de nivel, respectiv de debite înregistrate în teren cu cele simulate de programul *HEC-ResSim*;
- Validarea modelului construit, având în vedere acuratețea valorilor maxime simulate pentru evoluția nivelului apei în lac și a debitelor defluente din lac;
- Realizarea unor simulări diferite prin modificarea scenariilor de exploatare a lacului de acumulare;

7.3. Direcții viitoare de cercetare

Perspectivile de cercetare, pentru etape ulterioare, urmăresc aprofundarea studiilor privind siguranța în exploatare a acumulărilor complexe.

Având la dispoziție modelul construit în cadrul studiului, cu programul *HEC – ResSim* pentru exploatarea acumulării Hălțeni, se pot realiza în viitor diverse scenarii de exploatare. Se pot aplica diverse reguli de exploatare și limitări ale evacuărilor de debite prin uvrajele barajului.

Modelul construit cu programul *HEC – ResSim* pentru râul Miletin pe tronsonul amonte de acumulare complexă Hălțeni, poate fi utilizat pentru reproducerea altor viituri produse pe râul Miletin, realizându-se astfel o validare suplimentară a modelului.

În plus, modelul poate fi editat pentru includerea acumulării nepermanente Câmpeni. Tranzitarea viiturilor pe râul Miletin vor fi modelate cu atenuarea în primă etapă în cuveta acumulării nepermanente Câmpeni, urmând ca în secțiunea acumulării Hălțeni să fie tranzitate debitele modificate de influența acumulării din amonte.

Simulările în modelul construit cu programul *HEC – ResSim* a tranzitării altor viituri (reale sau teoretice) pot reprezenta o bază pentru viitoare documentații de proiectare sau de exploatare a acumulării, inclusiv de sinteză prin urmărirea comportării construcțiilor.

Alte direcții propuse pentru cercetare ulterioară ar fi:

- Calcule analitice pentru regimul infiltrațiilor prin alte baraje exploatate de Sistemul de Gospodărirea Apelor Iași;
- Calcule analitice pentru analiza stabilității prin alte baraje exploatate de Sistemul de Gospodărirea Apelor Iași;
- Simulări cu ajutorul programului *SEEP/W – Geo Studio* pentru alte tipuri de baraje omogene de pământ echipate cu diferite sisteme de drenaj sau tipuri de baraje cu structură neomogenă, cu etanșare pentru corpul barajului și/sau sisteme de etanșare pentru terenul de fundare;
- Simulări cu ajutorul programului *Slope – Geo Studio* pentru alte tipuri de baraje omogene sau neomogene de pământ, la diferite niveluri ale apei în lac;
- Simulări cu ajutorul programului *HEC-ResSim* pentru sisteme de lacuri de acumulare în cascadă;
- Simulări cu ajutorul programului *HEC-ResSim* pentru un bazin hidrografic complex, cu acumulări amplasate pe afluenți și cursul de apă principal;