

TEZĂ DE DOCTORAT

Rezumat

DINAMICA ALUVIUNILOR ÎN ZONA ACUMULĂRILOR ȘI EVOLUȚIA TALVEGURILOR

Conducător științific,

Prof. univ. Dr. ing. Dan STEMATIU

Doctorand,

Ing. Laurențiu-Mihai LUNGU

BUCUREȘTI

MULȚUMIRI

Doresc să adresez mulțumiri conducătorului științific Prof. Univ. Dr. Ing. Dan STEMATIU, pentru sprijinul acordat în elaborarea tezei de doctorat, pentru răbdarea, generozitatea și înțelegerea dumneavoastră, precum și pentru întreaga contribuție la formarea mea ca cercetător. Vă mulțumesc pentru faptul că ați acceptat să-mi împărtășiți din bogata dumneavoastră experiență de-a lungul anilor de studiu.

În mod deosebit vreau să-i mulțumesc domnului Lector Univ. Dr. Ing. Cătălin POPESCU, pentru încrederea, sprijinul și ajutorul constant acordat în elaborarea tezei de doctorat, precum și pentru întreaga contribuție din cadrul formării personale și profesionale.

Totodată, mulțumesc colectivului din Departamentul de Inginerie Hidrotehnică pentru timpul prețios acordat, pentru sfaturile științifice valoroase cât și pentru îndrumarea competentă și permanentă pe parcursul elaborării și realizării acestei teze de doctorat.

În final, dar nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc familiei mele pentru răbdarea, înțelegerea și suportul moral acordat fără de care cu greu aș fi dus la bun sfârșit această etapă.

Vă mulțumesc!

Drd. Laurențiu LUNGU

CUPRINSUL TEZEI DE DOCTORAT

1. Introducere.....	7
2. Problema modificărilor morfologice.....	8
2.1. Scurgerea solidă în râurile din România	10
2.2. Efectele colmatării	14
2.3. Etapele procesului de colmatare	15
3. Mișcarea aluviunilor	16
3.1. Caracteristicile aluviunilor	19
3.2. Criterii pentru aprecierea stabilității aluviunilor de fund	21
3.2.1. Valori ale efortului tangențial de antrenare, a vitezei de scurgere în albie și a debitului lichid specific	21
3.2.2. Valori critice ale efortului tangențial de antrenare, vitezei și debitului lichid specific	24
3.2.3. Echilibrul limită al unei particule izolate	25
3.3. Transportul sedimentelor.....	27
3.4. Depunerea sedimentelor	30
4. Soluții pentru controlul colmatării lacurilor de acumulare	32
4.1. Combaterea eroziunii solului la nivelul bazinului hidrografic.....	33
4.2. Devierea sau evacuarea debitului solid	34
4.3. Îndepărtarea periodică a sedimentelor.....	37
4.4. Măsuri adaptive.....	39
4.5. Monitorizarea.....	40
5. Evoluția colmatării în lacurile de acumulare	41
5.1. Lacul de acumulare Prundu	41
5.2. Lacul de acumulare Pucioasa.....	42
5.3. Barajul celor trei defileuri (Three Gorges dam).....	44
6. Soluții de control ale eroziunii în vecinătatea lucrărilor de barare. Disipatori de energie.....	45
6.1. Disipatori de energie	48
6.1.1. Disipatori la descărcători de suprafață	48
6.1.2. Disipatori la baraje arcuite	51
6.1.3. Disipatori la conducte și galerii	52
6.1.4. Risberme	53
6.2. Principalele fenomene ce produc coborârea talvegului la lucrările hidrotehnice	53
7. Coborârea talvegului la lucrările hidrotehnice.....	56
7.1. Avarie disipator terminal al barajului și centralei Movileni	57
7.2. Avarie la barajul de priză Ogreneni	62
8. Studiu de caz - modelarea matematică a procesului de sedimentare în albia râului Dâmbovița.....	68
8.1. Date generale	68
8.2. Modelarea matematică	74
8.2.1. Ecuații utilizate în Delft3d	74
8.2.2. Metoda de modelare.....	79
8.2.3. Scenarii de calcul.....	82
8.3. Rezultate modelare.....	85
8.3.1. Scenariul de operare zilnică.....	85

8.3.2. Scenariul ploaie cu deversare	86
8.3.3. Scenariul ploaie fără deversare	90
8.3.4. Scenariul de funcționare pe durata de un an calendaristic pentru evindățierea secțiunilor de monitorizare	91
8.3.5. Scenariul de introducere al unui debit de spălare pe albie.....	93
8.3.6. Centralizarea rezultatelor	109
8.4. Concluzii	113
9. Studiu de caz - modelarea matematică a procesului de eroziune aval de barajul Porțile de Fier I.....	114
9.1. Date generale	114
9.1.1. Modificările morfologice ale albiei aval	115
9.1.2. Caverne erozionale din pragul disipatorului.....	121
9.2. Modelarea matematică	124
9.2.1. Ecuații utilizate în Ansys Fluent.....	124
9.2.2. Metoda de modelare.....	129
9.2.3. Scenarii de calcul.....	134
9.3. Rezultate modelare.....	136
9.3.1. Simulare morfologie inițială.....	136
9.3.2. Simulare evoluție intermediară a liniei erozionale.....	140
9.3.3. Simulare situației actuală a liniei erozionale	144
9.3.4. Simularea influenței acumulării Porțile de Fier II	148
9.3.5. Centralizator rezultate	150
9.4. Concluzii	154
10. Concluzii generale, contribuții proprii, direcții viitoare de cercetare.....	155
11. Bibliografie.....	158

INTRODUCERE

Teza de doctorat intitulată „*Dinamica aluviunilor în zona acumulărilor și evoluția talvegurilor*”, elaborată în cadrul Universității Tehnice de Construcții București, Facultatea de Hidrotehnică, abordează un subiect de actualitate atât pe plan local, cât și mondial, aducând contribuții domeniului în ceea ce privește modelarea transportului de sedimente și a fenomenului de eroziune.

Realizarea lucrărilor de retenție induce mari discontinuități în ceea ce privește regimul de curgere conducând la oprirea transportului de aluviuni, inițial în zona de modificare a regimului de curgere (coada lacului de acumulare), precum și modificări ale pofilelor albiilor de râu și a versanților adiacenți. Pierderea capacității lacului de acumulare reprezintă principalul efect al fenomenului de colmatare cu consecințe directe asupra volumului de atenuare, precum și a folosințelor acestuia.

Tranzitare viiturilor prin descărcătorii ajunge în aval cu puteri foarte mari, concentrând energii cinetice excedentare semnificative. Efectele unei disipări neadecvate poate avea consecințe nedorite în timpul perioadei de exploatare precum: apariția unor gropi de eroziune aval de construcțiile de barare, descoperirea fundațiilor și ulterior pierderea stabilității, eroziunile malurilor și degradarea folosințelor adiacente, eroziune generală a albiei aval, urmată de coborârea nivelului aval.

La nivel global fenomenul de colmatare are un impact social, economic și ecologic semnificativ și reprezintă o problemă esențială în sustenabilitatea lacurilor de acumulare. Intervenția antropică este importantă și impune gestionarea durabilă a resurselor de apă prin monitorizarea și controlul dinamicii sedimentelor. Aplicarea soluțiilor pentru reducerea ratei de sedimentare și decolmatarea lacurilor de acumulare trebuie tipizat pentru fiecare acumulare în parte datorită condițiilor diferite de amplasare, construcție, operare etc.

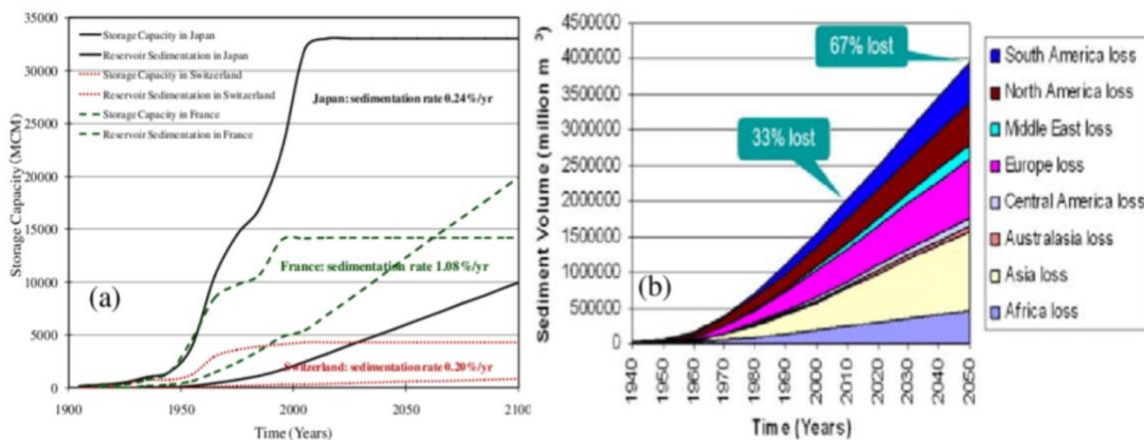
Modelarea transportului de sedimente și a fenomenului de eroziune este un proces dificil, datorită faptului că datele utilizate pentru evaluarea modificărilor morfologice sunt extrem de sensibile la o gamă foarte largă de parametri fizici. Modelele reprezintă modele pe pași de calcul, cu simulări cronofage, raportate la perioadele de timp analizate și la discretizarea domeniului de analizat.

PREZENTAREA SINTETICĂ A CAPITOLELOR TEZEI DE DOCTORAT

Teza de doctorat cu titlul "*Dinamica aluviunilor în zona acumulărilor și evoluția talvegurilor*" este structurată în 9 capitole, dintre care primele 7 capitole prezintă noțiuni generale cu privire la fenomenele de sedimentare și eroziune, iar ultimele 2 capitole au caracter aplicativ.

Capitolul 1 și 2 prezintă noțiuni generale în ceea ce privește problema modificărilor morfologice la nivel global, dar și local în râurile și lacurile de acumulare din România. Totodată sunt evidențiate efectele și etapele colmatării lacurilor de acumulare.

Studiilor elaborate la nivel global, arată că în prezent capacitatea de stocare brută a barajelor este de 6 100 km³, din care 2 000 km³ din acesta a fost pierdută datorită procesului de sedimentare. Conform prognozelor realizate, fără a lua în considerare execuția de noi construcții de barare, se estimează că până în anul 2050 capacitatea totală a lacurilor de acumulare va fi redusă cu mai mult de jumătate.



Prognoze privind evoluția cantității de sedimente în lacurile de acumulare

În România analiza datelor actuale a evidențiat că în decursul a 15 ani, în lacurile situate pe râurile interioare din România s-au depus aproximativ 200 milioane m³ aluviuni, mai mult de jumătate fiind reținute în acumulările de pe râurile Argeș și Olt. Astfel rata anuală de colmatare este de 13,4 milioane m³, reprezentând 27% din transportul total mediu multianual de aluviuni. Acumulările care au înregistrat ratele anuale cele mai importante sunt situate pe râul Argeș, cele cu rate medii anuale de colmatare sunt situate pe râul Olt, Bistrița și Ialomița, iar ritmurile de colmatare scăzute sunt înregistrate la lacurile de mari dimensiuni precum Izvorul Muntelui și Vidraru.

Capitolul 3 prezintă noțiuni generale privind mișcarea aluviunilor, în care sunt menționate caracteristicile aluviunilor, criteriile pentru aprecierea stabilității de fund, transportul și depunerea sedimentelor.

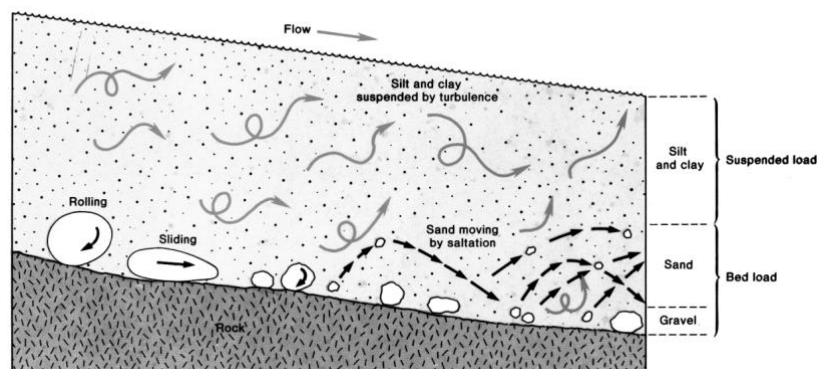
În natură aluviunile sunt formate din particule neomogene cu diferite forme și dimensiuni. Sedimentele se pot caracteriza prin dimensiunea granulelor, greutatea specifică, forma particulelor (indice de formă și volum), mărimea particulei, viteza de cădere.

Studiul mișcării aluviunilor evidențiază trei faze: fenomenul de eroziune, de transport și depunere / sedimentare.

Eroziunea reprezintă fenomenul prin care particulele sunt dislocate și transportate prin intermediul apelor. După desprindere particula tinde să se miște acționată de o forță activă (în mișcarea apei - forța hidrodinamică) și se opune prin greutatea proprie și prin forțele de frecare (în mișcarea apei - forța de frecare aferentă greutatei apei).

Sedimentarea reprezintă fenomenul prin care particulele aflate în suspensie transportate de apă sunt depuse datorită forțelor care se opun mișcării (greutate proprie și reacțiuni cu particule învecinate). Acesta se află în strânsă legătura cu rata de depunere, care la rândul ei este dependentă de forma și mărimea particulelor, viteza de depunere, densitatea apei. Se pot distinge două moduri de depunere, în funcție de modul de transport: depuneri aluvionare și depunerea încărcărilor în suspensie.

Formele de mișcare a particulelor izolate pot fi: mișcarea prin alunecare, mișcarea prin rostogolire, mișcarea prin salturi și mișcarea prin plutire.



Forme de mișcare ale aluviunilor

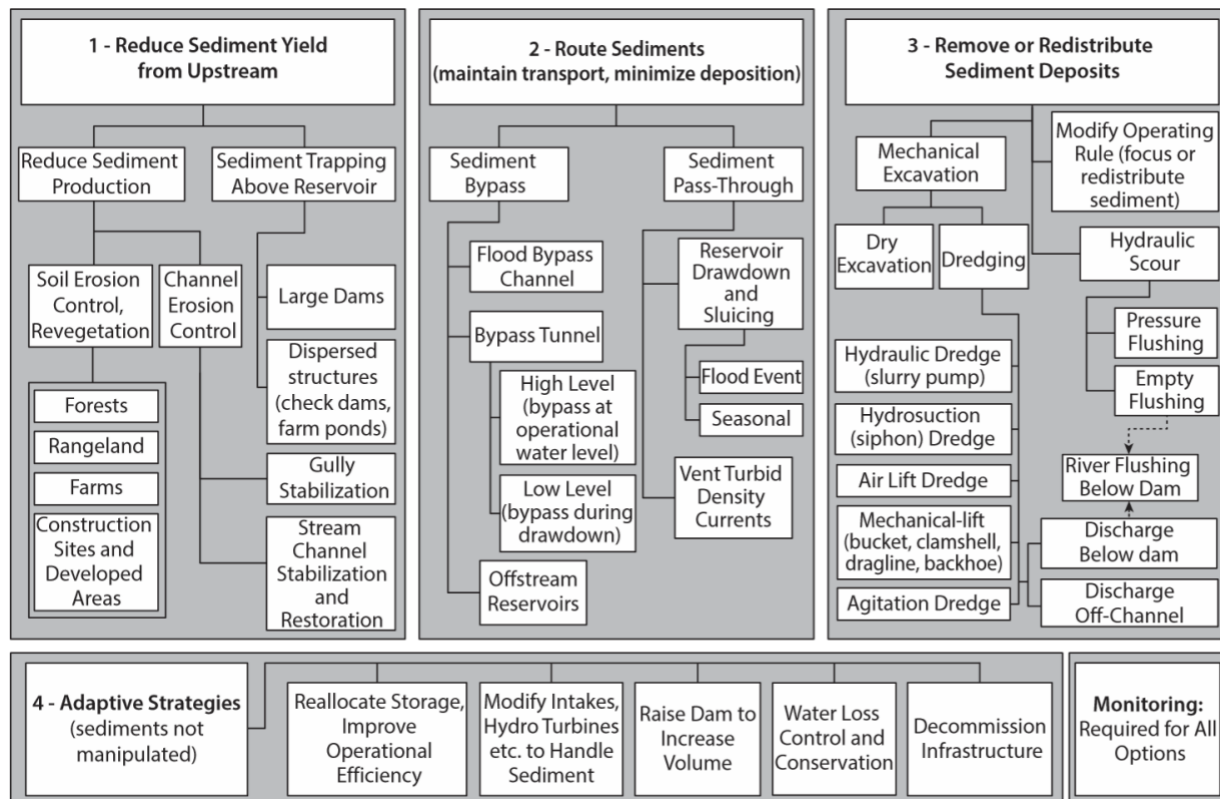
Capitolul 4 prezintă noțiuni generale privind soluții pentru controlul colmatării lacurilor de acumulare. Pentru prelungirea duratei de viață a lacurilor de acumulare este necesară adoptarea unui concept de gestionare atât al apei cât și al sedimentelor. Utilizarea durabilă se realizează prin aplicarea unor strategii de bază pentru controlul sedimentelor în perioada de proiectare și exploatare.

Reducerea aportului de sedimente - cantitatea de sedimente poate fi redusă prin controlul la sursă al eroziunii și reținerea acestora în amonte.

Devierea sau evacuarea debitului solid - sedimentele intrate în lacul de acumulare pot fi dirijate hidraulic prin galerii concepute cu acest scop sau concentrate în zone în care pot fi îndepărtate cu ușurință și fără afectarea funcțiilor barajului (prize de apă, ecluze etc.).

Îndepărtarea periodică a sedimentelor prin spălare hidraulică, dragare sau excavație pe timp uscat;

Măsurile adaptive - printre care se numără mărirea capacității lacului de acumulare (supraînălțarea barajului), adoptarea unui regulament de exploatare specific acumulării.



Clasificarea strategiilor pentru managementul sedimentelor

Capitolul 5 prezintă evoluția colmatării în lacurile de acumulare Prundu, Pucioasa și Three Gorges Dam, lucrări care au suferit un puternic proces de sedimentare de la punerea în funcțiune până în prezent.

Conform măsurătorilor topo-batimetrice efectuate în anul 1976, lacul de acumulare Prundu, situat pe râul Argeș, s-a colmatat în perioada 1971 - 1976 în procent de cca. 87%. În urma observațiilor vizuale efectuate la golirea lacului, se estimează că în prezent gradul de colmatare al lacului este de 85%.

Batimetria acumulării Pucioasa, situată pe cursul mijlociu al râului Ialomița, executată în decursul mai multor ani: 1993, 1999, 2002, 2006, 2009, 2010, 2016, a indicat o reducere cu o treime (33%) a volumului la Nivelul Normal de Retenție, între anii 2010-2016, de la 3,31 la 2,22 milioane m³.

Studiilor efectuate asupra Barajul Three Gorges, situat pe fluviul Yangze, au indicat că valoarea cantității de sedimente depozitate anual în lacul de acumulare se ridică la aproximativ 1,64 miliarde de tone, doar 40% din valoarea previzionată în perioada de proiectare, cea mai mare parte (50% din cantitatea anuală) fiind depusă pe durata unei singure viituri. Rezultatele analizelor conform cărora procesul de sedimentare se produce într-o singură viitură oferă avantaje pentru optimizarea măsurilor de combatere a viiturilor în vederea creșterii cantității de sedimente evacuate din lacul de acumulare, respectiv a cantității depuse.

Capitolul 6 prezintă soluții pentru controlul eroziunii în vecinătate lucrărilor de barare, respectiv disipatori de energie.

Efectele unei disipări neadecvate poate avea consecințe nedorite în timpul perioadei de exploatare: apariția unor gropi de eroziune aval de construcțiile de barare, descoperirea fundațiilor și ulterior pierderea stabilității, eroziunile malurilor și degradarea folosințelor adiacente, eroziune generală a albiei aval, urmată de coborârea nivelului aval.

Condițiile de conjugare a biefurilor reprezintă un element determinat în alegerea disipatorului. Soluția constructivă este aleasă pe baza analizei mai multor criterii precum: fenomenul hidraulic, natura folosințelor din aval și condiții impuse unor caracteristici ale curgerilor, natura albiei aval, tipul construcției pe care o deservesc.

Capitolul 7 prezintă două situații de lucrări hidrotehnice afectate de fenomenul de coborâre al talvegului din România, respectiv avarie disipator terminal al barajul și centralei Movileni și avarie la barajul de priză Ogrezeni.

Coborârea talvegului la lucrărilor hidrotehnice conduce în mod direct la creșterea gradientului hidraulic și totodată a debitului infiltrat, având un impact negativ asupra saltului hidraulic asociat cu disiparea energiei. Efectul cel mai periculos asupra siguranței lucrărilor de barare îl reprezintă eroziunea regresivă care afectează fundațiile pragurilor din aval, bazinele de disiparea a energie și uneori chiar fundația barajului. Procesele se datorează efectelor cumulate ale exploatărilor de agregate și diminuarea aportului de sedimente, atunci când trecerea transportul natural de sedimente este întrerupt de baraje din amonte. Totodată un efect important îl au și debitele semnificative tranzitate pe perioadele de viitură.

În Romania printre lucrările afectate de fenomenul de coborâre al talvegului se numără: la acumularea Movileni de pe râul Siret, zidul aval al treptei III s-a prăbușit în groapa de eroziune pe o lungime de aproximativ 71 m, în centrul regularizării aval; la barajul de priză Ogrezeni situat pe râul Ialomița a avut loc eroziunea fundației risbermei fixe a disipatorului de energie de la descărcătorul de ape mari.

Capitolul 8 prezintă prima parte aplicativă care are ca scop modelarea matematică a procesului de sedimentare în albia râului Dâmbovița. Studiul de caz s-a realizat pe râul Dâmbovița, în zona acvatoriului, situat în vecinătatea Stației de Epurare Apă Uzată a municipiului București.



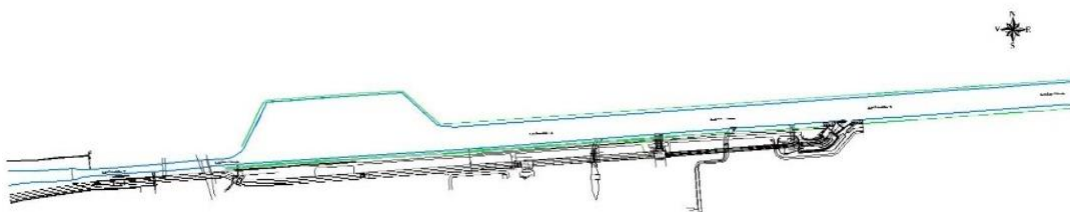
Dispunere generală amplasament

Apa uzată a municipiul București este colectată prin intermediul sistemului de canalizare unitar și transportată către stația de epurare Glina prin intermediul Casetei de apă uzată. Legătura între Casetă de apă uzată și SEAU se realizează prin intermediul a 3 camere de racord după cum urmează: CR 1 – treapta de epurare biologică, CR 2 – treapta de epurare mecanică (storm bazine) + ferestre laterale evacuare emisar și CR 3 – legătura cu Faza II + ferestre laterale evacuare emisar. Aval de Camera de racord 3 este prevăzut un canal deschis de legătură cu râul Dâmbovița. Suplimentar amonte de stația de epurare este situată Camera de siguranță NH Popești unde este prevăzut un deversor care asigură, în situații de ape mari, descărcarea în emisar a apelor excedentare ce nu pot fi preluate de SEAU.



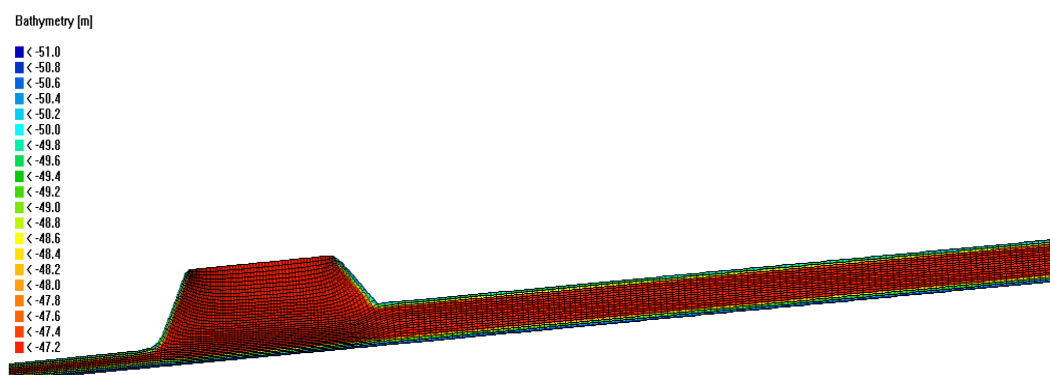
Vedere în plan cu poziționarea descărcărilor SEAU Glina

Modelarea matematică s-a realizat prin intermediul programului de calcul Delft3D, pe baza unei discretizări a domeniului analizat, cu o discretizare cu elemente curb-lineare pe care s-au introdus ulterior batimetria și condițiile de margine aferente râului Dâmbovița și al modului de funcționare al stației de epurare.

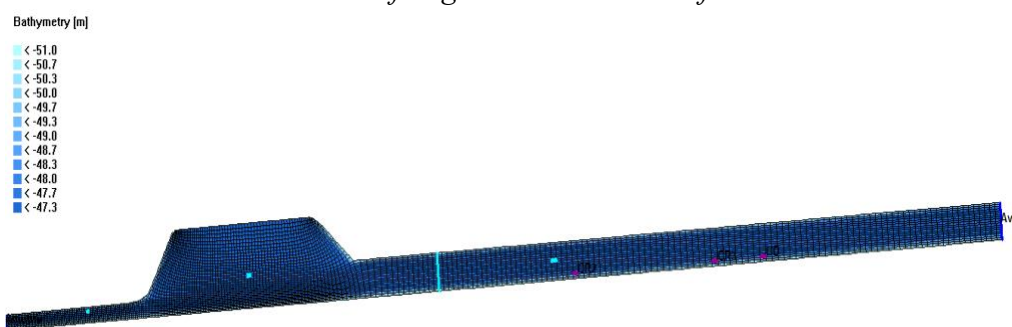


Planul general al amenajării

S-au introdus limitele generale după care s-a discretizat zona de interes, mai întâi 2D, urmând ca adâncimile în nodurile rețelei create să se stabilească din pofilele transversale ce alcătuiesc studiul topo-batimetric. Din înregistrările hidrometrice au fost extrase condițiile de margine pentru amonte, iar pentru aval s-a impus cheia limnometrică pentru secțiunea respectivă. Descărcările SEAU au fost introduse în concordanță cu măsurătorile realizate prin intermediul echipamentelor de monitorizare, fiind amplasate conform datelor din teren. Condițiilor de margine li s-au atribuit și concentrațiile aferente de sedimente. Grid-ul permite analiza morfologică, în pași de calcul în funcție de condițiile de margine impuse.



Gridul morfologic cu discretizarea finală



Gridul morfologic final, cu amplasarea condițiilor de margine

Modelul reprezintă un model pe pași de calcul și este calibrat pentru a asigura precizia rezultatelor, pasul de timp, pentru care se face reactualizarea morfologică este de sub un minut. Dacă se raportează la perioadele de timp analizate (de ordinul anilor și chiar zecilor de ani) acest pas de calcul conferă o acuratețe foarte mare. Discretizarea foarte fină (elemente de circa 3 x 3 m) și a pasului de timp foarte mic (de ordinul secundelor) conduc la rulări cronofage (circa 7 zile / model).

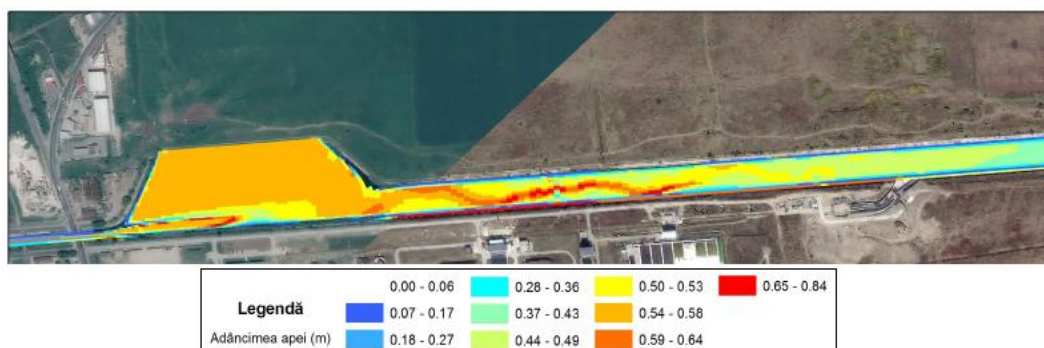
Pentru analiză au fost utilizate un număr de 5 scenarii care încearcă să simuleze situațiile cel mai posibil să se producă în realitate în albia râului Dâmbovița. În modelare s-au considerat descărcările și încărcările aferente ale N.H. Popești (deversare), SEAU și SB Glina (ape epurate – convențional curate), descărcările laterale (CR 2 și CR 3) și canalul deschis (CD).

1. **Scenariul de operare zilnică** – debit mediu zilnic pe râul Dâmbovița și SEAU cu funcționare normală cu evacuarea apelor epurate.
2. **Scenariul ploaie cu deversare** – se va considera un debit de $30 \text{ m}^3/\text{s}$ pe albia râului Dâmbovița, debit descărcat de deversorul de ape mari NH Popești, precum și descărcarea apelor epurate conform scenariului 1 și a debitelor provenite din ferestrelor laterale și canalul deschis conform condițiilor de operare.
3. **Scenariul ploaie fără deversare** – debit mediu zilnic pe râul Dâmbovița, evacuare ape epurate SEAU și debite suplimentare prin ferestrele laterale conform condițiilor de operare
4. **Scenariul de funcționare pe durata de un an calendaristic pentru evidențierea secțiunilor de monitorizare** – pe baza analizei măsurărilor au rezultat 295 de zile conform Scenariului 1, 40 de zile conform Scenariului 3 și 20 de zile conform Scenariului 2, alternanța lor fiind cea corespunzătoare anului 2015.
5. **Scenariul de introducere al unui debit de spălare pe albie** - pe baza distribuției de sedimente obținute la Scenariul 4 s-au realizat mai multe simulări pentru îndepărtarea aluviunilor depuse prin spălare. Astfel s-a presupus introducerea, timp de 6 ore, a unui debit de $45 \text{ m}^3/\text{s}$ pe albia râului Dâmbovița (debit deversat din lacul Morii cu acest scop, fiind limitat la această valoare datorită capacității subtraversării de la Unirii). Într-o primă ipoteză constă în spălarea după 3 luni de funcționare, după 6 luni, după 9 luni și după un an de funcționare. Într-o a 2-a ipoteză s-a presupus spălarea din 3 în 3 luni.

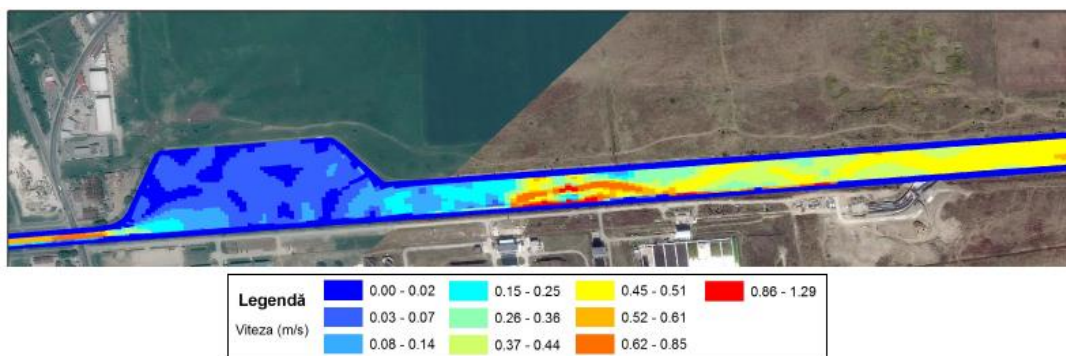
Parametrii care pot fi urmăriți cu ajutorul modelului sunt: distribuția vitezelor în orice punct al discretizării (atât ale apei cât și ale sedimentelor), eroziunea / depunerea de sedimente în orice pas de calcul, variația nivelelor, variație debitelor etc.

Cantitatea depusă de sedimente rezultată în simulării Scenariului 4, Scenariul de funcționare pe durata de un an calendaristic pentru evidențierea secțiunilor de monitorizare este **22 535 509 kg**,

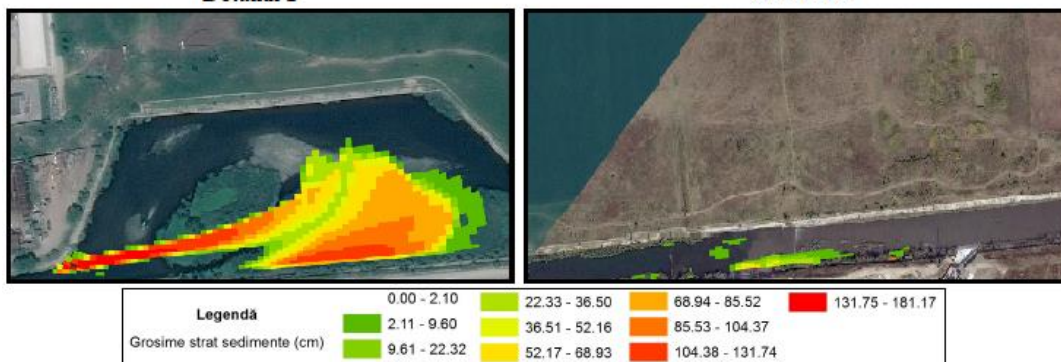
care pentru o masă volumetrică a sedimentelor este cuprinsă între 2100 – 2800 kg/m³, volumul de sedimente depus în albia râului Dâmbovița va fi cuprins între: **8 050 – 10 730 m³/an.**



Harta adâncimii apei (Scenariul 4 de funcționare pe durata de un an calendaristic)



Harta vitezelor (Scenariul 4 de funcționare pe durata de un an calendaristic)

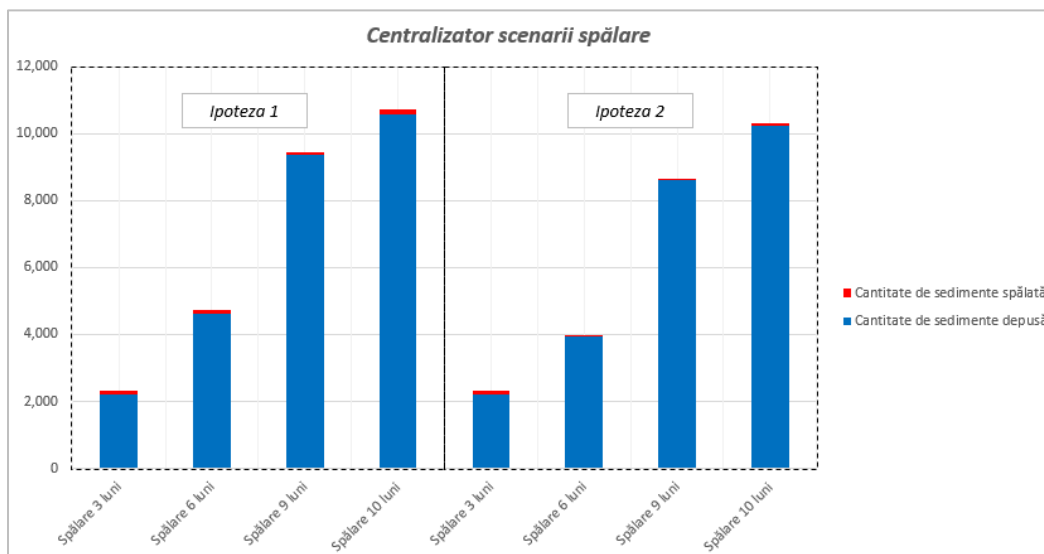


Harta distribuției stratului de sedimente (Funcționare pe durata de un an calendaristic)

Studiul de caz a urmărit determinarea problemelor legate de colmatarea și decolmatarea acvatoriului din zona adiacentă a stației de epurare Glina. Supraînălțările de niveluri în albia râului, în special în zona acvatoriului, pot conduce la blocarea evacuărilor stației de epurare Glina, precum și la inundarea zonelor limitrofe prin scăderea capacității de transport a canalului.

Îndepărtarea depunerilor din acumulare se poate face prin mijloace mecanice, hidromecanice, sau prin spălare hidraulică, cea din urmă fiind analizată anterior în studiul de caz prin care a fost evidențiată evoluția cantității de sedimente în albie în urma suplimentării debitului tranzitat. Cantitatea sedimentelor evacuate prin spălare este relativ mică comparativ cu cantitatea de sedimente depusă, spălarea având un impact semnificativ asupra dispunerii aluviunilor în albie.

Pentru diminuarea fenomenului de colmatare se pot adopta măsuri precum: realizarea unui perete din palplanșe metalice (continuu sau alternat) în acvatoriu, pentru micșorarea secțiunii, rezultând astfel o majorare a vitezelor de curgere și în consecință antrenare aluviunilor sedimentate, sau dirijarea sedimentelor și concentrarea acestora în zone unde pot fi îndepărtate cu ușurință. Determinarea eficienței măsurilor se poate realiza pe baza unui modelări matematice.

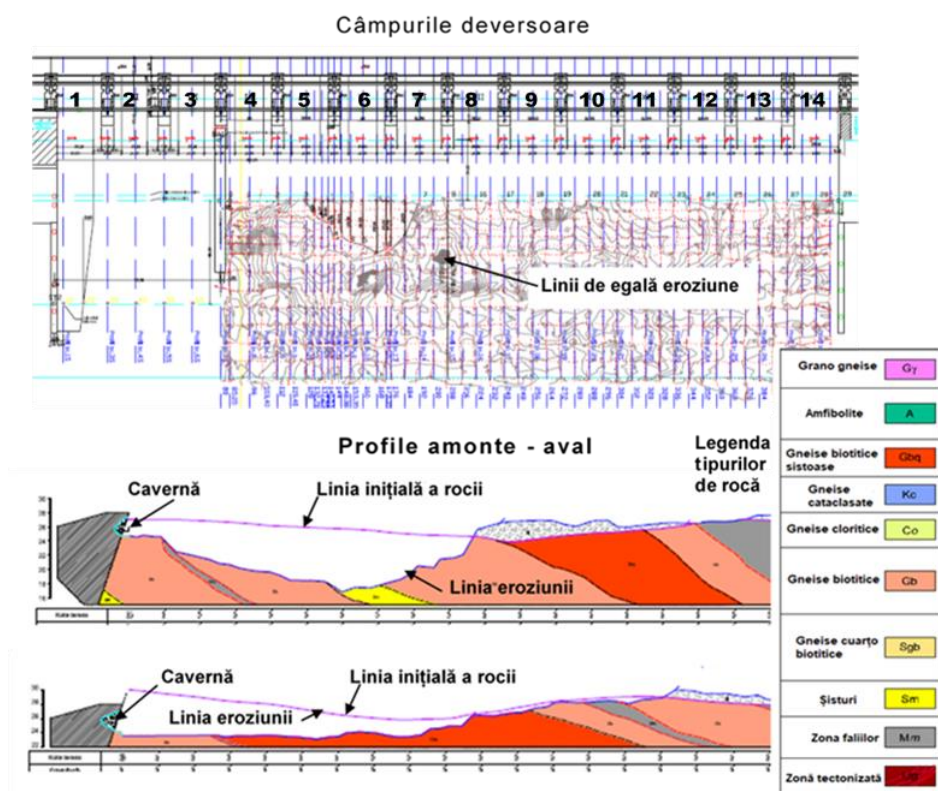


Centralizatorul cantității de sedimente îndepărtată prin spălare

Cunoașterea dinamicii procesului de colmatare prezintă un important interes, în acest sens fiind necesară realizarea periodică a hărților batimetrice pentru a fi comparate cu situația inițială sau cu măsurătorile anterioare, având ca scop estimarea gradului / ratei de colmatare și a principalelor efecte negative care pot apărea.

Capitolul 9 prezintă a doua parte aplicativă care are ca scop determinarea cauzelor de producere a modificărilor morfologice aval de amenajarea hidroenergetică și de navigație Porțile de Fier I situat pe fluviul Dunărea.

După o perioadă de 40 ani de la punerea în funcțiune a amenajării Porțile de Fier I, geometria albiei aval de disipator a suferit modificări pe anumite zone. Măsurătorile realizate (suprafață de 441 x 100 m) au evidențiat evoluția eroziunilor în albia fluviului Dunărea, aval de disipator, și de asemenea, au depistat apariția degradărilor în betonul de la pragul terminal al disipatorului (caverne extinse). Cea mai mare adâncime a gropii eroziunale în roca de bază era de 11,44 m în aval de câmpul deversor 9.



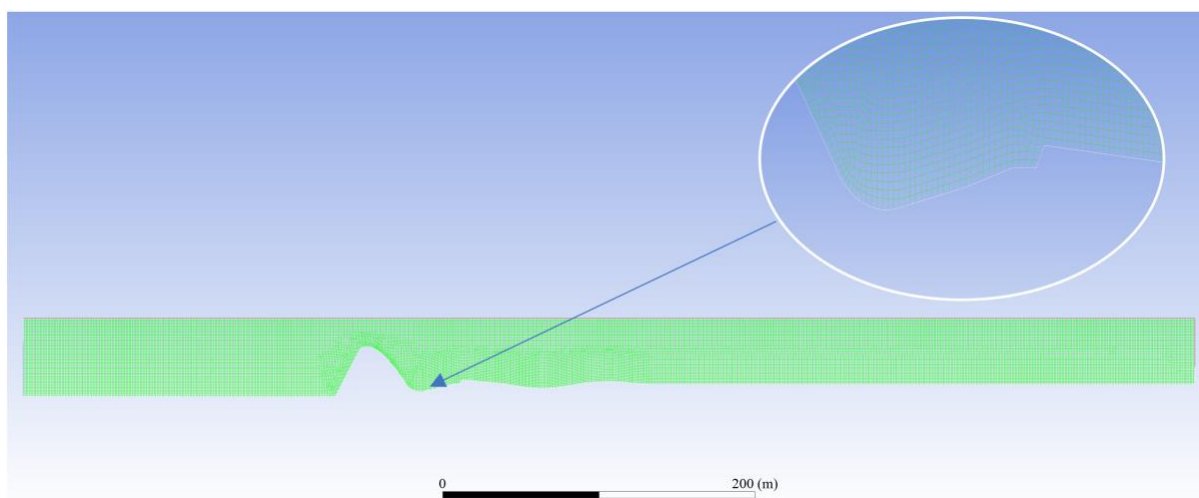
Modificări morfologice aval de baraj (măsurători 2010)

Modelarea matematică a fenomenului de eroziune s-a realizat prin intermediul programului de calcul Ansys Fluent pentru calculul dinamicii fluidelor (CFD), pe 3 profile distincte bazate pe evoluția liniei eroziunale aval de barajul Porțile de Fier I.

Lungimea domeniului de calcul utilizată a fost de dimensiunile 1000 x 50 m (300 m amonte / 700 m aval), căreia i s-a atribuit o discretizare 2D cu elemente curb-liniare având valori sub 1 x 1 m /

celulă. Modelul reprezintă un model pe pași de calcul (tranzitoriu), turbulent (k-epsilon), „multiphase” (bifazic apă / aer) și „discrete phase” pentru evaluarea eroziunii aval.

La baza realizării modelului au stat la baza datele privind geometria barajului, măsurătorile batimetrie și datele înregistrate ale debitelor, nivelurilor și încărcărilor specifice atât în amonte, cât și în aval de secțiunea de calcul. Din înregistrările hidrometrice au fost extrase condițiile de margine pentru amonte și aval după cum urmează: pentru amonte a fost considerată viteza de curgere (m/s), iar în aval a fost impus nivel mediu înregistrat aval de baraj.



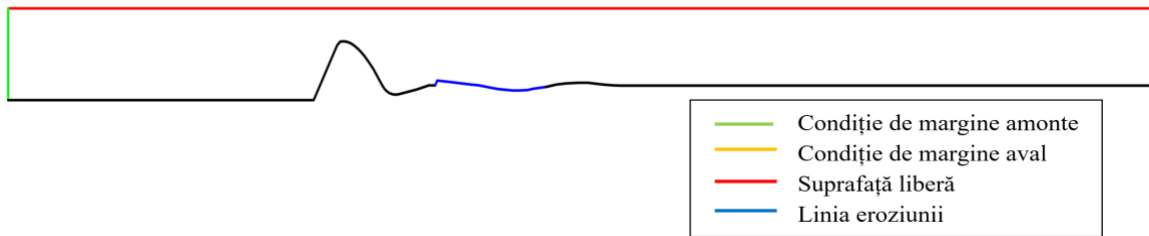
Discretizarea domeniului de calcul

Pentru condițiile de margine amonte a fost atribuită o concentrație de sedimente (particule), care a fost determinată ca media încărcărilor înregistrate în secțiunea de calcul. Astfel a rezultat o concentrație medie de 2000 kg/s, cu particule fine având diametrul de 0,1 mm pentru care a fost considerată o densitate de 2500 kg/m³ conform literaturii de specialitate.

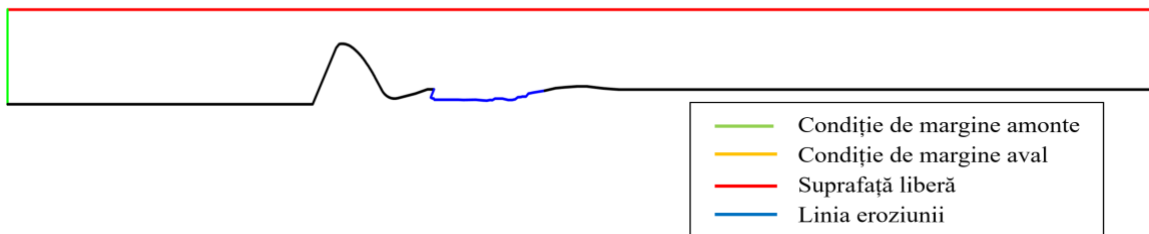
Discretizarea foarte fină (elemente de maxim 1 x 1 m), lungimea domeniului de calcul (1000 m x 50 m) și pasul de timp foarte mic (0,05 s) conduc la durate ale simulărilor de circa 5 zile.

Pentru modelare au fost utilizate un număr de 4 scenarii, pe 3 profile distincte bazate pe evoluția liniei erozionale aval de barajul Porțile de Fier 1. Pentru amonte a fost considerată o gamă mare de debite pornind de la 10 m³/s-ml până la 65 m³/s-ml, cu încărcarea medie înregistrată de 2000 kg/s și specificațiile particulelor aluvionare menționate anterior. Condiția de margine aval a constat în nivelul mediu înregistrat la stația hidrometrică Drobeta Turnu Severin, situată aval de secțiunea de calcul.

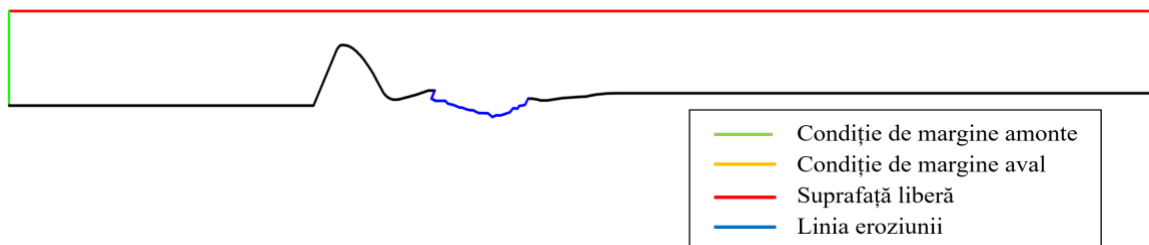
1. **Simulare morfologie inițială** - primul scenariu are la bază morfologia inițială a albiei aval de dissipator pentru evidențierea zonelor de eroziune. Simularea a fost realizată pentru debite pornind de la $10 \text{ m}^3/\text{s}$ până la $65 \text{ m}^3/\text{s}$, cu încărcarea medie înregistrată de 2000 kg/s și specificațiile particulelor aluvionare menționate anterior. Condiția aval a fost impusă ca fiind nivelul mediu înregistrat aval de secțiunea de calcul.



2. **Simulare evoluție intermediară a liniei eroziunale** - cel de-al doilea scenariu are la bază morfologia albiei aval rezultată în urma măsurărilor batimetrice, fiind considerată ca o adâncime medie a eroziunii. Condițiile de margine sunt similare scenariului nr. 1.

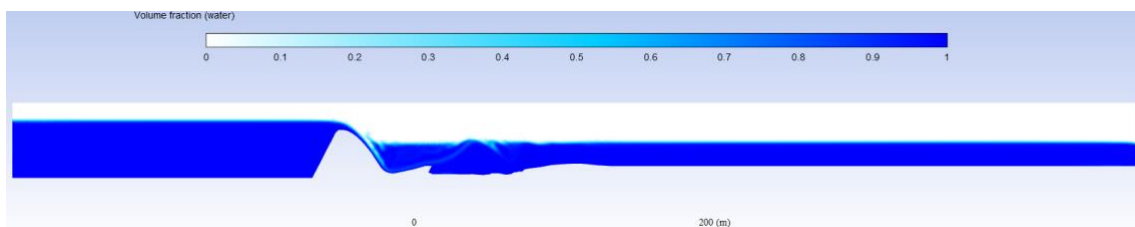


3. **Simulare situație actuală a liniei eroziunale** - are la bază morfologia albiei aval rezultată în urma măsurărilor batimetrice, fiind considerată ca adâncimea actuală a eroziunii. Condițiile de margine similare cu cele de la scenariul nr. 1.

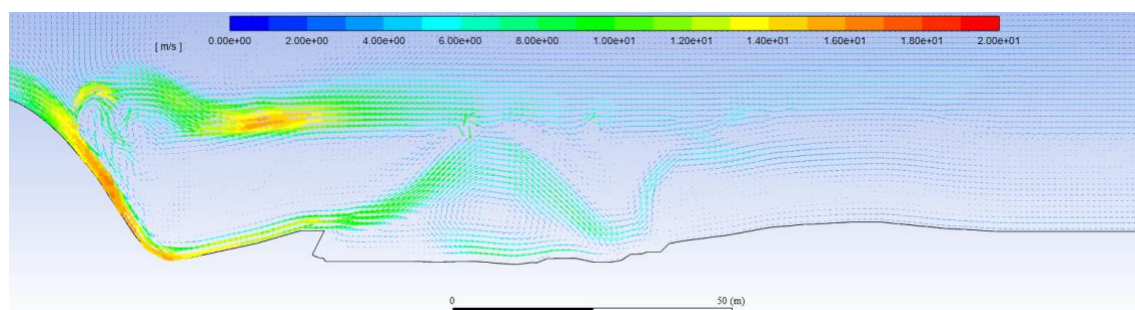


- 4. Simularea influenței acumulării Porțile de Fier II** – scenariul 4 reprezintă o simulare ipotetică pentru situația proiectată, fără influența amenajării Porțile de Fier II, cu scopul de a compara evoluția biefului aval în aceste condiții și de a determina influența acestei trepte. Simularea are la bază morfologia utilizată în scenariul nr. 2, iar condiția de margine aval a fost impusă ca fiind nivel liber.

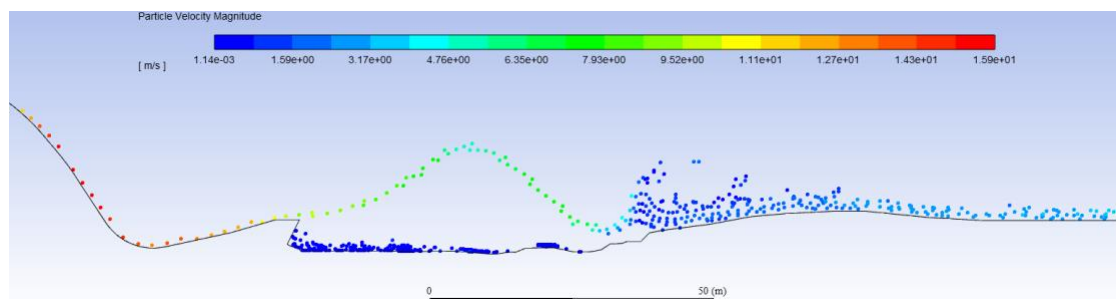
Parametrii care pot fi urmăriți cu ajutorul acestui model sunt: distribuția vitezelor și direcția vectorilor viteză în orice punct al discretizării, distribuția eroziunii rezultată în urma fenomenului de abraziune, distribuția debitului solid raport la diferiți parametrii (viteză, diametru etc.), distribuția presiunilor, bilanțul debitelor amonte, aval etc. În urma simulărilor au fost extrase hărțile vectorilor vitezelor, zonelor de eroziune precum și distribuția debitului solid cu vitezele aferente.



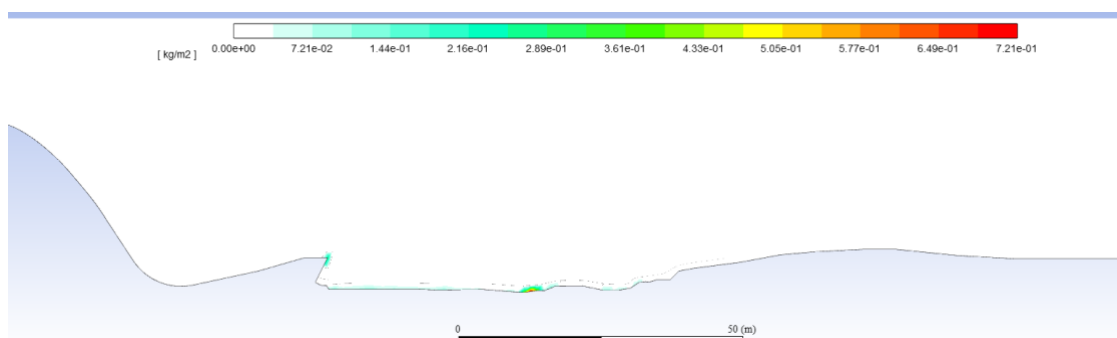
Distribuția volumului de apă pentru un debit de $30 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{ml}$ – profil intermediar



Vectorii viteză pentru un debit de $30 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{ml}$ – profil intermediar



Distribuția particulelor pentru un debit de $30 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{ml}$ – profil intermediar



Zonele de eroziune pentru un debit de $30 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{ml}$ – profil intermediar

Studiul de caz a urmărit determinarea problemelor legate de fenomenul de eroziune ale albiei aval barajului Porțile de Fier I, care s-au format pe parcursul perioadei de exploatare. Consecințele cele mai importante ale fenomenului de eroziune sunt cavernele eroziunale din pindenul bazinului disipator, care au caracter evolutiv și pot pune în pericol siguranța barajului.

Cu ajutorul programului de calcul Ansys Fluent, pentru dinamica fluidelor, au fost realizate modele matematice pentru evaluarea calitativă a zonelor în care se produce eroziunea (prin abraziune), pentru diferite profile ale albiei aval (morfologie inițială, intermediară și actuală). Totodată a fost realizată o simulare ipotetică pentru situația proiectată, fără influența amenajării Porților de Fier II, cu scopul de a compara evoluția biefului aval în aceste condiții și de a determina influența acestei trepte.

Simulările au evidențiat că fenomenul de eroziune se află în strânsă legătură cu debitele deversate și morfologia albiei aval. Simularea condiției actuale, cu adâncimea eroziunală maximă, indică faptul că procesul de modificarea a geometriei albiei se va stabili. Cu toate acestea degradările betonului pindenului aval prezintă un caracter dinamic și evolutiv, datorită turbulențelor și a vârtejurilor, produse la deversare.

O primă cauză a formării adâncimilor neuniforme ale eroziunii de-a lungul câmpurilor deversoare o reprezintă repartizarea neuniformă a duratei și a volumelor de apă deversate. Adâncimile cele mai importante s-au format în zonele câmpurilor deversoare prin care au fost evacuate cele mai mari debite maxime și cu cea mai mare durată a deversării. O altă cauză în ceea ce privește distribuția eroziunilor poate fi erodabilitatea diferită a rocii aval de baraj. Harta geologică a zonei aval de baraj indică că în dreptul fiecărui câmp deversor se întâlnesc diferite grade reprezentative a rocilor, cu rezistențe diferite la eroziune.

BIBLIOGRAFIE

- Administrația Bazinală de Apă Argeș-Vedea (2011). *Amenajarea hidrotehnică Pitești*.
- Annandale, G., Morris, G., Karki, P. (2016). *Extending the life of reservoirs, sustainable sediment management for dams and run-of-river hydropower*. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank
- Dimache, G. *Evaluarea stării de siguranță în exploatare a acumulării Crivina – Ogrezeni*, Vol. 1, Vol. 2, Vol. 3, Vol. 4, Vol. 5. București
- Giurma, I. (1983). *Studiul influenței bazinelor de recepție asupra procesului de colmatare din lacurile de acumulare mijlocii și mici*. Hidrotehnica.
- Giurma, I., Stănilă Al. (1988). *Contribuții la dimensionare și protecție împotriva colmatării*. Iași
- Giurma, I. (1997). *Colmatarea lacurilor de acumulare*. Ed. H*G*A*, București.
- Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor (2016). *Studiu batimetric acumulare Pucioasa*.
- Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Geologie și Geoecologie GEOECOMAR (2019). *Măsurile de protecție suplimentară a disipatorului barajului deversor Porțile de Fier I – Etapa I Studii de teren*. București
- International Committee of Large Dams (2017). *General report – Reservoir sedimentation and sustainable development*, Praga.
- International Committee of Large Dams (2018). *General report – Reservoir sedimentation and sustainable development*, Viena.
- Ionescu, F. (1971). *Studiul mișcării aluviunilor*. București.
- Ionescu, F. (1974). *Modelarea matematică a sedimentării acumulărilor*. București.
- Mateescu, C. (1963). *Hidraulică*. Editura Didactică și Pedagogică, București.
- Miotiu, C., Marin, G (1999). *Ingineria râurilor. Regularizarea râurilor și îndiguiri*. Ed. BREN, București.
- Morris, G., Fan, J. (2009). *Reservoir sedimentation handbook. Design and management of dams, reservoirs, and watershed for sustainable use*.
- Novak, D., Popescu, M. (2013). *Soluție tehnică pentru remedierea eroziunilor apărute la disipatorul de energie al barajului deversor Porțile de Fier I*. Hidrotehnica, vol. 58.
- Popescu, C. (2012). *Evaluarea rezultatelor principiilor metodei acustice de înaltă rezoluție și a aparaturii aferente propuse pentru măsurarea / caracterizarea volumelor și tipurilor de*

sedimente transportate în suspensie de către râuri precum și a grosimii straturilor sedimentare. Universitatea Tehnică de Construcții București.

Popescu, C. (2012). *Proceduri de prioritizare, identificare și trasare a ariilor tehnologice în domeniul aparaturii pentru caracterizarea hidrodinamicii sedimentelor.* Universitatea Tehnică de Construcții București.

Popovici, A. (2000). *Dams in Romania.* Romanian International Committee on Large Dams, Monitorul oficial, București

Popovici, A. (2010). *Expertiza stării disipatorului barajului deversor de la Porțile de Fier I cu propunere de măsuri pentru protecție suplimentară.* București

Prișcu, R. (1974). *Construcții Hidrotehnice – Volumul I.* Editura Didactică și Pedagogică, București.

Prișcu, R. (1974). *Construcții Hidrotehnice – Volumul II.* Editura Didactică și Pedagogică, București.

Răzvan, E. (1974). *Ecuția mișcării neuniforme a unui curent de densitate cu aplicare la prevenirea sedimentării acumulărilor.* Editura Academiei.

Răzvan, E. (1974). *Despre sedimentarea acumulărilor*

Stematiu, D. (2008). *Mecanica rocilor pentru constructori.* Conspress București

Stematiu, D. (2011). *Expertiza stării disipatorului barajului deversor Portile de Fier I faza II . Studiul de fezabilitate - Punct de vedere al consultantului roman.*

Stematiu, D. (2016). *Evaluarea stării de siguranță în exploatare pentru AHE Movileni.*

Strand, R., Pemberton, E. (1982). *Reservoir sedimentation.* Denver, Colorado

LISTĂ DE LUCRĂRI ȘI PUBLICAȚII

Popescu, C., Lungu, L., Mihailovici, M., Zaharia, V. (2017). *Analysis of river morphology in the downstream area of an urban dam and river segment.* ICOLD

Popescu, C., Mihailovici, M., Zaharia, V., Lungu, L. (2018). *Analysis of multi-purpose reservoirs subjected to heavy sediment deposits.* ICOLD

Popescu, C., Lungu, L., Sârghiuță, R., Zaharia, V. (2018). *Mathematical modelling and interpretation of results for siltation phenomena of rivers in the vicinity of reservoirs.* EENVIRO

Popescu, C., Lungu, L., Sârghiuță, R., Popa, B., Iacob, I. (2020). *River segmentation and riverbed lowering in Romanian reservoirs.* HYDRO 2020