



**UNIVERSITATEA „ALEXANDRU IOAN CUZA” DIN IAȘI**  
**FACULTATEA DE GEOGRAFIE ȘI GEOLOGIE**  
**ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOȘTIINȚE**



***Modelarea hazardului hidrologic asociat  
scurgerii maxime în bazinul hidrografic Firiza***

**REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT**

**Conducător de doctorat:**

**Prof. univ. dr. Romanescu Gheorghe**

**Prof. univ. dr. habil. Grozavu Adrian**

**Student-doctorand:**

**Ciurte Dan Lucian**

**Iași, 2025**

# Cuprins

<b>UNIVERSITATEA „ALEXANDRU IOAN CUZA” DIN IAȘI FACULTATEA DE GEOGRAFIE ȘI GEOLOGIE.....</b>	<b>1</b>
<b>Mulțumiri.....</b>	<b>4</b>
<b>Introducere .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Bazinul hidrografic Firiza – trăsături geografice generale .....</b>	<b>11</b>
1.1. Unitatea de bazin hidrografic .....	12
1.2. Caracteristici geologice .....	12
1.2.1. Roci sedimentare .....	12
1.2.2. Roci magmatice .....	13
1.3. Relieful – caracteristici genetice, morfografice și morfometrice .....	14
1.3.1. Unitatea muntoasă .....	15
1.3.2. Unitățile de relief deluroase .....	15
1.3.3. Caracteristici morfometrice .....	16
1.3.3.1. Hipsometria .....	16
1.3.3.2. Declivitatea .....	17
1.3.3.3. Expoziția versanților .....	17
1.3.3.4. Densitatea fragmentării reliefului .....	17
1.3.3.5. Adâncimea fragmentării reliefului .....	18
1.4. Caracteristici climatice .....	18
1.5. Caracteristici hidrologice .....	21
1.6. Caracteristici bio-pedologice.....	23
1.7. Aree naturale protejate.....	24
1.8. Populație și așezări .....	25
<b>2. Aspecte teoretice și metodologice.....</b>	<b>26</b>
2.1. Istoricul utilizării radarelor în meteorologie.....	26
2.2. Sistemul național de avertizare pentru situații de urgență meteorologice și hidrologice din punct de vedere legislativ .....	27
2.3. Colectarea datelor din teren.....	27
2.3.1. Măsurători expediționale de debit.....	27
2.3.2. Ridicări topografice .....	28
2.3.3. Măsurători nivometrice și de precipitații .....	28
2.4. Metodologii aplicate pentru determinarea hazardului de inundații .....	28
2.4.1. Utilizarea datelor radar .....	29
2.4.2. Utilizarea softului HEC-HMS în realizarea modelului de bazin .....	31
2.4.2.1. Rularea modelului în softul Hec-HMS .....	32
2.4.3. Calcularea debitelor maxime .....	32
2.4.4. Realizarea modelului hidraulic bidimensional.....	33
2.4.5. Metodologie de evaluare a hazardului de inundații .....	38
<b>3. Rezultate .....</b>	<b>39</b>
3.1. Imaginea RADAR a evenimentului meteorologic din intervalul 20 – 26 mai 2019 din bazinul Firiza .....	39
3.1.1. Temperatura.....	40

3.1.2.	Valori pluviometrice .....	40
3.1.3.	Valori nivometrice .....	43
3.2.	Scenarii de risc privind impactul viiturilor pentru diferite probabilități.....	43
3.2.1.	Modelarea inundațiilor.....	43
3.2.2.	Amploarea inundațiilor .....	44
3.2.3.	Adâncimea de inundație.....	47
3.2.4.	Viteza de inundație .....	48
3.2.5.	Evaluarea hazardului de inundații.....	50
3.2.6.	Analiză comparativă între datele oficiale privind pericolele de inundații (ANAR) și rezultatele obținute .....	54
<b>4.</b>	<b>Discuții și recomandări .....</b>	<b>57</b>
4.1.	Implementări actuale ale sistemelor nowcasting la nivel global și național.....	57
4.2.	Procesul de modelare semi – automatizat .....	57
4.3.	Managementul sustenabil al apei.....	59
	<b>Concluzii.....</b>	<b>61</b>
	<b>Bibliografie selectivă .....</b>	<b>64</b>
	<b>Listă de figuri.....</b>	<b>70</b>
	<b>Listă de tabele.....</b>	<b>71</b>

## **Mulțumiri**

Doresc să mulțumesc colectivului de cadre didactice de la Școala Doctorală de Geștiințe din cadrul Facultății de Geografie și Geologie a Universității "Alexandru Ioan Cuza" din Iași pentru sprijinul acordat în realizarea acestei lucrări. Aduc un omagiu Prof. dr. univ. Gheorghe Romanescu, care mi-a propus acest subiect și m-a îndrumat în prima perioadă a studiilor doctorale. Nu în ultimul rând, mulțumesc conducătorului meu de doctorat, Prof. dr. univ. Adrian Grozavu, sub a cărui îndrumare am reușit să îmi ating obiectivele propuse în cadrul acestui demers.

## Introducere

În ultimele decenii, schimbările climatice și intervențiile antropice asupra mediului au provocat intensificarea evenimentelor meteorologice extreme, contribuind la o creștere alarmantă a frecvenței și magnitudinii dezastrelor naturale. În mod special, inundațiile s-au remarcat ca fiind printre cele mai frecvente și devastatoare fenomene naturale, generând pagube semnificative la nivel global (Albano et al., 2020; Clarke et al., 2022). Aceste fenomene sunt exacerbate de modificările regimului climatic, care au influențat în mod direct comportamentul și dinamica bazinelor hidrografice, modificând frecvența, magnitudinea și durata inundațiilor (Hall et al., 2015; Blöschl et al., 2017).

Conform studiilor recente, impactul schimbărilor climatice asupra sistemelor hidrologice s-a dovedit fără precedent, fiind caracterizat de intensificarea proceselor extreme (Mangini et al., 2018), creșterea extinderii spațiale a zonelor afectate (Kundzewicz et al., 2013; 2018) și modificarea regimurilor sezoniere ale precipitațiilor (Serinaldi et al., 2018). În plus, factorii antropici, cum ar fi dezvoltarea urbană necontrolată, schimbarea utilizării terenurilor și degradarea infrastructurii hidrotehnice, au contribuit la creșterea vulnerabilității socio-economice și a riscurilor asociate inundațiilor (Cammerer et al., 2013; Feng et al., 2021).

Statistici globale, cum ar fi cele raportate de baza de date EM-DAT (Hoeppe, 2016), arată că pericolele climatice au crescut cu peste 300% în ultima jumătate de secol, inundațiile fiind pe locul al doilea, ca frecvență și severitate, după furtuni. Printre cauzele principale ale acestui fenomen se numără schimbările climatice și activitățile antropice necorespunzătoare, precum intervențiile necontrolate asupra luncilor inundabile și gestionarea deficitară a infrastructurii hidrotehnice (Dobrovičová et al., 2015; Rahman et al., 2021). În mod deosebit, politicile ineficiente de planificare și întreținere, precum și lipsa unor măsuri proactive de reducere a riscurilor, au amplificat vulnerabilitatea comunităților locale.

România, similar altor state membre ale Uniunii Europene (UE), se confruntă cu provocări majore în gestionarea riscului de inundații. Strategiile de atenuare a efectelor inundațiilor de-a lungul principalelor cursuri de apă sunt marcate de deficiențe semnificative, determinate de utilizarea unei infrastructuri hidrotehnice învechite și de intervențiile antropice inadecvate (Romanescu et al., 2020; Cîmpianu et al., 2021). Majoritatea lucrărilor de apărare împotriva inundațiilor au fost realizate în perioada comunistă (anii 1960–1970) și nu au fost adaptate cerințelor moderne. Extinderea urbană

în zonele cu risc ridicat, defrișările din Munții Carpați și regularizările excesive ale cursurilor de apă au contribuit la creșterea impactului inundațiilor asupra comunităților locale (Dumitriu, 2020; Costache et al., 2021).

Un exemplu semnificativ al acestor provocări este bazinul hidrografic Firiza, unde râul Firiza, unul dintre cele mai modificate cursuri de apă din bazinul râului Someș, ilustrează efectele intervențiilor antropice asupra unui sistem natural. În această zonă, lucrările hidrotehnice, inclusiv lacul de acumulare Strâmtori-Firiza și alte structuri secundare (diguri, canale colectoare, lucrări de protecție), au fost construite inițial pentru a reduce riscul de inundații și pentru a sprijini producția de energie hidroelectrică (Ciurte et al., 2019; Șerban et al., 2020). Cu toate acestea, aceste măsuri nu mai sunt suficiente pentru a face față schimbărilor recente ale regimurilor hidrologice, precipitațiilor și sedimentării, generate de schimbările climatice și intervențiile antropice.

În plus, barajul Strâmtori-Firiza, situat la 10 km nord de Baia Mare, construit în 1964, reprezintă un risc potențial semnificativ. Acumularea nu are încă un Plan de acțiune actualizat pentru cedarea barajului, conform cerințelor Directivei privind inundațiile 2007/60/CE și legislației naționale (IGSU, 2022). Această situație poate amplifica impactul unui eventual dezastru, mai ales în contextul creșterii populației și dezvoltării urbane din zona limitrofă.

Pentru a răspunde acestor provocări, prezenta lucrare propune o metodologie inovatoare pentru determinarea hazardului asociat scurgerii maxime, precum și pentru generarea unor hărți de risc de inundație mai detaliate și precise. Prin utilizarea unui model digital de elevație derivat din date LiDAR (Light Detection and Ranging), în combinație cu modelarea hidraulică bidimensională cu ajutorul programului de modelare hidraulică HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) și tehnicile avansate de scanare radar (RS), acest studiu urmărește să ofere o evaluare complexă a pericolului de inundație în bazinul Firiza. În plus, metodologia propusă va permite simularea unor scenarii de risc, corespunzătoare unor perioade de revenire de 100, 500 și 1000 de ani, pentru sectorul aval de acumulare Strâmtori – Firiza până la confluența cu râul Săsar.

Această lucrare se distinge prin aplicarea unei metodologii avansate și integrate, bazată pe combinația datelor hidrologice reale, a simulărilor matematice și a tehnologiilor LiDAR, pentru a dezvolta soluții personalizate de reducere a riscului de inundații în context local. Spre deosebire de alte studii, care utilizează date hidrologice calibrate la scara bazinului, această abordare se concentrează pe adaptarea la condițiile fizico-

geografice specifice ale zonei de studiu, oferind astfel o contribuție semnificativă la domeniul gestionării riscurilor hidrologice.

Rezultatele acestui studiu vor contribui la îmbunătățirea strategiilor de management al riscului de inundații în România, aliniindu-se la cerințele Uniunii Europene și oferind un model replicabil pentru alte zone cu caracteristici similare. Totodată, prin actualizarea Planului de acțiune pentru cedarea barajului Strâmtori-Firiza și generarea unor hărți de risc adaptate, acest proiect își propune să reducă vulnerabilitatea comunităților locale și să îmbunătățească capacitatea de reacție în fața unor evenimente extreme.

Ținând cont de cele de mai sus, în secțiunile următoare sunt prezentate datele utilizate și tehnicile dezvoltate și sunt discutate implicațiile ulterioare ale studiului.

În urma activității desfășurate începând cu anul 2015, în cadrul biroului de Hidrologie Baia Mare aparținând Administrației Bazinale de Apă Someș – Tisa, Sistemul de Gospodărire a Apelor Maramureș din cadrul Administrației Naționale Apele – Române, am identificat o serie de posibilități de îmbunătățire a sistemului de avertizare hidrometeorologică.

Ipotezele de lucru de la care am demarat elaborarea lucrării presupun îmbunătățirea tehnicilor de evaluare a hazardului inundațiilor, inclusiv posibilitatea depășirii unor deficiențe în actualul sistem de prognoze hidrologice:

1. În evaluarea hazardului inundațiilor utilizarea datelor furnizate de radarele meteo contribuie la scurtarea timpului de răspuns în caz de viitură și, implicit, la exploatarea în siguranță a acumulărilor.
2. Se pot corela modelele hidrologice și cele hidraulice, în special în cazul existenței acumulărilor.
3. Evaluarea detaliată a hazardului inundațiilor contribuie la identificarea mai clară a unor componente ale vulnerabilității populației din zonele expuse acestui tip de risc.

Principalele obiective pe care le urmărim:

- O1: Evaluarea hazardului de inundații pe baza datelor obținute de radar și a modelării hidrologice și hidraulice
- O2: Îmbunătățirea managementului de exploatare a Barajului Strâmtori – Firiza în perioade de viitură
- O3: Realizarea unei analize a hazardului de inundații pentru cartierul Ferneziu din Baia Mare, cartier situat pe cursul inferior al râului Firiza, aval de acumularea Strâmtori – Firiza până la confluența cu râul Săsar

Existența unui lac de acumulare în cadrul bazinului hidrografic al râului Firiza, îngreunează tranziția apei provenită din precipitații în debite ale unde de viitură. Astfel, apare posibilitatea utilizării a 3 modele diferite: unul pentru distribuția cantității de precipitații (generat în cazul bazinului Firiza de către radarul Igniș), un model hidrologic de bazin pentru determinarea debitului la intrarea în acumularea Strîmtori-Firiza și un model hidraulic (hidrodinamic) pentru determinarea distribuirii adâncimii și vitezei apei pe sectorul situat în aval de acumularea Strîmtori – Firiza pentru trei scenarii de probabilitate ce corespund asigurărilor de 1%, 0,2% și 0,1%.

### **Structura lucrării**

Capitolul 1 prezintă bazinul hidrografic Firiza sub aspectul caracteristicilor fizico-geografice în acord cu Directiva 2000/60/CE, ce vizează gestionarea integrată a bazinelor hidrografice pentru Europa. Astfel s-a pus accent pe caracterizarea bazinului hidrografic sub aspectul unității lui dar și al diferențierii lui față de regiunile înconjurătoare. Astfel caracterizarea tuturor elementelor privind geneza, geologia, caracteristicile reliefului, clima, hidrografia și caracteristicile hidrologice, vegetație și faună, caracteristicile pedologice, arii naturale protejate, populație și așezări, sunt tratate unitar la nivelul unității de bazin hidrografic. O atenție deosebită am acordat caracterizării modului de exploatare a acumulării Strîmtori – Firiza, ce joacă un rol central în managementul apei la nivelul bazinului hidrografic.

Capitolul 2 descrie materialele și metodele principale folosite în realizarea acestui studiu. Am ales să prezentăm în acest capitol atât legislația europeană și națională în domeniul managementului apei, cât și istoricul utilizării radarelor în prognozele meteorologice atât la nivel mondial cât și național. Principalele materiale utilizate sunt descrise atât sub aspectul aparaturii de cartare topografică cât și al celei de determinare a condițiilor de scurgere și a celor pluviometrice și nivometrice. Menționăm că colectarea datelor a avut loc în anii 2019 – 2020. Din punct de vedere digital, principalele materiale utilizate se referă la bazele de date GIS atât cele open source cât și cele realizate în cadrul perioadei de formare doctorală. În ceea ce privește metodele utilizate, acestea se diferențiază în funcție de caracteristicile analizate. Astfel, pentru interpretarea și analiza datelor radar s-au utilizat metode GIS de vectorizare și rasterizare în vederea obținerii de hărți utilizabile în procesul de modelare hidrologică de bazin. Pentru realizarea modelării hidrologice s-au realizat o serie de hărți reprezentând repartitia diferiților indici necesari la nivelul bazinului hidrografic. Datele de intrare în modelarea hidraulică au fost realizate tot



în softul GIS în sensul obținerii unor modele topografice de detaliu pentru albiile minoră și majoră. Rezultatele modelului hidraulic au fost exportate din softul de modelare și importate în GIS pentru reprezentarea spațială a adâncimilor și vitezelor undelor de viitură.

Capitolul 3 prezintă modelarea hidrologică de bazin amonte de acumularea Strîmtori-Firiza și modelarea hidraulică aval de acumularea Strîmtori-Firiza, precum și interpretarea rezultatelor obținute. În primul subcapitol s-au analizat parametrii de scurgere la nivelul bazinului hidrografic pentru ca în al doilea subcapitol să se pună accent pe analiza evenimentului hidrologic produs în intervalul 20 – 26 mai 2019. În al treilea subcapitol s-a realizat modelul hidrologic de bazin în cadrul căruia s-au utilizat datele produse de radarul Igniș, dar și informațiile colectate în timpul evenimentului hidrologic. Scopul analizei acestui eveniment a ținut strict de calibrarea modelului hidrologic cu măsurătorile efectuate de Apele Române. În al patrulea subcapitol s-a realizat modelarea hidraulică a cursului râului Firiza din aval de acumularea Strîmtori – Firiza până la confluența cu râul Săsar.

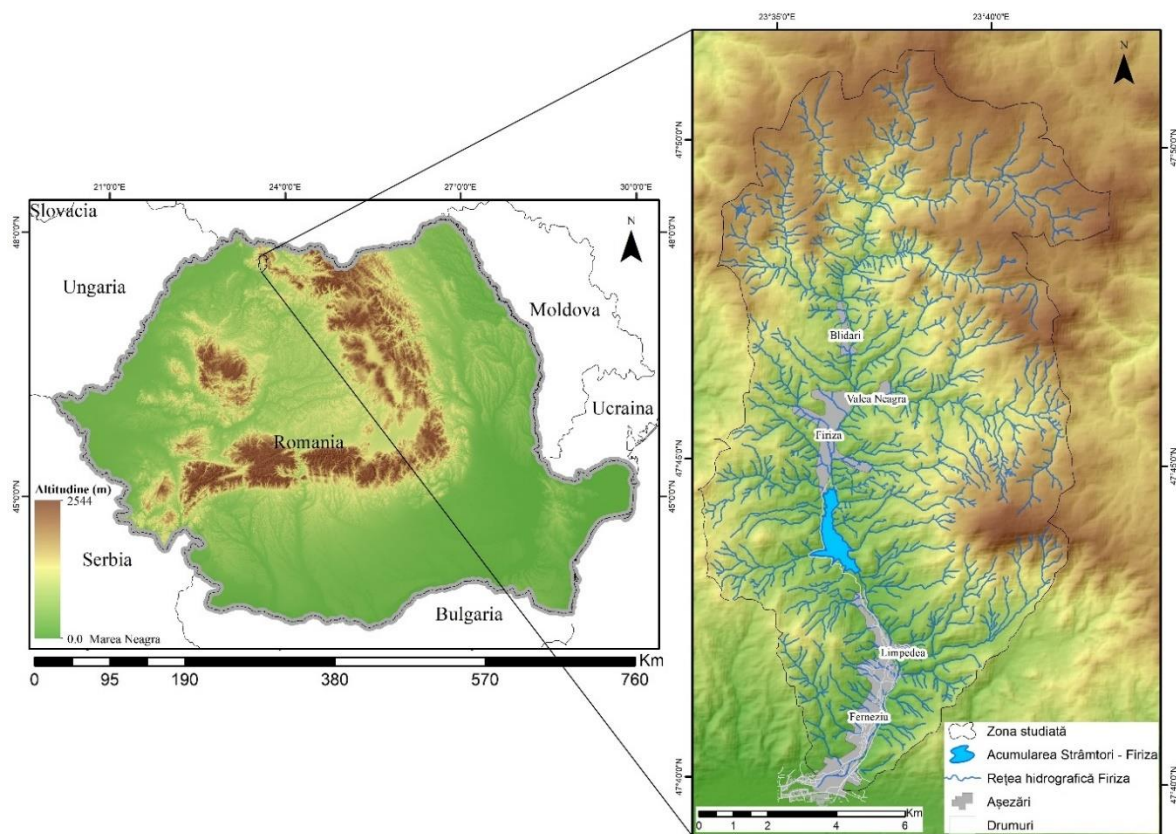
În acest cadru, ne-am propus să dezvoltăm o metodologie complexă pentru evaluarea pericolelor de inundații în contextul datelor hidrologice reale (debite medii) și matematice (debite cu perioadă de revenire diferită) prin combinarea modelelor digitale de elevație derivate din LiDAR, modelarea HEC-RAS 2D și tehnici de teledetecție. Spre deosebire de alte studii în care sunt furnizate hărți ale pericolelor de inundații pe baza datelor hidrologice calibrate la scara bazinului hidrografic, modelul a furnizat pentru zona de studiu primele hărți precise de pericol de inundații elaborate pe baza evacuării calculate pentru Strîmtori - Firiza și adaptate la geomorfologia locală prin utilizarea DEM-ului derivat din LiDAR. Prin urmare, au fost calculate trei scenarii 2D HEC-RAS cu intervale de recurență de 1% (100 de ani), 0,2% (500 de ani) și 0,1% (1000 de ani) pentru a testa capacitatea de atenuare a inundațiilor din Valea Firizei în aval pe barajul Strîmtori - Firiza. Toate scenariile s-au bazat pe descărcarea medie și descărcarea calculată la poarta de deversare a barajului Strîmtori - Firiza și corelate cu reglementările oficiale de funcționare a barajului. Rezultatele au oferit o perspectivă mai realistă asupra posibilelor amenințări de inundații în mediul urban al municipiului Baia Mare și contribuie la actualizarea Planului pentru cedarea barajului a Strîmtori - Firiza. Având în vedere cele de mai sus, în secțiunile următoare sunt prezentate datele utilizate și tehnicile dezvoltate și sunt discutate implicațiile ulterioare ale studiului.

Capitolul 4 este dedicat analizelor și discuțiilor desprinse din interpretarea rezultatelor obținute. Totodată s-a realizat o evaluare succintă a hazardului de inundații pentru fiecare din cele trei scenarii analizate.

În finalul lucrării, concluziile sintetizează efortul de obținere a rezultatelor cât și analiza acestora sub aspectul managementului apei la nivel de bazin hidrografic.

## 1. Bazinul hidrografic Firiza – trăsături geografice generale

Bazinul hidrografic Firiza este situat în nord-vestul României, în vestul județului Maramureș, acoperind o suprafață de 168.16 km<sup>2</sup> (Fig.1.1). Raportată la teritoriul național (238.391 km<sup>2</sup>), suprafața bazinului ocupă un procent de 0.07%, iar față de suprafața județului Maramureș (6.304 km<sup>2</sup>) un procent de 2.67%.



**Fig.1.1** Localizarea geografică a zonei de studiu

În coordonate geografice absolute, bazinul este cuprins între 47°39'49.727"N și 47°51'28.631"N latitudine, iar în longitudine de la 23°33'22.433"E la 23°42'51.276"E.

Din punct de vedere administrativ, unitatea studiată se suprapune aproape în totalitate cu Municipiul Baia Mare, incluzând pe alocuri și zone restrânse din localitățile învecinate: Baia Sprie, Săpânța, Giulești, Ocna Șugatag și Desești.

Din punct de vedere geomorfologic, bazinul Firiza se extinde peste trei unități de relief: Munții Igniș (în nord și est), Depresiunea Baia Mare (în sud) și Munceii Băii Mari.

Din punct de vedere al regionării hidrografice, bazinul Firiza aparține de bazinul râului Someș, având ca limită nordică bazinul hidrografic al Tisei. În ceea ce privește raionarea hidrografică, bazinul aparține de Administrația Bazinală de Apă Someș-Tisa.

## **1.1. Unitatea de bazin hidrografic**

Bazinul hidrografic reprezintă suprafața de pe cuprinsul căreia se alimentează un sistem hidrografic (Pișota, Buta; 1983). Bazinul de drenaj acționează ca o pâlnie prin colectarea tuturor apelor din zona acoperită de bazin și direcționarea lor într-un singur punct. Fiecare bazin hidrografic este separat topografic de bazinele adiacente printr-o barieră geografică, cum ar fi un interfluviu care ar aparține unor forme de terasă, deluroase sau montane. Odată cu apariția și dezvoltarea modelelor hidrologice de bazin atenția s-a mutat asupra factorilor determinanți în controlul viiturilor și inundațiilor (topografie, soluri și utilizarea terenurilor).

În hidrologie, bazinul de drenaj este o unitate logică pentru studierea circulației apei în cadrul ciclului hidrologic, deoarece majoritatea apei evacuate la gura de vărsare își are originea în precipitațiile ce cad pe suprafața bazinului. O parte din apa care intră în sistemul de ape subterane poate curge spre ieșirea din alt bazin de drenaj pentru că direcțiile de curgere a apelor subterane nu corespund întotdeauna cu cele din rețeaua lor de drenaj (DeBarry, 2004).

Bazinul hidrografic Firiza prezintă o serie de caracteristici determinate de structura rețelei hidrografice. Forma bazinului indică o dezvoltare mai mare în cursul superior și mijlociu.

O analiză pe subbazine furnizează informații detaliate despre distribuția resurselor de apă de suprafață. Bazinele situate în cursul superior din masivele vulcanice Igniș, Pietroasa, Rotunda și Pleșca contribuie cu cel mai mare aport de apă.

## **1.2. Caracteristici geologice**

Individualizarea tectonică a bazinului Firiza s-a făcut, în principal, ca urmare a mișcărilor alpine (Paucă, 1964), procesele sedimentare continuând să modeleze evoluția geologică a acestui spațiu, în alternanță cu activitatea vulcanică.

În alcătuirea petrografică a bazinului predomină două mari categorii de roci: sedimentare și magmatice.

### ***1.2.1. Roci sedimentare***

**Depozitele cuaternare (qp – qh).** Acestea sunt variate din punct de vedere litologic, incluzând depozite deluviale și glacisuri pe contrapantele masivului Preluca și pe perisinclinalul dealului Vimei. Caracteristic pentru Maramureș, depozitele deluvial-coluviale conțin blocuri de andezite și se găsesc pe versantul nord-est al masivului eruptiv Baia Mare, pe versantul de nord al muntelui Gutâi și pe corpul subvulcanic Șatra. În Cuaternar, blocul eruptiv al Băii Mari a fost supus unei ridicări, fiind intens afectat de eroziune, ceea ce a dus la expunerea orizonturilor cu mineralizații exploatare în regiune din timpuri străvechi (Paucă, 1955).

**Panonianul (pn).** Acoperă partea de vest a regiunii Baia Mare, reprezentând o coloană de umplere. Grosimea Pannonianului în această regiune este alcătuită dintr-o alternanță de nisipuri cenușii și gălbui cu stratificație încrucișată (sedimente de mică adâncime într-un mediu cu aporturi fluviale), argile și marne compacte cu pelicule de nisip fin și intercalații de resturi vegetale (Rădan & Săndulescu, 1999).

**Badenian (ba).** Caracterul transgresiv și discordant al Badenianului superior este evident în Maramureș din punct de vedere cartografic (Giușcă et al., 1967). Badenianul este reprezentat de un orizont inferior cu nisipuri, gresii, marne și tufuri riolitice caolinizate, aparținând primei faze de erupții din regiunea Baia Mare. La nord de masivul Preluca, Badenianul include tufuri bazale, calcare organogene de tip Leitha, gresii tufacee și argile tufacee, atingând o grosime de cca. 200 m.

**Paleocen – Eocen (Pg1 – Pg2).** În pânza Botizii, marnelor roșii cu globoturcane le urmează o suită paleogenă, cu caracteristici stratonomice și genetice de tip fliș (Micu, M., 1989).

### ***1.2.2. Roci magmatice***

În timpul Neogenului, magmatismul a fost activ în regiunea Baia Mare (Giușcă et al., 1967), manifestându-se prin ample fenomene vulcanice. Aceste manifestări sunt subsecvente mișcărilor tectonice, iar erupțiile vulcanice au generat produse variate, grupate în trei **panoniene și ulterioare**

În munții vulcanici de la Baia Mare, aceste erupții sunt predominant andezitice:

- **Andezitul cuarțifer de Piscuiatu** se găsește în partea sudică a zonei eruptive, între Ilba și Firiza.

- **Andezitul de Jereapăn** este răspândit est de Baia Mare și se găsește pe sedimentele panoniene la sud de Chiuzbaia (Roșu & Pécskay, 1999)
- **Andezitul bazaltoid ( $\alpha\beta$ )** ocupă cele mai întinse suprafețe din munții vulcanici Oaș-Gutâi, fiind prezent atât în partea vestică a regiunii, cât și la nord-nord-est de Baia Mare.
- **Andezitul cu hornblendă de Brezele ( $\alpha am$ )** formează curgeri de lavă în bazinul văii Negre, est de Firiza, acoperind andezitele sarmațiene și fiind prezent și sub formă de mici stâlpi pe văile Firizei și Neagră (Roșu & Pécskay, 1999).
- **Andezitul cu biotit de Gutâi ( $\alpha b$ )** constituie munții de la nord de Căvnic, reprezentând curgerile superioare din regiunea Baia Mare .

Instalarea rețelei hidrografice a început în depozitele depresionare, care au erodat sute de metri de sedimente miocene. Ulterior, râurile au pătruns în rocile fundamentului prepliocen (Coteț, 1973; Paucă, 1977). Procesul de modelare fluviatilă a depresiunii continuă, cele mai recente depozite sedimentare fiind reprezentate de straturile cuaternare, întâlnite în principal de-a lungul văilor, sub formă de nisipuri și pietrișuri pleistocene în terase și holocene în lunci, precum și pe culmile dealurilor, unde s-au acumulat argile galbene deluviale provenind din spălarea rocilor dezagregate din unitățile eruptive și cristaline învecinate (Paucă, 1964). Potrivit lui Posea (2005), în toate Dealurile de Vest se găsește o grupă de argile gălbui-roșcate cu concrețiuni fero-manganoase și nisipuri.

### 1.3. Relieful – caracteristici genetice, morfografice și morfometrice

În prezenta lucrare, pentru a caracteriza fenomenele hidrologice de risc, s-a ținut cont de caracteristicile geomorfologice ale unităților de relief (Kovacs, 2023). Aceste unități contribuie la configurarea specifică a regimului hidrologic și a riscurilor asociate inundațiilor în această zonă.

Unitățile geomorfologice din bazinul Firiza joacă un rol esențial în dinamica hidrologică a zonei, influențând regimul scurgerii de apă, procesele geomorfologice și riscurile asociate inundațiilor. Înțelegerea acestor caracteristici este fundamentală pentru planificarea măsurilor de reducere a riscurilor și pentru modelarea hidraulică avansată.

Zona de studiu se suprapune în cea mai mare parte unor unități de relief muntoase, dar și unor unități deluroase și depresionare

### ***1.3.1. Unitatea muntoasă***

Se încadrează în grupa Carpaților Maramureșului și Bucovinei (Badea, 1983), ce aparțin Carpaților Orientali.

Munții Igniș se întind pe o zonă vastă între Pasul Huta (nord-vest) și Pasul Gutin (sud-est). Unitățile înalte, cum sunt Platoul Izvoarele și Munții Pietroasa, se disting clar de peisajul înconjurător prin abrupturi pronunțate de 100–400 m. Platoul Izvoarele este cea mai înaltă și extinsă subunitate din cadrul munților Igniș, formată din curgerile succesive de lave ale vulcanilor vecini: Igniș (1307 m), Rotunda (1240 m) și Pleșca (1292 m) (Fig. 1.8), cei mai înalți din masiv (Mac & Budai, 1992). Munții Pietroasa constituie o subunitate mică, dar înaltă, cu vârfuri precum Vf. Pietroasa (1200 m) și Muntele Mic (1012 m), având abrupturi de 200–600 m față de unitățile înconjurătoare. Masivul Brezele este un con vulcanic ce leagă masivele Igniș și Pleșca. Piemontul Igniș este o unitate sedimentară pluvio-nivală cu o pantă mai mică decât unitățile adiacente. Bazinetul depresionar Chiuzbaia s-a format la limita de contact dintre munții Igniș și Munceii Băii Mari, în absența punctelor de efuzie vulcanică .

Munceii Băii Mari se află în compartimentul sudic și sud-vestic al Munților Igniș, formând o treaptă mai joasă și fragmentată, cu altitudini ce nu depășesc 900 m, cum ar fi Vf. Ostra (825 m) . Peisajul este dominat de conurile vulcanice situate pe latura sudică, cum sunt Iricău (636 m), Dealul Crucii (501 m) și Dealul Florilor (378 m). În interiorul acestui munte se găsesc câteva bazinete depresionare (Posea et al., 1980), precum Chiuzbaia, Blidar, Firiza (pe valea Firiza), Băița și Ulmoasa (pe valea Băița).

### ***1.3.2. Unitățile de relief deluroase***

Sunt incluse în grupa Dealurilor Crișanei și subgrupa Dealurilor Silvano-Someșene (Badea, 1983) , ce aparțin Dealurilor de Vest.

**Depresiunea Baia Mare.** Situată între lanțul eruptiv Igniș-Gutâi și înălțimile cristaline insulare Codru, Prisaca și Preluca, Depresiunea Baia Mare se întinde pe aproximativ 600 km<sup>2</sup>. Aceasta este deschisă către Dealurile Chioarului și Depresiunea Copalnicului și se îngustează semnificativ pe aliniamentul luncii Someșului, între Ardușat și Cicârlău, marcând trecerea către Câmpia Someșului.

Relieful, de tip colinar și de câmpie, s-a format prin modelarea formațiunilor neozoice pe un fundament cristalin scufundat, acoperit de cuverturi cuaternare etajate. Cu o altitudine medie de 200 m, relieful prezintă trei trepte morfologice:

- Fâșia înconjurătoare: compusă din glacisul piemontan îngust (Posea et al., 1980) Seini – Baia Mare – Baia Sprie, situat sub versanții sudici ai Munților Igriș-Gutâi. Aceasta include interfluviile Culmea Groșilor și Colinele Curtuișului, caracterizate printr-un teren jos și ușor nivelat, ce se tranziționează spre bazinul Copalnic. În această unitate se regăsește și bazinetul depresionar Rus – Șișești (bazinul superior al văii Cia), cu un aspect deluros și caracteristici tranzitorii față de Depresiunea Copalnic.

- Câmpia înaltă de terase: corespunzând interfluviilor dintre văile Săsar, Lăpuș, Bârsău și Someș, această treaptă de terase atinge o lățime de până la 10 km în estul depresiunii.

- Câmpia joasă: situată la altitudini sub 200 m, aceasta include lunci și terase ce se găsesc în zona de convergență hidrografică Bușag – Arieșu de Câmp. Lunca se dezvoltă pe văile principale (Someș, Lăpuș și Săsar), având adesea două trepte (1–2 m și 2–4 m) și până la 5–6 terase, unele foarte extinse. Pe valea Someșului, șesul aluvial se întinde pe 5–8 km, pe Săsar și Lăpuș se întinde pe 2–3 km, iar pe Bârsău scade sub 1 km (Posea et al., 1980).

Glacisul Băii Mari se află în condiții locale relativ simple, unde contactul între rocile eruptive și cele sedimentare este evident (Posea, 1962). Rețeaua hidrografică colectoare curge aproape paralel cu abruptul de contact, începând cu Săsarul, urmat de Lăpuș și, în final, Someșul. Deși glacisul avea condiții favorabile pentru dezvoltare, a fost constant erodat și transformat de cele trei râuri, formând terase și lunci. Aceasta explică forma sa îngustă și panta accentuată, dar uniformă. Ca rocă, glacisul se extinde pe sedimentare de vârstă pontiană și atinge în mod limitat, sub formă de treaptă, pe latura superioară a eruptivelor, care uneori formează abrupturi de circa 100 m deasupra piemontului.

### ***1.3.3. Caracteristici morfometrice***

#### ***1.3.3.1. Hipsometria***

Din punct de vedere altimetric, bazinul hidrografic Firiza marchează trecerea treptată de la unitățile montane vulcanice spre Depresiunea Baia Mare. Astfel, altitudinea generală scade treptat dinspre est spre vest și dinspre nord spre sud, atingând altitudinea minimă



(231 m) în aria de convergență hidrografică marcată de confluența Firizei cu Săsarul. Altitudinea maximă (1.308 m) se înregistrează în estul bazinului în vârful Igniș (Munții Igniș).

#### *1.3.3.2. Declivitatea*

Valoarea unghiului realizat de linia versantului cu planul orizontal definește panta versantului (Irimuș et. al., 2005). După cum precizează autorul citat, reprezentarea cartografică a valorilor acestora se poate realiza prin intermediul categoriilor de pantă. Acestea au fost aplicate și hărții pantelor generată pe baza modelului digital de elevație al bazinului hidrografic Firiza pentru a ilustra relația dintre unghiul de pantă, morfodinamica specifică și posibilitățile de utilizare antropică a terenurilor (Irimuș et. al., 2005), care au stat la baza definirii acestor intervale: 0,1 – 2° cvasiorizontală sau ușor înclinată; 2,1 – 5° moderat înclinată; 5,1 – 15° înclinată; 15,1 – 35° cu înclinare accentuată; 35,1 – 55° puternic înclinată; >55° abruptă.

#### *1.3.3.3. Expoziția versanților*

Pe baza modelului digital de elevație, a fost elaborată și harta orientării versanților, care evidențiază variațiile în insolație. Orientarea versanților determină regimul caloric al suprafeței, conținutul de umiditate, precum și aspectele cantitative și calitative ale proceselor morfodinamice și ale covorului vegetal, caracteristicile solului și influențează activitățile sociale și economice (Irimuș, 1997). În funcție de principalele direcții de expunere ale versanților, se disting următoarele tipuri de suprafețe: însorite (S, SV), semi-însorite (SE, V), semi-umbrite (E, NV) și umbrite (N, NE).

#### *1.3.3.4. Densitatea fragmentării reliefului*

Valorile maxime ale fragmentării reliefului (5,1 – 7,4 km/km<sup>2</sup>) înregistrate în vestul bazinului sunt motivate de principalele confluențe ale râului Firiza cu afluenții generați în perimetrul albiei minore. De asemenea, valori ridicate sunt observate în zona estică, la întâlnirea masivelor vulcanice. Valorile minime, cuprinse între 0 și 1 km/km<sup>2</sup>, sunt întâlnite

pe suprafețele interfluviale, cele mai extinse fiind în zona Rotunda - Pleșca și în Rotunda - Pietroasa.

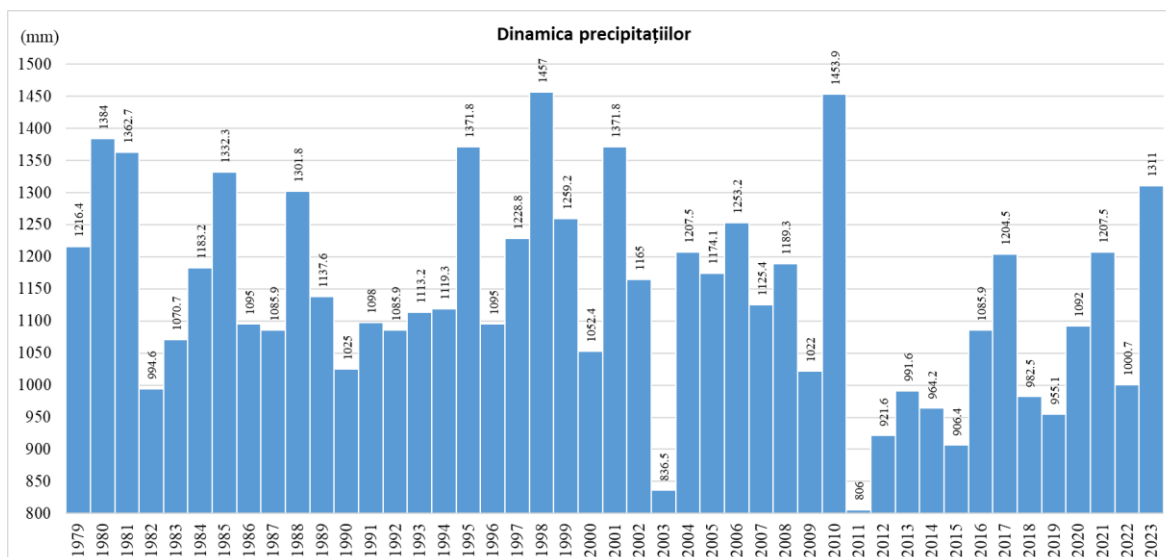
#### *1.3.3.5. Adâncimea fragmentării reliefului*

Adâncimea fragmentării este un indicator esențial al energiei de relief care influențează procesele de versant, echivalentă cu altitudinea relativă față de nivelul de bază local (Irimuș et al., 2005), în acest caz reprezentat de râul Firiza, principalul curs colector. Valorile maxime ale adâncimii fragmentării (400 – 554,3 m) se regăsesc în zonele nordice și nord-estice ale bazinului, corespunzătoare lanțului de masive vulcanice. Valorile medii ale adâncimii fragmentării (200 – 400 m) sunt întâlnite în Munceii Băii Mari și Piemontul Ignișului. Valorile cuprinse între 100 și 200 m caracterizează glacisurile și piemonturile, în timp ce cele mai mici valori (0 – 100 m) sunt asociate cu spațiile depresionare și interfluviile.

### **1.4. Caracteristici climatice**

Zona de studiu se încadrează într-un climat temperat continental cu influențe oceanice. Conform clasificării Köppen, regiunea se clasifică în tipul de climat Dfb (Beck et al., 2018). În această clasificare, D reprezintă climatul continental (în care temperatura medie a celei mai reci luni este sub 0°C și temperatura medie a celei mai calde luni depășește 10°C), f indică precipitațiile distribuite uniform pe parcursul anului (fără o perioadă secetoasă), iar b indică faptul că temperatura medie a celei mai calde luni este sub 22°C și cel puțin 4 luni din an au o temperatură medie mai mare de 10°C (Peel et al., 2007).

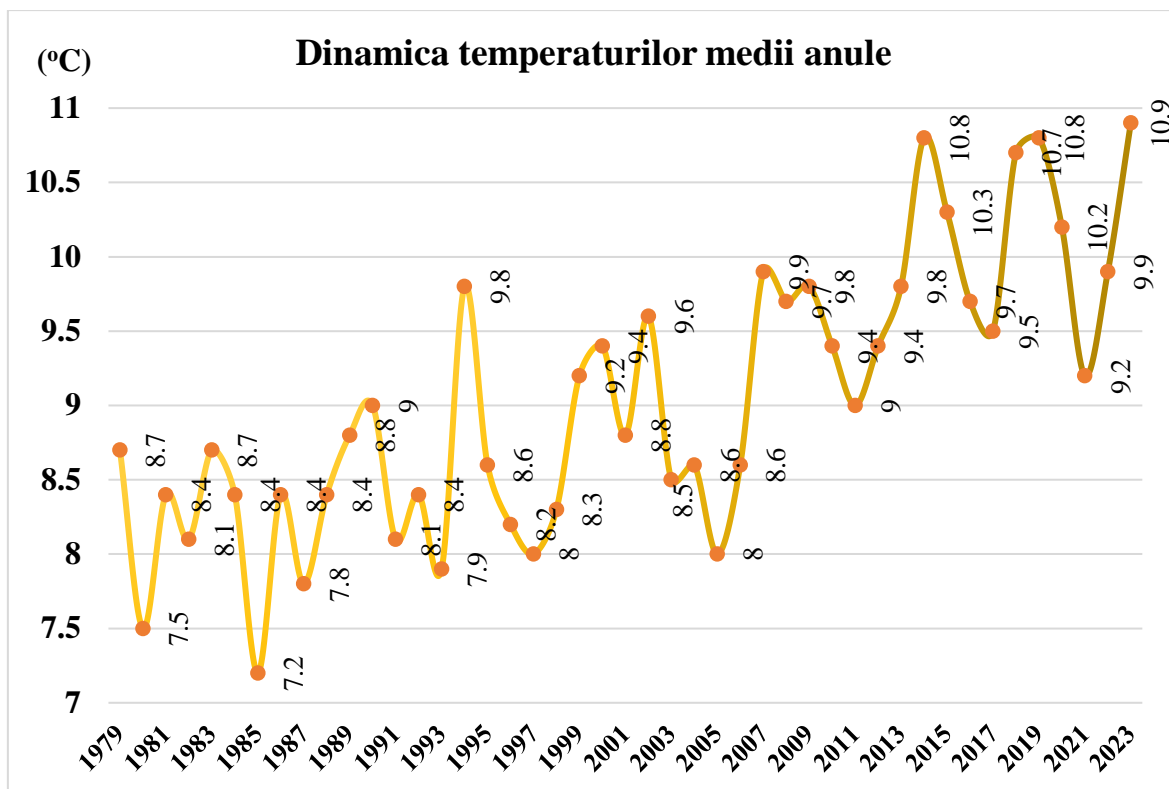
La stația meteorologică din Baia Mare, situată la o altitudine de 216 m, media anuală a precipitațiilor este de 976 mm/an, calculată pentru perioada 1961-2013. Această valoare este influențată de amplasarea Depresiunii Baia Mare în partea de nord-vest a României, sub influența circulației vestice și în apropierea Munților Gutâi, care contribuie la ascensiunea maselor de aer și la formarea norilor convectivi. Astfel, cantitatea medie de precipitații crește de la vest (aproximativ 600-700 mm/an) spre est (aproximativ 1.500 mm/an – Atlasul climatologic al R.S.R, 1966) (Fig. 1.2).



**Fig.1.2 Dinamica precipitațiilor în bazinul Firiza pe perioada 1979 - 2023 (Meteoblue).**

Perioada mai-octombrie este caracterizată de o frecvență ridicată a precipitațiilor sub formă de aversă. Cantitatea maximă absolută de precipitații înregistrată la stația meteorologică Baia Mare a fost de 121,4 mm pe 13 mai 1970. De asemenea, numărul mediu anual de zile cu precipitații de cel puțin 1,0 mm depășește 70% din totalul zilelor cu precipitații, în timp ce zilele cu precipitații de  $\geq 20,0$  mm reprezintă aproximativ 5% din total. Această distribuție indică o frecvență scăzută a fenomenelor de secetă sau ariditate în zona studiată, cu excepția anului 2000, când au fost înregistrate 33 de zile consecutive fără precipitații (24 septembrie - 26 octombrie 2000), o anomalie cauzată de condițiile secetoase la nivel național (Dragotă, 2006).

Din perspectiva termică, Depresiunea Baia Mare se încadrează în climatul continental moderat, cu ierni blânde și veri mai răcoase. Temperatura medie anuală calculată pentru perioada 1979-2023 la stația hidrometrică Firiza este de 9,03 °C (Fig. 1.3).



**Fig.1. 3 Dinamica temperaturilor medii anuale în bazinul Firiza pe perioada 1979 - 2023 (Meteoblue).**

Temperatura medie lunară minimă este înregistrată în ianuarie, cu  $-2,4^{\circ}\text{C}$ , iar cea maximă în luna iulie, cu  $19,9^{\circ}\text{C}$ . Astfel, amplitudinea termică medie anuală pentru perioada 1971-2000 este de  $21,4^{\circ}\text{C}$ , cu o amplitudine maximă de  $60,9^{\circ}\text{C}$  (Sandu & Mateescu, 2005). Stratul de zăpadă are o durată medie de aproximativ 109 zile pe an, instalându-se în principal între lunile noiembrie și martie (Sandu & Mateescu, 2005).

În nordul depresiunii Baia Mare, se observă un climat cu nuanțe de adăpost, caracterizat printr-o frecvență redusă a inversiunilor de temperatură și 100-120 zile pe an cu îngheț.

Circulația vântului este predominant vestică în perioada caldă a anului (12,5%), iar în perioada rece, direcția estică reprezintă 11,9% din circulația vântului. Direcțiile sud-estice (7,8%) și nord-vestice (6,7%) sunt, de asemenea, frecvente. Cele mai mari viteze ale vântului se înregistrează dinspre vest și nord-vest, cu valori medii de până la 4,5 m/s. Intensitatea maximă a vântului se observă în luna aprilie, în timp ce minimumul are loc în ianuarie (Tudor & Croitoru, 2014).

O analiză asupra distribuției deficitului de apă indică un areal ce ocupă cca 20% din suprafața bazinului hidrografic și se suprapune Cartierului Ferneziu și lacului de acumulare

Firiza. Excedent de apă mai mare de 100 mm/an se întâlnește doar în zona montană înaltă (la peste 900m altitudine), în nordul și estul bazinului hidrografic.

### 1.5. Caracteristici hidrologice

Firiza este principalul afluent al râului Săsar, având un bazin hidrografic care acoperă o porțiune semnificativă a zonei montane a Municipiului Baia Mare. Cu o suprafață de 168,6 km<sup>2</sup> și o lungime de 28 km, râul Firiza izvorăște din Munții Gutâi, la altitudini de 1050 – 1070 m, având o altitudine medie de 744 m. Râul se formează la confluența brațelor Rostoșa și Valea Sturului și este catalogat cadastral sub codul II.1.66.19.2. Pantă medie a râului este de 33%, iar coeficientul de sinuozitate este de 1.54. Amonte de barajul Strîmtori, panta râului depășește 36 m/km, în timp ce aval de acest baraj panta scade la 12 m/km, și în sectorul inferior (confluența Vicleanul Mare – Săsar), se reduce la 6 m/km. Zona de interes pentru intravilanul orașului se află aval de barajul Strîmtori, deoarece exploatarea lacului afectează semnificativ regimul hidrologic natural al râului Firiza.

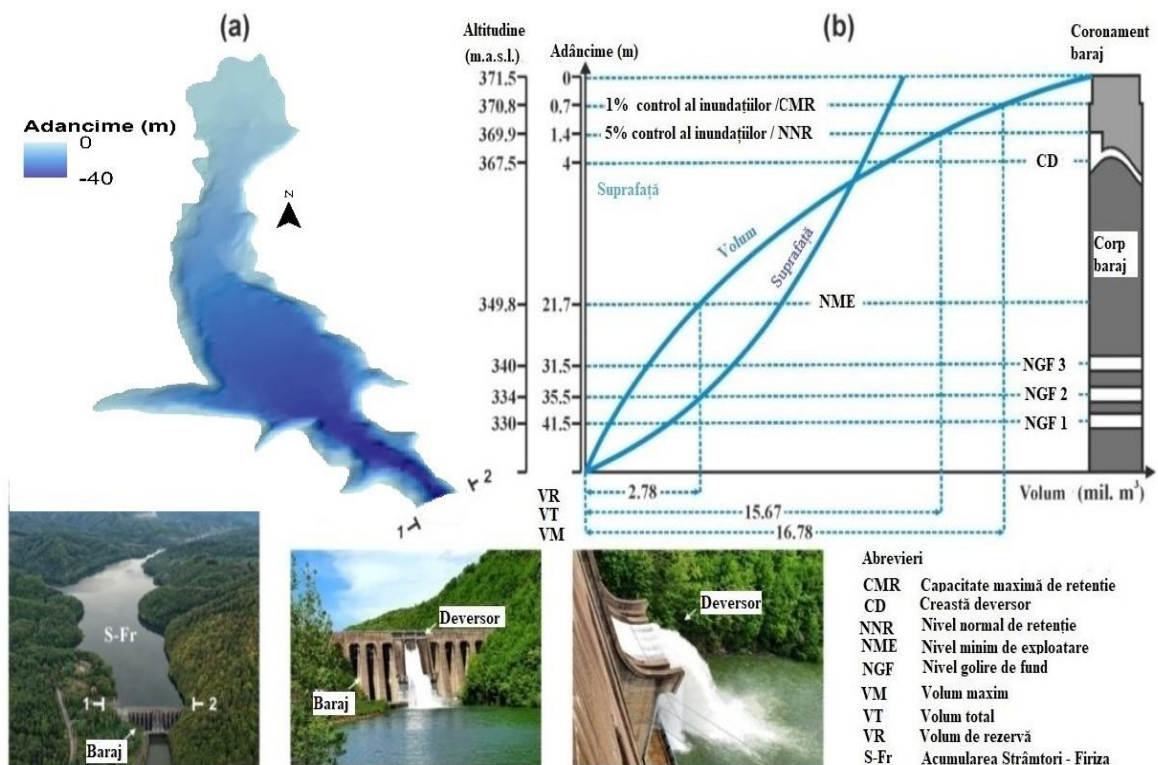
Amonte de baraj, bazinul colectează apele de pe o suprafață de 133,6 km<sup>2</sup>, situată la o altitudine medie de 799 m, în timp ce aval de baraj, Firiza și afluenții săi drenează doar 35 km<sup>2</sup>.

Râul Firiza se caracterizează printr-un debit mediu multianual de 2,44 m<sup>3</sup>/s la stația Blidari (suprafața bazinului este de 68 km<sup>2</sup>) și 4,20 m<sup>3</sup>/s la stația Firiza, aval de confluența cu Valea Neagră. La stația hidrometrică Ferneziu, pentru intervalul 1950-1967 (perioada de funcționare a stației) sunt publicate următoarele date: suprafața bazinului - 131 km<sup>2</sup>, altitudine medie -737 m, iar debitul mediu de 3,7 m<sup>3</sup>/s (mai mic decât la Firiza în prezent, ceea ce se datorează șirului scurt de măsurători, anterior perioadei de viituri 1970–1975).

Lacul de acumulare Strâmtori-Firiza este principalul lac de acumulare al sistemului hidrotehnic Baia Mare, fiind situat la 10 km în amonte, pe râul Firiza (Ciurte et al., 2019). Pe baza Clasificării Naționale a Lacurilor, Strâmtori - Firiza este încadrat ca importanță deosebită (categoria A) și în clasa I de importanță (SMIS-CSNR, 2022) datorită faptului că este singurul baraj din regiune situat în apropierea unui oraș mare (Baia Mare).

Amenajarea hidrotehnică complexă Strîmtori-Firiza are în componență:

• Barajul Strâmători - Firiza, un baraj de contrafort cu cap de ciupercă din beton cu 51,5 m înălțime și 260 m lungime, a fost proiectat și finalizat între anii 1960 și 1964 (Fig. 1.4.b). Întregul sistem hidrotehnic Strâmători - Firiza a fost construit pentru asigurarea alimentării cu apă potabilă și industrială în microregiunea minieră Baia Mare și pentru producerea de energie electrică prin hidrocentrale (Lexa et al., 2017). În ceea ce privește capacitatea de control al inundațiilor, deși Strâmători - Firiza are un nivel normal de retenție de 15,67 milioane m<sup>3</sup> (echivalent cu nivelul de control al inundațiilor cu perioade de revenire de 1%) parametrii determinați de condițiile de funcționare restrâng volumul de atenuare la doar 0,849 milioane m<sup>3</sup>. Așadar, apărarea împotriva inundațiilor în aval de Strâmători - Firiza (locul de studiu) se realizează în condiții de apă ridicată prin utilizarea deversoarelor care pot degaja un debit maxim de 252 m<sup>3</sup>/s (echivalent cu nivelul de control al inundațiilor cu perioade de revenire de 0,2%), operațiuni limitate de asemenea prin capacitatea de transport de 110 m<sup>3</sup>/s a sectorului albiei inferioare a văii Firiza. Mai multe detalii legate de volumul apei și raportul de suprafață la diferite capacități de stocare și nivelul de control al inundațiilor pentru 0,2% și perioada de recurență pentru Strâmători - Firiza sunt evidențiate în fig.1.4.b. (Ciurte et al., 2019).



**Fig.1. 4(a) Modelul batimetric 3D al acumulării Strâmători-Firiza cu rezoluție spațială de 1 m și (b) schița secțiunii transversale a barajului Strâmători - Firiza cu caracterizarea volumului de apă și a raportului de suprafață la diferite capacități de stocare și nivelul de control al inundațiilor pentru intervale de recurență de 0,2% și 1%. În fotografiile sunt evidențiate barajul Strâmători - Firiza și poarta de deversare.**

- Barajul Berdu și lacul tampon Berdu . Barajul este amplasat la circa 300 m aval de barajul Strîmtori, lacul tampon având un volum de 0,14 mil. m<sup>3</sup>. Barajul este din anrocamente cu mască din beton, cu o înălțime de 14,5 m și o lungime de 73 m (Sofronie, 2000).

## 1.6. Caracteristici bio-pedologice

Zona studiată, prin relieful caracteristic munților, oferă o varietate de versanți cu expoziții mai mult sau mai puțin însoțite și cu pante de la line spre accentuate. Aceste date asociate cu varietatea de substrat litologic, creează un mozaic stațional, tradus într-un covor vegetal eterogen, cu o alternanță de asociații vegetale, forestiere, pajiști secundare, tufărișuri de lizieră, zone umede, dar și fragmente de vegetație antropizată.

Din punct de vedere latitudinal și altitudinal, **vegetația** caracteristică este cea a etajului colinar și a celui montan. În porțiunile colinare, unde limita poate coborî la 350 m în Munceii Băii Mari, precum și în treimea inferioară a versanților, gorunetele sunt pădurile caracteristice. Ocupă versanții cu pante mai domoale, cu expoziții însoțite sau semiumbrite. Specia dominantă, *Quercus petraea*, rareori formează populații monospecifice, adesea este în amestec cu fagul, spre limita superioară a etajului, cu carpenul (carpino-gorunetele), iar cu castanul comestibil *Castanea sativa*, în stațiunile mai adăpostite și cu accente microclimatice mai blânde. Formează păduri distincte și bine dezvoltate în depresiunea Baia Mare. Pe versantul sudic al Munceilor Băii Mari, gorunul ajunge în vârful Piatra Handal la 704 m (Pătroescu & Zmeu, 2002).

**Fauna.** Extinderea vastă a pădurilor a creat un mediu favorabil dezvoltării unei faune diverse (Ardelean & Bereș, 2000). Fauna, repartizată în mare măsură în funcție de formele de relief, nu se integrează uniform în peisajul sau zona respectivă, fiind un element mobil. Multe dintre animale, în special carnivorele, se caracterizează printr-o distribuție variabilă.

În pădurile de foioase, întâlnim specii precum căpriorul (*Capreolus capreolus*), mistrețul (*Sus scrofa*), lupul (*Canis lupus*), vulpea (*Vulpes vulpes*), iepurele (*Lepus europaeus*) și jderul de pădure (*Martes martes*), printre altele.

Avifauna pădurilor mixte este reprezentată de cuibărirea a aproximativ 64 de specii de păsări. Deși pădurea de stejar nu mai constituie o unitate dominantă din cauza suprafețelor tot mai restrânse, pădurea de fag, cu extensia și masivitatea sa mai bine definite, rămâne un biotop important pentru multe păsări. Printre speciile caracteristice ale

avifaunei fâgetelor se numără huhurezul mare (*Strix uralensis*), gaița (*Garrulus glandarius*), uliul porumbar (*Accipiter gentilis*) și șoimul comun (*Buteo buteo*) (Ardelean & Bereș, 2000).

**Solurile.** Din punct de vedere pedologic bazinul Firiza este caracterizat de prezența luvosolurilor și luvosolurilor stagnice, formate pe luturi, nisipuri, argile, pe terenuri mai slab drenate. Se dezvoltă în asociație cu vegetația pădurilor de gorun sau fag și a pășunilor. Alături de acestea, eutricambosolurile litice și tipice sunt prezente începând de la altitudinea de 150-200 m, pe materialele parentale alcătuite din marne, andezite, pe versanți ușor sau moderat înclinați, cu drenaj bun. Acestea se dezvoltă în asociație cu gorunetele și șleaurile de deal, fâgete și amestec de fag cu rășinoase, în cadrul depresiunilor fiind prezente doar insular (Florea & Munteanu, 2003; Oprea, 2007).

Texturile lutoasă-lutoargiloasă și lutonisipoasă-lutoasă caracterizează o treime din suprafața bazinului, caracterizând zonele montane. Texturile lutoargiloasă și lutonisipoasă caracterizează piemonturile montane dar și unitățile deluroase și suprafețele structurale.

Texturile lutoasă și argiloasă caracterizează cea mai mare parte a depresiunilor. Văile sunt caracterizate de prezența texturii lutonisipoasă argiloasă în zonele de luncă, dar și lutonisipoasă în sectoarele deluroase.

Textura în primii 30 de centimetri ai solului reprezintă un factor determinant în modelarea viiturilor și inundațiilor (prin rata de infiltrație) dar și a eroziunii (prin rezistența la desprindere în cazul pluviudenudației și scurgerii superficiale a apei pe versant).

### **1.7. Arii naturale protejate**

Trei Situri de Importanță Comunitară incluse pe Lista siturilor rețelei Natura 2000 ocupă suprafețe în interiorul bazinului hidrografic Firiza :

- ROSPA0134 Munții Gutâi (de protecție avifaunistică SPA), având o suprafață totală de 28.406ha, se întinde pe teritoriul județului Maramureș pe teritoriul a treisprezece UAT-uri: Ocna Șugatag, Săpânța, Câmpulung la Tisa, Săraru, Sighetu Marmației, Giulești, Desești, Budești, Cavnic, Șișești, Baia Sprie, Baia Mare și Remeți.
- ROSCI0092 Igniș (de interes comunitar SCI), având o suprafață totală de 19,598 ha, se întinde pe teritoriul județului Maramureș pe teritoriul a opt UAT-uri: Ocna Șugatag, Săpânța, Câmpulung la Tisa, Sarasău, Sighetu Marmației, Giulești, Desești.
- ROSCI0003 Arboretele de castan comestibil de la Baia Mare



Alte trei arii naturale protejate sunt de interes local:

- RONPA0598 Arboretul de castan comestibil de la Baia Mare este o arie protejată de interes național ce corespunde categoriei a IV-a IUCN (rezervație naturală de tip forestier), situată în județul Maramureș, pe teritoriul administrativ al UAT Baia Mare, Baia Sprie, Tăuții-Măgherauș și Cicârlău.
- RONPA0608 Coloanele de la Limpedia - Aria protejată reprezintă o suprafață de interes geologic aflată la confluența văii Firiza cu râul Săsar, în arealul căreia se află roci metamorfice de andezite și dacite constituite din feldspat (minerale de silicați de potasiu, sodiu și calciu) de tip dom de lavă, în care, în partea centrală, apar coloane cu înălțimi de până la 15 metri
- RONPA0582 Rezervația fosiliferă Chiuzbaia, are o suprafață de 50 ha, iar din punct de vedere administrativ-teritorial, aparține de municipiul reședință de județ Baia Mare. Este o arie protejată de interes național ce corespunde categoriei a IV-a (rezervație naturală de tip paleontologic).

### 1.8. Populație și așezări

Conform datelor obținute de la evidența populației pentru anul 2014 (ultimul an în care s-a făcut statistica diferențiat pe cartierele orașului), populația municipiului Baia Mare situată pe teritoriul bazinului hidrografic Firiza se ridică la aproximativ 8713 de locuitori. Distribuția pe cartierele băimărene este prezentată în tabelul 2 (<http://www.cjmaramures.ro/demografie>).

**Tabel 1 Distribuția populației în cartierele băimărene din perimetrul bazinului hidrografic Firiza (CJ Maramureș - 2014)**

Cartiere	Ferneziu	Firiza	Total
Populație	<b>7067</b>	<b>1646</b>	<b>8713</b>

Cartierele actuale ale Municipiului Baia Mare care se încadrează pe teritoriul bazinului hidrografic Firiza au reprezentat în trecut localități componente ale municipiului. Fostele așezări sunt grupate în cartiere după cum urmează:

- Cartierul Ferneziu are în componență fostele localitățile Ferneziu și Limpedia;
- Cartierul Firiza are în componență fostele localitățile Firiza și Valea Neagră
- Cartierul Blidari este reprezentat de fosta localitate Blidari.

## 2. Aspecte teoretice și metodologice

### 2.1. Istoricul utilizării radarelor în meteorologie.

Radarele meteorologice sunt tehnologii avansate utilizate pentru analiza neinvazivă și de la distanță a atmosferei. Aceste instrumente sunt esențiale pentru determinarea poziției, direcției de deplasare și structurii formațiunilor noroase, identificarea tipului de precipitații și estimarea cantității acestora. În România, 8 radare meteorologice de tip Doppler (Fig. 2.1) monitorizează teritoriul, oferind informații detaliate despre localizarea, extinderea și intensitatea precipitațiilor atmosferice. Radarul meteorologic joacă un rol crucial în detectarea, monitorizarea și prognozarea pe termen foarte scurt a evoluției formațiunilor noroase legate de fenomene meteorologice severe. Aceste radare oferă date cu rezoluții spațiale și temporale ridicate (1 km, respectiv 6 km) (meteoromania.ro).

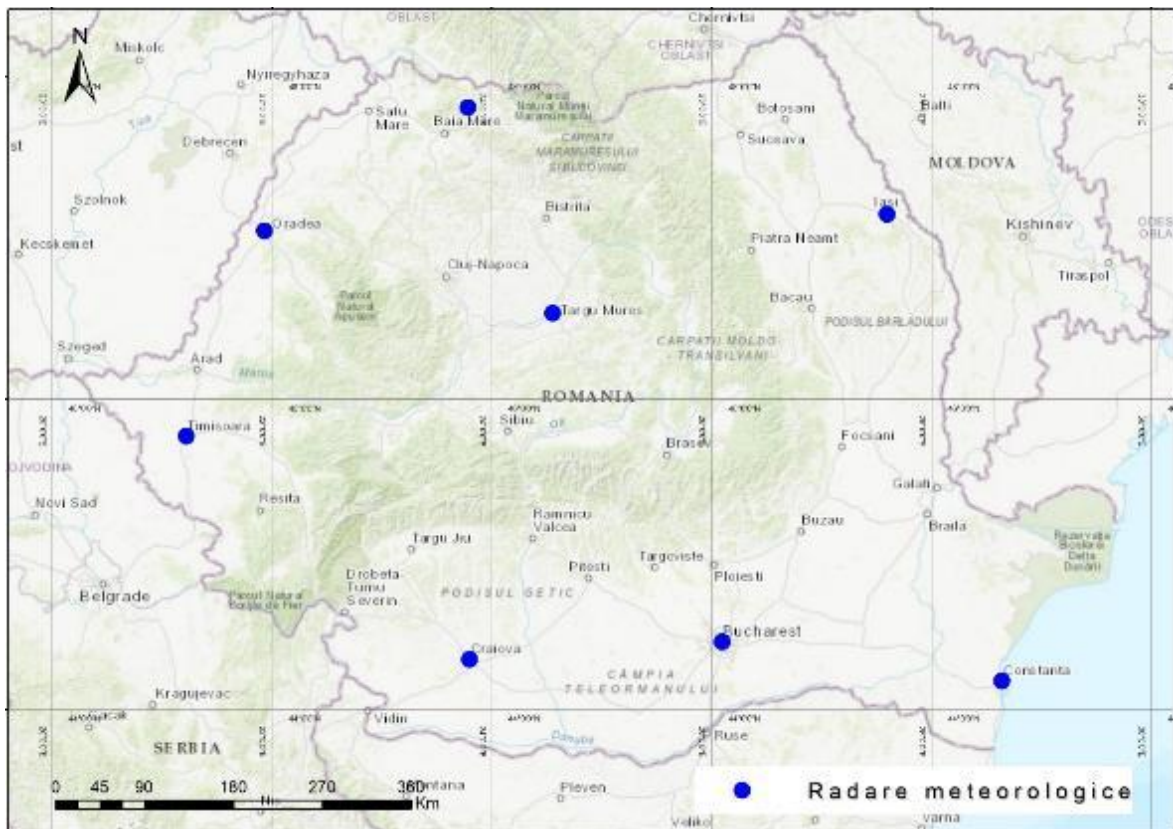


Fig.2. 1 Distribuția radarelor meteorologice la nivel național

## **2.2. Sistemul național de avertizare pentru situații de urgență meteorologice și hidrologice din punct de vedere legislativ**

Din punct de vedere legislativ situațiile de urgență hidro – meteorologice sunt cuprinse în mai multe acte normative, după cum urmează:

- Legea Apelor nr. 107/25.09.1996, cu modificările și completările ulterioare;
- Hotărârea Guvernului nr.846/2010 Strategia națională de management al riscului la inundații pe termen mediu și lung;
- Hotărâre de Guvern nr.663/2013 privind aprobarea nomelor metodologice privind modul de elaborare și conținutul hărților de risc natural la alunecări de teren și inundații;
- Hotărâre de Guvern nr.972/2016 pentru aprobarea Planurilor de Management al Riscului la Inundații aferent celor 11 administrații bazinale de apă și fluviul Dunărea de pe teritoriul României;
- Legea siguranței digurilor nr.259/2010, republicată;

## **2.3. Colectarea datelor din teren**

### ***2.3.1. Măsurători expediționale de debit***

În perioada 2019 – 2020, în arealul de studiu , au fost realizate măsurători și observații hidro – meteorologice, pentru determinarea parametrilor de scurgere la nivel de bazin hidrografic. Activitatea de teren s-a desfășurat în toate sezoanele, pentru a putea surprinde toate posibilele situații cu privire la regimul de scurgere a râului Firiza.

Măsurătorile de debit au fost realizate pe tot ecartul de nivel înregistrat, atât în sezonul cald când se înregistrează niveluri și debite mici, cât și în perioade cu precipitații abundente și pe perioade de viitură.

Pentru perioadele de scurgere normală, măsurătorile au fost realizate cu ajutorul moriștii hidrometrice. În perioadele cu debite scăzute, măsurătorile au fost realizate cu ajutorul anemometrului elector – magnetic .

În perioadele de viitura și în perioadele în care s-au realizat descărcări prin descărcătoarele de ape mari din acumularea Strîmtori – Firiza, măsurătorile au fost

realizate cu ajutorul echipamentelor de tipul ADCP (Acoustic Doppler current profiler), echipament aflat în dotarea Stației Hidrologice Baia Mare.

### ***2.3.2. Ridicări topografice***

Ridicările topografice au fost realizate în trei secțiuni de monitorizare, doua amonte de acumulare Strîmtori – Firiza și una aval de acumulare. Măsurătorile au fost efectuate cu ajutorul nivelei topografice și a GPS RTK. Pe baza datelor topografice au fost întocmite profile topografice transversale și longitudinale pentru determinarea suprafeței de scurgere și a pantelor.

### ***2.3.3. Măsurători nivometrice și de precipitații***

În perioadele în care s-a înregistrat depunere de strat de zăpadă în bazinul hidrografic Firiza, au fost realizate observații și măsurători nivometrice, necesare calculării rezervei de apa cantonată în stratul de zăpadă la nivelul bazinului. valorile determinate fiind comparate cu datele obținute de la platforma nivometrică automată, situată pe Vf. Igniș.

Cantitatea de precipitații la nivelul bazinului au fost determinata cu ajutorul a doua stații pluviometrice cu colectare clasică (manuală) și patru pluviometre cu transmitere automată.

## **2.4. Metodologii aplicate pentru determinarea hazardului de inundații**

Modelul propus pentru procesul de determinare a hazardului de fenomene hidrologice periculoase presupune utilizarea datelor radar în determinarea debitelor din sectoarele de râu monitorizate. Primul pas constă în corelarea rezultatului scanării radar cu măsurătorile de debit în vederea validării și calibrării datelor de către modelul hidrologic de bazin Hec – HMS. Pasul doi constă în crearea de scenarii hidraulice cu ajutorul softului Hec – RAS. Valorile de debit obținute din modelul hidrologic sunt utilizate pentru modelele hidraulice în anumite scenarii cu diferite probabilități de recurență. Schema modelului (Fig.2.2) redă pașii folosiți pentru obținerea rezultatelor.

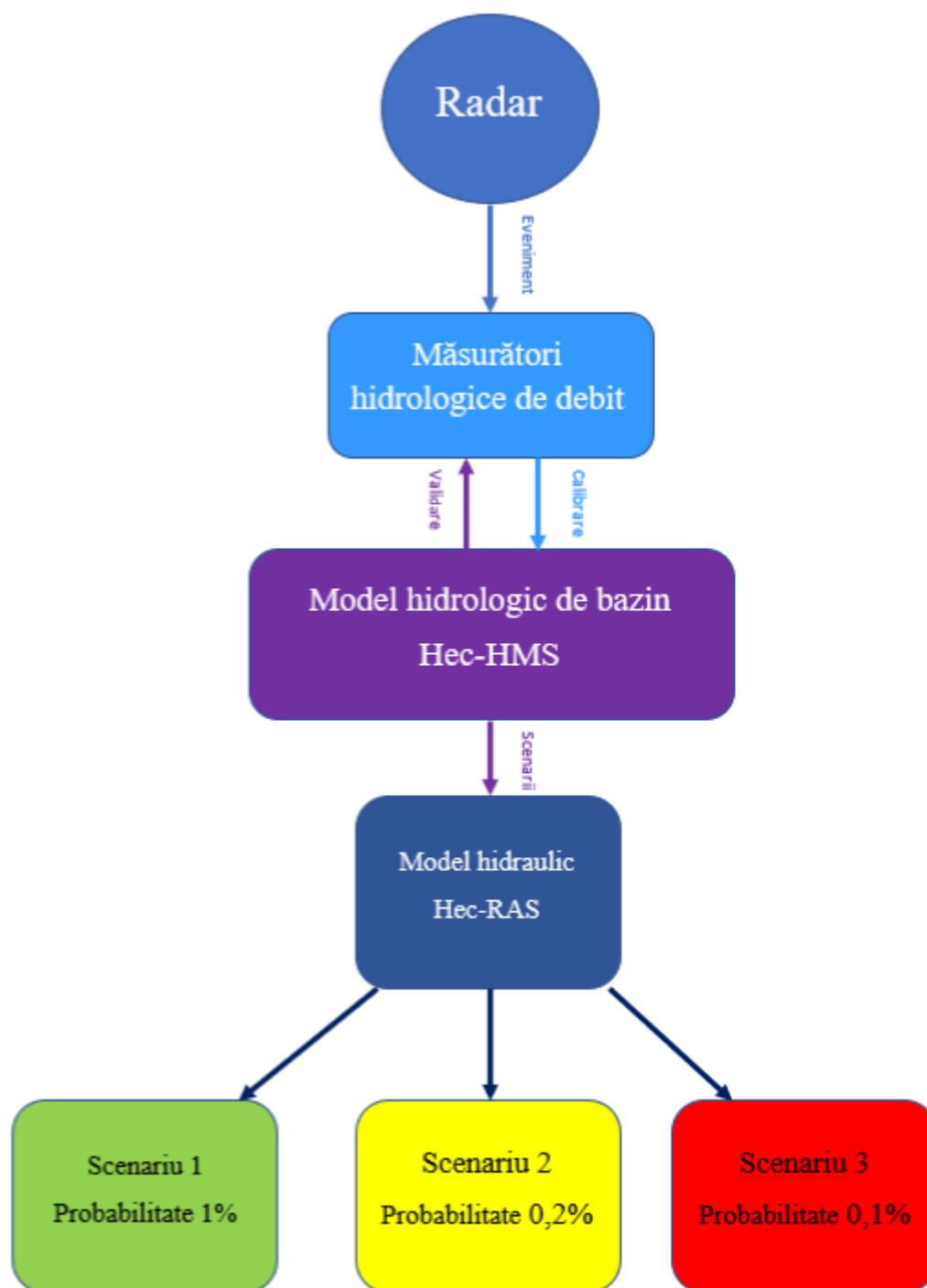


Fig.2.2 Modelul conceptual al abordării semi-automatizate - reprezentare schematică

#### 2.4.1. Utilizarea datelor radar

Pentru bazinele hidrografice cu date reduse pentru măsurarea fluxului și structuri de regularizare (precum lacurile de acumulare), modelarea bazinelor hidrografice reprezenta până recent singura metodă disponibilă pentru calcularea valorilor de descărcare - deși

dificil de calibrat (Koka, 2012). Însă acum, cu disponibilitatea datelor radar privind precipitațiile, au început să se dezvolte modele de precipitații pentru bazinele hidrografice, mai ales pentru cazurile când bazinul nu are suficiente pluviometre. Valorile exacte ale precipitațiilor sunt o contribuție critică pentru calibrarea unui model de bazin hidrografic, iar rezoluția acestor date este critică în ceea ce privește spațiul și timpul (spațio-temporal). Datele radar oferă o distribuție spațio-temporală și o precizie care, în general, lipsesc din datele pluviometrului.

Furtunile convective puternice și ploile torențiale provoacă adesea inundații rapide, care pot duce la pagube economice semnificative și, în unele cazuri, la pierderi de vieți omenești. Ploile abundente evoluează foarte repede și afectează zone limitate; astfel, sunt foarte greu de prezis (Sokol et al., 2021).

Deși previziunile generale determină bine condițiile atmosferice potrivite pentru furtunile severe, adică, în general, sunt de succes, în prezent nu suntem în măsură să precizăm cu suficientă acuratețe locația și ora exactă a apariției acestora și specificul diferitelor manifestări ale furtunilor individuale (de exemplu, ploaie abundentă, tunete, fulgere) pentru a reduce substanțial daunele și/sau pierderile succesive. Motivul principal este că, pe măsură ce furtunile se dezvoltă rapid, acestea sunt identificate de radarele meteo în doar câteva zeci de minute înainte de a se manifesta pericolos. În cazul datelor satelitare, punctele de convecție sunt identificate puțin mai devreme; cu toate acestea, rămâne dificil de determinat dacă convecția va duce la furtună cu impact pericolos sau nu.

Prognozele nowcasting folosesc patru grupuri de bază de metode. Primul grup este format din metode de extrapolare, care se bazează pe starea actuală a atmosferei. Esența acestor metode de extrapolare este calculul unui vector de mișcare și extrapolarea acestuia de-a lungul traiectoriilor lagrangiene. Metodele de extrapolare nu folosesc prognozele furnizate de modele numerice de predicție a vremii; în schimb, folosesc numai datele radar. Al doilea grup de metode de prognozare a precipitațiilor, numite metode mixte, combină metodele de extrapolare cu prognozele prin modele numerice de predicție a vremii. Al treilea grup de metode de prognozare a precipitațiilor cuprinde instrumente de inteligență artificială, cum ar fi rețelele neuronale. Spre deosebire de metodele de extrapolare, modelele bazate pe inteligența artificială nu aplică în mod explicit extrapolarea de-a lungul traiectoriilor lagrangiene. Al patrulea grup de metode de prognoză a precipitațiilor se bazează pe aplicarea modelelor conceptuale pentru a simula evoluția (Wilson & Roberts, 2006).

În prezent, există o serie de sisteme de prognoză care prezic precipitații și alte evenimente meteorologice periculoase și care sunt utilizate operațional de serviciile meteorologice (Sokol et al., 2021).

Informații despre unele dintre sistemele de prognoză, precum și compararea acestora pot fi găsite pe paginile web ale serviciilor meteorologice naționale individuale. O comparație detaliată a unora dintre sisteme a fost făcută cu ocazia Jocurilor Olimpice de la Sydney (Pierce et al., 2004) și Beijing (Wilson et al., 2010).

La nivel european două state utilizează metode automatizate în care sunt folosite radarele meteorologice pentru prognozele hidrologice: Cehia (Novak et al., 2021) și Olanda (Heuvelink, 2020).

La nivel mondial sunt frecvent utilizate metode automatizate ce vizează exclusiv zone urbane de dimensiuni mari cum este cazul Dallas - SUA (Pulkkinen, 2020), Torino – Italia (Cremonini, 2015) sau Hanovra - Germania (Shehu, 2021).

Prognoze axate pe bazine hidrografice utilizând studiul unor evenimente hidrologice au fost făcute în Franța (Caseri, 2016), Anglia (Lewis, 2017), Tailanda (Chitwatkulsiri, 2022), Elveția (Panziera, 2016) sau Spania (del Moral, 2020).

#### ***2.4.2. Utilizarea softului HEC-HMS în realizarea modelului de bazin***

Soft-ul Hec HMS utilizează o serie de parametri pentru a caracteriza bazinul hidrografic și distribuția precipitațiilor, respectiv, a scurgerii. Acești parametri diferă în funcție de zona climatică, geomorfologie și acoperirea terenului, astfel încât este important să fie selectați parametrii corecți pentru zona de studiu. În continuare sunt prezentați doar parametrii selectați.

Suprafața bazinului hidrografic Firiza a fost împărțită în cinci subbazine, patru amonte de acumulare Strâmțori – Firiza și unul aval, modelarea hidrologică fiind realizată doar pentru cele patru bazine aflate amonte de acumulare. Pentru delimitarea subbazinelor s-a ținut cont și de acoperirea cu pluviometre pe întreg bazinul hidrografic. Ca studiu de caz, a fost analizat evenimentul hidrologic din perioada 20-26 mai 2019, deoarece pentru acest interval au fost disponibile atât date hidrometrice de la stațiile amplasate pe râul Firiza, cât și imagini radar cu precipitațiile cumulate la nivelul bazinului hidrografic. Pentru rularea modelului hidrologic de bazin în programul HEC-HMS, a fost necesară prelucrarea și adaptarea datelor de intrare pentru a corespunde cerințelor modelului

### 2.4.2.1. Rularea modelului în softul Hec-HMS

Datele prelucrate în extensia Hec-GeoHMS au fost importate în softul Hec-HMS. Au fost introduse seriile de precipitații înregistrate de radarul Igniș în intervalul 20 – 26 mai 2019, și a fost setat punctul de ieșire din bazin (în lacul de acumulare Strîmtori-Firiza) ca punct pentru generarea datelor de debit. Rezultatul modelării este prezentat în figura 2.5 ca tabele atribut numerice.

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
W20	133	20.3	23May2019, 04:20	57.92
Outlet1	133	20.3	23May2019, 04:10	57.89

Fig.2.2 Fereastra de afișare a finalizării modelării în softul Hec-HMS

### 2.4.3. Calcularea debitelor maxime

Pentru calcularea perioadele de revenire și probabilitățile asociate debitelor maxime, s-a utilizat distribuția Pearson III. Această metodă este recunoscută și aplicată de către Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor (INHGA) în analiza debitelor maxime care apar în mod natural.

Pentru determinarea valorilor de debit maxim la diferite perioade de revenire au fost utilizate valorile maxime de debit anual înregistrat pe perioada 1963 – 2023. Valorile obținute au fost reprezentate tabelar (tabelul 4) grafic, atât cele ale distribuției Pearson III cât și a distribuției Weibull (Fig. 2.6)

Tabel 2 Valori de debit maxim determinat pentru diferite perioade de revenire

Revenire Interval (Ani)	Probabilitatea %	Maxim Q (m <sup>3</sup> /s)	Limita de probabilitate 95%	
			Maxim(m <sup>3</sup> /s)	Minim (m <sup>3</sup> /s)
1000	0.1	447	707	317
500	0.2	252	361	192
200	0.5	202	279	158
100	1	169	227	135
50	2	140	182	114



25	4	114	143	94.8
10	10	83.6	101	71.8
5	20	63.4	74.1	55.6
2	50	38.7	43.7	34.2
1.25	80	24.6	28.1	21.0
1.05	95	16.6	19.5	13.5

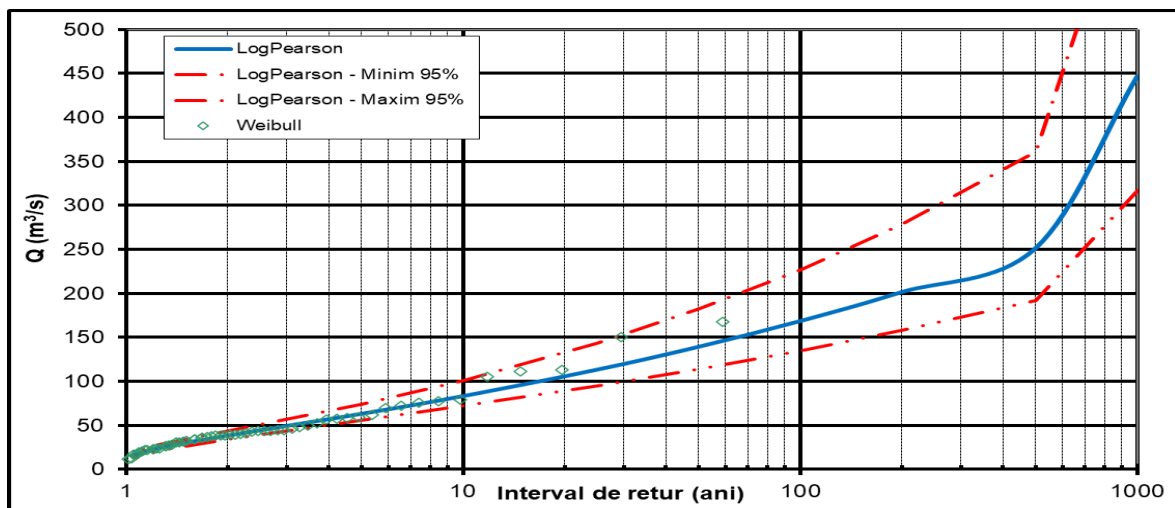


Fig. 2.6 Reprezentarea grafică a valorilor de debit pentru diferite perioade de revenire

#### 2.4.4. Realizarea modelului hidraulic bidimensional

HEC-RAS este un software open-source lansat în 1995 de U.S. Army Corps of Engineers (USAGE) cu capacitatea de modelare a pericolului de inundație (Balica & Wright, 2009; Brunner, 2016a; 2016b; Teng et al., 2017; Samanta et al., 2018). În acest studiu, toate scenariile de inundații au fost calculate folosind versiunea 5.0.7 a HEC-RAS.

În general, modelarea pericolului de inundație bazată pe software-ul HEC-RAS necesită date precise cu privire la datele de teren (de exemplu, coeficientul de rugozitate derivat din DEM) și datele de debit (de exemplu, debitul râului). Software-ul HEC-RAS este capabil să simuleze pericolul de inundație folosind trei metode diferite: model unidimensional de flux instabil (Bush et al., 2022), model bidimensional de flux instabil și modelare hibridă 1D-2D (Jonoski et al., 2019; Brunner, 2020; Mitsopoulos et al., 2022; Samarasinghe et al., 2022).

Sistemul HEC-RAS include mai multe componente pentru analiza râurilor, cum ar fi:

- calculul profilului de suprafață a apei în condiții de curgere constantă;
- simularea curgerii instabile atât în mod unidimensional, cât și bidimensional;

- calculul transportului de sedimente în zonele de mobilitate a acestora;
- analiza calității apei.

Un aspect esențial al sistemului este că toate cele patru componente utilizează o reprezentare geometrică comună a datelor și rutine de calcul hidraulice și geometrice integrate. Pe lângă aceste componente, sistemul oferă și funcții suplimentare de proiectare hidraulică care pot fi utilizate după ce profilurile de bază ale suprafeței apei au fost calculate. În această lucrare, au fost utilizate metodele de modelare cu curgere constantă (debit fix) și reprezentările grafice și tabelare oferite de HEC-RAS. Pentru a valida modelarea inundațiilor 2D bazată pe debitul calculat, a fost efectuat un test de debit pentru a verifica precizia calibrarea modelului hidrologic și stabilitatea hidraulică a LiDAR-ului utilizat (Ahmad et al., 2022; Awadallah et al., 2022).

### **Calculul profilului de suprafață a apei cu curgere constantă**

Această componentă a sistemului este destinată să calculeze profilurile de suprafață a apei pentru debite constante variate treptat. Poate gestiona o rețea completă de canale, un sistem dendritic sau un singur râu. Componenta cu debit constant este capabilă să modeleze profilurile suprafeței apei în regimuri de curgere subcritice, supercritice și mixte.

Procedura de calcul se bazează pe soluția ecuației energiei unidimensionale. Pierderile de energie sunt evaluate prin frecare (folosind ecuația lui Manning) și prin contracție/expansiune (coeficientul este înmulțit cu modificarea epurei vitezei). Ecuația impulsului poate fi utilizată în cazurile în care profilul suprafeței apei variază rapid, inclusiv pentru regimuri de curgere mixte (de exemplu, salturi hidraulice), caracteristicile hidraulice ale podurilor și evaluarea profilurilor la confluența râurilor.

### **Grafică și raportare**

Graficele generate includ diagrame X-Y ale schemei sistemului fluvial, secțiuni transversale, profile, curbe de evaluare și curbe hidrografice. De asemenea, sunt disponibile diagrame tridimensionale ale secțiunilor transversale multiple. Cartografierea inundațiilor este realizată prin intermediul secțiunii HEC-RAS Mapper a software-ului, unde utilizatorii pot crea hărți detaliate ale zonelor afectate de inundații.

Având în vedere că în aval de Strâmtori - Firiza este o zonă foarte populată (cartierul Ferneziu al municipiului Baia Mare) au fost utilizate date precise pentru zona studiată (de exemplu, DEM derivat din LiDAR, model batimetric, date hidrologice, coeficient de rugozitate pentru toate categoriile de utilizare a terenului), modelarea 2D este cea mai bună metodă pentru a testa extensia inundațiilor în sectorul inferior al Văii Firiza. Mai mult,

pentru modele de acuratețe 2D au fost integrate clădirile din zonele urbane în DEM-ul final derivat din LiDAR.

Unul dintre avantajele modelelor hidraulice 2D este că se pot surprinde modificările (creșterile și scăderile) adâncimii apei sau vitezei apei pentru fiecare celulă. Având în vedere că software-ul HEC-RAS este capabil să genereze o dirijare instabilă a fluxului folosind două ecuații diferite: (1) complet Saint Venant (numită și ecuația de impuls complet) și (2) și (3) ecuația undei de difuzie (Brunner, 2016a, 2016b; Mehedi; et al., 2022; Yazdan et al., 2022), a fost modele 2D cu Ecuația (1), Ecuația (2) și Ecuația (3). Cu toate acestea, se recomandă utilizarea acestei ecuații pentru a obține o stabilitate ridicată a modelelor și un timp de calcul mai rapid.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) = - \frac{n^2 p g \sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} - g h \frac{\partial \zeta}{\partial x} + p f + \frac{\partial}{\rho \partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\rho \partial y} (h \tau_{xy}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) = - \frac{n^2 q g \sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} - g h \frac{\partial \zeta}{\partial y} + q f + \frac{\partial}{\rho \partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\rho \partial x} (h \tau_{xy}) \quad (3)$$

Unde: h – adâncimea apei (m); p – debit specific pentru direcțiile x (m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>) și q – debit specific pentru direcțiile y (m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>); ζ – cota suprafeței (m), g – accelerația gravitațională (ms<sup>-2</sup>); n – Coeficientul de rugozitate al lui Manning; ρ – densitatea apei (kg m<sup>-3</sup>), τ<sub>xx</sub>, τ<sub>yy</sub> și τ<sub>xy</sub> – componentele efective de forfecare; f – Coriolis (s<sup>-1</sup>). Când este selectată unda difuzivă, termenii inerțiali ai ecuațiilor de impuls sunt neglijați (Ecuația (2) și Ecuația (3)).

Așadar, primul pas a fost de a importa modelul numeric al terenului în modulul RAS Mapper și de a crea modelul sub-grid (Fig.2.7a) care reprezintă o rețea poligonală în care fiecare celulă are informații despre terenul subiacent. În modelarea 2D, fiecare celulă din rețea este similară cu o secțiune transversală din modelarea hidraulică 1D. Prin urmare, zona de curgere 2D (Fig.2.7a) conectată direct cu barajul Strâmtori - Firiza a fost creată pe baza suprafeței de inundare care constă în > 67.000 de celule cu 64 m<sup>2</sup> fiecare. În acest fel, putem surprinde cât mai multe caracteristici de teren derivate din LiDAR.

Au fost stabiliți coeficienții de rugozitate specifici fiecărei categorii de acoperire a terenului din locul de studiu. În acest context, datorită faptului că amplasamentul de studiu este o zonă tipică de luncă montană, rugozitatea luncii inundabile a categoriilor de utilizare a terenului a fost atribuită conform specificațiilor Gallegos et al., (2009) Fig.2.7b). După ce geometriile au fost create și a fost stabilit coeficientul de rugozitate, primul pas în modelarea fluxului 2D constă în stabilirea limitelor de scurgere. În acest pas alegem punctul de început și punctul final al suprafeței de inundare în zona de curgere.

După ce au fost create datele în program și a fost stabilit coeficientul de rugozitate, primul pas în modelarea fluxului 2D constă în stabilirea condițiilor limită, ceea ce înseamnă că datele de inundații de-a lungul limitelor zonei de curgere 2D trebuie atribuite. Prin urmare, trebuie atribuite hidrografele de debit și condițiile normale de adâncime care reprezintă panta medie a albiei râului pentru a aduce apa în zona de curgere 2D.

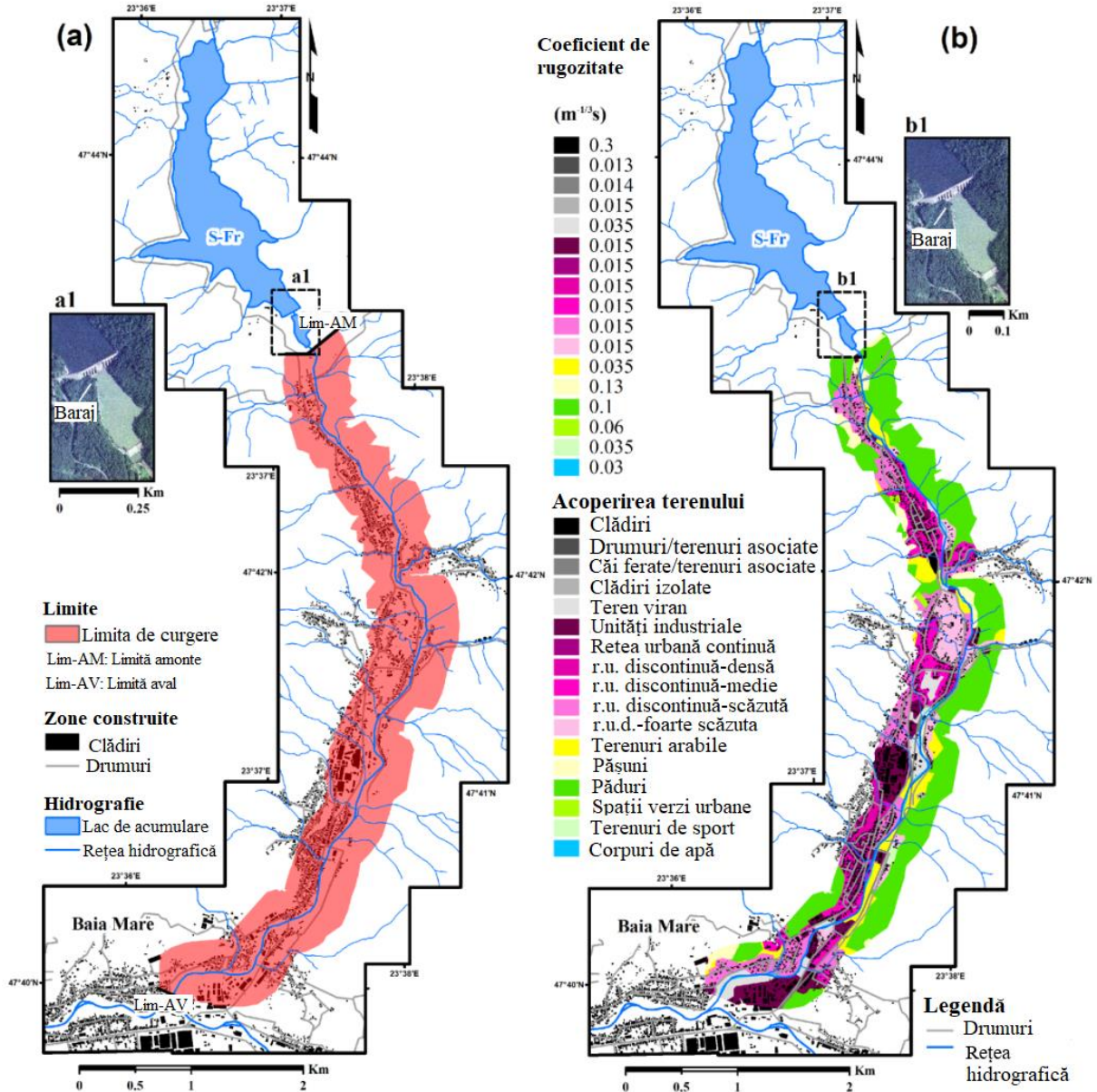


Fig.2. 7 Rezultatele modelului hidrologic 2D în aval de acumulare Strâmtori-Firiza: (a) Starea limită împreună cu zona de curgere 2D și rețeaua de curgere pe locul de studiu; (b) Utilizarea terenurilor în zona de studiu și valoarea coeficientului de rugozitate "Manning's (n)" ( $m^{-1/3}s$ ) pentru fiecare clasă

Pentru condiția de limită din amonte care reprezintă punctul de început al valului de viitură au fost utilizate hidrografele de curgere, iar pentru condiția de limită din aval care reprezintă punctul final al unde de viitură au fost utilizate limitele de scurgere în talveg ceea ce înseamnă media pantei albiei.

Condițiile de delimitare din amonte în care debitele pentru 24 de ore reprezintă starea de curgere impusă au fost amplasate la poarta de deversare a barajului Strâmtori - Firiza, iar starea limită impusă a nivelului apei a fost amplasată în limitele DEM, în apropierea confluenței Firiza și Săsar și s-a folosit o energie a pantei de  $10^{-4} \text{ mm}^{-1}$ .

În studiul nostru de caz, au fost simulate trei scenarii și, pentru fiecare model de inundații rezultat, au fost introduse un hidrograf și condițiile normale de limitare a adâncimilor. Toate cele trei hidrografe aveau o durată de 24 de ore, cu valori înregistrate în fiecare oră.

Scenariile de inundații cu perioade de revenire de 1%, 0,2% și 0,1% au fost calculate folosind măsurătorile hidrologice obținute din regulile oficiale de funcționare a lacului de acumulare Strâmtori-Firiza. Pentru toate cele trei scenarii, condițiile de limită în amonte au fost create cu o precizie temporală de o oră în timpul curgerii apei pentru o perioadă de 24 de ore. Scenariul de debit mediu utilizat pentru acuratețea simulării inundațiilor în secțiunea anterioară a fost realizat în aceleași condiții. Prin urmare, în cazul primului scenariu (S1) cu perioade de revenire de 1% (100 de ani) se ia în considerare un debit de  $168 \text{ m}^3/\text{s}$ , în cazul celui de-al doilea scenariu (S2) cu o perioadă de revenire de 0,2% un debit de  $252 \text{ m}^3/\text{s}$  și în cazul celui de-al treilea scenariu (S3), un debit de  $447 \text{ m}^3/\text{s}$  cu o perioadă de revenire de 0,1% (Tabelul 5).

**Tabel 3 Volumul apei (milioane m3) și caracteristicile suprafeței (m) din acumularea Strâmtori-Firiza la diferite debite  $Q_{\max}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) calculate pentru perioade de revenire de 100 de ani, 500 de ani și 1000 de ani**

Perioadă de revenire	Volumul apei (Milioane m3)	Cota suprafeței apei (m)	$Q_{\max}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
100 - ani	15.67	369.90	168
500- ani	16.62	370.80	252
1000- ani	17.39	371.50	447

Estimarea timpului de calcul este o etapă crucială în proiectele de modelare 2D. Stabilitatea modelelor hidraulice 2D HEC-RAS poate fi afectată de timpul de calcul incorect. Mai mult, un pas mare poate crea atenuarea vârfului de inundație, iar un pas de timp mic poate duce la o perioadă de calcul foarte lungă. Pentru timpul de calcul adecvat am folosit Condiția Courant (Ecuția (4)):

$$C = \frac{V_w \Delta T}{\Delta X} \leq 1; \quad \Delta T = \frac{\Delta x}{V_w}; \quad V_w = \frac{dQ}{dA} \quad (4)$$

unde: C – numărul Courant;  $\Delta T$  – pas de timp (s);  $\Delta x$  – pas de distanță (m) sau avg. dimensiunea celulei bidimensionale;  $V_w$  – viteza undei de inundație (m/s);  $dQ$  –

modificarea debitului pe un interval scurt de timp ( $Q_2 - Q_1$ );  $dA$  – modificarea ariei secțiunii transversale într-un interval scurt de timp ( $A_2 - A_1$ ). Conform ecuației (4), a fost utilizat un pas de timp de 10 secunde pentru a rula modelul (Brunner, 2016a).

Rezultatele modelului hidrologic 2D în aval de acumularea Strâmători-Firiza: (a) Starea limită împreună cu zona de curgere 2D și rețeaua de curgere pe locul de studiu; (b) Utilizarea terenurilor în zona de studiu și valoarea coeficientului de rugozitate "Manning's (n)" ( $m^{-1/3}s$ ) pentru fiecare clasă

#### 2.4.5. Metodologie de evaluare a hazardului de inundații

În general, există numeroase studii dedicate evaluării impactului inundațiilor în zonele urbanizate, dintre care cele mai utilizate metode de clasificare se bazează pe suprafața inundată. În această abordare, am folosit produsul raster direcția și viteza apei de la RAS Mapper pentru a clasifica riscul de inundații.

Conform tehnicii dezvoltate de Institute for Disaster Resilience din Australia (AIDR, 2017), am împărțit gravitatea pericolului de inundații în 6 clase:

- H1 ( $FD \cdot FV \leq 0,3 \text{ m}^3/s$ )
- H2 (interval  $FD \cdot FV$  între  $> 0,3 \text{ m}^3/s$  și  $\leq 0,6 \text{ m}^3/s$ )
- H3 (interval  $FD \cdot FV$  între  $> 0,6 \text{ m}^3/s$  și  $\leq 1,2 \text{ m}^3/s$ )
- H4 (interval  $FD \cdot FV$  între  $> 1,2 \text{ m}^3/s$  și  $\leq 2 \text{ m}^3/s$ )
- H5 (interval  $FD \cdot FV$  între  $> 2 \text{ m}^3/s$  și  $\leq 4 \text{ m}^3/s$ )
- H6 ( $FD \cdot FV > 4 \text{ m}^3/s$ ) (Tabelul 3.3).

**Tabel 4 Clasificarea pericolului de inundații elaborată de Australian Institute for Disaster Resilience (AIDR)**

Clase de pericol	* FD·FV ( $\text{m}^3/s$ )	Descriere pericol de inundație
H1	$\leq 0.3$	Vehicule, persoane și clădiri în general sigure
H2	$\leq 0.6$	Nesigur pentru vehicule mici
H3	$\leq 1.2$	Nesigur pentru vehicule, copii și vârstnici
H4	$\leq 2$	Nesigur pentru vehicule și pentru toate categoriile de locuitori
H5	$\leq 4$	Toate tipurile de construcție vulnerabile la daune structurale și/sau la defecțiuni
H6	$> 4$	Toate tipurile de construcție considerate vulnerabile la defecțiuni.

\* FD – adâncimea de inundare; FV – viteza viiturii..

..

### **3. Rezultate**

#### **3.1. Imaginea RADAR a evenimentului meteorologic din intervalul 20 – 26 mai 2019 din bazinul Firiza**

Pornind de la imaginile radar și repartiția valorilor de precipitații înregistrate în intervalul 20 – 26 mai 2019, utilizând și valorile înregistrate la stațiile pluviometrice, utilizând modelul hidrologic de bazin Hec-HMS, au fost calculate valorile de scurgere la intrarea în acumularea Strîmtori-Firiza, de unde rezultă variațiile de volum și nivel ale acumulării. În funcție de aceste oscilații, se decide atât modul de exploatare al consumului de apă cât și modul de deversare în cazul unor situații hidrologice periculoase. Valorile de deversare au fost introduse în modelul hidrodinamic Hec-RAS pentru calculul nivelelor de inundație în albia majoră a râului Firiza aval de acumularea Berdu.

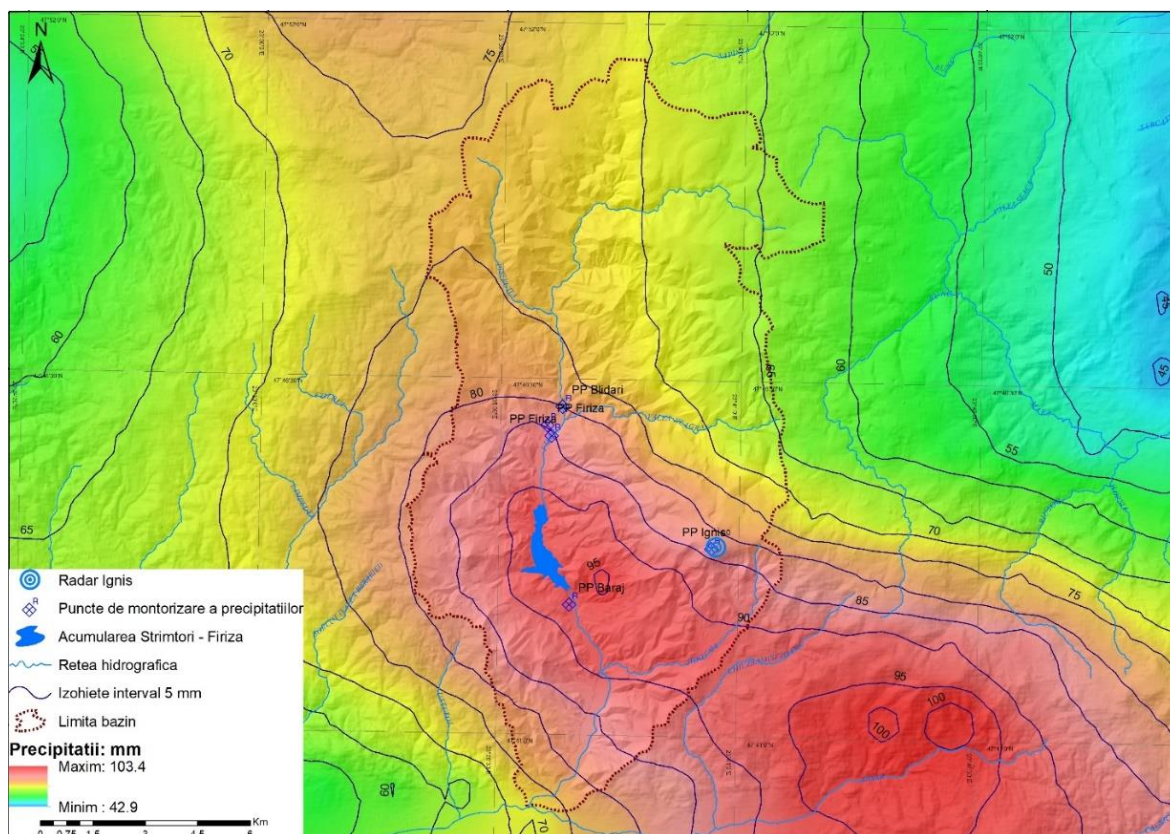
Imaginile produse de radarul situat pe Vârful Igniș (1.307m) din Munții Igniș acoperă integral zona de studiu (Fig. 3.1.).

Radarul calculează valori diferite de precipitații pe unitate de suprafață, valorile fiind disponibile în format numeric. Datele ASCII au fost convertite în fișiere raster cu ajutorul soft-ului ArcGIS.

Valorile de precipitații înregistrate la un interval de 15 minute în cursul evenimentelor hidrologice din intervalul 20 – 26 mai 2019 au fost apoi utilizate pentru a genera modelul hidrologic de bazin.

Pentru a putea determina parametrii de scurgere la nivel de bazin hidrografic au fost utilizate datele rezultate din observații și măsurători realizate pe parcursul anilor 2019 și 2020, deoarece evenimentul hidro - meteorologic analizat s-a petrecut în această perioadă.





**Fig.3. 1 Prelucrare GIS a datelor PAC produse de radarul Ignis**

### **3.1.1. Temperatura**

Temperatura joacă un rol esențial în modelele hidrologice ale bazinelor hidrografice, influențând procesele hidrologice cheie precum evapotranspirația, topirea zăpezii, infiltrarea și scurgerea de suprafață. Integrarea temperaturii în modelele hidrologice ajută la înțelegerea și prognozarea comportamentului hidrologic al unui bazin, mai ales în contextul schimbărilor climatice. În acest context au fost utilizate observațiile zilnice de temperatură de la secțiunea Firiza, din anii 2019 – 2020.

### **3.1.2. Valori pluviometrice**

Datele zilnice de precipitații înregistrate la stațiile pluviometrice clasice, din bazinul Firiza, au fost centralizate pentru determinarea cantității totale lunare și anuale de precipitații căzută în anul 2019 și 2020.

În anul 2019 situația a fost următoarea:

**Secțiunea Baraj Firiza.** Valoarea maximă de precipitații înregistrată în 24 de ore a fost de aproape 60 mm în data de 21 mai 2019.



În cursul anului 2019 s-au înregistrat un număr de 11 zile cu precipitații mai mari de 20mm. În primele șase luni ale anului s-au înregistrat un număr de 6 zile cu precipitații mai mari de 30mm, totalizând mai mult 230 de mm, dintr-un total anual de peste 1070mm, reprezentând aproape un sfert din totalul anual. Specific acestor zile este caracterul torențial al precipitațiilor.

Precipitațiile maxime s-au înregistrat în lunile mai, ianuarie și noiembrie, iar precipitații minime în lunile februarie, aprilie și septembrie. Amplitudinea anuală depășește 240 mm.

**Secțiunea Firiza.** Valoarea maximă de precipitații înregistrată în 24 de ore a fost de aproape 50 mm în data de 21 mai 2019. În cursul anului 2019 s-au înregistrat un număr de 11 zile cu precipitații mai mari de 20mm. În primele șase luni ale anului s-au înregistrat un număr de 5 zile cu precipitații mai mari de 30mm, totalizând mai mult 185 de mm, dintr-un total anual de peste 1110mm, reprezentând aproape 20% din totalul anual. Specific acestor zile este caracterul torențial al precipitațiilor.

Precipitațiile maxime s-au înregistrat în lunile mai, ianuarie și noiembrie, iar precipitații minime în lunile februarie, aprilie și octombrie. Amplitudinea anuală depășește 240 mm.

În anul 2020 situația a fost următoarea:

**Secțiunea Baraj Firiza.** Valoarea maximă de precipitații înregistrată în 24 de ore a fost de aproape 40 mm în data de 04 iulie 2020. În cursul anului 2020 s-au înregistrat un număr de 16 zile cu precipitații mai mari de 20mm. În primele șase luni ale anului s-au înregistrat un număr de 5 zile cu precipitații mai mari de 30mm, totalizând aproape 170 de mm, dintr-un total anual de peste 1140mm, reprezentând aproape 20% din totalul anual. Specific acestor zile este caracterul torențial al precipitațiilor.

Precipitațiile maxime s-au înregistrat în lunile iulie, februarie și octombrie, iar precipitații minime în lunile ianuarie, aprilie și octombrie. Amplitudinea anuală depășește 190 mm.

**Secțiunea Firiza.** Valoarea maximă de precipitații înregistrată în 24 de ore a fost de peste 45 mm în data de 10 august 2020. În cursul anului 2020 s-au înregistrat un număr de 10 zile cu precipitații mai mari de 20mm. În primele șase luni ale anului s-au înregistrat un număr de 3 zile cu precipitații mai mari de 30mm, totalizând aproape 105 de mm, dintr-un

total anual de peste 1220mm, reprezentând aproape 10% din totalul anual. Specific acestor zile este caracterul torențial al precipitațiilor.

Precipitațiile maxime s-au înregistrat în lunile iulie, februarie și octombrie, iar precipitații minime în lunile ianuarie, aprilie și octombrie. Amplitudinea anuală depășește 190 mm.

Tendința generală a precipitațiilor cumulate pe parcursul unui an a arătat o scădere treptată, cu unele excepții notabile în care cantitatea totală de precipitații a fost mai mare decât media multianuală. Această scădere generală este contrabalansată de o schimbare semnificativă în natura precipitațiilor, observându-se o creștere notabilă a frecvenței și a proporției precipitațiilor torențiale. Între anii 2008 și 2023, datele indică o creștere de aproximativ 15% în cantitatea de precipitații asociate cu ploi torențiale în raport cu totalul anual de precipitații.

Această schimbare sugerează nu doar o modificare în distribuția precipitațiilor pe parcursul anului, dar și o intensificare a fenomenelor extreme. Ploile torențiale, caracterizate prin intensitate mare și durată scurtă, par să devină tot mai frecvente, indicând o posibilă modificare a tiparelor climatice regionale sau globale. Această tendință poate avea implicații semnificative asupra gestionării resurselor de apă, agriculturii și infrastructurii, fiind necesară o adaptare corespunzătoare la aceste schimbări în cadrul strategiilor de planificare și prevenire a riscurilor climatice. (Fig. 3.2.).

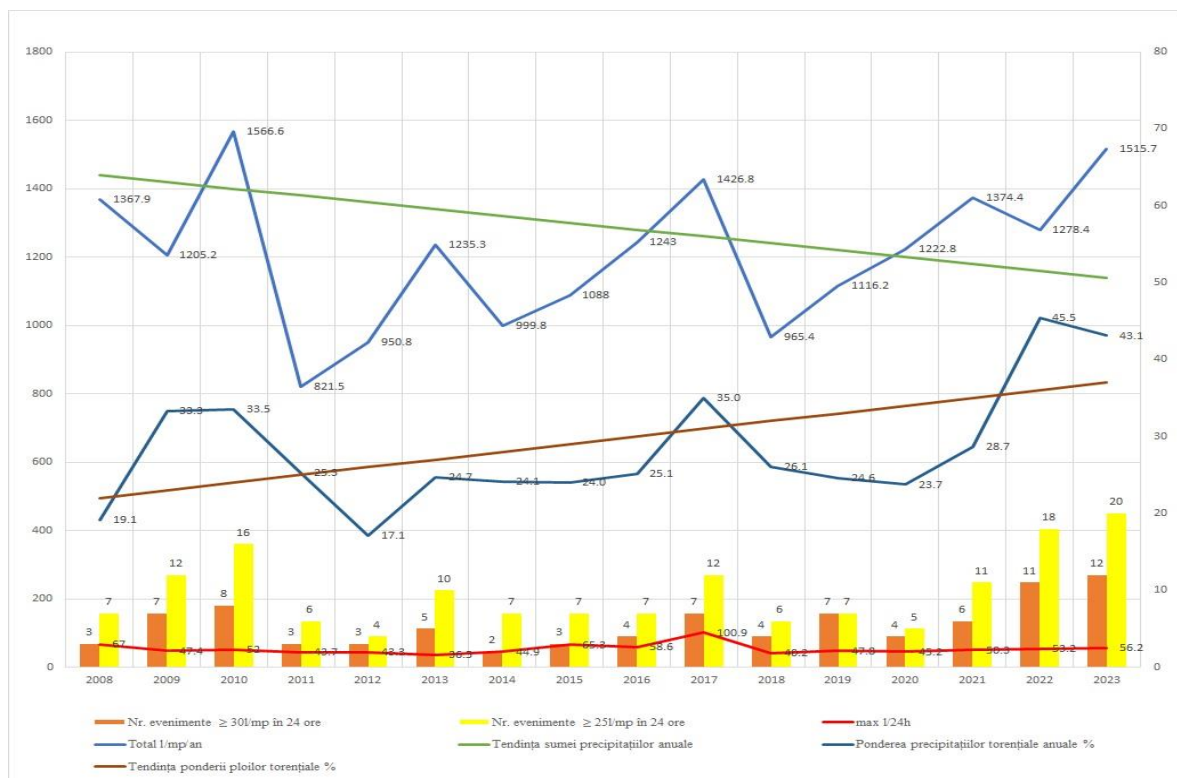


Fig.3. 2 Evoluția precipitațiilor în perioada 2008 - 2023 în zona Firiza (SGA Maramureș)

### 3.1.3. Valori nivometrice

În figura 3.3 se remarcă pentru anul 2019 valori maxime atât ale grosimii stratului de zăpadă cât și ale rezervei de apă, în timp ce rezervele minime se înregistrează în luna martie. De remarcat este lipsa unui strat consistent de zăpadă la începutul lunii decembrie.

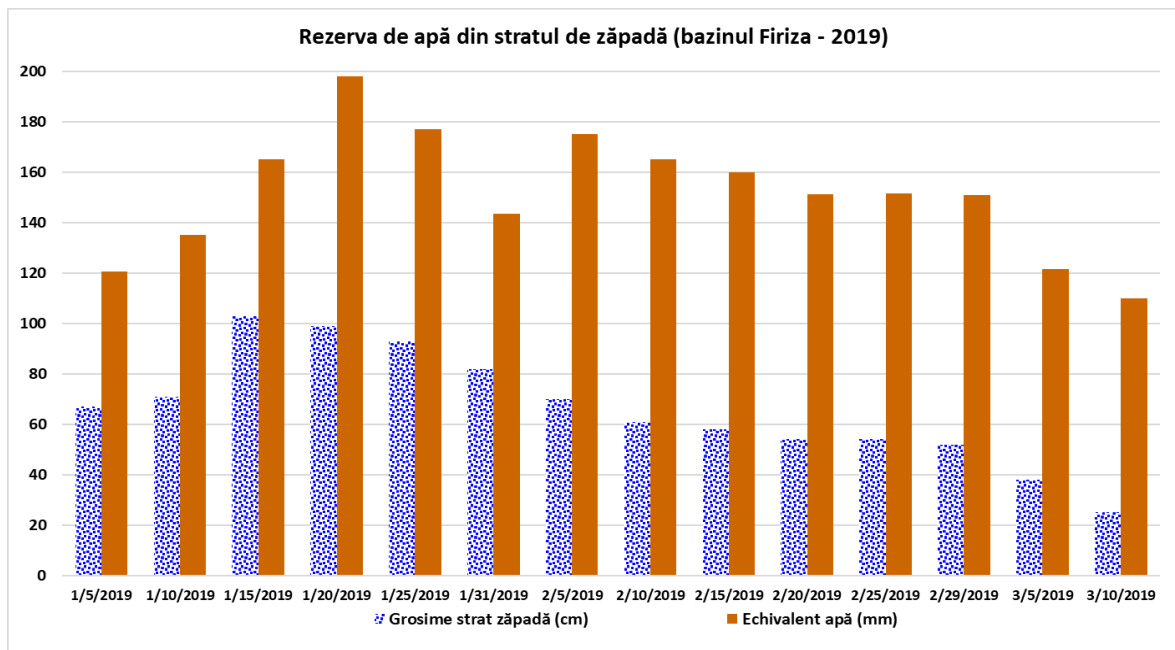


Fig.3. 3 Valori pentadale reprezentând rezerva de apă raportată la grosimea stratului de zăpadă înregistrate la secțiunile de monitorizare în anul 2019 (SGA Maramureș)

În cursul anului 2020 nu au fost căderi de precipitații solide care să favorizeze depunerea de strat de zăpadă, motiv pentru care nu a fost generat un grafic de valori.

## 3.2. Scenarii de risc privind impactul viiturilor pentru diferite probabilități

Realizarea scenariilor de risc pentru impactul viiturilor implică evaluarea probabilității de apariție a viiturilor și estimarea consecințelor asupra mediului, infrastructurii și populației. Acest proces este esențial în gestionarea riscurilor hidrologice, planificarea teritorială și protecția comunităților vulnerabile.

### 3.2.1. Modelarea inundațiilor

Pentru a analiza modelul de extindere a inundațiilor, a fost exportată limita de inundație ca fișier vectorial din RAS Mapper. Pentru evaluarea impactului inundațiilor, au

fost calculate adâncimea apei și viteza apei ca fișiere raster. Prin urmare, HEC-RAS are capacitatea de a exporta ca fișiere vectoriale și raster fiecare scenariu hidraulic: S1 – 1% (100 de ani), S2 – 0,2% (500 de ani) și S3 – 0,1% (1000 de ani) perioade de revenire.

### 3.2.2. Amploarea inundațiilor

Evenimentele de inundații ipotetice în aval de Strâmători - Firiza conform celor trei scenarii hidraulice pot inunda o suprafață de 54,07 ha (din care 17,56 ha intravilan) pentru S1, 75,19 ha (din care 25,44 ha intravilan) pentru S2, și 103,66 ha (din care 40,07 ha suprafață urbană) pentru S3 (fig.3.24). Pe baza rezultatelor privind extinderea inundației pentru fiecare scenariu, putem concluziona că răspunsul Văii Firiza (locul de studiu) s-a dovedit a nu fi eficient în diminuarea extinderii inundației. Susținem această afirmație prin faptul că amploarea inundațiilor crește exponențial de la scenariul cu cea mai mică perioadă de recurență (1%) la cel mai grav (0,1%). Conform unei analize amănunțite a intravilanelor care ar putea fi afectate de inundații, 380 de clădiri (15,68% din clădiri) ar putea fi afectate de inundații în cazul S1, 609 clădiri (25,15% din clădiri) în cazul S2. și 910 clădiri (37,57% din clădiri) în cazul S3 (Tabelul 7).

**Tabel 5 Impactul inundațiilor în zona urbană în aval de Strâmători - Firiza calculat pentru scenarii cu perioade de revenire de 1%, 0.2% și 0,1%.**

Categoría de utilizare a terenului / suprafața totala (ha)	Perioadă de revenire		
	1%	0.2%	0.1%
Structură urbană discontinuă / 112,1 (ha)	0.01	0.41	0.96
Structură urbană discontinuă / 112,2 (ha)	3.01	4.49	7.13
Structură urbană discontinuă / 112,3 (ha)	2.26	3.69	7.04
Structură urbană discontinuă (ha) / 112,4	7.99	9.99	13.03
Structuri izolate / 133 (ha)	0.27	0.36	0.37
Unități industriale, comerciale, publice, militare și private / 121 (ha)	1.74	2.94	6.49
Teren fara folosinta curenta / 134 (ha)	1.38	1.96	3.04
Facilități sportive și de agrement / 142 (ha)	0.83	1.11	1.24
Teren arabil (culturi anuale) / 211 (ha)	4.17	6.60	9.07
Pășuni / 231 (ha)	1.20	1.65	2.61

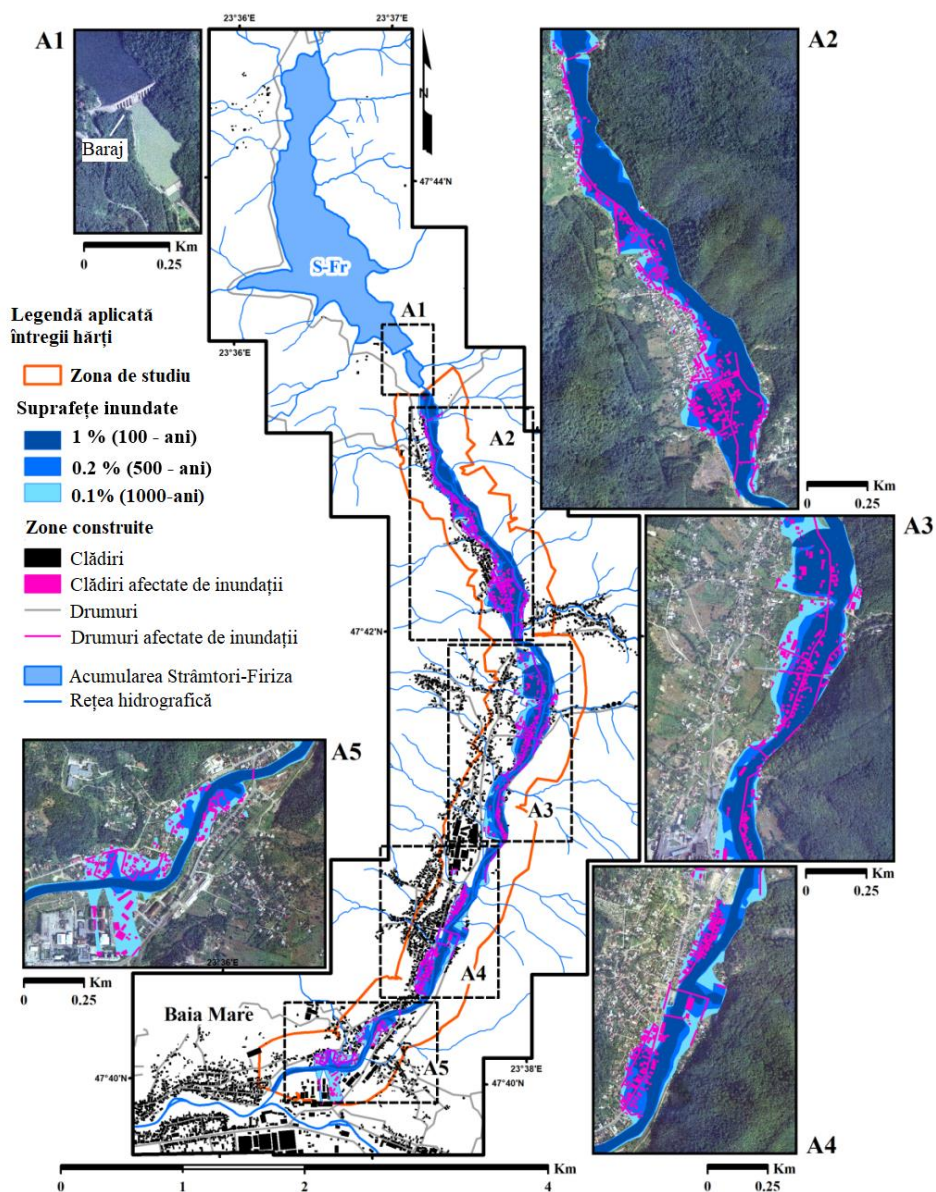
Păduri / 313 (ha)	28.43	37.30	45.28
Apă / 511 (ha)	1.33	2.24	3.59
Drumuri (km)	3.87	6.08	9.19
Drumuri asociate teren (ha)	0.65	1.05	2.02
Căi ferate și teren asociat (ha)	0.80	1.40	1.79
Suprafața totală afectată (ha)	<b>57.94</b>	<b>81.27</b>	<b>112.9</b>
Clădiri (nr.)	380	609	910
Căi ferate (km)	0.29	0.9	1.58

Pentru primul scenariu de inundație (1%, 100 de ani), 57.94 ha sunt potențial afectate din care 17,56 ha în mediul urban. Cele mai afectate categorii de utilizare a terenului includ: vegetația forestieră (28,43 ha), structura urbană discontinuă (13,27 ha), terenul arabil și culturile anuale (4,17 ha), zonele industriale (1,74 ha), terenurile neutilizate curent (1,38 ha), pășunile (1,2 ha), corpul de apă și zonele umede (1,33 ha), precum și 3,87 km de drumuri și 0,29 km de căi ferate. Următoarele categorii de utilizare a terenului sunt afectate <1 ha: structuri izolate, facilități de agrement, drumuri asociate terenuri, căi ferate și teren asociat. Referindu-ne la locuitorii aflați în aval de Strâmtori - Firiza care pot fi potențial afectați de extinderea inundației cu o perioadă de recurență de 1%, estimăm un număr între 750 și 1.000 de persoane, calculat pe baza clădirilor situate în zona de inundabilitate.

Conform celui de-al doilea scenariu (0.2%, 500 de ani) o suprafață afectată de 81.27 ha, din care 25,44 ha în zona construită sunt potențial afectate. Ca și în cazul primului scenariu, categoriile cele mai afectate sunt suprafața de vegetație forestieră (37,30 ha), structură urbană discontinuă (18,58 ha), terenurile arabile/culturile anuale (6,6 ha), unitățile industriale, comerciale, publice, militare și private (2,94 ha), terenurile fără utilizare curentă (1,96 ha), corpul de apă/zonele umede (2,24 ha), pășunile (1,65 ha), facilitățile sportive și de agrement (1,11 ha), precum și 6,08 km de drumuri (teren drumuri aferente – 1,05 ha) și 0,9 km de căi ferate (căi ferate și terenuri asociate – 1,4 ha). Alte categorii de utilizare a terenurilor care au suprafața afectată de sub 1 ha rămân structuri izolate (0,36 ha) (tabelul 3.4.). Referindu-ne la locuitorii din valea Firizei, situați în aval de Strâmtori - Firiza , estimăm un număr între 1250 și 1500 de persoane care pot fi potențial afectate de amploarea inundațiilor cu intervale de recurență de 0.2% (500 de ani).

În cazul celui mai pesimist scenariu calculat în acest studiu (0,1%, 1000 de ani), 112.9 ha sunt potențial afectate, din care 40,07 ha în suprafața construită. Cele mai afectate

categorii de utilizare a terenurilor din cadrul zonei de studiu de peste 5 ha sunt suprafața de vegetație forestieră (45,28 ha), rețele urbane discontinue (28,16 ha), terenurile arabile/culturile anuale (9,07 ha), industriale, unități comerciale, publice, militare și private (6,49 ha), precum și 9,19 km de drumuri (teren drumuri aferente – 2,02 ha) și 1,58 km de căi ferate (căi ferate și terenuri aferente – 1,79 ha). Restul categoriei de utilizare a terenurilor (de exemplu, corp de apă/zona umede, terenuri fără utilizare curentă, pășuni, facilități sportive și de agrement, structuri izolate) totalizează peste 10 hectare (tabelul 7.). Referindu-ne la numărul de locuitori situați în zona de studiu, estimăm între 1500 și 2000 de persoane care pot fi potențial afectate de amploarea inundațiilor cu intervale de recurență de 1% (1000 de ani).



**Fig.3. 4** Suprafețe inundate în zona construită situată în aval de lacul de acumulare Strâmtori-Firiza calculate pentru fiecare scenariu cu intervale de recurență de 1% (100 de ani), 0.2% (500 de ani) și 0,1% (1000 de ani)

### 3.2.3. Adâncimea de inundație

Rezultatele obținute pentru scenariul intervalului de recurență de 1% (100 de ani) indică faptul că adâncimea maximă de inundație este de 4,8 m și corespunde canalului principal al râului Firiza. Un procent de 80% din clădiri (304 clădiri) pot fi afectate potențial de o adâncime de inundație care nu depășește 1 m, 18,95% (72 de clădiri) de o adâncime de inundație cuprinsă între 1-2 m și doar 4 clădiri (1,05%) s-ar afla în zone cu o adâncime a apei de 2-3 m. În cazul celui de-al doilea scenariu cu intervale de recurență de 0.2% (500 de ani), adâncimea maximă este de 5,4 m. Un procent de 74,9% din clădiri (456 de clădiri) sunt potențial afectate de o adâncime de inundații care nu depășește 1 m, 18,55% (113 clădiri) de o adâncime de inundații cuprinsă între 1-2 m, iar 40 de clădiri (6,6%) sunt potențial afectate de o adâncime de inundație de 2-3 m. Este interesant faptul că între primele două scenarii cu intervale de recurență de 1% și 0.2%, rezultatul este foarte similar în clasele de adâncime a inundațiilor și clădirile afectate (tabelul 8). În cazul celui mai prost scenariu calculat, cu intervale de recurență de 0,1% (1000 de ani), adâncimea maximă a valurilor de inundații este de 7 m și corespunde canalului principal al râului Firiza (Fig. 3.25.). Un procent de 60,1% din clădiri (547 de clădiri) sunt potențial afectate de o adâncime de inundații care nu depășește 1 m, 26,5% (241 de clădiri) de o adâncime de inundație cuprinsă între 1-2 m, 10,3% sau 94 de clădiri de o adâncime de inundație cuprinsă între 2-3 m și 3,1% (28 de clădiri) de o adâncime de inundație cuprinsă între 3-4 m (tabelul 8.).

**Tabel 6 Adâncimea de inundație (m) și numărul de clădiri potențial afectate calculate pentru fiecare scenariu cu perioade de revenire de 1%, 0,2% și 0,1%**

FD (m)	<i>Intervale de recurență</i>		
	100-ani	500-ani	1000-ani
	<b>Număr de clădiri</b>		
<1	304	456	547
1-2	72	113	241
2-3	4	40	94
3-4	-	-	28



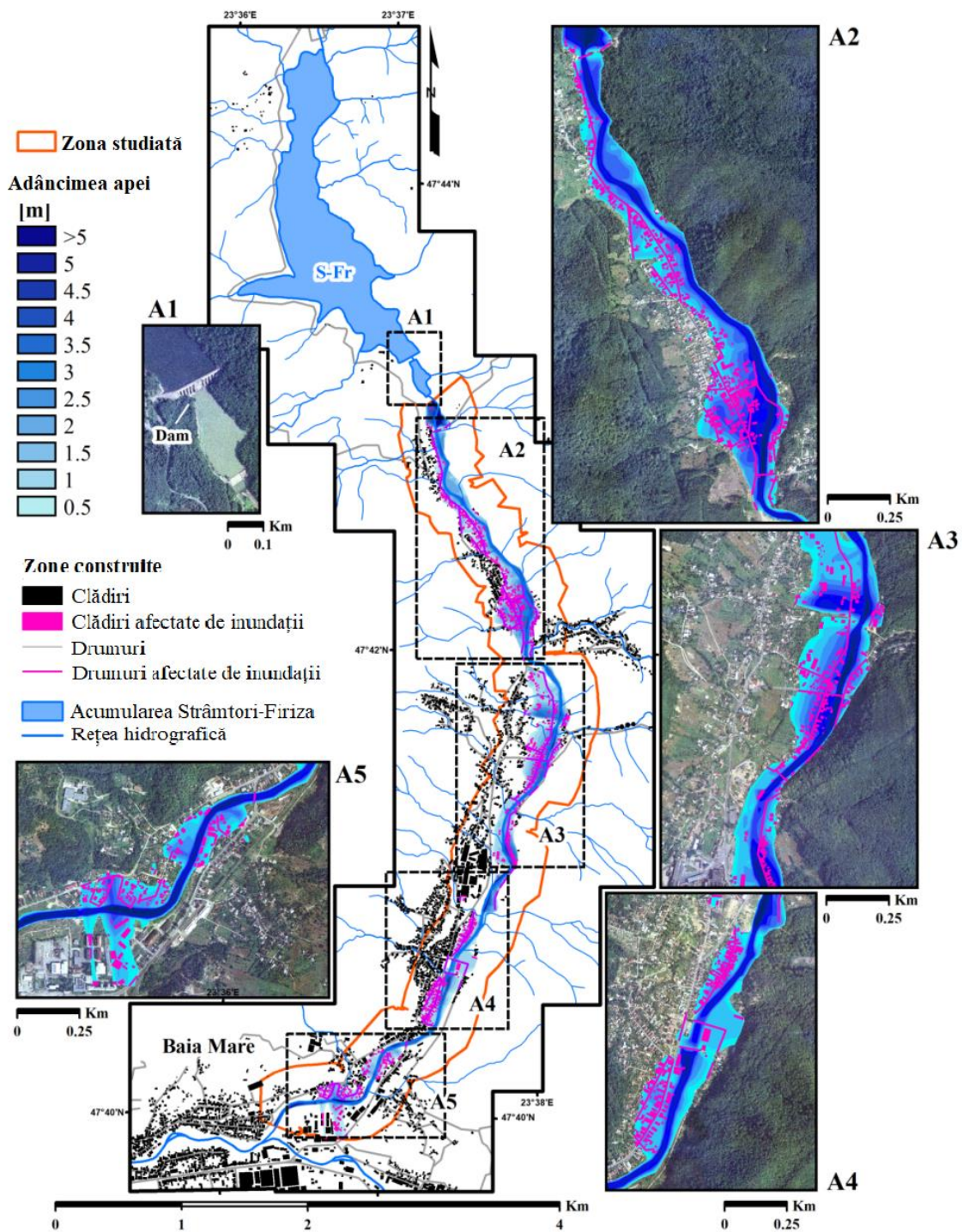


Fig.3. 5 Adâncimea de inundație (m) în zona construită situată în aval de lacul de acumulare Strâmători-Firiza calculată pentru cel mai grav scenariu de inundații, cu interval de recurență de 0,1% (1000 de ani).

### 3.2.4. Viteza de inundație

Viteza de inundație este al treilea parametru generat în software-ul HEC-RAS și utilizat pentru a dezvolta hărți de pericol de inundații urbane în aval de Strâmători - Firiza . Parametrul vitezei de inundație a fost calculat în același mod ca și parametrul adâncimea de inundație, ceea ce înseamnă că pentru fiecare celulă computațională din locul de studiu



s-a înregistrat valoarea maximă a vitezei de inundație din timpul de simulare de 24 h. În plus, trei fișiere raster cu viteza de inundație corespunzătoare fiecărui scenariu cu intervale de recurență de 1% (100 de ani), 0.2% (500 de ani) și 0,1% (1000 de ani) au fost exportate din RAS în GIS. Pentru toate scenariile calculate, viteza de inundație depășește 5 m/s: 5,66 m/s în cazul scenariului intervalului de recurență de 1% (100 de ani), 6,38 m/s în cazul scenariului intervalului de recurență de 0.2% (500 de ani) și 10,44 m/s în cazul scenariului intervalului de recurență de 0,1% (1000 de ani) (Fig 3.26). Valorile ridicate obținute pentru viteza de inundație pot fi atribuite condițiilor geomorfologice (valea montană cu pante abrupte) și utilizării terenurilor (peste 40% suprafață construită) din zona de studiu, care conduc la valori scăzute de rugozitate dar și influenței zonelor înguste ale canalului de drenaj Firiza.

În cazul primului scenariu cu interval de recurență de 1% (100 de ani), 89,21% (339 de clădiri) sunt potențial afectate de o viteză de inundație care nu depășește 1 m/s, 10,53% (40 de clădiri) sunt potențial afectate de o viteză de inundații cuprinsă între 1-2 m/s și 0,26% (o clădire) sunt potențial afectate de o viteză de inundație între 2-3 m/s (tabelul 9.). În cazul celui de-al doilea scenariu cu interval de recurență de 0.2% (500 de ani), 76,35% (465 de clădiri) sunt potențial afectate de o viteză de inundații care nu depășește 1 m/s, 23,15% (141 de clădiri) sunt potențial afectate de o viteză de inundații cuprinsă între 1-2 m/s și 0,49% (trei clădiri) sunt potențial afectate de o viteză de inundații între 2-3 m/s (tabelul 3.6.). În cazul celui de-al treilea scenariu cu interval de recurență de 0,1% (1000 de ani), 68,68% (625 de clădiri) sunt afectate de o viteză de inundație care nu depășește 1 m/s, 29,78% (271 de clădiri) sunt potențial afectate de o viteză de inundații cuprinsă între 1-2 m/s, 1,43 % (13 clădiri) sunt potențial afectate de o viteză de inundații cuprinsă între 2-3 m/s și 0,11% (o clădire) sunt potențial afectate de o viteză de inundații cuprinsă între 3-4 m/s (tabelul 9.).

**Tabel 7 Viteza inundațiilor (m/s) și numărul de clădiri potențial afectate de valul de inundații calculat pentru fiecare scenariu cu intervale de recurență de 1% (100 de ani), 0.2% (500 de ani) și 0,1% (1000 de ani)**

Viteza inundațiilor (m/s)	Perioadă de revenire		
	1% (100 de ani)	0.2% (500 de ani)	0.1% (1000 de ani)
<1	339	465	625
1-2	40	141	271
2-3	1	3	13
3-4	-	-	1
4-5	-	-	-
>5	-	-	-

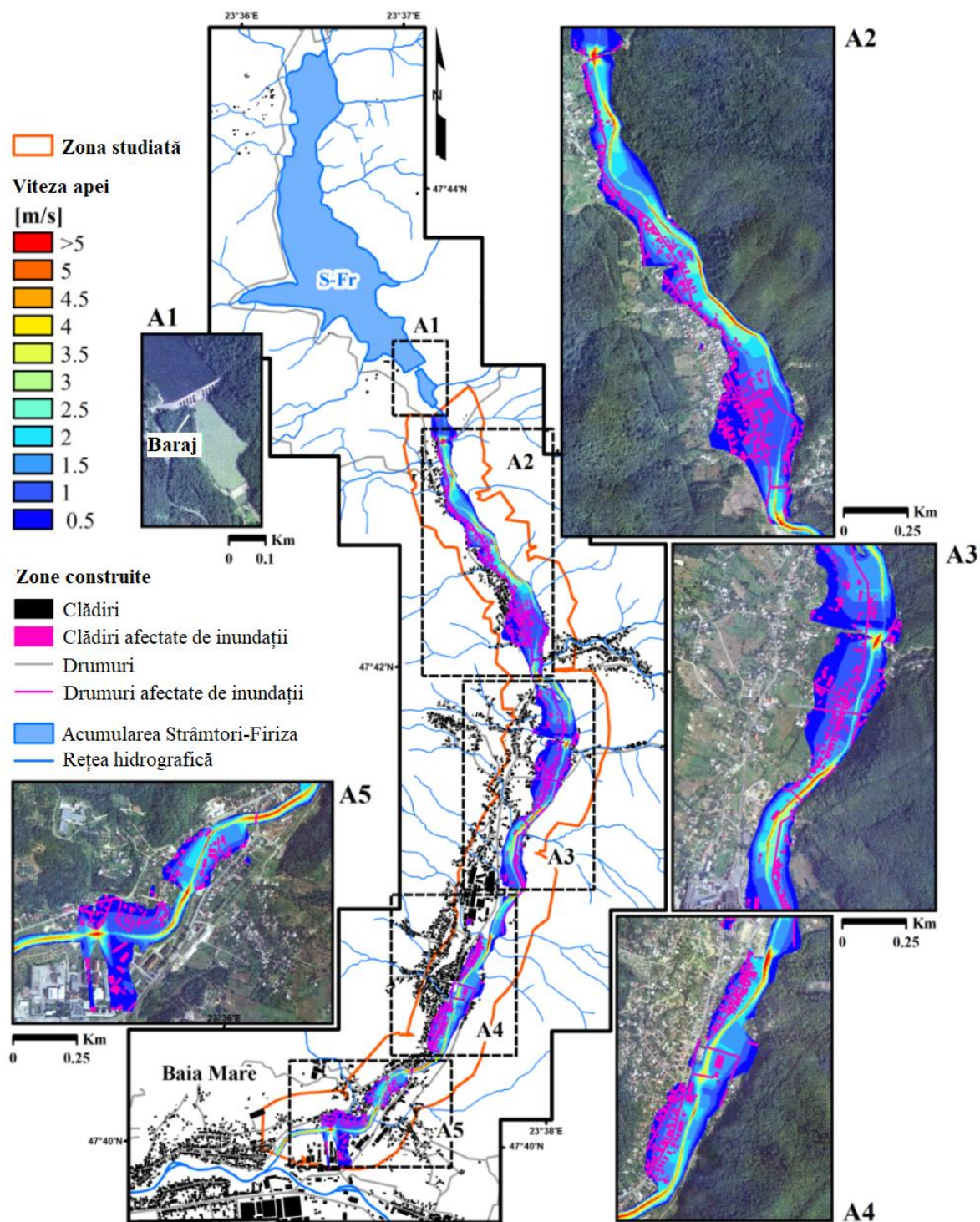


Fig.3. 6 Viteza de inundație (m/s) în zona construită situată în aval de lacul de acumulare Strâmtori-Firiza calculată pentru cele mai grave scenarii de inundații, cu intervale de recurență de 0,1% (1000 de ani).

### 3.2.5. Evaluarea hazardului de inundații

Hărțile pericolului de inundație obținute pentru fiecare scenariu cu perioade de revenire de 1%, 0,2% și 0,1% au fost generate folosind modele 2D conform AIDR (2017).

Prin urmare, rasterele conținând adâncimea și viteza au fost utilizate pentru a clasifica impactul inundațiilor în șase clase de pericol (a se vedea Tabelul 6 și Tabelul 10).

Pe baza primului scenariu (perioada de revenire 1%) s-a înregistrat o valoare maximă de 20,62 m<sup>2</sup>/s iar distribuția zonelor afectate este: 28,13% în clasa de pericol H1, 13,47% în clasa de pericol H2, 16,5% în clasa de pericol H3, 12,09% în clasa de pericol H4, 12,12% în clasa de pericol H5 și 17,68% în clasa de pericol H6. Pe baza celui de-al doilea scenariu (perioadă de recurență 0.2%) în mediul urban 609 construcții sunt afectate de inundații conform unei perioade de revenire de 0.2% (500 ani), dintre care: 294 clădiri în clasa de pericol H1, 100 case în clasa de pericol H2, 124 de clădiri din clasa de pericol H3, 56 de construcții din clasa de pericol H4, 34 de case din clasa de pericol H4 și o clădire din clasa de pericol H6 (Tabelul 10, Fig. 3.27).

**Tabel 8** Clasele de pericol de inundații, suprafața (ha) și numărul de clădiri potențial afectate de inundații calculate pentru fiecare scenariu cu intervale de recurență de 1% (100 de ani), 0.2% (500 de ani) și 0,1% (1000 de ani)

Clase de pericol de inundații	S1 – 1%		S2 – 0.2%		S3 – 0.1%	
	Suprafață (ha)	Nu. Clădiri	Suprafață (ha)	Nu. Clădiri	Suprafață (ha)	Nu. Clădiri
H1	18.47	234	21.24	294	23.98	337
H2	6.69	59	10.17	100	9.77	116
H3	7.54	59	12.46	124	17.41	141
H4	4.77	26	9.13	56	17.23	202
H5	7.74	2	9.15	34	16.44	97
H6	9.08	-	13.35	1	19.26	17

Conform intervalului de recurență de 1% (100 de ani), valoarea maximă a debitului înregistrată de-a lungul luncii Firiza în aval de Strâmtori - Firiza a fost de 169m<sup>3</sup>/s. În zona de studiu, 34,02% din suprafața totală potențial afectată este situată în clasa de pericol H1, 12,32% în clasa de pericol H2, 13,89% în clasa de pericol H3, 8,79% în clasa de pericol H4, 14,26% în clasa de pericol H5 și 16,72% în clasa de pericol H6. În zona construită, 380 de clădiri sunt potențial afectate de inundații, dintre care: 234 de clădiri din clasa de pericol H1, 59 de clădiri din clasa de pericol H2, 59 de clădiri din clasa de pericol H3, 26 de clădiri din clasa de pericol H4 și două clădiri din clasa de pericol H5 ( Fig. 3.27).

În cazul scenariului intervalului de recurență de 0.2% (500 de ani), valoarea maximă a D\*V înregistrată a fost de 20,62 m<sup>3</sup>/s, iar distribuția zonelor afectate în funcție de clasele de pericol AIDR sunt: 28,13% în clasa de pericol H1, 13,47% în clasa de pericol H2, 16,5% în clasa de pericol H3, 12,09% în clasa de pericol H4, 12,12% în clasa de pericol H5 și 17,68% în clasa de pericol H6. În zona construită, 609 clădiri sunt potențial afectate

de inundații în conformitate cu scenariul intervalelor de recurență de 1% (100 de ani), dintre care: 294 de clădiri construite în clasa de pericol H1, 100 de clădiri din clasa de pericol H2, 124 de clădiri din clasa de pericol H3, 56 de clădiri din clasa de pericol H4, 34 de clădiri din clasa de pericol H4 și o clădire din clasa de pericol H6 (Fig.3.27.).

În cazul celui mai pesimist scenariu calculat 2D cu interval de recurență de 0,1% (1000 de ani), valoarea maximă a debitului înregistrat a fost de 35,49 m<sup>3</sup>/s (Fig. 3.27). În zona de studiu, 23,04% din suprafața totală potențial afectată este situată în clasa de pericol H1, 9,39% în clasa de pericol H2, 16,73% în clasa de pericol H3, 16,55% în clasa de pericol H4, 15,79% în clasa de pericol H5 și 18,5% în clasa de pericol H6. În acest scenariu, este demn de remarcat proporția ridicată a suprafețelor încadrate în clasa de pericol H6 (18,5%), ceea ce indică magnitudinea valului de inundații de-a lungul văii Firizei. Prin urmare, impactul inundațiilor asupra zonei construite este, de asemenea, semnificativ: 337 de clădiri în clasa de pericol H1, 116 clădiri din clasa de pericol H2, 141 de clădiri în clasa de pericol H3, 202 clădiri în clasa de pericol H4, 97 de clădiri în clasa de pericol H4 și 17 clădiri în clasa de pericol H6 (Fig.3.28.).

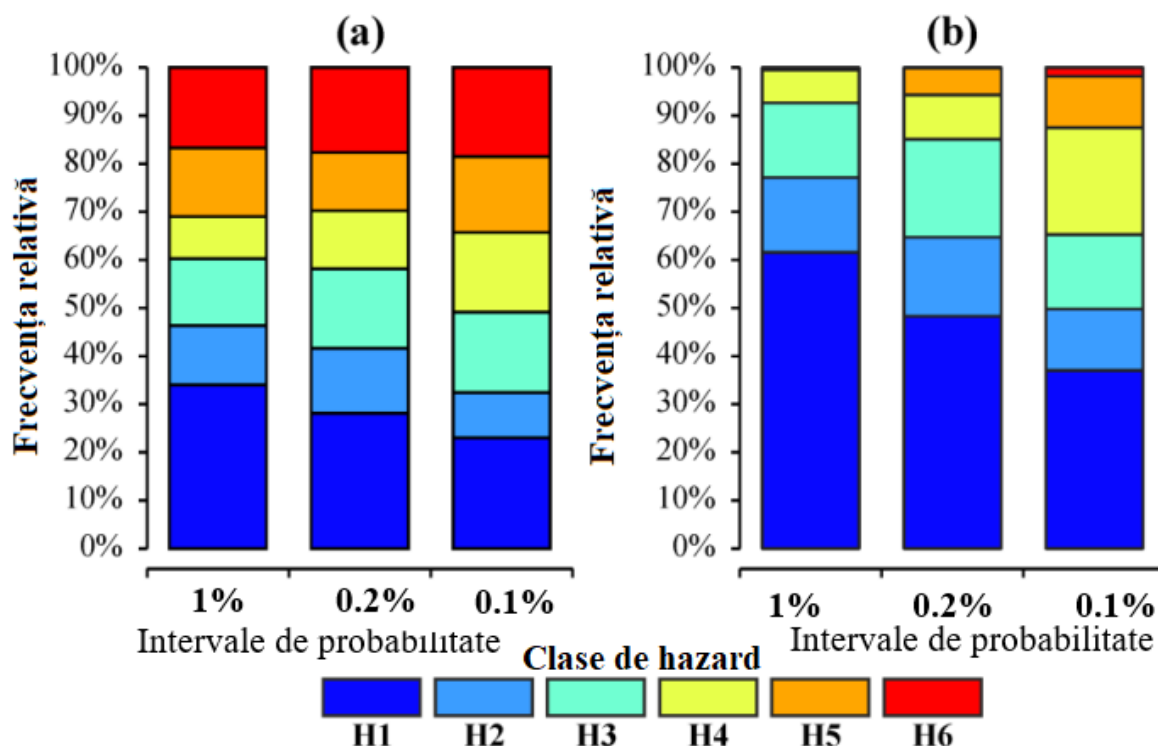


Fig.3. 7 Distribuția claselor hazardului de inundație pentru (a) zona potențial afectată de inundații și (b) clădirile potențial afectate pe baza criteriilor de clasificare a pericolului de inundație (a se vedea Tabelul 6.). Scenarii HEC-RAS cu perioade de recurență de 1%, 0,2% și 0,1% în fiecare grafic.



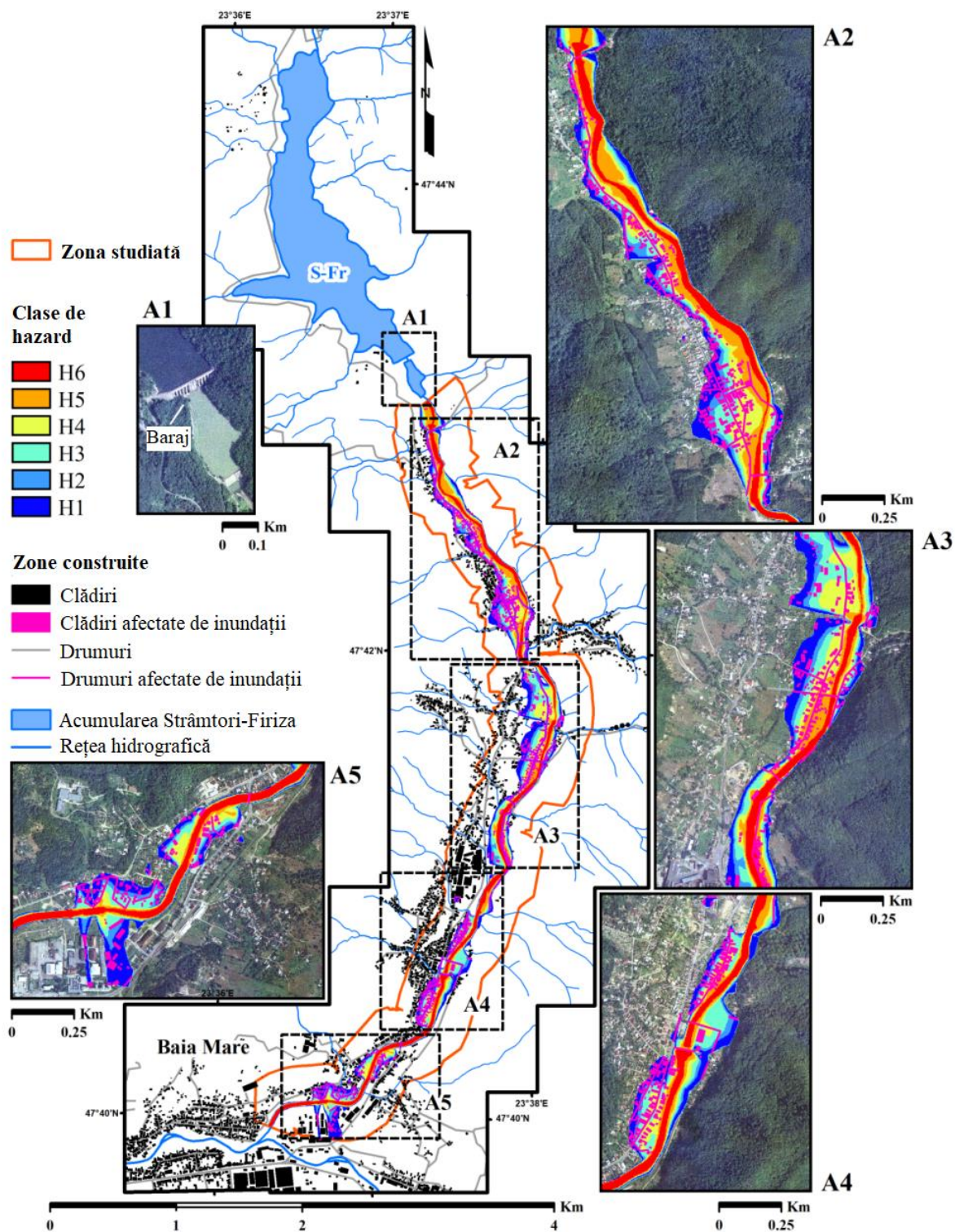


Fig.3. 8 Clasificarea hazardului de inundație (a se vedea tabelul 7) în cadrul zonei construite situate în aval de acumularea Strâmțori-Firiza, calculat pentru cel mai grav scenariu de inundații, cu interval de recurență de 0,1% (1000 de ani).

### ***3.2.6. Analiză comparativă între datele oficiale privind pericolele de inundații (ANAR) și rezultatele obținute***

În această lucrare urmărim evaluarea hazardului de inundație în baza datelor hidrologice precise (debitele medii) și matematice (debitele cu diferite perioade de revenire) prin combinarea DEM derivată din LiDAR, modelarea 2D HEC-RAS și tehnicile de scanare radar care completează Planul de acțiune pentru cedarea barajului și strategia națională de atenuare a inundațiilor. Conform lui Sanders (2007), DEM-ul derivat din LiDAR oferă cele mai bune rezultate în cadrul simulărilor de inundații 2D. Mai mult decât atât, software-ul HEC-RAS poate oferi o soluție rapidă cu o cantitate redusă de date, pentru o imagine de ansamblu asupra unui potențial eveniment de inundație, acceptată pe scară largă de comunitatea științifică (Brunner, 2016a, 2016b).

În acest cadru, pentru a crea modelul hidraulic 2D, pe o suprafață de 4,37 km<sup>2</sup> a luncii inundabile a Văii Firiza (zona urbană a orașului Baia Mare), a fost creată o rețea poligonală cu 67.000 de celule de calcul. Proprietățile hidraulice detaliate ale celulelor de calcul (relația elevație-volum) au fost determinate folosind DEM derivat din LiDAR. Comparând un model de flux nestaționar cu un model de flux constant, modelul de flux nestaționar prezintă probleme de instabilitate (Bellos et al., 2022; Costabile et al., 2020; Dasallas et al., 2019; David & Schmalz., 2021; Ūneș et al., 2020). Pentru a dobândi un model hidraulic 2D cu o precizie și stabilitate ridicată a fost acordată o mare atenție datelor geometrice, datelor de debit (Cedillo et al., 2021; Prior et al., 2021; Urzică & Grozavu, 2021). Pentru datele geometrice am folosit reprezentarea 3D a DEM-ului derivat LiDAR și am generat zona de curgere 2D și liniile de întrerupere. Având în vedere importanța valorilor "n" a lui Manning, am actualizat și coeficientul de rugozitate pe baza caracteristicilor geomorfologice ale zonei de studiu și a categoriilor de utilizare a terenului. Potrivit Brunner (2016b) există o relație inversă între coeficientul Manning și viteza apei (de exemplu, o valoare mare a coeficientului de rugozitate duce la o viteză a apei scăzută).

La sfârșitul activității s-a reușit compararea rezultatele HEC-RAS 2D cu hărțile de pericol realizate în temeiul Directivei 2007/60/CE a Parlamentului European și a Consiliului pentru strategia de atenuare a inundațiilor și furnizate de Administrația Bazinală de Apă Someș - Tisa (Fig. 3.29). În ansamblu, comparația dintre hărțile de hazard 2D HEC-RAS și cele oferite de Administrația Națională Apele Române indică asemănări puternice de-a lungul văii Firizei inferioare pentru toate cele trei scenarii, cu excepția unor zone dens populate în care scenariile ANAR au subestimat impactul pericolului de inundații. Astfel, în cazul intervalului de recurență de 0,1% (1000 de ani), pe baza

rezultatelor HEC-RAS 2D s-a obținut o suprafață de inundație de 103,66 ha, în timp ce ANAR a obținut o suprafață de inundație de 87,45 ha cu o diferență de 16,20 ha (Fig. 3.29a). În cazul intervalului de recurență de 0.2% (500 de ani) s-a obținut o suprafață de inundație de 75,15 ha (Fig. 3.29b), iar ANAR 59,68 ha (o diferență de 15,47 ha). În cazul intervalului de recurență de 1% (100 de ani) s-a obținut o suprafață de propagare a inundațiilor de 54,07 ha (Fig. 3.29c), iar ANAR 29,59 ha (o diferență de 24,47 ha). Cele mai mari diferențe pot fi observate în cazul intervalului de recurență de 0,1% (1000 de ani) (Fig. 3.29c3) și de 1% (100 de ani) (Fig. 3.29a2). Diferențele în ceea ce privește aria de extindere a inundațiilor sunt date în principal de rezoluția spațială a DEM-ului utilizat pentru modelarea hidrologică.

Conform ANAR, hărțile de hazard și risc pentru râul Firiza au fost realizate la o rezoluție spațială cuprinsă între 5 și 10 m, iar analiza noastră a folosit un DEM derivat din LiDAR de 3 m cu toate detaliile topografice (de exemplu, case, clădiri atașate, clădiri administrative, clădiri industriale). Cele mai bune rezultate pot fi obținute prin utilizarea unui model digital de suprafață (DEM), deoarece acest produs LiDAR a integrat deja obiectele solide ale topografiei (de exemplu, case, clădiri atașate, rețea rutieră sau alte structuri artificiale). Dacă un DEM nu este disponibil pentru zona de interes, cea mai bună opțiune este aplicarea metodologiei menționate mai sus. Un alt motiv pentru diferențele existente este că ANAR a realizat scenariile de modelare hidrologică pentru întregul bazin hidrografic, fără a lua în considerare Strâmtori - Firiza, în timp ce studiul nostru s-a concentrat pe zona din aval de Strâmtori - Firiza, îmbunătățind astfel rezultatul final al scenariilor de modelare hidrologică.

Avantajele pentru utilizarea modelării 2D HEC-RAS sunt că proiectele 2D sunt mai stabile decât proiectele 1D, implică mai puțin timp pentru construirea modelului hidrologic, decizii mai puțin subiective (de exemplu, secțiune transversală, distanța dintre secțiunile transversale), animații hidrodinamice prin modulul RAS Mapper. Principalele dezavantaje cu privire la HEC-RAS 2D sunt timpul lung de funcționare și necesitatea unui DEM detaliat (de exemplu, DEM derivat din LiDAR).



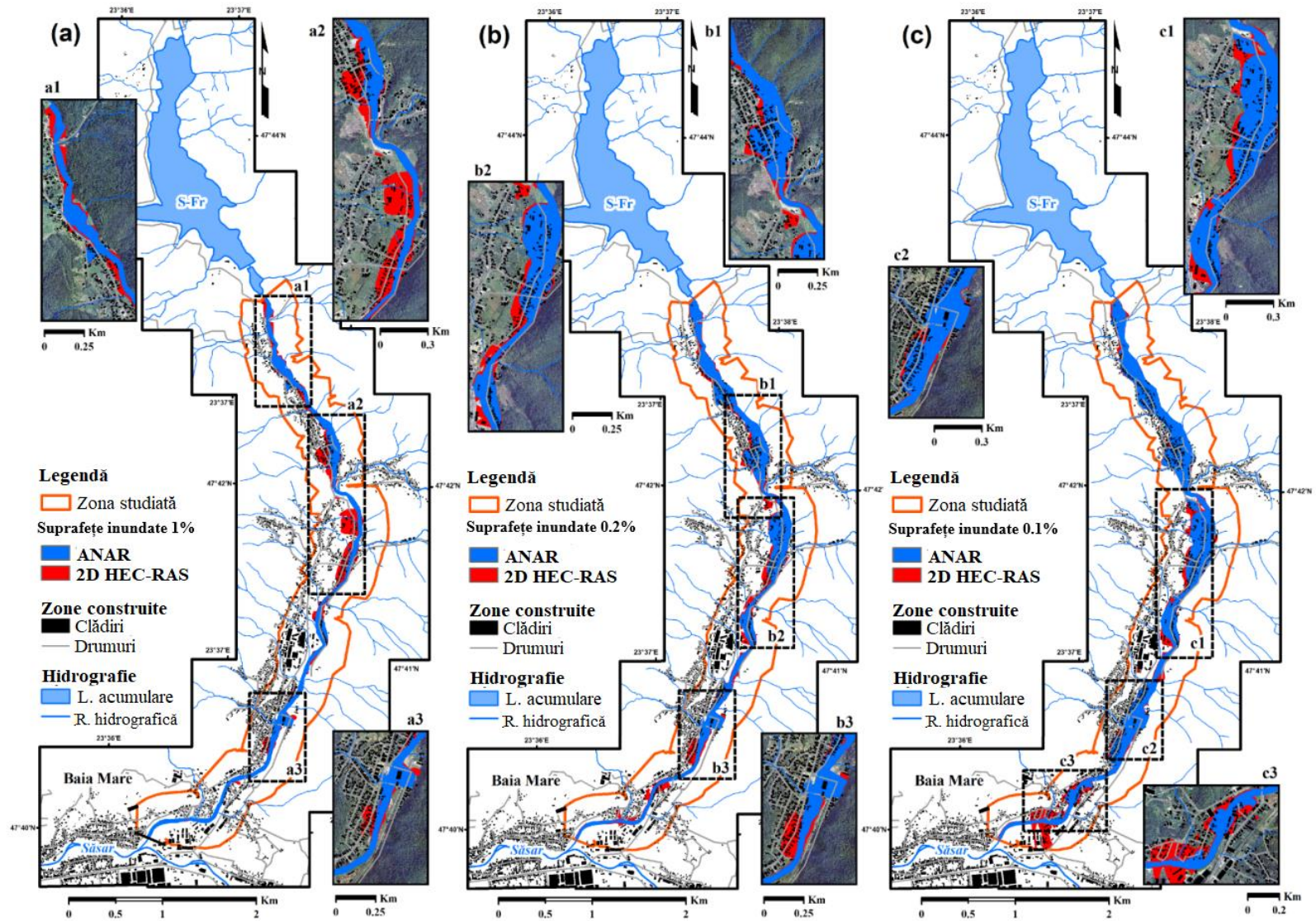


Fig.3. 9 Comparație între rezultatele modelării 2D HEC – RAS și hărțile de risc de inundații ale ANAR pentru (a) intervale de recurență de 1% (100 de ani), (b) 0,2% (500 de ani) și (c) 0,1% (1000 de an)



## **4. Discuții și recomandări**

### **4.1. Implementări actuale ale sistemelor nowcasting la nivel global și național**

Informațiile despre precipitații bazate pe radar au fost utilizate pe scară largă în aplicații hidrologice și meteorologice, deoarece oferă date cu o rezoluție spațială și temporală ridicată care îmbunătățește reprezentarea precipitațiilor. Cu toate acestea, diversitatea largă a studiilor face dificilă creionarea unei imagini de ansamblu asupra utilității și limitărilor tehnologiei radar și a aplicării acesteia în situații particulare. În aceste condiții este greu de obținut o imagine generală a stării actuale a cercetării radar (Sokol et al. 2021).

Deși studiile se axează pe modelări automate și/sau semi automate, fie pe bazine hidrografice sau zone urbane, există o tendință de modelare cu ajutorul inteligenței artificiale (AI) mai ales pentru zone vulnerabile de dimensiuni relativ reduse (bazine hidrografice mici sau localități).

La nivel național sistemul nowcasting avertizează populația utilizând prognozele meteorologice, mai exact prognozele privind precipitațiile potențiale.

La nivelele bazinale, se utilizează benzile de inundabilitate și timpii de propagare pentru scenarii calculate din timp pentru a asocia prognozele de precipitații cu potențiale evenimente hidrologice periculoase. Benzile de inundabilitate trebuia să fie actualizate în cursul anilor 2022 – 2023.

În ABA – Someș Tisa, radarul Igriș este oficial singurul radar din rețeaua națională de radare meteorologice care este în posesia Apelor Române, dar produsele acestuia sunt utilizate de către Agenția Națională de Meteorologie. Radarul este situat la altitudinea de 1305 + 38 m (înălțimea turnului de susținere), reprezentând radarul situat la cea mai mare altitudine din România cu o distanță de polarizare de 250km. Deși radarul Igriș are un sistem complet automatizat de prognoza nowcasting ce include estimarea valorilor de debit cu 15 minute înainte de producerea evenimentului hidro – meteorologic, acest sistem nu este utilizat și nici implementat în cadrul procedurilor curente utilizate de către Apele Române.

### **4.2. Procesul de modelare semi – automatizat**

Față de sistemul complet automatizat, cel semi - automatizat presupune intervenția utilizatorului în transferul informațiilor între produsul radar – modelul hidrologic de bazin și modelul hidraulic.

Metoda de combinare a modelelor utilizate în acest studiu pleacă de la validarea modelului hidrologic de bazin, cu datele măsurate în timpul evenimentului hidrologic din data de 20-26 mai 2019. Mai exact au fost comparate precipitațiile prognozate de radarul Igriș cu valorile măsurate la stațiile pluviometrice, după care au fost comparate rezultatele modelului hidrologic de bazin cu măsurătorile de nivel și debit din timpul evenimentului hidrologic. Datorită faptului că acumulara Strîmtori – Firiza a preluat unda de viitură în mod controlat, nu a fost realizat un model hidraulic cu valoarea de debit determinat la intrarea în acumulare.

În schimb au fost utilizate scenarii hidraulice cu trei probabilități: 1%, 0,2%, 0,1%, care nu țin cont de debitele intrate în acumulare ci de evenimente hidrologice extreme care în cel mai pesimist caz ar duce probabil la ruperea completă a barajului. Prezența unui baraj pe cursul de apă nu prezintă un impediment pentru realizarea corelației dintre cele trei modelări. Aceste scenarii sunt direct corelate atât cu valorile de precipitații cât și cu valorile modelului hidrologic de bazin, datorită validării și calibrării modelului în urma evenimentului analizat, făcând excepție precipitațiile solide. Este important de menționat că participația nivală nu este inclusă în sistemele actuale de nowcasting, motiv pentru care nu a fost inclusă această componentă în modelele realizate.

În absența unui sistem de nowcasting complet automatizat se pot realiza o serie de scenarii care odată rulate pot servi ca bază de date pentru un sistem semi - automatizat de alertă hidrologică. Dezideratul de obținere a unei prognoze nowcasting ține de timpul în care precipitațiile prognozate de sistemul radar ajung să reprezinte un pericol pentru populație.

În momentul de față Apele Române nu monitorizează parametrii hidraulici de scurgere la nivel de bazin hidrografic, ci la nivel de secțiuni situate pe râurile principale.

Nu se urmăresc caracteristicile de bazin, ci timpii de propagare a undelor de viitură.

În virtutea atingerii dezideratului final de automatizare a sistemului de nowcasting, propun următoarele:

- Utilizarea informațiilor colectate anual de APIA privind acoperirea cu vegetație a terenurilor (cu avionul prin teledetecție).
- Realizarea de scanări LIDAR cu frecvență anuală la nivelul bazinelor hidrografice.
- Calculul evapotranspirației potențiale la nivel de bazin hidrografic pentru fiecare ciclu de vegetație.

- Calcularea anuală a indicelui de diferență normalizată a indicelui de vegetație, care reprezintă cantitatea de biomasă prin interpretarea imaginilor stelitare pe spectru infraroșu.
- Monitorizarea apelor subterane (cu caracter freatic) în sensul de evaluare a rezervelor și coloanelor de apă din foraje. La ora actuală, conform procedurilor, Apele Române monitorizează doar apele subterane situate în zone de câmpie (în ideea utilizării acviferelor pentru alimentare cu apă potabilă și industrială).

### 4.3. Managementul sustenabil al apei

Managementul de bazin hidrografic este o prioritate a Uniunii Europene începută cu Directiva Apă și inundații. Managementul presupune atât utilizarea durabilă a apei cât și gestionarea situațiilor de urgență de tipul secetei și a inundațiilor.

În interiorul unor medii de apă extrem de modificate (de exemplu, sectoare de râuri reglementate, câmpii inundabile echipate cu baraje, lacuri de acumulare și alte lucrări hidrotehnice) care se suprapun cu zone urbanizate, inundațiile și fenomenele asociate acestora pot cauza un număr enorm de daune (Afzal et al., 2022; Bellos et al., 2022; Iroume et al., 2022; Romanescu et al., 2017; Tošić et al., 2022; Urzică & Grozavu, 2021). Chiar și în sistemele fluviale bine proiectate (de exemplu, Valea Firiza inferioară), există riscul de inundații, iar zona populată poate fi în pericol din cauza unei erori umane sau accidentale în debitul de evacuare la poarta deversorului. Cel mai bun exemplu din România pentru un astfel de eveniment este inundația istorică care a avut loc pe râul Prut în perioada iulie – august 2008, în aval de lacul de acumulare Stânca-Costești (Romanescu et al., 2011). Prin urmare, din cauza impactului mare asupra mediului (natural, social, economic), o bună pregătire privind evaluarea pericolului de inundație în apropierea acumulării Strâmtori - Firiza (de exemplu, în aval de baraj) este întotdeauna binevenită (Abdelkarim et al., 2019; Gibson et al., 2022; Mișu-Pintilie et al., 2019; Papaioannou et al., 2021; Tegos et al., 2022).

Pentru un mai bun management al bazinului hidrografic Firiza propun ca deversările și acumulările în sistemul hidrotehnic Firiza să fie efectuate doar după analiza prognozelor meteorologice de trei – cinci zile. În cazul perioadelor în care nu sunt prognozate precipitații uzinarea să se realizeze la capacitate redusă. În cazul evenimentelor hidrometeorologice periculoase ar trebui să fie luată în calcul valoarea maximă de

precipitații din buletinul de prognoză meteorologică, astfel încât uzinarea să se realizeze la puterea maximă instalată a hidrocentralei, evitând astfel evacuarea unor debite semnificative prin golirile de coronament.

În contextul schimbărilor climatice actuale coroborate cu sezoanele secetoase tot mai prelungite din ultimi ani, un accent deosebit trebuie pus pe seceta hidrologică. În timp ce cantitatea anuală rămâne aproximativ constantă de la un an la altul, distribuția precipitațiilor s-a schimbat în sensul în care caracterul torențial al acestora – care reprezenta 70% din totalul anual – astăzi are o pondere între 70 – 85%, unde valorile maxime se ating în anii secetoși.

Un aspect semnificativ în evaluarea acumulării Strîmtori – Firiza este rata de sedimentare, care, după mai bine de 50 de ani de exploatare, se ridică la 7,85%. Aceasta este una dintre cele mai mici valori înregistrate la nivel național. Rata redusă de sedimentare poate fi explicată prin două motive principale. În primul rând, structura petrografică a bazinului este dominată de andezite, roci vulcanice rezistente la eroziune, care contribuie la menținerea unui sediment minim. În al doilea rând, se observă o proporție semnificativă de fond forestier, care acoperă 97% din bazinul hidrografic. Prezența extensivă a pădurilor joacă un rol esențial în reducerea eroziunii solului și în menținerea calității apei, prin interceptarea și absorbția precipitațiilor, prevenind astfel transportul excesiv de sedimente către acumulare. Acest mix de factori contribuie la menținerea unei rate scăzute de sedimentare în acumularea Strîmtori – Firiza.

## Concluzii

Bazinul hidrografic Firiza prezintă o serie de particularități legate de managementul sistemului hidrotehnic Strâmțori – Firiza. Acumularea are pe lângă rolul de alimentare cu apă potabilă și industrială a municipiului Baia Mare și împrejurimi și pe cel de producție de energie electrică. Pentru prezentul demers a fost amintit și rolul acumulării în atenuarea undelor de viitură. Pre - golirea în perioade de precipitații abundente minimizează impactul fenomenelor periculoase și facilitează producția de energie electrică.

Ipotezele de lucru au vizat îmbunătățirea actualului sistem de prognoză hidro – meteorologică. Pentru realizarea acestui deziderat este nevoie de implementarea unui sistem de prognoză hidrologică imediată. Utilizarea radarelor meteo nu este deocamdată integrată în prognoza hidrologică de bazin, fapt ce duce la întârzieri semnificative ale timpului de răspuns în caz de viitură, atât în ceea ce privește exploatarea în siguranță a acumulărilor cât și în cazul avertizării populației.

Rezultatele modelărilor hidrologice de bazin și hidraulice se reflectă în realizarea analizei de risc de inundații pentru populația aflată în zona vulnerabilă. Corelarea dintre cele două modele nu este integrată, și doar prin intervenția utilizatorului se pot transfera informațiile din modelul hidrologic în cel hidraulic.

Detalierea riscului de inundații pentru populația din zonele vulnerabile a fost realizată cu succes în cazul cartierului Ferneziu din Baia Mare.

Obiectivele lucrării au urmărit întregul proces de producere a fenomenelor periculoase, trecând prin modelele hidrologice și hidraulice și finalizând cu îmbunătățirea hărților de risc de inundații pentru cartierul Ferneziu din Baia Mare

Atingerea obiectivelor propuse a presupus un efort susținut ce rezultă atât din dificultatea obținerii datelor necesare cât și din calibrarea modelelor hidrologic de bazin și hidraulic, fapt ce a dus la întârzieri temporale în realizarea prezentului studiu.

Față de sistemul complet automatizat, cel semi - automatizat presupune intervenția utilizatorului în transferul informațiilor între produsul radar – modelul hidrologic de bazin și modelul hidraulic.

Principalele metode utilizate pe parcursul acestui demers pleacă de la procesele de determinare hidro – meteorologice și morfometrice și prelucrarea lor prin metode informatice.

Caracteristicile hidro – meteorologice de bază, reprezentate de valori obișnuite de precipitații, temperaturi, debite, ș.a., au fost urmate de realizarea unei baze de date spațio - temporale, utilizată mai apoi pentru validarea valorilor normale de scurgere.

Analiza evenimentului hidrologic a fost realizată cu ajutorul softului Hec- HMS, și a implicat crearea unei alte baze de date. Analiza comparativă a măsurătorilor din teren cu rezultatele modelului hidrologic de bazin a reliefat diferențe ce au fost ulterior calibrate.

Scenariile hidraulice au fost simulate în softul Hec – RAS pe baza a trei scenarii de risc, corespunzând intervalelor de recurență de 1, 0,2, și 0.1 %.

Metoda de combinare a modelelor utilizate în acest studiu pleacă de la validarea modelului hidrologic de bazin, cu datele măsurate în timpul evenimentului hidrologic din data de 20-26 mai 2019. Mai exact am comparat precipitațiile prognozate de radarul Igniș cu valorile măsurate la stațiile pluviometrice, după care am comparat rezultatele modelului hidrologic de bazin cu măsurătorile de nivel și debit din timpul evenimentului hidrologic.

Pornind de la imaginile radar, am calculat repartiția valorilor de precipitații înregistrate în intervalul 20 – 26 mai 2019, utilizând și valorile înregistrate la stațiile pluviometrice.

Primele rezultate constau în realizarea unei imagini detaliate asupra evenimentului produs în data de 20 – 26 mai 2019. Aceste informații au fost esențiale în validarea modelului semi - automatizat. Am pus un accent pe studiul caracteristicilor morfometrice ale bazinului hidrografic în interpretarea rezultatelor.

Analiza în GIS a evenimentului hidrologic analizat a dus la obținere și introducerea datelor de intrare în modelul hidrologic de bazin. Pentru o mai bună corelare și interpretare a rezultatelor modelării au fost incluse în reprezentările grafice și valorile măsurate de debit pe perioada evenimentului. Utilizând modelul hidrologic de bazin Hec-HMS, au fost calculate valorile de scurgere la intrarea în acumularea Strîmtori-Firiza, de unde rezultă variațiile de volum și nivel ale acumulării. În funcție de aceste oscilații, se decide atât modul de exploatare a consumului de apă cât și modul de deversare în cazul unor fenomene hidrologice periculoase.

Modelul hidraulic a necesitat cel mai mare volum de muncă prin prisma construcției modelului tridimensional utilizând secțiuni bidimensionale spațiate la interval de 50 de metri, suprapuse peste modelul 3D al terenului. În plus, determinarea liniilor de curgere, reprezentate de talveg, liniile de demarcație situate între maluri și fundul albiei minore (sau delimitarea fundului albiei minore) și maluri, a necesitat un efort concentrat care adesea a cerut investigații suplimentare în teren de tipul ridicărilor topografice. Valorile de

deversare au fost introduse în modelul hidrodinamic Hec-RAS pentru calculul nivelelor de inundație în albia majoră a râului Firiza aval de acumularea Berdu. Rezultatele modelării hidrodinamice produc două categorii de reprezentare grafică: profile prin nivelul apei în secțiunile transversale și plane prin hărțile distribuțiilor adâncimii și vitezei la nivelul arealului studiat.

În final a fost realizat un model semi-automatizat de generare a nivelelor de inundații plecând de la valorile de precipitații ale imaginilor radar. Valorile de debit la intrarea în acumularea Strâmtori-Firiza pot fi asociate cu nivelul apei în lac, care mai apoi dictează dacă este sau nu cazul unei deversări a barajului și la ce debite. Debitele de evacuare ce oscilează între un nivel minim și unul maxim pot fi pre-modelate astfel încât locuitorii cartierului Ferneziu să poată fi avertizați din timp de nivelul la care va ajunge apa pentru fiecare scenariu de deversare. A fost astfel îndeplinit obiectivul primar al acestui studiu.

Este foarte important să diferențiem capacitatea sistemului nowcasting – care tratează exclusiv viiturile rapide – de prognoza inundațiilor, unde durata dintre fenomenele meteorologice și evenimentul hidrologic este de ordinul zilelor (față de zeci de minute). Sistemele nowcasting nu folosesc informațiile privind rezerva de apă din stratul de zăpadă. Îmbunătățirea managementului de exploatare în perioade de viitură a Barajului Strâmtori – Firiza nu a fost atins, atât din cauza lipsei integrării informațiilor nivale în modelul hidrologic de bazin, dar și din prisma lipsei informațiilor radar.

Cunoașterea caracteristicilor hidro–morfometrice ale bazinului reprezintă cel mai important aspect în realizarea unui model corect.

Modelul semi–automatizat necesită un utilizator pentru a face legătura dintre produsul radar, modelul hidrologic de bazin și modelul hidraulic.

Utilizarea scenariilor hidraulice cu trei probabilități, împreună cu prezența unui baraj pe cursul de apă și în absența calculului de contribuție a apei rezultată de acumularea sub formă de zăpadă au demonstrat un impact clar diferențiat. Analiza hazardului de inundații pentru cartierul Ferneziu din Baia Mare a evidențiat aceste lipsuri, dar a reușit în evaluarea detaliată a riscului de inundații pentru populația situată în zonele vulnerabile.

Schimbările climatice au un rezultat direct și clar în ceea ce privește distribuția cantităților de precipitații de-a lungul anului. Scenariile climatice, indiferent de sursa lor, evidențiază schimbări tot mai accentuate ale repartiției precipitațiilor de-a lungul anului, pornind cu concentrarea precipitațiilor în intervale tot mai scurte de timp și până la instalarea unui sezon secetos mai lung de 60 de zile în timpul sezonului cald.

## Bibliografie selectivă

1. Abdelkarim, A., Gaber, A.F.D., Youssef, A.M., & Pradhan, B., 2019. Flood Hazard Assessment of the Urban Area of Tabuk City, Kingdom of Saudi Arabia by Integrating Spatial-Based Hydrologic and Hydrodynamic Modeling. *Sensors*, 19, 1024. DOI: 10.3390/s19051024
2. Afzal, M.A., Ali, S., Nazeer, A., Khan, M.I., Waqas, M.M., Aslam, R.A., Cheema, M.J.M., Nadeem, M., Saddique, N., Muzammil, M., & Shah, A.N., 2022. Flood Inundation Modeling by Integrating HEC–RAS and Satellite Imagery: A Case Study of the Indus River Basin. *Water*, 14, 2984. DOI: 10.3390/w14192984
3. Ardelean G., BERES, I. 2000. Fauna de vertebrate a Maramureşului., Editura Dacia, Str. Ospătăriei nr. 4, R0-3400, Cluj-Napoca
4. Arlen D. Feldman, (2000), Editor; Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical Reference Manual, U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, HEC, 148p.
5. Arseni, M., Rosu, A., Calmuc, M., Calmuc, V.A., Iticescu, C., & Georgescu, L.P., 2020. Development of Flood Risk and Hazard Maps for the Lower Course of the Siret River, Romania. *Sustainability*, 12, 6588. DOI: 10.3390/su12166588
6. Awadallah, M.O.M., Juárez, A., & Alfredsen, K., 2022. Comparison between Topographic and Bathymetric LiDAR Terrain Models in Flood Inundation Estimations. *Remote Sens.*, 14, 227. DOI: 10.3390/rs14010227
7. Balica, S., & Wright, N.G., 2009. A network of knowledge on applying an indicator-based methodology for minimizing flood vulnerability. *Hydrol. Process*, 23, 2983–2986. DOI: 10.1002/hyp.7424
8. Brunner, G.W., 2016a. HEC-RAS River Analysis System, 2D Modeling User's Manual, Version 5.0. Available online: <https://www.hec.usace.army.mil> (Accessed on 01 September 2020).
9. Bush, S.T., Dresback, K.M., Szpilka, C.M., & Kolar, R.L., 2022. Use of 1D Unsteady HEC-RAS in a Coupled System for Compound Flood Modeling: North Carolina Case Study. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10, 306. DOI : 10.3390/jmse10030306
10. Caseri A, P. Javelle, M.H. Ramos, E. Leblois, Generating precipitation ensembles for flood alert and risk management, 6th International Conference on Flood Management (ICFM), Dec 2016 | JOURNAL OF FLOOD RISK MANAGEMENT 9 (4) , pp.402-415.



11. Ciurte, D.L., Mișu-Pintilie, A., Paveluc, L.E., & Stoleriu, C.C., 2019. 50 year's determination of reservoir sedimentation rate using topography measurements and GIS. Case study: Strîmtori-Firiza Reservoir, Baia Mare, Romania. Geobalcanica Society Proceedings 2019, 590–596. DOI: 10.18509/GBP.2019.69
12. Ciurte,DL., Mișu-Pintilie A., Pveluc Larisa Elena, Stoleriu CC., 2019, 50 year's determination of reservoir sedimentation rate using topography measurements and GIS. Case study: Strîmtori-Firiza reservoir, Baia Mare, Romania, Conference: 5th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE GEOBALCANICA 2019, published in Cartography, Gis & Spatial Planning, p. 591 - 596
13. Cîmpianu, C.I., & Mișu-Pintilie, A., 2018. Mapping Floods Using Open Source Data and Software - Sentinel-1 and ESA Snap. In Proceedings of the 4th International Scientific Conference Geobalcanica 2018: International Scientific Conference Geobalcanica, Ohrid, Republic of Macedonia, 4, 521-529.
- Clarke, B., Otto, F., Stuart-Smith, R., & Harrington, L., 2022. Extreme weather impacts of climate change: an attribution perspective. Environ. Res.: Climate, 012001. DOI: 10.1088/2752-5295/ac6e7d
14. Comitetul Geologic din România, Buletin Științific, vol III, seria B, București.
15. Costabile, P., Costanzo, C., Ferraro, D., Macchione, F., & Petaccia, G., 2020 Performances of the New HEC-RAS Version 5 for 2-D Hydrodynamic-Based Rainfall-Runoff Simulations at Basin Scale: Comparison with a State-of-the Art Model. Water, 12, 2326. DOI: 10.3390/w12092326
16. Coteș, P., (1973), Geomorfologia României, Editura Tehnică, București.
17. Cremonini, R; Tiranti, D and Barbero, S, 2015, The Urban Flooding Early Warning System of the Greater Turin (North-Western Italy) Based on Weather-Radar Observations, 12th International IAEG Congress.
18. Dobrovičová, S., Dobrovič, R., & Dobrovič, J., 2015. The Economic Impact of Floods and their Importance in Different Regions of the World with Emphasis on Europe. Procedia Econ. Financ. 34, 649–655 DOI: 10.1016/S2212-5671(15)01681-0
19. Doniță, N., Popescu, A., Paucă-Comănescu, M., Mihăilescu, S., & Biriș, I. A. (2005). *Habitatele din România*. Editura Tehnică Silvică, București.
20. Dragotă, C.S., (2006), Precipitațiile excedentare în România, Editura Academiei Române: 21-36

21. Dumitriu, D., 2020. Sediment flux during flood events along the Trotuș River channel: Hydrogeomorphological approach. *J. Soils Sediments*, 20, 4083–4102. DOI: 10.1007/s 11368-020-02763-4
22. Florea, N., Munteanu, I., (2003), *Sistemul român de taxonomie a solurilor*, SRTS, Editura Estfalia, București.
23. Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z., & Drobňjak, S., 2017. Application of GIS Interval Rough AHP Methodology for Flood Hazard Mapping in Urban Areas. *Water*, 9, 360. DOI: 10.3390/ w9060360
24. Giușcă, D., Rădulescu D., Gherasi N., Bombiță G., Vasilescu Al., Kräutner H., (1967), *Comitetul de stat al geologiei, Institutul Geologic, București, Harta geologică a Republicii Socialiste România 1:200000, M – 34 – XXXVI Baia Mare.*
25. Gralpois, M., Larrue, C., Wiering, M., Crabbé, A., Tapsell, S., Mees, H., Ek, K., & Szwed, M., 2016. Is flood defense changing in nature? Shifts in the flood defense strategy in six European countries. *Ecol. Soc.* 21(4), 37. DOI: 10.5751/ ES-08907-210437
26. Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., & Kanae, S., 2013. Global flood risk under climate change. *Nature Clim. Change* 2013, 3, 816–82. DOI: 10.1038/ncli mate1911
27. Hoeppe, P., 2016. Trends in weather related disasters—Consequences for insurers and society. *Weather Clim. Extrem.* 11, 70–79. DOI: 10.1016/j.wace.2015.10.002
28. Holguin, N., Mugica, A., & Ukar, O., 2021. How Is Climate Change Included in the Implementation of the European Flood Directive? Analysis of the Methodological Approaches of Different Countries. *Water*, 13, 1490. DOI: 10.3390/w13111490
29. Huang, Q., Wang, J., Li, M., Fei, M., & Dong, J., 2017. Modeling the influence of urbanization on urban pluvial flooding: a scenario-based case study in Shanghai, China. *Nat. Hazards*, 87, 1035–1055. DOI: 10.1007/s11069-017-2808-4
30. Irimuș, I. A., (1997), *Cartografiere geomorfologică*, Ed. Focul Viu, Cluj-Napoca.0521
31. Lexa, J., Seghedi, I., Németh, K., Szakács, A., Konečný, V., Pécskay, Z., Fülöp, A., & Kovacs, M., 2010. Neogene-Quaternary Volcanic forms in the Carpathian-Pannonian Region: a review. *Open Geosciences*, 2(3), 207–270. DOI: 10.2478/v10085-010-0024-5
32. Mac, I., Budai, C., (1992), *Munții Oaș-Gutâi-Țibleș*, Casa editorială pentru turism și cultură „Abeona”, București.

33. Mangini, W., Viglione, A., Hall, J., Hundecha, Y., Ceola, S., Montanari, A., Rogger, M., Salinas, J.L., Borzì, I., & Parajka, J., 2018. Detection of trends in magnitude and frequency of flood peaks across Europe. *Hydrol. Sci. J.*, 63(4) 493-512. DOI: 10.1080/02626667.2018.1444766
34. Mișu-Pintilie, A., Cîmpianu, C.I., Stoleriu, C.C., Pérez, M.N. & Paveluc, L.E., 2019. Using High-Density LiDAR Data and 2D Streamflow Hydraulic Modeling to Improve Urban Flood Hazard Maps: A HEC-RAS Multi-Scenario Approach. *Water*, 11(9), 1832. DOI: 10.3390/w11091832
35. Najibi, N., Devineni, N., 2018. Recent trends in the frequency and duration of global floods. *Earth Syst. Dynam.*, 9, 757–783. DOI: 10.5194/esd-9-757-2018
36. Novák, Petr, Hana Kyznarová, Martin Pecha, Petr Šercl, Vojtěch Svoboda, and Ondřej Ledvinka. 2021. "Utilization of Weather Radar Data for the Flash Flood Indicator Application in the Czech Republic" *Remote Sensing* 13, no. 16: 3184. <https://doi.org/10.3390/rs13163184>
37. Papaioannou, G., Vasiliades, L., Loukas, A., Alamanos, A., Efstratiadis, A., Koukouvinos, A., Tsoukalas, I., & Kossieris, P., 2021. A Flood Inundation Modeling Approach for Urban and Rural Areas in Lake and Large-Scale River Basins. *Water*, 13, 1264. DOI: 10.3390/w13091264
38. Paucă, M., (1955), Sedimentarul din regiunea eruptivă de la nord și est de Baia Mare, D.S. Com. Geol. XXXIX, București.
39. Paucă, M., (1964), Probleme geologice în bazinul Băii Mari, D. S. Com. Geol., XLIX, Partea I, București.
40. Pătroescu, M., & Zmeu, N. (2002). Vegetația pădurilor de gorun din Carpații Orientali. *Revista de Geografie și Biologie*, 8(1), 45–58.
41. Pierce, C.E.; Ebert, E.; Seed, A.W.; Sleigh, M.; Collier, C.G.; Fox, N.I.; Donaldson, N.; Wilson, J.W.; Roberts, R.; Mueller, C.K, The Nowcasting of Precipitation during Sydney 2000: An Appraisal of the QPF Algorithms. *Weather Forecast.* 2004, 19, 7–21
42. Pișota, I., Buta, I., (1983), Hidrologie – ediția a IV-a revizuită, Editura didactică și pedagogică, București, 319 p.
43. Popa, M.C., Peptenatu, D., Drăghici, C.C., & Diaconu, D.C., 2019 Flood Hazard Mapping Using the Flood and Flash-Flood Potential Index in the Buzău River Catchment, Romania. *Water*, 11, 2116. DOI: 10.3390/w11102116

44. Posea, G., (2005), Geomorfologia României: reliefuli, tipuri, geneză, evoluție, regionare, Ed. a II-a, Editura Fundației România de Măine, București.
45. Posea, G., Moldovan, C., Posea, Aurora, (1980), Județul Maramureș, Edit. Academiei Socialiste România, București.
46. Rahmstorf, S., & Coumou, D., 2011. Increase of extreme events in a warming world. PNAS, 108(44), 17905–17909. DOI: 10.1073/pnas.11 01766108
47. Rădan, S., & Săndulescu, M. (1999). *Geologia regiunii Maramureșului și împrejurimilor*. Editura Academiei Române.
48. Rădoane, M., Dumitriu, D., Ichim, I., (2001), Geomorfologie, Ed. Univ. din Suceava.
49. Răvășoiu, M., & Păcurar, D. (2010). Distribuția vegetației forestiere în Depresiunea Baia Mare. *Carpathian Journal of Forestry*, 3(2), 105–114.
50. Romanescu, G., Cîmpianu, C.I., Mișu-Pintilie, A. & Stoleriu, C.C., 2017. Historic flood events in NE Romania (post-1990). *Journal of Maps*, 13(2), 787–798. DOI: 10.1080/17445647.2017.1383944
51. Romanescu, G., Mișu-Pintilie, A., Stoleriu, C.C., Carboni, D., Paveluc, L. & Cîmpianu, C.I., 2018. A Comparative Analysis of Exceptional Flood Events in the Context of Heavy Rains in the Summer of 2010: Siret Basin (NE Romania) Case Study. *Water*, 10(2), 216. DOI: 10.20944/preprints201801.0078.v1
52. Romanescu, G., Stoleriu, C.C., & Romanescu, A.-M., 2011. Water reservoirs and the risk of accidental flood occurrence. Case study: Stanca–Costesti reservoir and the historical floods of the Prut river in the period July–August 2008, Romania. *Hydrol. Process.*, 25, 2056–2070. DOI: 10.1002/hyp.7957
53. Roșu, E., & Pécskay, Z. (1999). Timing of Neogene magmatism in the Gutâi Mountains: Geochronological and petrological insights. *Geologica Carpathica*, 50(6), 377–389.
54. Rusu, A., Ursu, A., Stoleriu, C.C., Groza, O., Niacșu, L., Sfică, L., Minea, I., & Stoleriu, O.M., 2020. Structural Changes in the Romanian Economy Reflected through Corine Land Cover Datasets. *Remote Sens.* 12, 1323. DOI: 10.3390/rs12081323
55. RWNA. (Romanian Waters National Administration). Hazard and risk flood maps. Available online: <http://gis2.rowater.ro:8989/flood/> (Accessed on 14 October 2022).
56. Sabău, D., Șerban, G., Tudose, T., & Petrea, D., 2022. Correlation between precipitation and orography - key element of the Spatial Decision Support System for

- Prevention and Management of Floods in the Firiza Basin (Northwest Romanian Carpathians). *Forum geografic*, XXI(1), 5–17. DOI: 10.5775/fg. 2022.045.i
57. Samarasinghe, J.T., Basnayaka, V., Gunathilake, M.B., Azamathulla, H.M., & Rathnayake, U., 2022. Comparing Combined 1D/2D and 2D Hydraulic Simulations Using High-Resolution Topographic Data: Examples from Sri Lanka—Lower Kelani River Basin. *Hydrology*, 9, 39. DOI: 10.3390/hydrology 9020039
  58. Sanders, B.F., 2007. Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. *Adv. Water Res.* 30, 1831–1843. DOI: 10.1016/j.adv watres.2007.02.005
  59. Sandu, I., & Mateescu, E. (2005). *Clima României*. Editura Academiei Române, București.,
  60. Săndulescu, M. (1984). *Geotectonica României*. Editura Tehnică, București.
  61. SMIS-CSNR 28988 (Someș-Tisa Water Basin Administration) The plan for the prevention, protection and mitigation of the effects of floods in the Someș-Tisa River Basin. Available online: <http://www.romair.ro> (Accessed on 14 October 2022).
  62. Stoleriu, C.C., Urzică, A. & Mișu-Pintilie, A., 2020. Improving flood risk map accuracy using high-density LiDAR data and the HEC-RAS river analysis system: A case study from north-eastern Romania. *Journal of Flood Risk Management*, 13 (Suppl. 1), e12572. DOI: 10. 1111/jfr3.12572
  63. Suciș Coriolan, *Dicționar istoric al localităților din Transilvania*, București, Editura Academiei, 1967-1968.
  64. Surdeanu, V., (1998), *Geografia terenurilor degradate. I. Alunecări de teren*, Presa Univeritară Clujeană, Cluj-Napoca.
  65. Tabari, H., 2020. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Sci. Rep.* 10, 13768. DOI: 10.1038/s41598-020-70816-2
  66. Tudor, A., & Croitoru, A. (2014). Patterns of wind speed and direction in Transylvania. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9(3), 155–164.
  67. Urdea, P., (2000), *Munții Retezat, studiu geomorfologic*, Editura Academiei Române, București
  68. Urzică, A., & Grozavu A., 2021. Flood hazard assessment in the joint floodplain sector of Bașeu and Prut rivers (NE Romania) by reconstructing historical flood events. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 16(2), 275–286. DOI:10.26471/cjees/2021/016/173

## Listă de figuri

Fig.1. 1 Localizarea geografică a zonei de studiu.....	11
Fig.1. 2 Dinamica precipitațiilor în bazinul Firiza pe perioada 1979 - 2023 (Meteoblue). .....	19
Fig.1. 3 Dinamica temperaturilor medii anuale în bazinul Firiza pe perioada 1979 - 2023 (Meteoblue). .....	20
Fig.2. 1 Distribuția radarelor meteorologice la nivel național .....	26
Fig.2.5 Fereastra de afișare a finalizării modelării în softul Hec-HMS .....	32
Fig.3. 1 Prelucrare GIS a datelor PAC produse de radarul Igniș .....	40
Fig.3. 2 Evoluția precipitațiilor în perioada 2008 - 2023 în zona Firiza (SGA Maramureș).....	42
Fig.3. 3 Valori pentadale reprezentând rezerva de apă raportată la grosimea stratului de zăpadă înregistrate la secțiunile de monitorizare în anul 2019 (SGA Maramureș) .....	43
Fig.3. 23 Suprafețe inundate în zona construită situată în aval de lacul de acumulare Strâmtori-Firiza calculate pentru fiecare scenariu cu intervale de recurență de 1% (100 de ani), 0,2% (500 de ani) și 0,1% (1000 de ani).....	46
Fig.3. 24 Adâncimea de inundație (m) în zona construită situată în aval de lacul de acumulare Strâmtori-Firiza calculată pentru cel mai grav scenariu de inundații, cu interval de recurență de 0,1% (1000 de ani). .....	48
Fig.3. 25 Viteza de inundație (m/s) în zona construită situată în aval de lacul de acumulare Strâmtori-Firiza calculată pentru cele mai grave scenarii de inundații, cu intervale de recurență de 0,1% (1000 de ani). .....	50
Fig.3. 26 Distribuția claselor hazardului de inundație pentru (a) zona potențial afectată de inundații și (b) clădirile potențial afectate pe baza criteriilor de clasificare a pericolului de inundație (a se vedea Tabelul 6.). Scenarii HEC-RAS cu perioade de recurență de 1%, 0,2% și 0,1% în fiecare grafic.....	52
Fig.3. 27 Clasificarea hazardului de inundație (a se vedea tabelul 7) în cadrul zonei construite situate în aval de acumularea Strâmtori-Firiza, calculat pentru cel mai grav scenariu de inundații, cu interval de recurență de 0,1% (1000 de ani).....	53
Fig.3. 28 Comparatie între rezultatele modelării 2D HEC – RAS și hărțile de risc de inundații ale ANAR pentru (a) intervale de recurență de 1% (100 de ani), (b) 0,2% (500 de ani) și (c) 0,1% (1000 de an).....	56

## Listă de tabele

Tabel 2 Distribuția populației în cartierele bătărene din perimetrul bazinului hidrografic Firiza (CJ Maramureș - 2014).....	25
Tabel 4 Valori de debit maxim determinat pentru diferite perioade de revenire .....	32
Tabel 5 Volumul apei (milioane m <sup>3</sup> ) și caracteristicile suprafeței (m) din acumularea Strâmtori-Firiza la diferite debite Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s) calculate pentru perioade de revenire de 100 de ani, 500 de ani și 1000 de ani .....	37
Tabel 6 Clasificarea pericolului de inundații elaborată de Australian Institute for Disaster Resilience (AIDR) .....	38
Tabel 7 Impactul inundațiilor în zona urbană în aval de Strâmtori - Firiza calculat pentru scenarii cu perioade de revenire de 1%, 0,2% și 0,1%.....	44
Tabel 8 Adâncimea de inundație (m) și numărul de clădiri potențial afectate calculate pentru fiecare scenariu cu perioade de revenire de 1%, 0,2% și 0,1%.....	47
Tabel 9 Viteza inundațiilor (m/s) și numărul de clădiri potențial afectate de valul de inundații calculat pentru fiecare scenariu cu intervale de recurență de 1% (100 de ani), 0,2% (500 de ani) și 0,1% (1000 de ani) .....	49
Tabel 10 Clasele de pericol de inundații, suprafața (ha) și numărul de clădiri potențial afectate de inundații calculate pentru fiecare scenariu cu intervale de recurență de 1% (100 de ani), 0,2% (500 de ani) și 0,1% (1000 de ani) .....	51