

UNIVERSITATEA “BABEȘ-BOLYAI” CLUJ-NAPOCA
FACULTATEA DE GEOGRAFIE
CATEDRA DE GEOGRAFIE FIZICĂ ȘI TEHNICĂ

**PREDICȚIA VIITURILOR RAPIDE ÎN CONDIȚII DE
DATE LIMITATE. APLICAȚIE LA RÂURILE MICI
DIN MUNȚII ZĂRANDULUI ȘI SĂVÂRȘINULUI**

- REZUMAT -

Coordonator științific:
Prof. Univ. Dr. HAIDU Ionel

Doctorand:
GYŐRI Maria-Mihaela

Cluj-Napoca
2013

Cuprins

1. Introducere	5
Obiectivele temei de cercetare.....	5
Localizare geografică și prezentarea bazinelor de studiu	6
2. Particularități ale relației ploaie-scurgere în bazinele mici	7
Scurt istoric al cercetărilor	7
Rolul GIS în extragerea parametrilor necesari modelării pe râurile mici	7
Concepte generale SIG (Sisteme Informatice Geografice)	7
Reprezentarea terenului în format digital.....	7
Reprezentarea parametrilor hidrologici în format digital.....	7
Modele și Sisteme de modelare hidrologică	8
Considerații generale și definiții.....	8
Etapile procesului de modelare	8
Componentele unui model.....	8
Clasificarea modelelor folosite pentru studierea scurgerii	8
Sisteme de modelare pentru scurgerea de suprafață	9
Modelele matematice ce descriu relația ploaie-debit cu aplicație pe râurile mici.....	9
Modelarea procesului ploaie-scurgere pe râurile nemonitorizate	10
Metodele statistice	10
Metodele bazate pe descrierea proceselor în vederea modelării scurgerii	10
Parametrii modelelor ploaie-scurgere pentru râurile nemonitorizate	Error!
Bookmark not defined.	
3. Analiza de frecvență, rolul acesteia în calcularea ploilor generatoare de viituri și a trasării curbelor de Intensitate-Durată-Frecvență pe râurile mici	11
Elemente de teorie a probabilităților.....	11

Momentele unei distribuții și estimarea acestora. Aplicabilitate la analiza ploilor și a scurgerii de suprafață.	11
Determinarea momentelor seriilor maxime anuale. Exemplificare pe Pârâul Petriș.	12
Perioada de revenire sau intervalul de recurență	12
Modele probabilistice des întrebuițate	12
Analiza de frecvență a ploilor generatoare pentru viiturile de pe râurile Petriș, Troaș, Monoroștia.....	13
Curbele Intensitate-Durăta-Frecvență pentru bazinele râurilor mici Petriș, Troaș, Monoroștia.....	15
4. Modelarea viiturilor probabilistice. Aplicație la bazinele Petriș, Troaș, Monoroștia	17
Scurtă introducere în metodologie și prezentare generală a bazinelor de studiu	17
Construirea bazei de date necesare modelării scurgerii de suprafață	17
Identificarea automată a cursurilor de apă, bazinelor și subbazinelor aferente cu ajutorul modelului ArcHydro.....	17
Determinarea parametrului CN (Curve Number)	17
Timpul de concentrare și timpul de răspuns.....	19
Modelarea hidrografului unitar cu sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS... ..	20
Modelul hidrologic.....	20
Modelul meteorologic	21
Modelul de calcul al pierderilor de apă.....	23
Modelul scurgerii directe	23
Calibrarea Modelului	28
5. Modelarea viiturilor pe râurile mici- nemonitorizate și monitorizate- din Munții Zărandului și Săvârșinului.....	30
Baza de date primară necesară modelării debitelor din bazinele nemonitorizate, prin intermediul Modelului de la Cluj	31

Modulul „Strat scurs”	31
Modul „Coeficient de scurgere”	32
Modul „Timpul de Răspuns al Bazinului”	32
Modulul „Debit”	33
Detaliere și exemplificare a etapelor pentru obținerea hidrografului prin intermediul Modelului de la Cluj	37
Validarea viiturii de pe Pârâul Troaş din data de 03.07.2001	37
6. Aplicație în vederea determinării suprafețelor inundabile la înregistrarea de viituri probabilistice. Studii de caz pe bazinele mici monitorizate din munții Zărandului și Săvârșinului. 38	
Datele de intrare în procesul de modelare	40
Date topografice	40
Rețeaua modelului	41
Date hidrologice	41
Trasarea hărților de inundații pe baza modelului hidraulic aplicat pe bazinele mici	42
7. Concluzii	49

1. Introducere

Lucrarea de față dorește să prezinte aspectele procesului de modelare, extrem de util în hidrologie, unde limitările determinate de către tehnicile de măsurare existente cât și de șirul de serii temporale disponibile pentru un bazin de studiu, sunt recunoscute de întreaga comunitate științifică. Astfel, diferitele tipuri de modele dezvoltate oferă posibilitatea extrapolării pe baza măsurătorilor existente, la nivelul bazinelor mici, nemonitorizate, sau realizarea de prognoze, rezultate care sunt mai departe transmise factorilor decizionali (*Beven, 2006*).

Prin Directiva Europeană 2007/60/EC statele membre ale Uniunii Europene trebuie să aibă în vedere evaluarea pe bazine hidrografice a cursurilor de apă cu risc la inundații. Acțiunea trebuie finalizată prin hărți care să contureze zona inundabilă întrucât inundațiile sunt fenomene naturale care provoacă aproape anual atât în România cât și în lume, victime omenești, dezastre economice etc.

Viiturile rapide sunt produse de ploi torențiale cu o durată maximă de trei ore, pe o suprafață bazinală de până la 200 de km², un timp de concentrare al bazinului mai mic de șase ore și o precipitație torențială de 100 mm (*Drobot, 2007*).

Modelele hidrologice sunt cele care ne ajută la înțelegerea fenomenelor naturale precum este cel de viitură, cu ajutorul simulărilor. Reprezentarea spațială a procesului generator, precipitațiile, cât și cea a parametrilor hidrologici care influențează modul de scurgere al apei, permit estimarea hidrografului de viitură pentru diferite secțiuni din cadrul unui bazin.

Obiectivele temei de cercetare

Obiectivele prezentei lucrări vizează identificarea și aplicarea unei metodologii de modelare a viiturilor cu diferite perioade de revenire pe râurile mici monitorizate din cadrul Munților Zărandului și a Munților Săvârșinului, o a doua metodologie de simulare a viiturilor pe bazinele mici nemonitorizate și în al treilea rând metodologia de întocmire a hărților de inundabilitate care lipsesc în România iar teritoriul studiat nu face excepție.

Având aceste obiective generale în vedere, se pornește la identificarea etapelor de lucru care constau în:

- Calcularea ploilor maxime probabile pentru diferitele durate și realizarea unei analize de frecvență a acestora;

- Construirea curbelor de Intensitate-Durată-Frecvență pentru bazinele mici Petriș, Troaș și Monoroștia;
- Cartarea teritoriului de studiu prin intermediul GIS și determinarea indirectă a parametrilor hidrologici necesari pentru simulări;
- Construirea de modele reprezentative pentru cele zece bazine (trei monitorizate și șapte nemonitorizate);
- Simularea viiturilor cu o perioadă de revenire de 100, 50 și 10 ani pe baza ploilor maxime probabile și a metodei SCS, aplicată pe bazinele monitorizate;
- Simularea unei viituri pe bazinele nemonitorizate prin intermediul modelului de la Cluj;
- Realizarea hărților de inundații la viiturile pluviale cu o perioadă de revenire de 100, 50 și 10 ani în cadrul bazinelor monitorizate, prin intermediul unui model hidraulic.

Localizare geografică și prezentarea bazinelor de studiu

Prezenta lucrare se axează pe zece bazine situate în cadrul Munților Zărandului și Săvârșinului (**Fig.1.1**) dintre care:

- 3 monitorizate (Pârâurile Petriș, Troaș și Valea Monoroștia);
- 7 nemonitorizate (Văile Radna, Milova și Pârâurile Conop, Bârzava, Julița, Vinești, Toc).



Fig.1.1 Localizarea geografică a celor zece bazine de studiu.

Aceste bazine au suprafețele cuprinse între 10 km² și 110 km², încadrându-se categoriei bazinelor mici (Haidu, 1993). Pârâurile și văile constituie de fapt afluenții de dreapta ai râului Mureș din cadrul Munților Zărandului și Săvârșinului, bazine în cadrul cărora se găsesc o suită de așezări umane cât și o rețea de posturi hidrometrice și stații meteorologice care să furnizeze date legate de debitele râurilor și condițiile meteorologice.

2. Particularități ale relației ploaie-scurgere în bazinele mici

Scurt istoric al cercetărilor

Procesul ploaie-scurgere este investigat la nivelul celor zece bazine mici de studiu, prin intermediul modelelor hidrologice și hidraulice. Aceste modele fac uz de metoda rațională și metoda SCS, rezultatul grafic fiind hidrograful unitar. Astfel acest subcapitol nu numai ca prezintă metodele la baza simulărilor ci arată și evoluția modului de lucru în disciplina hidrologie, schimbarea direcției de cercetare de la concentrarea atenției asupra estimării cantității ploilor efective la estimarea hidrografului unitar prin modelele din ce în ce mai complexe.

Rolul GIS în extragerea parametrilor necesari modelării pe râurile mici

Concepte generale SIG (Sisteme Informatice Geografice)

SIG (*Sistemele Informatice Geografice*) sunt deja folosite într-un număr mare de aplicații legate de studiul mediului. Există un mare număr de definiții ale SIG însă toate au comun ideea atribuirii unei localizări spațiale datelor, sau conceptul de „date spațiale”.

Reprezentarea terenului în format digital

Parametrii cu o mare importanță în hidrologie care pot fi deduși pe baza datelor digitale sunt precipitațiile, infiltrația, evapotranspirația, coeficientul de rugozitate.

Reprezentarea parametrilor hidrologici în format digital

În modelarea procesului de scurgere, topografia joacă un rol important deoarece definește mișcarea apei de la suprafață în cadrul bazinului hidrografic. Caracteristicile bazinului care influențează generarea scurgerii sunt lățimea, forma, rețeaua hidrografică, gradientul pantă, orientarea versanților, curbura versantului, lungimea cursului de râu amonte

de un anumit punct, suprafața bazinului, suprafața din amonte (*Bedient, 2002, Moore et al., 1991*).

Sursele de date pentru obținerea topografiei sunt: LiDAR, ASTER, Interferometria Radar, SRTM

Modele și Sisteme de modelare hidrologică

Considerații generale și definiții

Modelele hidrologice sunt o reprezentare simplificată a sistemului natural, care în acest caz este ciclul hidrologic cu părțile sale componente.

Cel mai adesea sunt folosite modelele matematice pentru redarea hidrografului viiturii, acesta fiind cazul și în cadrul modelării scurgerii din zona de studiu. Există o suită de sisteme de modelare care încorporează deja aceste modele matematice.

În hidrologie însă nu există o terminologie unică și general acceptată, ca dovadă că și această distincție dintre model și sistem de modelare nu este recunoscută de întreaga comunitate științifică și prin urmare nu va fi menținută cu strictețe nici în lucrarea de față.

Etapele procesului de modelare:

Seria de etape care trebuie îndeplinite în realizarea unei aplicații hidrologice se numește *protocol de modelare* (*Abbott, Refsgaard, 1996*).

Componentele unui model

Componentele pe care le au în comun modelele matematice sunt: variabilele de stare, parametrii, condițiile limită, condițiile inițiale.

Clasificarea modelelor folosite pentru studierea scurgerii

Modelele matematice, utilizate în hidrologie, au cunoscut o dezvoltare foarte importantă datorită progreselor în înțelegerea proceselor specifice și a evoluției tehnicii de calcul. Din punct de vedere al **mecanismului**, modelele matematice se împart în următoarele categorii (*Ford, Hamilton, 1996*)

- *Modele ale unui singur eveniment și modele de simulare continuă a scurgerii râurilor*
- *Modele cu parametri concentrați și modele cu parametri distribuiți*
- *Modele empirice și modele conceptuale*
- *Modele deterministe și modele stochastice*

Sisteme de modelare pentru scurgerea de suprafață

Clasificarea propusă de *Maidment (1993)* împarte **sistemele de modelare** în:

1. Modele ploaie-scurgere ale unui singur eveniment
2. Modele de simulare continuă a scurgerii râurilor
3. Modele hidraulice pentru inundații
4. Modele pentru calitatea apei

Modelele matematice ce descriu relația ploaie-debit cu aplicație pe râurile mici

Tratarea problemei scurgerii maxime în bazinele mici a determinat ca una dintre etapele studiului bibliografic să fie subiectul modelelor matematice pe râurile mici.

Modele cu parametrii distribuiți

Hydrologic Engineering Corps -Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), program creat de USACE în vederea simulării procesului ploaie-scurgere în cadrul bazinelor dendritice.

În vederea rezolvării ecuației de bilanț dintr-un bazin, informația aferentă bazinului este introdusă în program prin intermediul unui model al bazinului. **Modelul bazinului** conține proprietățile fizice ale bazinului cât și topologia rețelei de râu. Acesta conține de asemenea și o serie de componente care descriu infiltrația, scurgerea de suprafață, scurgerea subterană, propagarea scurgerii și suprafețele lacustre. (*USACE, 2000*).

Funcția de transfer este și ea conținută de fiecare subbazin, Un număr de șapte metode sunt disponibile, una fiind cea a hidrografului unitar.

Informația legată de datele meteorologice este stocată în program prin intermediul unui *model meteorologic*.

Modelele parametrice

SCS-CN Based Hydrologic Simulation Package - Pachetul de Simulare hidrologică bazat pe metoda SCS-CN

Pachetul permite simularea pentru obținerea volumul scurgerii, și a infiltrației folosindu-se de metoda SCS-CN în varianta consacrată, cât și de variantele derivate ale acesteia (*Mishra, Singh, 2002*).

Modelarea procesului ploaie-scurgere pe râurile nemonitorizate

Există două tipuri diferite de metode pentru estimarea scurgerii în cadrul bazinelor nemonitorizate (*Bloschl et al., 2013*):

- **Metodele statistice;**
- **Metodele bazate pe descrierea proceselor.**

Metodele statistice

Modele statistice sunt relații simple de tip liniar care descriu legăturile dintre caracteristicile scurgerii, cele climatice și cele ale bazinului. Astfel acestea nu se bazează pe ecuațiile de bilanț, structura modelului se presupune a fi cunoscută *a priori*, parametrii acestora fiind însă estimați de cele mai multe ori, pe baza datelor existente în regiunea de studiu.

Acest tip de metode pot fi aplicate doar în regiunile cu o densă rețea de stații și posturi de monitorizare. Chiar și în cazul când această condiție este îndeplinită, rămân în continuare o serie de obstacole în vederea determinării seriilor temporale de date pentru bazinele nemonitorizate.

Metodele bazate pe descrierea proceselor în vederea modelării scurgerii

Modelele bazate pe descrierea proceselor sunt modele ploaie-debit care estimează hidrograful scurgerii pe baza unor variabile de natură climatică.

Marea provocare în bazinele nemonitorizate este lipsa datelor legate de debite care ar putea fi folosite la selectarea modelului potrivit cât și la calibrare. Varietatea de modele le înglobează pe cele hidrodinamice, bazate pe ecuații deduse în practicile din laboratoare, cât și pe modelele index, sau cele conceptuale cu parametri concentrați și toate tipurile de modele care se regăsesc la tranziția dintre cele deja menționate.

*

Pentru bazinele nemonitorizate, transferul parametrilor de pe bazinele monitorizate printr-una din metodele de mai sus, ar putea reprezenta o opțiune în modelarea procesului ploaie-scurgere. Această manieră de determinare a valorilor parametrilor le poate completa pe cele obținute prin măsurătorile din teren sau pe cele determinate cu ajutorul teledetecției. De fapt, estimarea parametrilor prin două sau mai multe metode le va crește nivelul de acuratețe.

3. Analiza de frecvență, rolul acesteia în calcularea ploilor generatoare de viituri și a trasării curbelor de Intensitate-Durăță-Frecvență pe râurile mici

Pe baza analizei de frecvență a ploilor maxime probabile de diferite durate se vor obține datele de intrare pentru modelul meteorologic din cadrul modelului ploaie-scurgere aplicat pentru modelarea viiturilor în bazinele mici: Petriș, Troaș și Monoroștia.

Analiza de frecvență este aplicată ulterior și debitelor măsurate (1988-2009) la posturi, făcându-se uz de rezultatele acestea în cadrul calibrării modelului ploaie-scurgere.

Procesele hidrologice trebuie explicate și analizate probabilistic datorită caracterului aleatoriu pe care îl au. Metodele statistice sunt cele la îndemâna hidrologului pentru a permite organizarea, prezentarea și reducerea datelor observate la o formă ce facilitează interpretarea acestora și evaluarea.

Elemente de teorie a probabilităților

O ipoteză a analizei de frecvență este cea legată de caracterul *independent* al datelor care prevede că magnitudinea unui eveniment din viitor nu depinde de magnitudinea evenimentelor din trecut.

Posibila modificare a tiparului scurgerii care ar sugera o schimbare în cadrul bazinului sau a climei regiunii trebuie de asemenea avută în vedere. Astfel doar *metodele cantitative de analiză a seriilor temporale* pot să determine cu siguranță dacă există sau nu non-staționaritate sau o periodicitate în cadrul datelor.

Încă un aspect ce trebuie luat în considerare este (in)existența a două sau a mai multor mecanisme-cauză ale seriilor de timp, tradus prin termenul de *populație mixtă*. De exemplu, viiturile pot fi generate de un eveniment ploios, de topirea zăpezii sau de o combinație a acestora. În cazul acesta cel mai adesea se efectuează analize de frecvență separate pe cele două tipuri de date (*Bedient, 2002*).

Momentele unei distribuții și estimarea acestora. Aplicabilitate la analiza ploilor și a scurgerii de suprafață.

Conceptul momentelor este arhicunoscut în ingineria mecanică. O funcție densitate de probabilitate sau funcția masă de probabilitate este o formă funcțională ale cărei momente

sunt legate de parametrii săi. Astfel, găsind momentele, în genere pot fi găsiți și parametrii distribuției. Momentele în sine indică forma distribuției.

Determinarea momentelor seriilor maxime anuale. Exemplificare pe Pârâul Petriș.

Luând ca exemplu seria debitelor maxime anuale pluviale de pe Valea Petriș, pe ecuațiilor prezentate în subcapitolul anterior, momentele seriei maxime anuale de debite pluviale pot fi calculate. Pentru aplicația de față aceste calcule s-au realizat automat, prin intermediul softului HYFRAN. (**Tabel 3.3**)

Tabel. 3.3 Momentele calculate pentru debitele maxime pluviale de pe Valea Petriș (1988-2009)

Numărul de valori	22
Minima	0.796
Maxima	60.6
Media	15.4
Mediana	6.74
Deviația standard	16.8
Coeficientul de variație	1.09
Indicele de asimetrie	1.35

Perioada de revenire sau intervalul de recurență

Cea mai utilizată metodă de a indica probabilitatea unui eveniment în hidrologie este prin atribuirea unei *perioade de revenire* sau a *unui interval de recurență*.

Probabilitatea de depășire (p) și perioada de revenire (T) sunt relaționate astfel (McCuen, 1982):

$$p = \frac{1}{T} \quad (24)$$

Modele probabilistice des întrebuințate

În hidrologie sunt folosite multe funcții masă de probabilitate discrete și funcții densitate de probabilitate continue. Cele mai des întrebuințate distribuții continue în hidrologie sunt distribuția de probabilitate Normală, Log normală, Gamma (Pearson de tip III), și Log-gamma (Log Pearson de tip III) (Bedinet, 2002).

Haidu (2002) menționează de asemenea legea Gumbel precum una dintre cele mai potrivite pentru descrierea unei serii de valori maxime anuale, iar funcția Log Pearson Tip III se remarcă, conform aceluiași autor, prin rezultate foarte bune, pentru teritoriul României în general.

Analiza de frecvență a ploilor generatoare pentru viiturile de pe râurile Petriș, Troaș, Monoroștia

Primul pas în realizarea analizei de frecvență este constituirea seriei de valori (Musy, Higy, 1998, Maidment, 1993).

În studiul de față s-au avut în vedere șirurile de valori ale precipitațiilor maxime anuale de 24 ore pentru fiecare afluent, pentru lunile aprilie-octombrie, luni în care temperatura medie lunară este pozitivă, viiturile înregistrate în intervalul menționat fiind astfel de natură pluvială.

În țara noastră se remarcă lucrarea „Sinteze și regionalizări hidrologice” (1994), autori C. Diaconu și P. Șerban, în ceea ce privește calculul ploilor maxime pe bazine, recurgându-se la analizele temporal-spațiale utilizând datele disponibile asupra precipitațiilor maxime anuale de 24 ore obținute de la Institutul Național de Meteorologie și Hidrologie.

Analizele și curbele de asigurare temporal-spațiale pot fi obținute pentru ploi de orice durată. S-au utilizat în acest scop precipitațiile de 24 ore, deoarece ploile cu durate mai scurte, respectiv 6 ore, 3 ore, 1 oră, 30 min, etc., sunt de dată mai recentă și în puncte mai puține.

Metoda este regăsită și în Drobot, 2007, pentru acele stații la care se dispune doar de precipitații zilnice cum este cazul și al afluenților studiați.

Șirurile de valori au fost supuse pentru fiecare din duratele menționate și pentru fiecare din cei trei afluenți, testelor non-parametrice existente în cadrul softului HYFRAN:

- testul de independență Wald-Wolfowitz;
- testul de staționaritate Kendall;
- testul de omogenitate.

Toate testele aplicabile seriilor de date au fost acceptate.

Astfel, pentru a servi scopului aplicației din lucrarea de față, pentru fiecare dintre ploile maxime probabile cu diferitele durate determinate, s-a realizat analiza de frecvență pentru probabilitatea de depășire 1%, 2% și 10% pentru Petriș, Troaș și Monoroștia.

Alegerea celei mai potrivite legi statistice a fost facilitată de reprezentarea grafică simultană a acestora. În imaginea oferită spre exemplificare (**fig.3.12**) pentru șirul ploilor

maxime cu durata de 5 minute înregistrate la postul pluviometric Petriș, se poate observa că deși fiecare lege (Distribuția Gumbel, Metoda estimării de verosimilitate maximă; Distribuția Gumbel, Metoda Momentelor; Distribuția Log Pearson speța a III-a, Metoda SAM; Distribuția Log-Pearson tip III, Metoda Momentelor în baza 10) descrie suficient de bine șirul de date, dar cea mai bună dintre reprezentări aparține totuși distribuției Gumbel, metoda estimării de verosimilitate maximă.

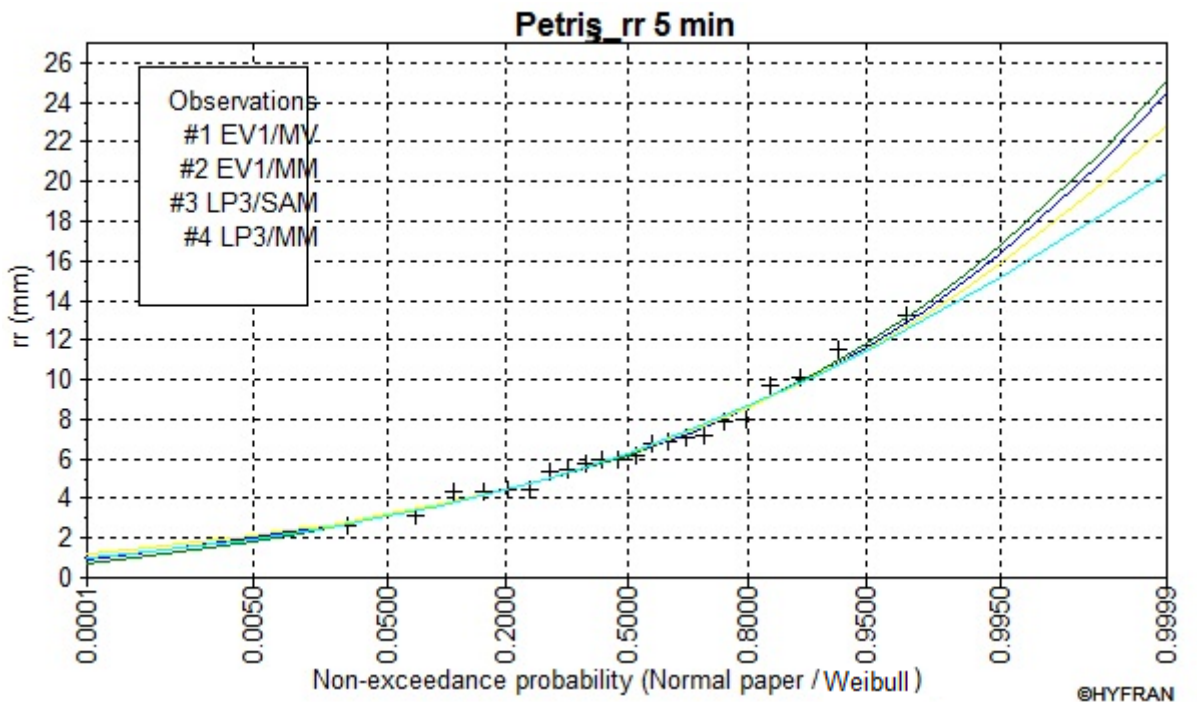


Fig. 3.12. Reprezentare grafică a legilor probabilistice pentru ploile maxime probabile de durate 5 minute la postul pluviometric Petriș.

În tabelele 3.8, 3.9, 3.10 sunt redată rezultatele, anume ploile maxime probabile de diferite durate pentru fiecare din cei trei afluenți.

Tabelul 3.8 Frecvența PMP Petriș. Legea Gumbel.

<i>p</i>	<i>T (ani)</i>	<i>5 min</i>	<i>15 min</i>	<i>1h</i>	<i>2h</i>	<i>3h</i>	<i>6 h</i>	<i>12 h</i>	<i>24 h</i>
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1%	100	15.3	26.9	43.4	50.1	53.1	58.4	65.8	74.8
2%	50	13.8	24.3	39.3	45.3	48	52.8	59.5	67.6
10%	10	10.2	18.3	29.5	34	36	39.6	44.7	50.7

Tabelul 3.9 Frecvența PMP Troaş. Legea Gumbel.

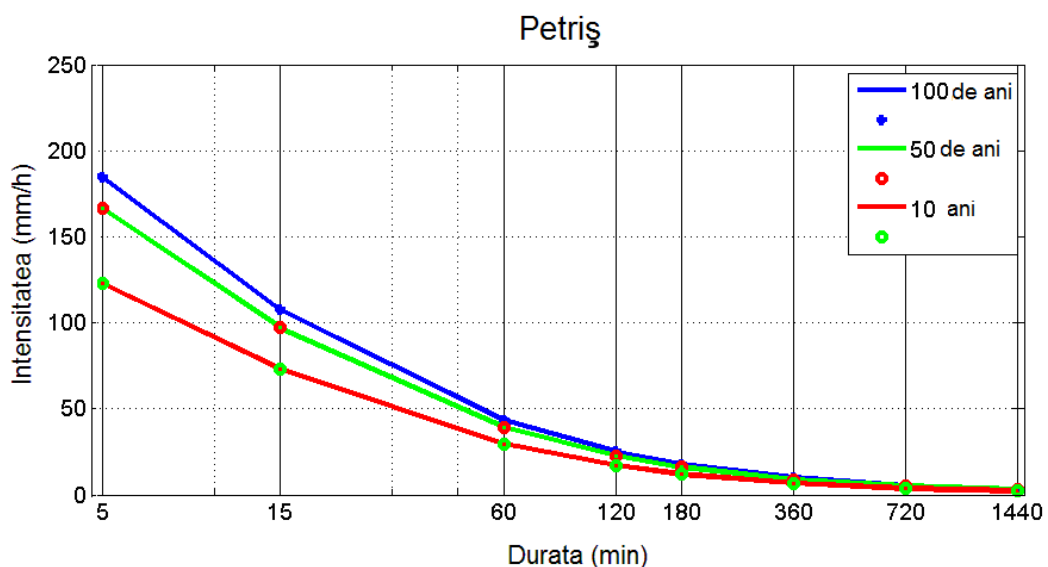
<i>p</i>	<i>T (ani)</i>	<i>5 min</i>	<i>15 min</i>	<i>1h</i>	<i>2h</i>	<i>3h</i>	<i>6 h</i>	<i>12 h</i>	<i>24 h</i>
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1%	100	15.6	28.1	45.2	52.3	55.4	60.8	68.6	78
2%	50	14.4	25.9	41.7	48.1	51	56	63.2	71.9
10%	10	11.4	20.6	33.2	38.3	40.6	44.6	50.3	57.2

Tabelul 3.10 Frecvența PMP Monoroștia Legea Gumbel.

<i>p</i>	<i>T (ani)</i>	<i>5 min</i>	<i>15 min</i>	<i>1h</i>	<i>2h</i>	<i>3h</i>	<i>6 h</i>	<i>12 h</i>	<i>24 h</i>
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1%	100	13.5	29.3	47	54.3	56.7	62.4	70.3	79.9
2%	50	12.5	26.7	42.9	49.6	51.8	56.9	64.2	73
10%	10	10.2	20.6	33.2	38.3	40.1	44.1	49.7	56.5

Valorile acestora sunt esențiale în simularea viiturilor cu diferite probabilități de depășire, în determinarea intensității episoadelor de ploaie și nu în ultimul rând în determinarea curbelor de Intensitate-Durată-Frecvență pentru cele trei bazine (**Fig. 3.14, 3.15, 3.16**). Alte exemple de construire a curbelor de care s-a ținut cont în lucrarea de față sunt studiile întocmite de *Eman Ahmed Hassan El-Sayed, 2011, Boucher, 2009, WRC Engeneering, 2008, Wolfe, 2006.*

Curbele Intensitate-Durată-Frecvență pentru bazinele râurilor mici Petriș, Troaş, Monoroștia

**Fig. 3.14** Curbele Intensitate-Durată-Frecvență la postul hidrometric Petriș (Győri et al., 2013).

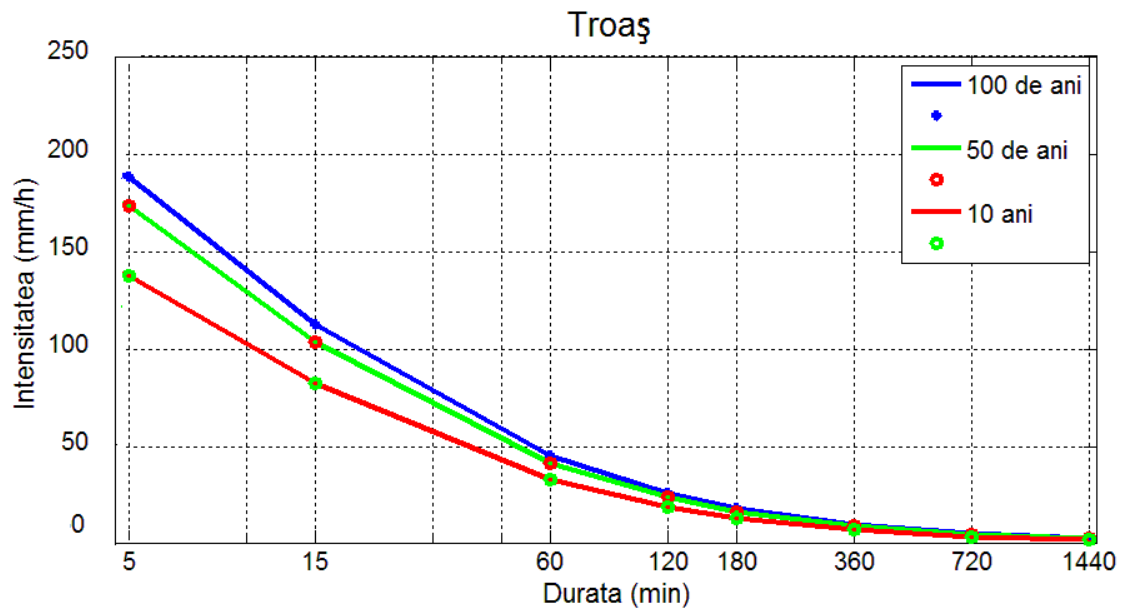


Fig. 3.15 Curbele Intensitate-Dură-tă-Frecvență la postul hidrometric Troaş.

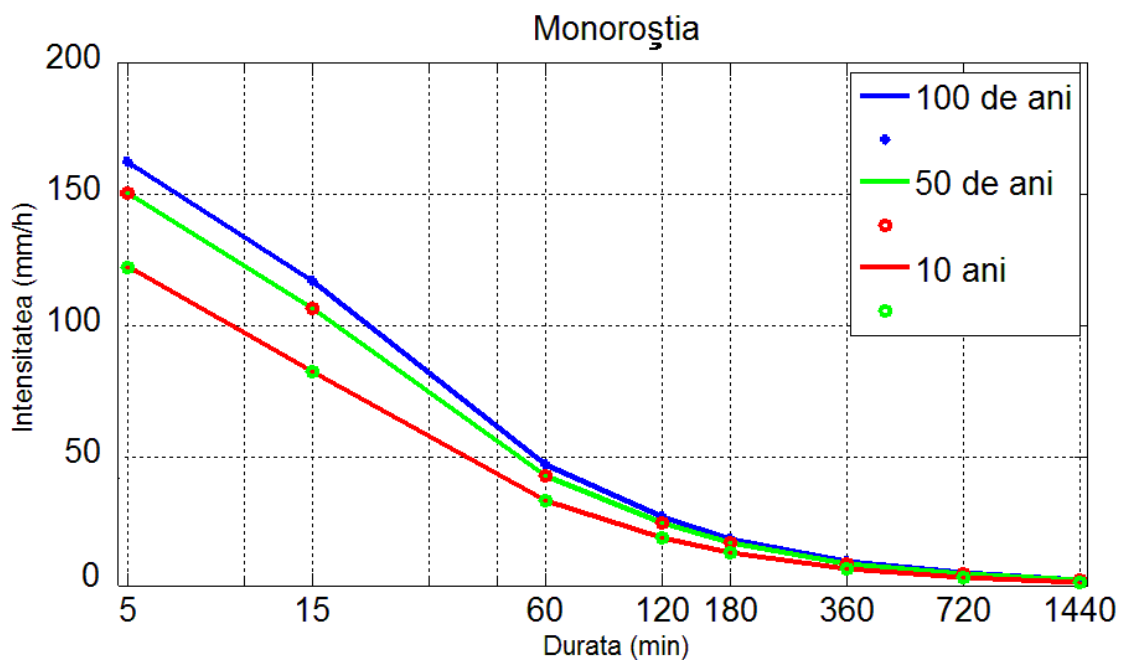


Fig. 3.16 Curbele Intensitate-Dură-tă-Frecvență la postul hidrometric Monoroştia.

4. Modelarea viiturilor probabilistice. Aplicație la bazinele Petriș, Troaș, Monoroștia

Scurtă introducere în metodologie și prezentare generală a bazinelor de studiu

Viiturile cu perioade de revenire de 10 ani, 50 de ani și 100 de ani sunt generate pe baza ploilor maxime probabile de diferite durate. Aceasta a constituit o alternativă care a permis generarea viiturilor cu modelul HEC-HMS chiar dacă nu s-a dispus de date orare de precipitații de la stații și posturi hidrometrice.

Modelul ploaie-debit utilizat în acest scop este HEC-HMS, creat pentru a simula funcțiile de producere și de transfer a scurgerii în bazinele dendritice. Fluxul masei și al energiei din cadrul circuitului apei de pe suprafața bazinului este reprezentat cu un model matematic. Modelul are o mare aplicabilitate, fiind folosit pentru aplicații de bilanț al apei pentru bazinele mari, studii de inundații cât și pentru estimarea scurgerii din bazinele mici din mediul urban cât și a celor care își păstrează caracterul natural.

Cele trei studii de caz vor fi efectuate pe bazinele Petriș, Troaș, Monoroștia.

Construirea bazei de date necesare modelării scurgerii de suprafață

Identificarea automată a cursurilor de apă, bazinelor și subbazinelor aferente cu ajutorul modelului ArcHydro

Pentru a determina cursurile de apă și bazinele aferente acestora s-a recurs la funcțiile din modelul de date ArcHydro.

Determinarea parametrului CN (Curve Number)

Parametrul CN (*Curve Number* engl., Număr de Curbă) este calculat în funcție de caracteristicile bazinului care generează scurgerea precum tipul de sol, utilizarea terenului, condițiile de la suprafața solului și condițiile anterioare. CN constituie parametrul pe baza căruia metoda SCS poate să fie aplicată (*Ponce, Hawkins, 1996*).

În funcție de modul de utilizare al terenurilor, pentru teritoriul României valorile indicelui CN au fost stabilite de *Chendeș, (2007)*

În prima etapă se iau indicii pentru condiții normale de umiditate (CN II) ca apoi să urmeze ajustarea în funcție de condițiile anterioare de umiditate (AMC I, AMC II AMC III).

Metodologie GIS de determinare a parametrului CN pentru bazinele din Munții Zărandului și Săvârșinului

Pentru un bazin care este compus din diverse tipuri de sol și tipuri de utilizare a terenului, o valoare compusă a CN se poate calcula după formula (31) luându-se în calcul AMC II:

$$CN_{compus} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \quad (31)$$

-unde: CN_{compus} = numărul de curbă compus folosit pentru calculul volumelor în modelul ploaie scurgere

i = un index al subdiviziunilor cu aceleași tipuri de sol și de utilizare a terenurilor

CN_i = CN corespunzător subdiviziunii „i”

A_i = suprafața de drenaj a subdiviziunii „i” (USACE, 2000).

CN obținut (Tabel 4.5) este o valoare compusă ce reprezintă totalitatea combinațiilor posibile dintre grupele de sol și tipurile de utilizare a terenului existente într-un subbazin. (Győri et al., 2013).

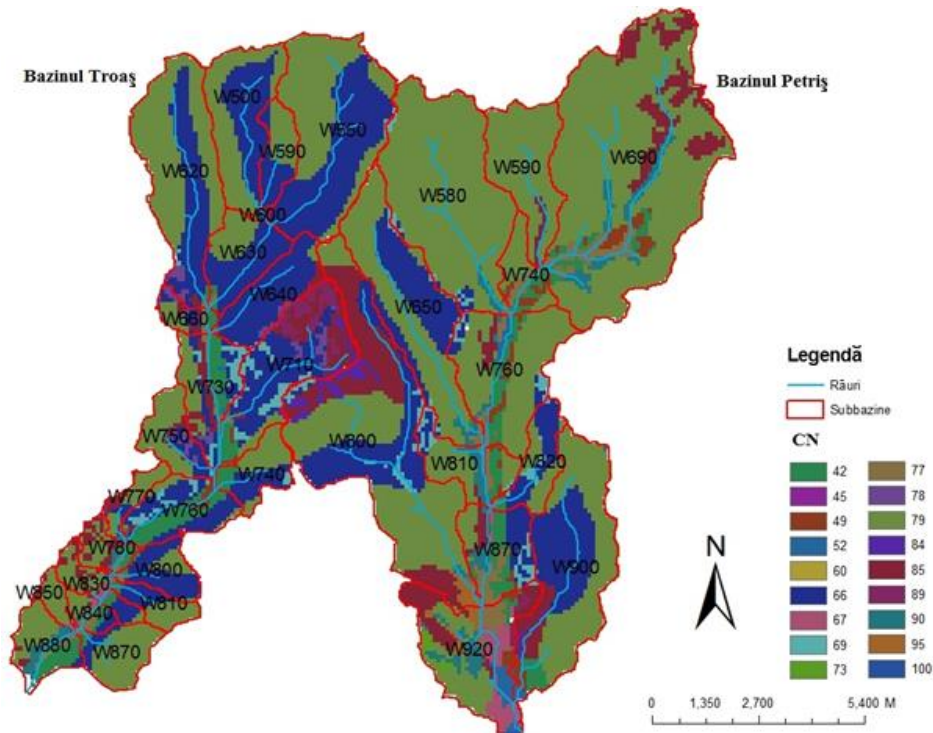


Fig 4.11 CNII Bazinele Petriș și Troaș (adaptare după Győri et al., 2013)

Tabel 4.5. CN compus pentru fiecare din subbazinele celor trei afluenți ai Mureșului.

Petriș		Troaș		Monoroștia	
Subbazin	CN	Subbazin	CN	Subbazin	CN
W690	78.498	W880	71.18	W 1090	66
W590	79.314	W870	75.88	W 1160	67.95
W580	78.814	W850	79.61	W 1270	68.347
W740	68.126	W840	70.882	W 1360	67.642
W650	73.949	W830	74.734	W1500	74.603
W760	72.506	W810	72.924	W1530	72.985
W810	74.020	W800	68.858	W1360	67.642
W820	70.879	W780	77.194	W1490	75.028
W800	77.363	W770	79.839	W1830	76.646
W870	67.939	W760	59.958	W1710	72.449
W900	73.166	W750	76.902	W1170	71.449
W920	76.240	W740	69.137	W1780	79
		W730	68.172	W1740	79
		W710	73.418	W1820	78.156
		W660	72.790	W1810	79.111
		W640	68.087	W1670	75.486
		W630	69.517	W1920	80.536
		W620	74.127	W2040	80.867
		W600	70	W1380	76.287
		W550	72.221	W2110	80.004
		W590	72.465		
		W500	72.861		

Timpul de concentrare și timpul de răspuns

Odată cu apariția SIG și cu posibilitatea de a procesa date spațiale, DEM-uri și TIN-uri a apărut și posibilitatea de a estima acești doi timpi. Aceste metode de determinare bazate pe ecuații empirice necesită în genere valorile aferente suprafeței bazinului, pantei medii și lungimii cursului de apă, etc., parametrii extrași tocmai pe baza datelor geografice, în urma prelucrării în SIG (*Green, Nelson, 2002, USACE, 2011, 2008*).

În cazul bazinelor nemonitorizate, SCS sugerează că timpul de răspuns (T_r sau T_{lag}) al hidrografului unitar poate fi corelat cu timpul de concentrare (T_c) astfel:

$$T_{lag} = 0.6 \times T_c \quad (33)$$

Tabelul 4.6. Parametrii T_{lag} și T_c . (*adaptare după Györi et al., 2013*)

	T_c (h)	T_{lag} (h)		T_c (h)	T_{lag} (h)		T_c (h)	T_{lag} (h)
Petriș	5.2	3.2	Troaș	5.3	3.2	Monoroștia	2.9	1.74
Subbazin			Subbazin			Subbazin		
W690	1.77	1.06	W850	0.82	0.49	W 1090	0.72	0.43

	T_c (h)	T_{lag} (h)		T_c (h)	T_{lag} (h)		T_c (h)	T_{lag} (h)
W590	1.07	0.64	W870	0.96	0.57	W 1160	0.94	0.56
W580	1.33	0.80	W880	71.18	1.31	W 1270	0.79	0.47
W740	1.02	0.61	W840	0.76	0.48	W 1360	0.88	0.53
W650	1.76	1.05	W830	0.86	0.5	W1500	0.65	0.39
W760	1.65	0.99	W810	0.96	0.58	W1530	0.62	0.37
W810	1.14	0.68	W800	1.16	0.7	W1490	0.93	0.56
W820	1.04	0.63	W780	0.75	0.45	W1830	0.86	0.52
W800	2.07	1.24	W770	0.97	0.58	W1710	0.89	0.54
W870	1.27	0.76	W760	1.67	1	W1170	1.4	0.84
W900	1.85	1.11	W750	1.40	0.84	W1780	0.32	0.19
W920	1.68	1.01	W740	1.34	0.8	W1740	0.22	0.13
			W730	1.58	0.95	W1820	0.64	0.38
			W710	2.05	1.23	W1810	0.48	0.29
			W660	0.76	0.45	W1670	0.56	0.34
			W640	1.4	0.83	W1920	0.81	0.49
			W630	1.17	0.7	W2040	0.64	0.39
			W620	1.95	1.17	W1380	1.75	1.05
			W600	0.3	0.18	W2110	1.22	0.73
			W550	1.97	1.18			
			W590	1.11	0.66			
			W500	1.55	0.93			

Modelarea hidrografului unitar cu sistemul de modelare hidrologică HEC-HMS

În cadrul modelării de față prin intermediul a HEC-HMS pentru fiecare dintre cele trei modele hidrologice construite pentru bazinele Petriș, Troaș și Monoroștia, există câte cinci componente:

- modelul bazinului;
- modelul meteorologic;
- controlul specificațiilor;
- seriile temporale de date.

Hidrograful unitar este modelul scurgerii directe care permite identificarea viiturilor istorice de cu probabilitate de depășire de 1%, 2% și 10% care mai apoi pot fi folosite, la determinarea ariei inundabile a râurilor, permițând conturarea hărților de risc.

Modelul hidrologic

Reprezentarea fizică a bazinelor Petriș (**fig. 4.18**), Troaș și Monoroștia a fost creată prin intermediul sistemului de modelare hidrologică HEC-HMS unde, prin componenta numită „*model al bazinului*”, elementele hidrologice individuale pot fi conectate într-o rețea ce imită structura bazinului hidrografic. În cadrul fiecărui element sunt reprezentate procesele

fizice specifice acestora prin intermediul modelelor matematice (Razi et al., 2010, Kafle et al., 2010, Katani Mehdi, 2011).

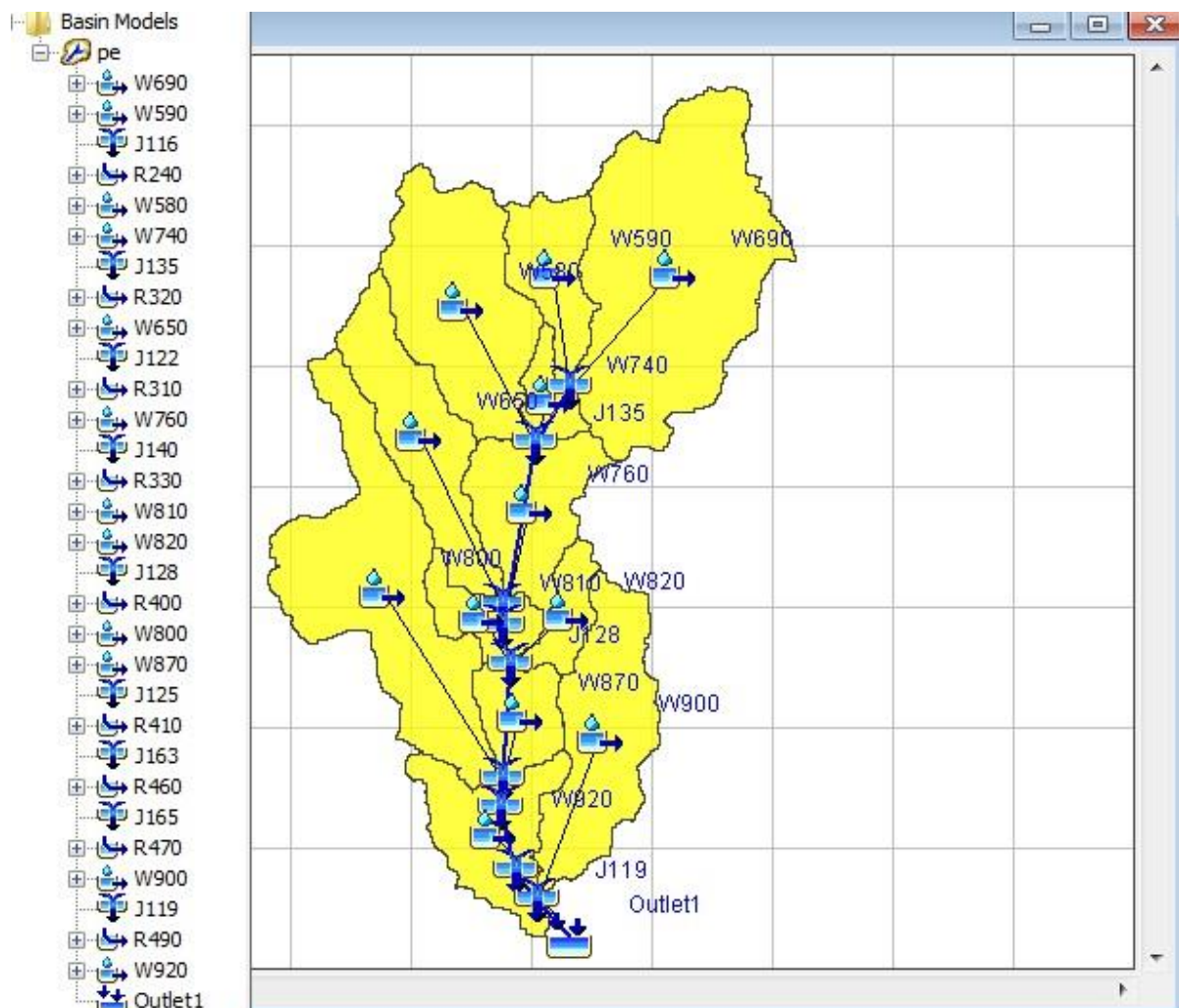


Fig. 4.18 Vizualizare a Modelului bazinului în cadrul sistemului de modelare HEC-HMS. Modelul bazinului Petriș.

Modelul meteorologic

Această componentă poate fi utilizată pentru a modela ploaia și procesul de evapotranspirație. În simularea și modelarea evenimentelor de scurtă durată a unor procese ploie-scurgere, evaporația poate de foarte multe ori să fie neglijabilă.

Pentru studiul de față s-a folosit metoda „*Frequency storm*” (Metoda ploilor cu diferite probabilități de depășire), pentru a genera o ploaie pe baza datelor statistice furnizate de către SGA Arad. Această metodă definește înălțimea stratului de apă pentru diferite durate de timp (5 min, 10 min, 15 min etc.) ale unei ploi cu diferite probabilități de depășire.

Pe baza șirului de date avute la dispoziție (1988-2009) de la cele trei posturi pluviometrice Petriș, Troaș și Monoroștia, s-au calculat ploile maxime probabile de diferite durate, pentru ca mai apoi să se determine frecvența acestora.

Calcularea ploilor maxime probabile

Ploile maxime probabile de diferite durate și frecvența acestora, au fost determinate pe baza datelor meteorologice, precipitații pentru perioada 1988-2009, cât și pe baza coeficienților de trecere, în conformitate cu metodologia stabilită de *Diaconu și Șerban, 1994, Tabelul 3.36, p.251.*

Metoda este regăsită în *Drobot, 2007*, cu mențiunea că este aplicabilă pentru acele stații la care se dispune doar de precipitații zilnice cum este cazul și al posturilor de pe afluenții studiați.

Localizarea geografică a stațiilor meteorologice și a posturilor pluviometrice este redată în **figura 4.19**.

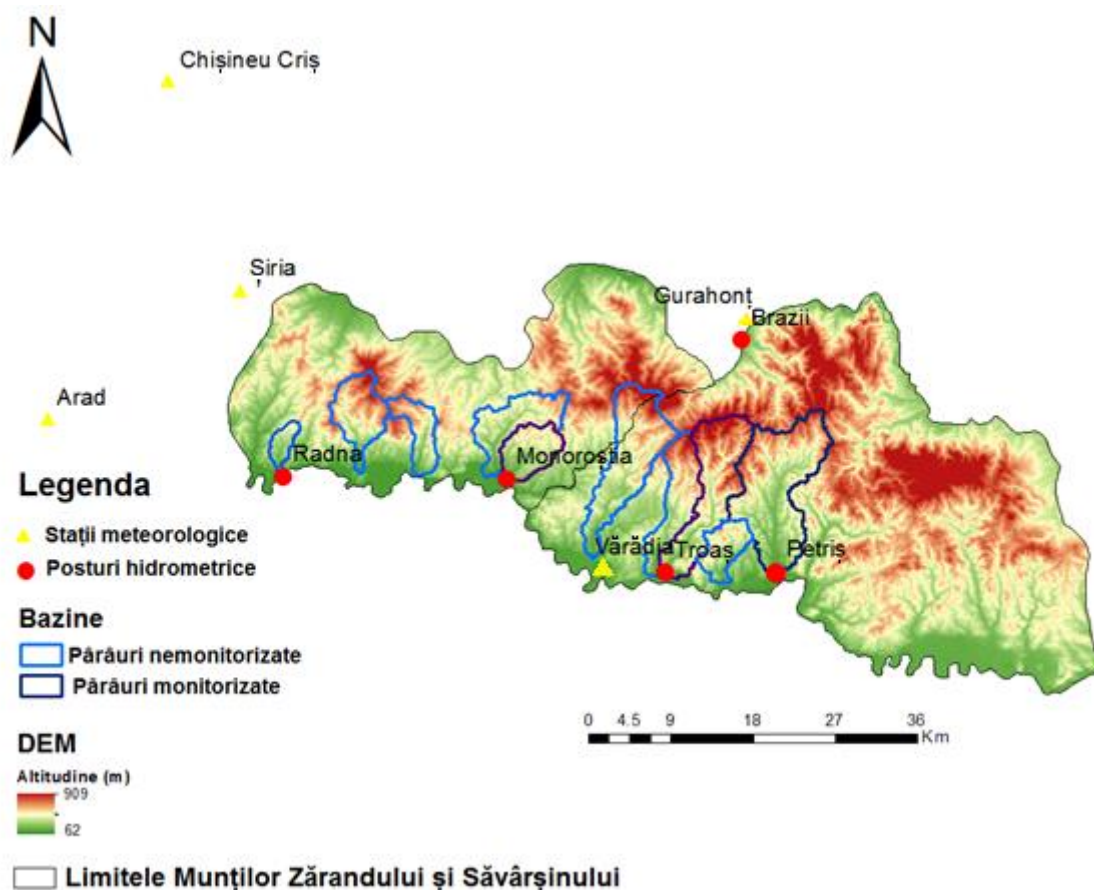


Fig. 4.19 Localizarea geografică a posturilor hidrometrice și a stațiilor meteorologice din zona de studiu și din vecinătate.

A urmat calcularea diverselor probabilități ale ploilor maxime cu ajutorul softului Hyfran pentru cele trei bazine menționate. Acestea au servit ca date de intrare în modelul meteorologic:

Modelul de calcul al pierderilor de apă

În modelul hidrologic întrebuițat, toată cantitatea de apă ce cade pe suprafața unui bazin hidrologic este considerată a cădea pe o suprafață care poate fi permeabilă sau impermeabilă. Ploaia căzută însă pe suprafața permeabilă este subiect al unor pierderi (USACE, 2001) iar aceste pierderi sunt calculate de o componentă specifică a modelului hidrologic, anume *componenta pierderilor de apă (Loss component)*.

Pentru studiul de față s-a folosit una dintre metodele ce pot fi selectate pentru a rezolva ecuațiile legate de pierderile de apă, anume metoda *SCS Curve Number*.

Modelul scurgerii directe

La nivelul acestui model din cadrul a HEC-HMS, ploaia în exces este transformată în scurgere directă prin intermediul metodei *Hidrografului Unitar SCS* în cadrul studiului de față.

Astfel, la acest nivel al întregului model hidrologic se face uz de totalitatea parametrilor bazinelor determinați prin intermediul SIG, cât și de datele meteorologice.

Parametrii au fost inițial determinați pentru fiecare dintre subbazinele componente ale celor trei afluenți de dreapta ai Mureșului, stocați în *feature classes River* și *Subbasin*.

Debitele viiturilor pluviale pentru cele trei bazine monitorizate, de pe dreapta Mureșului din cadrul Munților Zărandului sunt redate în **figurile 4.22 la 4.30**.

Debitul maxim al viiturii cu perioada de revenire de 100 ani corespunzătoare bazinului Petriș este de 59,6 m³/s, cel al viiturii cu perioada de revenire 50 ani este de 49.9 m³/s și pentru perioada de revenire 10 ani este de 32.5 m³/s. Debitele afluenților Pârâului Petriș, au fost determinate de asemenea, spre exemplificare fiind date cele Valea Sântească și Corbeasca, acestea traversând o suită de localități.

Rezultatele pot fi vizualizate în mai multe moduri. Astfel în **figura 4.22, 4.23, 4.24**, sunt redate hidrografele viiturilor așa cum pot fi ele vizualizate din cadrul softului HEC-HMS. USACE a dezvoltat și un program dedicat, HEC-DSS Vue (USACE, 2009), care permite exportul acestor date legate de debite, precipitații și procesul de infiltrație în cazul studiului de față, export de date în formă tabelară pentru a putea fi reorganizate și afișate. Astfel, afișarea

comparativă a debitelor pe sub-bazinele Corbeasca și Sânteasca și pe Pârâul Petriș poate fi simplu realizată în Excel. Pentru diferitele perioade de revenire debitele pentru aceste pâraie care traversează localitățile din cadrul Bazinului Petriș pot fi urmărite în **fig. 4.27**.

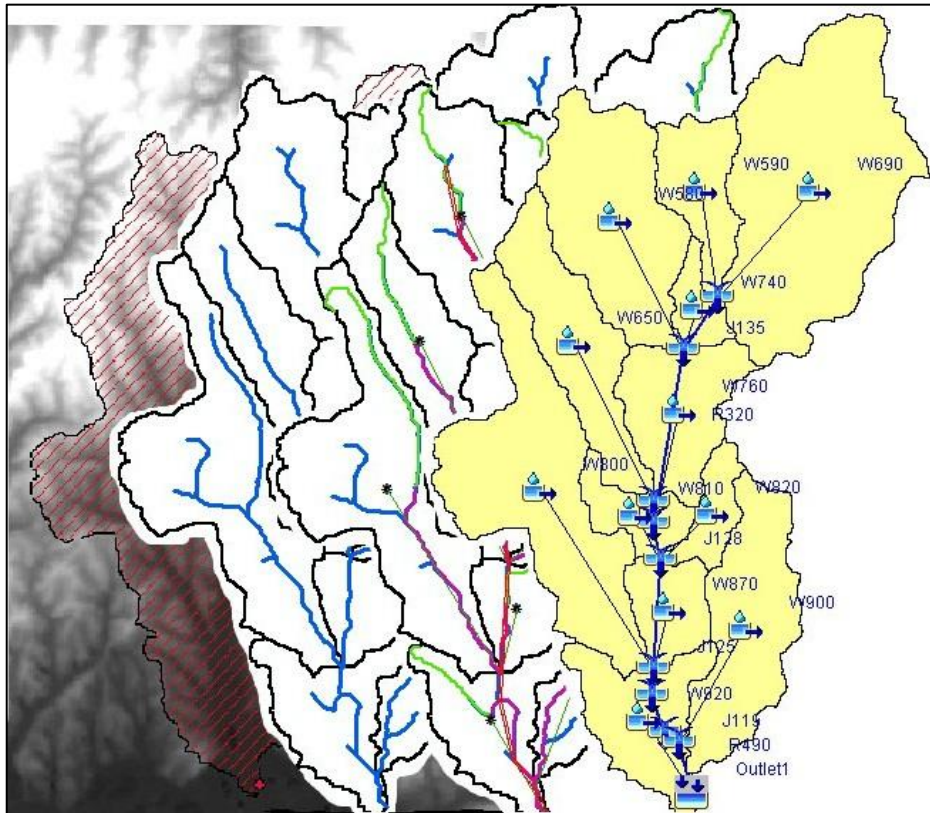


Fig. 4.20 Reprezentarea parametrilor hidrologici ai unui bazin prin intermediul componentei *Modelul Bazinului* din HEC-HMS. Exemplu Bazinul Petriș. (Györi et al., 2013)

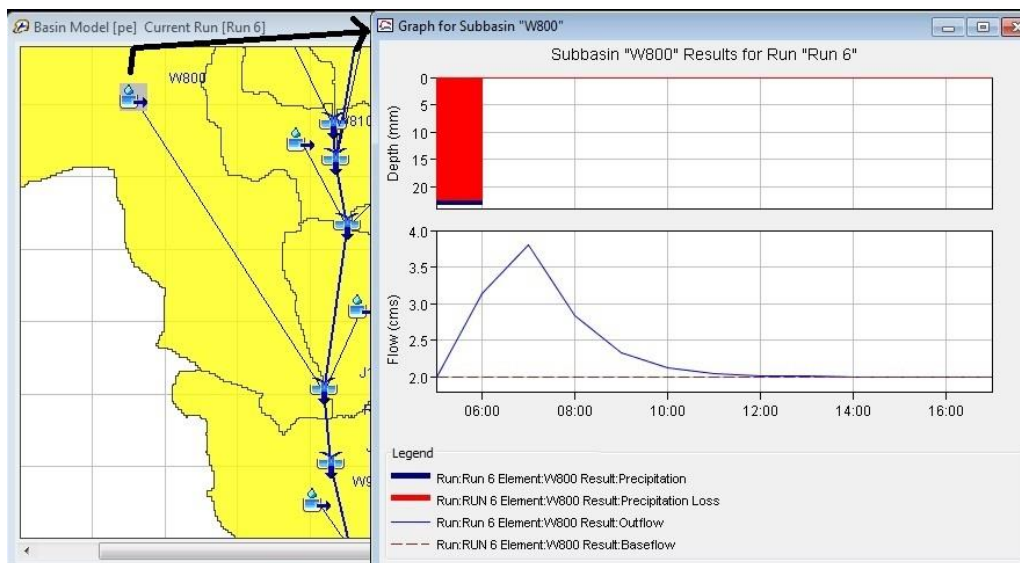


Fig. 4.22 Hietograma și hidrograful viiturii cu perioada de revenire de 10 ani pentru sub-bazinul Sânteasca (W 800), afluent al Pârâului Petriș.

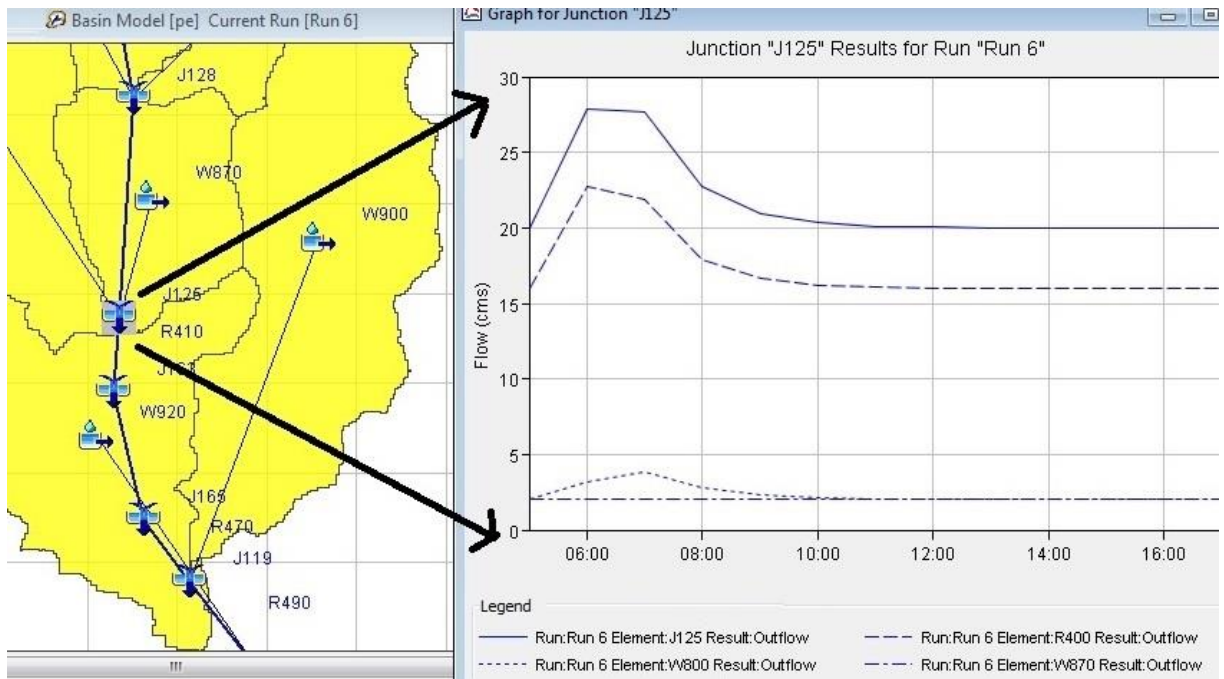


Fig. 4.23 Hidrograful viiturii cu perioada de revenire de 10 ani pentru confluența (J 125) dintre Sânteașca și Corbeasca, afluenți ai Pârâului Petriș.

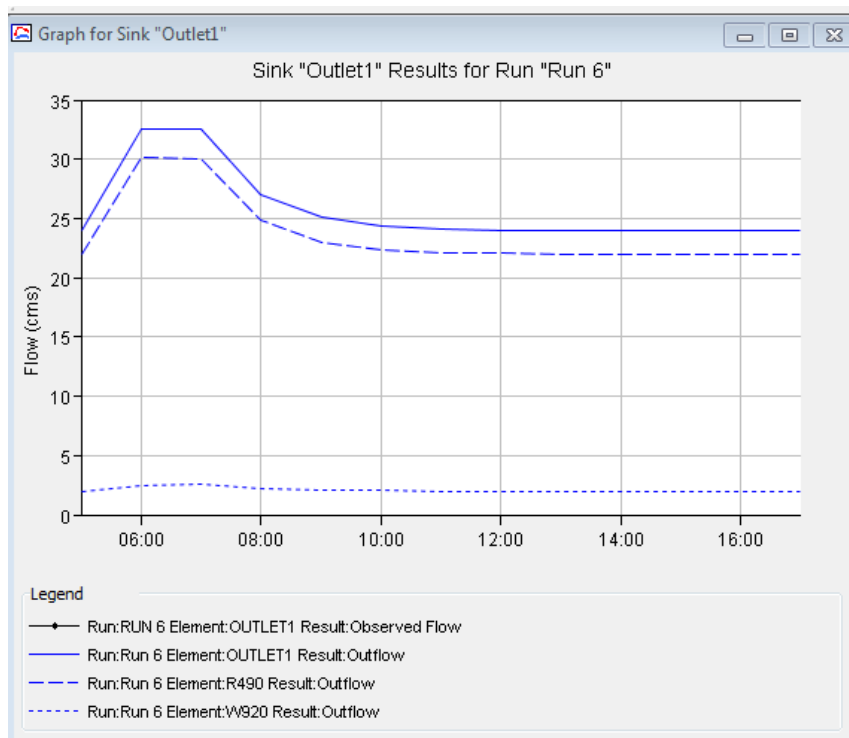


Fig.4.24 Viitura cu perioada de revenire de 10 ani pe Pârâul Petriș (Outlet1).

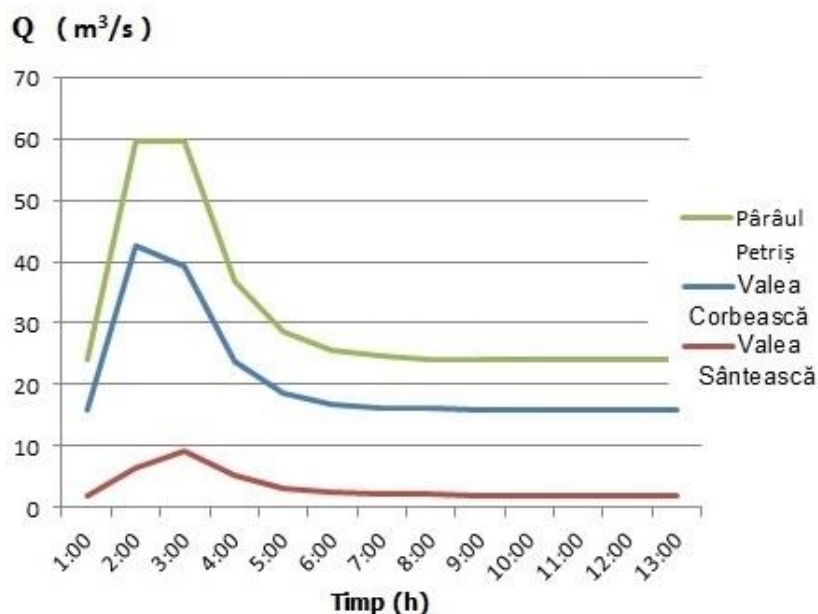


Fig.4.27 Hidrografele de viitură cu perioada de revenire de 100 ani (Györi et al., 2013).

Tabel. 4.14 Debiturile de asigurare pentru Pârâurile Petriș, Troaş și Valea Monoroștia.

Pârâul/ Valea	Perioada de revenire (T)											
	100 ani				50 ani				10 ani			
	Analiza statistică		SGA		Analiza statistică		SGA		Analiza statistică		SGA	
	Q m ³ /s	q l/s/km ²	Q m ³ /s	q l/s/km ²	Q m ³ /s	q l/s/km ²	Q m ³ /s	q l/s/km ²	Q m ³ /s	q l/s/km ²	Q m ³ /s	q l/s/km ²
Petriș	58.2	541.4	119	1107	50.6	470.7	94	874.4	32.6	303	39	362.8
Troaş	23.7	311.8	120	1579	20.7	272.4	97	1276	13.6	179	50	657.9
Mono- roștia	27.4	913.3	130	4333	23.9	796.7	105	3500	15.5	517	54	1800

Valorile debitelor așa cum sunt ele prezentate în figurile de mai sus, sunt debite ale viiturilor pluviale, deci au valori situate sub cele corespunzătoare debitelor de asigurare emise de SGA Arad. Valorile pentru debitele de asigurare pe anul 2007 de la posturile hidrometrice emise de SGA sunt redate în **tabelul 4.14**, debitele pentru 2011 fiind și mai mari. Aceste valori ale SGA rezultă pe baza analizei viiturilor inclusiv de origine mixtă. Studiul de față lucrează cu viiturile pluviale, prin urmare de aici provine o diferență de valori.

Se poate vedea în același tabel că valorile debitelor cu diferite perioade de revenire sunt foarte apropiate de cele obținute pe baza analizei statistice a debitelor măsurate (1988-2009).

Debitul maxim al viiturii cu perioada de revenire de 100 ani pentru Pârâul Troaş este de $19.6 \text{ m}^3/\text{s}$, la 50 ani $17.5 \text{ m}^3/\text{s}$ și la 10 ani, $8.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fig. 4.29). Valorile pentru Valea Monoroștia sunt de $25.9 \text{ m}^3/\text{s}$ pentru viitura cu perioada de revenire de 100 ani, $23 \text{ m}^3/\text{s}$ pentru cea la 50 de ani iar viitura cu perioada de revenire de 10 ani va atinge un debit maxim de $16.7 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fig. 4.30). Valorile debitelor afluenților Pârâului Troaş și ai Văii monoroștia care traversează așezările omenești sunt afișate în **Anexe**.

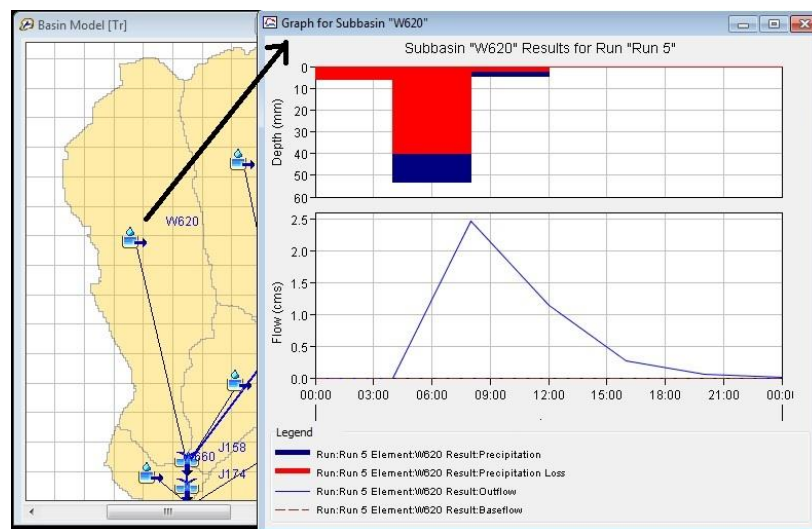


Fig. 4.28 Hietograma și viitura cu perioada de revenire de 50 de ani pe afluentul Raiou (W 620) al Pârâului Troaş.

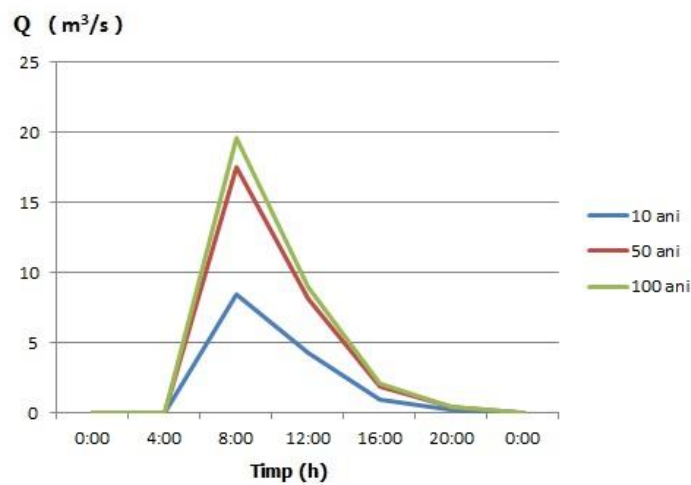


Fig. 4.29 Hidrografele de viitură cu perioada de revenire de 100, 50 și 10 ani pe Pârâul Troaş.

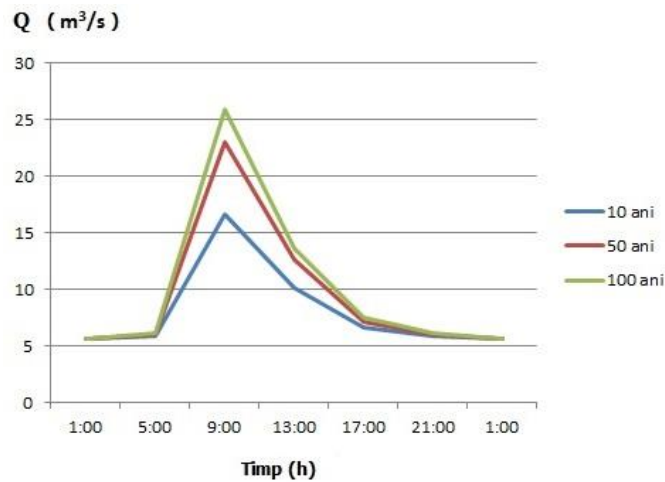


Fig. 4.30 Hidrografele de viitură cu perioada de revenire de 100, 50 și 10 ani pe Valea Monoroștia.

Calibrarea Modelului

Calibrarea poate fi făcută manual sau automat iar în studiul de față se va opta pentru cea din urmă, parametrii trecând printr-o suită iterativă de ajustări până când valoarea-rezultat pentru funcția selectată este pe cât se poate de mică (Cunderlik, Simonovic 2004, Oceanit, 2008, Sinclair, 2009, Yener et al.,).

Există patru funcții care pot fi folosite în cadrul modelului hidrologic:

- *Metoda celor mai mici pătrate* (36) oferă o pondere mai mare erorilor din apropierea debitului maxim al viiturii.

$$Z = \left\{ \frac{1}{NQ} \left[\sum_{i=1}^{NQ} (q_o(i) - q_s(i))^2 \left(\frac{q_o(i) + q_o(\text{mean})}{2q_o(\text{mean})} \right) \right] \right\}^{1/2} \quad \dots\dots\dots(36)$$

-unde: Z= funcția

NQ= numărul hidrografelor calculate

q_s(t)= seturile de date calculate pe baza parametrilor

q₀(peak)= Q_{max} al viiturii observat

q₀(mean)= media debitelor observate

q_s= Q_{max} al viiturii calculat

În cadrul modelului hidrologic de față s-a realizat calibrarea prin intermediul a *Peak-weighted RMS Error*.

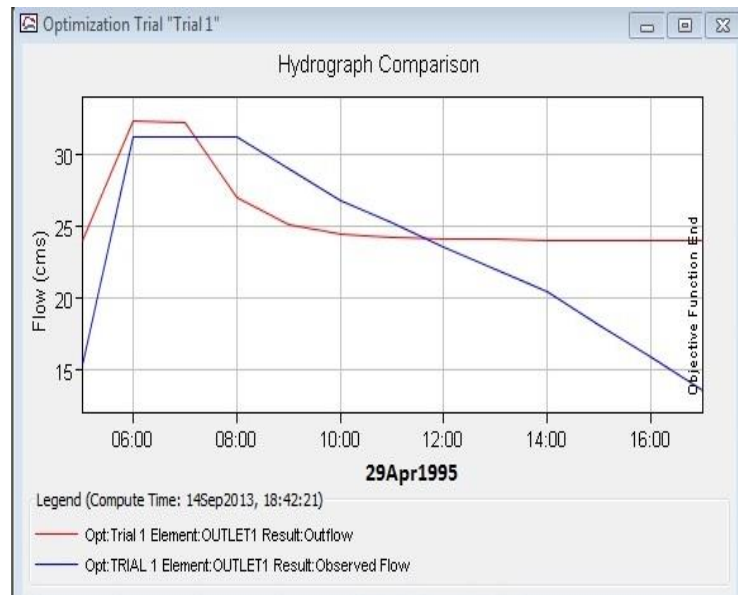


Fig. 4.31 Calibrarea viiturii cu o perioadă de revenire de 10 ani pe Pârâul Petriș (*Györi et al., 2013*).

Tabel. 4.15 Debitul simulat și debitul înregistrat pe Pârâul Petriș. Viitura din 29.04.1995.

Timp (h)	Pârâul Petriș Q m³/s (simulat)	Pârâul Petriș Q m³/s (înregistrat)
5:00	24	15.3
6:00	32.2	31.2
7:00	32.2	31.2
8:00	26.9	31.2
9:00	25	29
10:00	24.4	26.7
11:00	24.1	25.12
12:00	24	23.55
13:00	24	21.98
14:00	24	20.4
15:00	24	18.1
16:00	24	15.8
17:00	24	13.5

Procesul de calibrare a rezultat într-o valoare RMSE de 4,8 m³/s pentru Petriș (**fig.4.31**). Deci estimarea prin simulare a debitului este de 99% (**Tabelul 4.15**). Se poate observa astfel o ușoară supraestimare a vârfului hidrografului simulat și o apariție puțin mai

timpurie a timpului de creștere care se pot datora unei mici subestimări a timpului de răspuns al bazinului.

Calibrarea a fost făcută între o viitură simulată, generată pe baza unei ploii cu o perioadă de revenire de 10 ani și de cealaltă parte viitura înregistrată în teren care se încadrează aceleași perioade de revenire, identificată prin intermediul analizei statistice a debitelor.

Valorile obținute pe baza calibrării viiturilor pe Pârâul Troaș și Valea Monoroștia sunt redate în **tabelul 4.16**, de unde se poate urmări buna corespondență între debitele simulate și cele statistice.

Tabel.4.16 Debite maxime simulate și debite maxime statistice pentru Pârâurile Petriș, Troaș și Valea Monoroștia.

Probabilitatea	Pârâul Petriș			Pârâul Troaș			Valea Monoroștia		
	Q m ³ /s simulat	Q m ³ /s statistic	%	Q m ³ /s simulat	Q m ³ /s statistic	%	Q m ³ /s simulat	Q m ³ /s statistic	%
1%	59.6	58.2	102	19.6	23.7	83	25.9	27.4	95
2%	49.9	50.6	99	17.5	20.7	85	21.5	23.9	90
10%	32.2	32.6	99	8.5	13.6	63	16.7	15.5	108

5. Modelarea viiturilor pe râurile mici- nemonitorizate și monitorizate- din Munții Zărandului și Săvârșinului

Modelul de la Cluj este dezvoltat de echipa de cercetare de la Facultatea de Geografie spre a fi aplicat în bazinele mici în care se dorește cunoașterea hidrografului și a vârfului de viitura, acolo unde nu există măsurători.

Este vorba despre un model ce se axează pe simularea-eveniment și este compus din: patru modele conceptuale realizate în ArcGIS Model Builder, o etapă de determinare a vitezei de scurgere a apei în SAGA GIS cât și un număr de cinci scripturi Pyhon, rulate în MATLAB. Fiecare dintre funcțiile modelului sunt reprezentate și prin scripturi în Python dacă utilizatorul dorește să le folosească sub această formă. În cele ce urmează s-au folosit modelele conceptuale realizate cu ajutorul a ArcGIS (**fig. 5.5, 5.6, 5.8, 5.10**) care pot fi accesate prin intermediul a ArcToolbox, iar apoi s-a trecut la rularea scripturilor în MATLAB.

Baza de date primară necesară modelării debitelor din bazinele nemonitorizate, prin intermediul Modelului de la Cluj

O serie de date de intrare (fig.5.2) primare sunt necesare a fi extrase prin intermediul produsului SIG pentru a rula cele patru modele conceptuale *Haidu et al.*, (2007-2010):

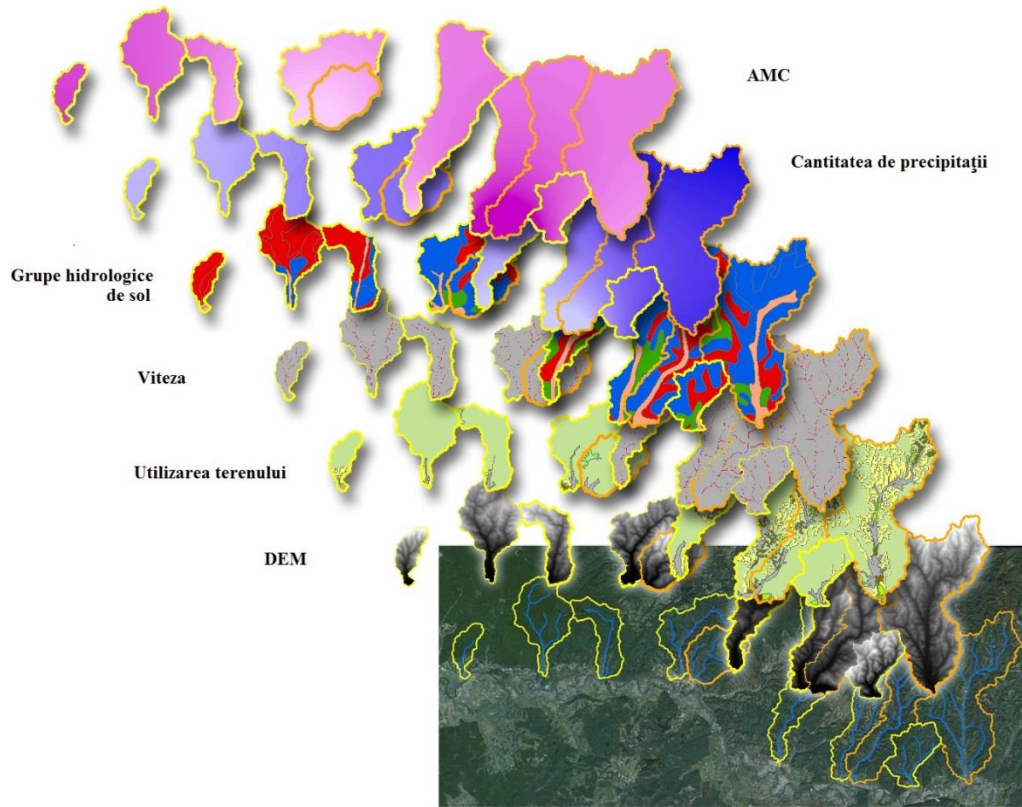


Fig.5.2 Date de intrare primare pentru modelul de la Cluj.

Modulul „Strat scurs”

Modulul pentru determinarea stratului scurs (mm) este de fapt transpunerea în ArcGIS Model Builder a celei mai cunoscute dintre variantele formulei SCS-CN. Diferitele variante, aplicabilitatea formulei cât și limitările acesteia au fost discutate în *capitolul 2*.

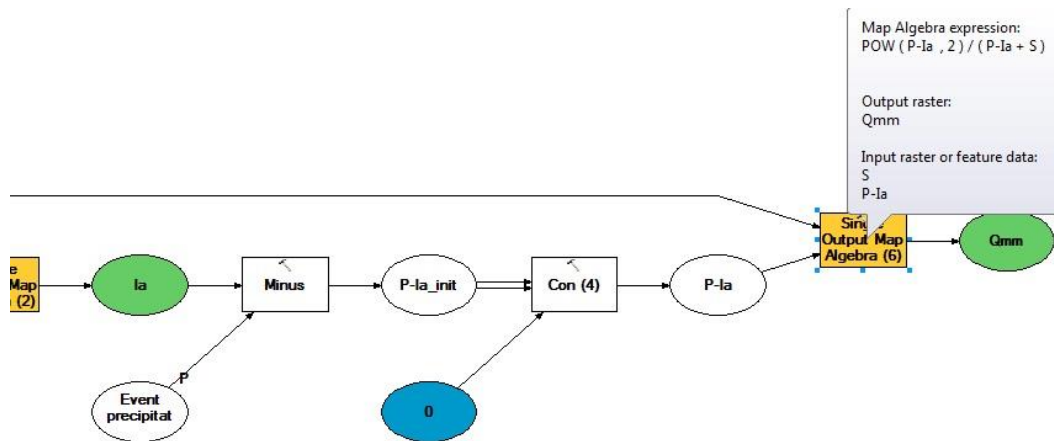


Fig.5.5 Integrarea formulei SCS-CN în cadrul modului de calculare a stratului de apă disponibil pentru scurgere.

Modul „Coeficient de scurgere”

Coeficientul de scurgere (notat cu „ α ” sau „ c ”) este raportul dintre cantitatea de apă scursă într-o anumită perioadă și cantitatea de precipitații căzută în bazinul de recepție care a generat scurgerea (Diaconu, Șerban, 1994) (**fig. 5.6**).

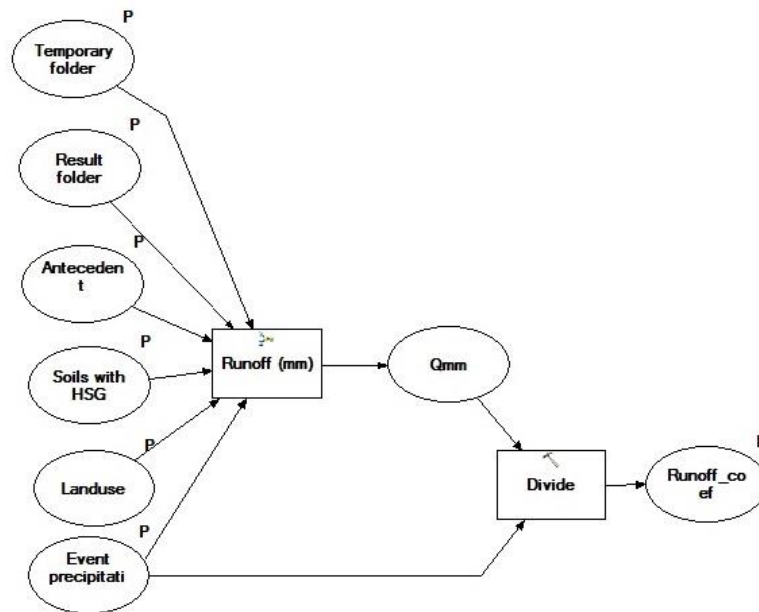


Fig.5.6 Modulul Coeficient de scurgere.

Modul „Timpul de Răspuns al Bazinului”

Acest modul poate fi văzut precum al treilea din suita de patru module ce compun modelul de la Cluj și calculează timpul necesar particulei de apă de a parcurge traseul până la vărsare.

Datele de intrare (**fig.5.8**) sunt *layerul* cu viteza particulei de apă și DEM-ul. *Layerul* reprezentând viteza a fost realizat cu ajutorul softului SAGA GIS, pe baza unei suite de operații precum: *Sink Removal*, *Flow Direction*, *Flow Accumulation*, *Catchment Delineation* și *Variable Isochrones Speed*. Ultima operație este cea care ajută la identificarea vitezei apei pentru fiecare izocronă dar și a timpului de răspuns. Acest lucru se face doar prin intermediul bazei de date din SAGA GIS.

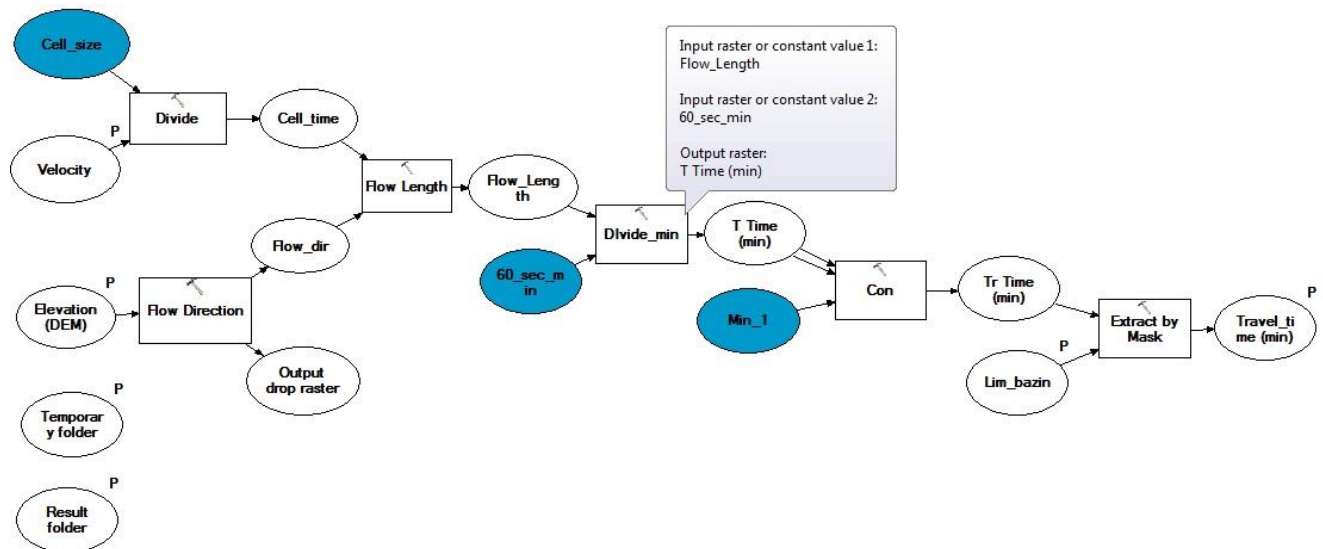


Fig. 5.8 Modulul Timpul de răspuns al bazinului

Prin folosirea rasterului cu viteza apei, timpul de răspuns al fiecărei celule poate fi estimat ca raport dintre distanța traversată în cadrul celulei și viteza scurgerii prin aceeași celulă. Adăugând timpul de răspuns a fiecărei celule existente pe traseul scurgerii până la gura de vărsare a bazinului, timpul de răspuns aferent fiecărei dintre celule este calculat. Operația următoare este de reclasificare a rasterului în intervale de 1 minut, considerat ca cel mai bun interval de timp pentru a reda variația temporară a debitului.

Modulul „Debit”

Toate rezultatele obținute prin rularea celorlalte module pot fi folosite pentru a genera debitul la nivelul fiecărei izocrone de 1 minut sau pur și simplu, se introduc datele de intrare iar modulul poate fi executat pentru a calcula acești parametrii, care sunt încorporați în Modulul „Debit”.

Acest modul are încorporată metoda rațională la nivel de celulă pentru calcularea debitului, o formulă încetățenită în cadrul literaturii romane de specialitate (Diaconu, Șerban, 1994).

Odată ce suprafața de drenare aferentă unei izocrone este calculată, debitul pentru izocrona respectivă poate fi determinat prin însumarea debitelor din fiecare celulă. Valorile generate sunt stocate într-un tabel ce reprezintă produsul final al acestui modul, tabelul *Zonal Statistics.dbf*

Pentru a reda informația tabelară sub forma debitelor de evoluează în timp, se apelează la scripturile realizate de M. Domnița, 2012 (Anexa) (Haidu et al., 2007-2010). Propagarea scurgerii în albia râului este considerată de tip liniar iar prin intermediul interpolării spline, hidrograful celor zece bazine ce reprezintă arealul de studiu au fost modelate (fig. 5.11, 5.12).

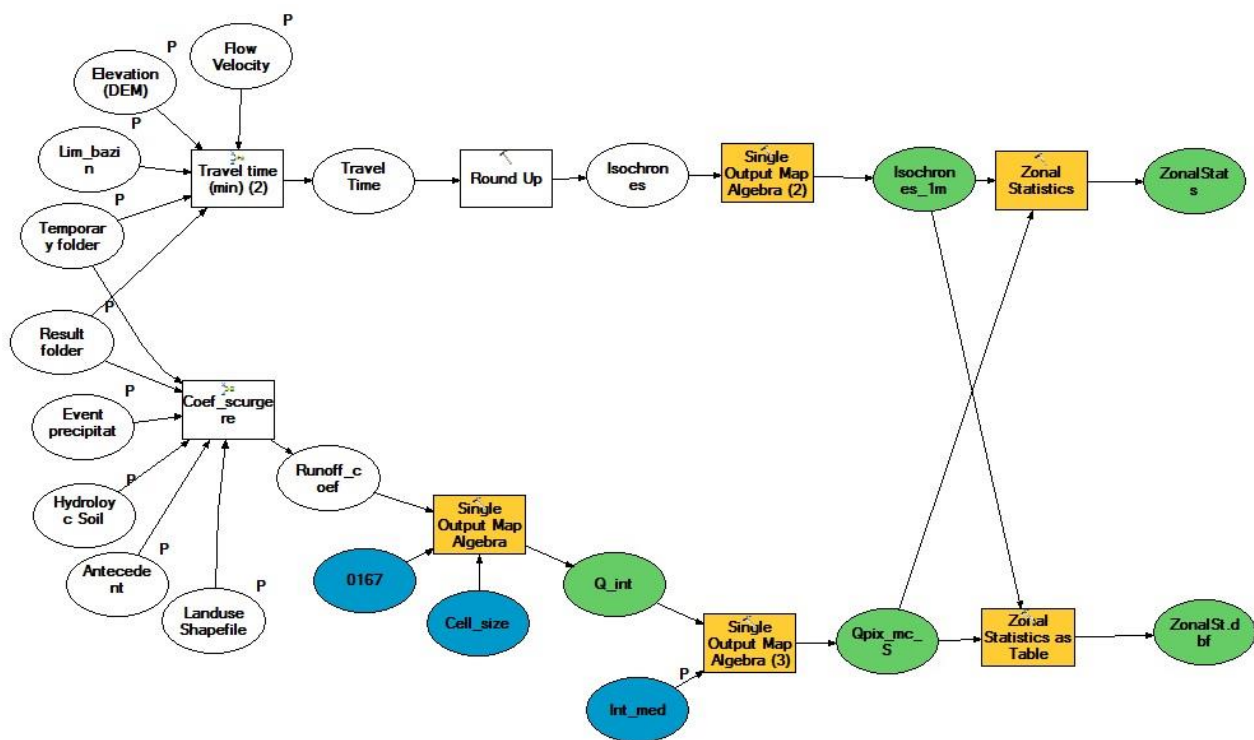


Fig. 5.10 Modul Debit.

În fig.5.11 și 5.12 sunt reprezentate hidrografele obținute pe baza modelului de la Cluj. Pentru a obține hidrograful, toți parametrii prezentați în cadrul fig. 5.1 au fost modelați. Rezultatul modelului, în urma simulării pe baza parametrilor care corespund zilei de 3.07.2001, este hidrograful zilei de 03.07.2001. Se observă că debitul maxim este atins, dacă urmărim figura 5.26, unde și timpul de creștere este și el corespunzător. Prin urmare, se pot lua în considerare debitele maxime obținute pe restul de șapte bazine nemonitorizate.

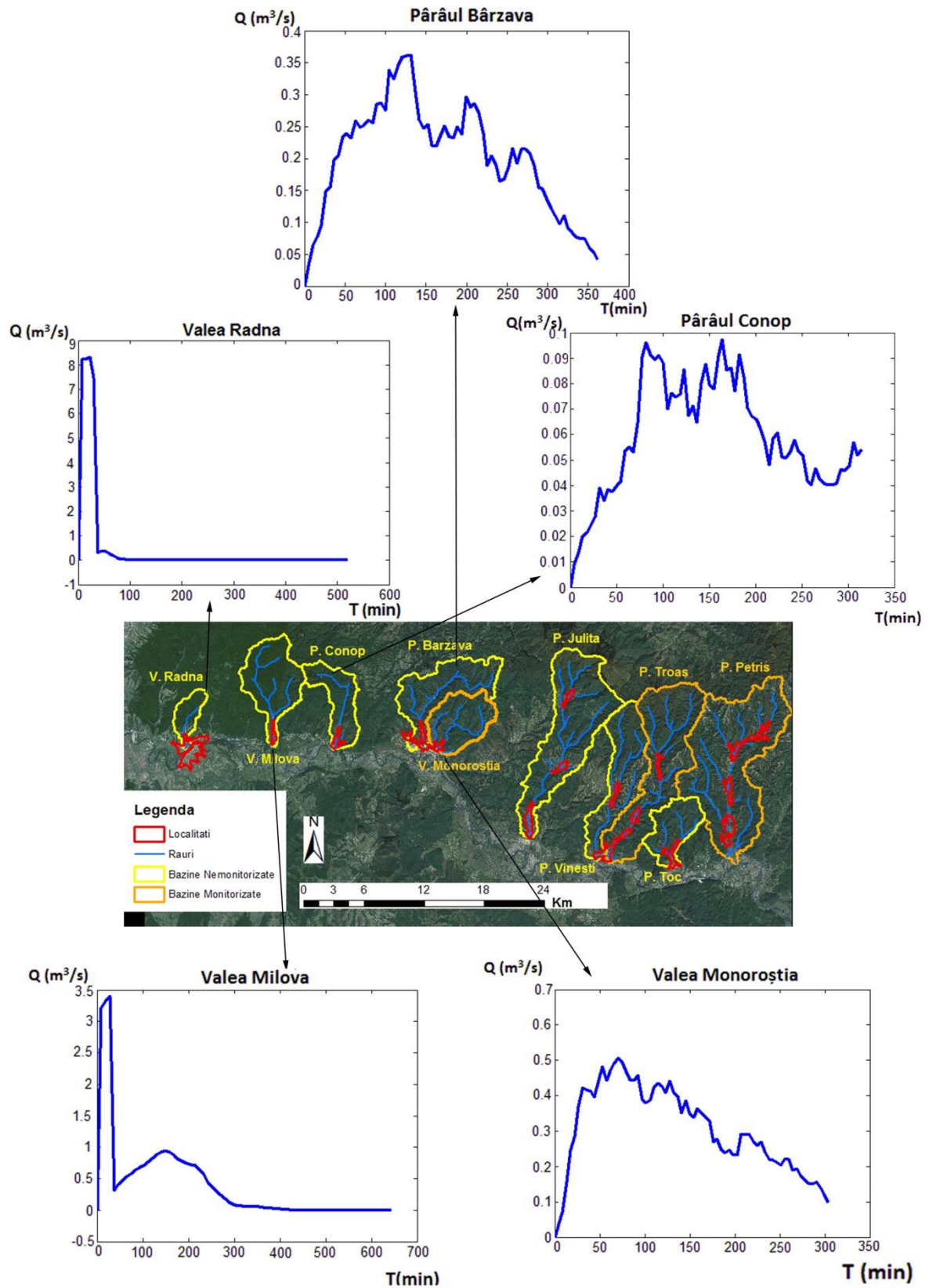


Fig.5.11 Hidrografele simulate pentru râurile din Munții Zărandului prin intermediul Modelului de la Cluj.

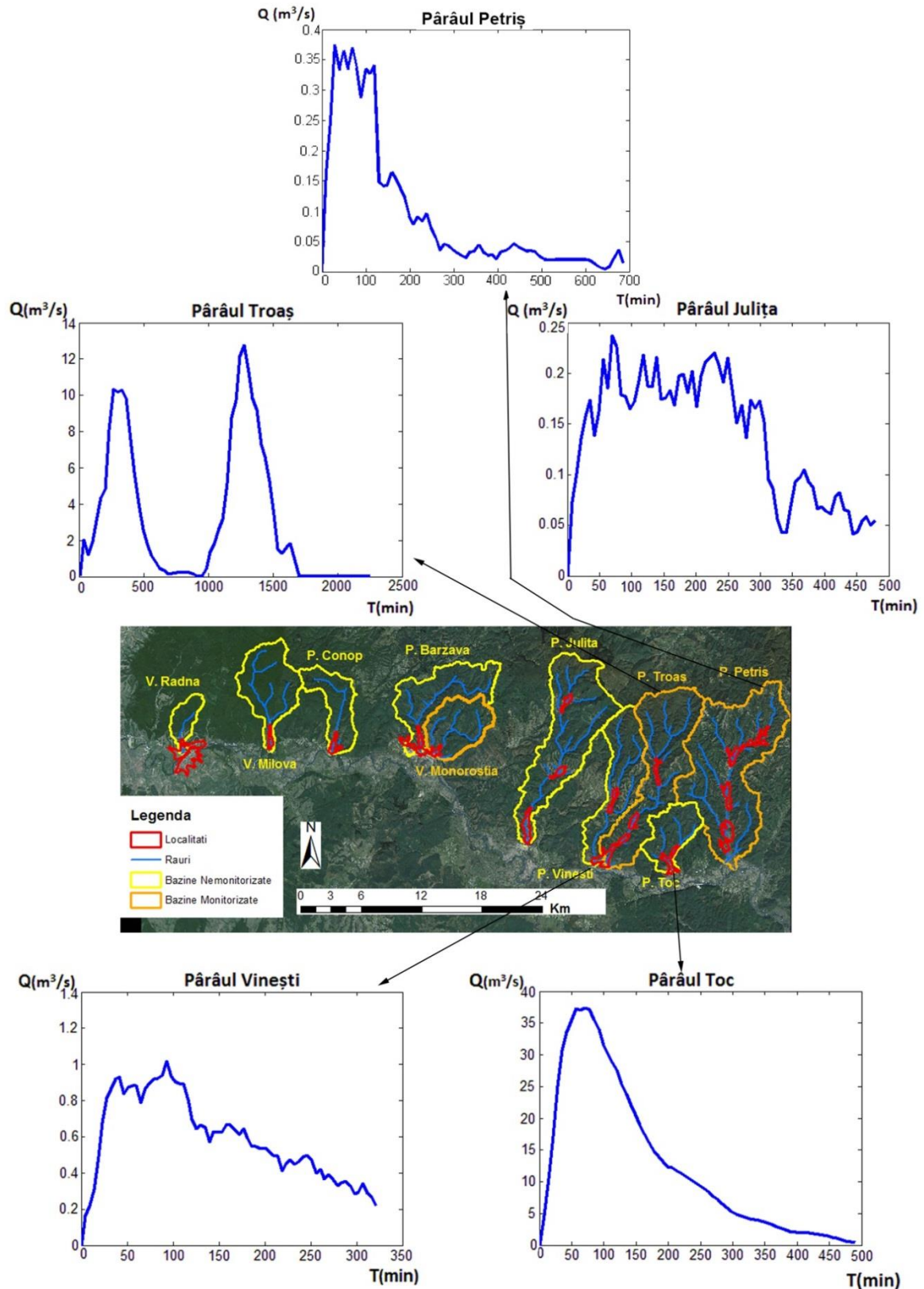


Fig. 5.12 Hidrografele simulate pentru râurile din Munții Săvârșinului prin intermediul Modelului de la Cluj.

Detaliere și exemplificare a etapelor pentru obținerea hidrografului prin intermediul Modelului de la Cluj

Pentru a obține debitele aferente izocroniei de 1 minut, se rulează fie independent fiecare modul fie utilizatorul poate recurge direct la modulul „Debit” (fig.5.10) care le are pe toate celelalte încorporate. Subcapitolul de față se dorește a descrie etapele de utilizare a modului.

Validarea viiturii de pe Pârâul Troaş din data de 03.07.2001

În cadrul studiului de față s-a ales pentru validare viitura din 03.07.2001 de pe Pârâul Troaş. O cantitate totală de precipitații de 54,8 mm înregistrată pe parcursul zile de 02.04.2001 și 03.07.2001 a generat un $Q_{\max}=17,8 \text{ m}^3/\text{s}$ la postul hidrometric, în cursul zilei de 03.07.2001.

Din fig.5.26 se observă ca ramura de creștere și de descreștere a hidrografului sunt înregistrate aproximativ simultan atât în cazul simulării cât și în cel al hidrografului măsurat. De asemenea durata totală a viiturii este estimată la 2000 de minute (33 ore), o estimare bună, viitura conform datelor provenite din măsurători având o durată de aproximativ 36 ore.

Problema sesizată în cadrul modelului de pe bazinul Troaş este însă estimarea Q_{\max} cât și înregistrarea lui în același interval orar cu debitul măsurat.

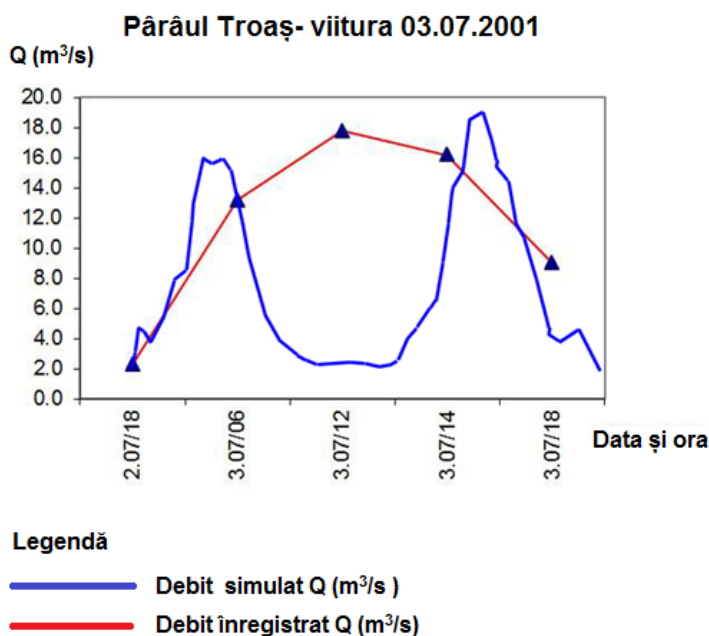


Fig.5.26 Calibrarea viiturii pe bazinul monitorizat, Troaş, pentru viitura din data de 3.07.2001.

Astfel, măsurătorile de la posturile pluviometrice sunt transmise doar odată la 12 ore, fără a avea informații despre momentul exact în care a început și s-a terminat ploaia, astfel fiind în imposibilitatea de a estima o intensitate acesteia. La nivelul acestui model s-a folosit intensitatea standard a ploii furnizată de *Diaconu 1994*, de 10 mm/h. Informația este necesară pentru o bună poziționare a debitului generat pe fiecare dintre izocrone.

Există o discordanță între măsurătorile de debite și debitele generate la fiecare minut pe baza Modelului de la Cluj, astfel că forma hidrografelor va fi una diferită.

Rezoluția la care unele dintre datele de intrare sunt disponibile. Ar fi indicat ca datele de utilizare a terenului cât și cele legate de soluri să fie la o rezoluție mai mare. Din păcate singurele hărți pedologice sunt cele la scara 1:200000 utilizate în studiul de față iar în ceea ce privește baza de date CORINE nici acesta nu este una care redă cu o mare acuratețe realitatea din teren din cadrul bazinelor mici.

O calitate mai mare a datelor de intrare cât și un număr mai mare de măsurători ar duce la o modelare mai bună din punct de vedere calitativ și ar oferi o siguranță în ceea ce privește validarea.

6. Aplicație în vederea determinării suprafețelor inundabile la înregistrarea de viituri probabilistice. Studii de caz pe bazinele mici monitorizate din munții Zărandului și Săvârșinului.

Capitolul de față vizează trasarea zonelor inundabile la viiturile cu diferite probabilități de depășire pe Pârâurile Petriș, Troaș și Valea Monoroștia (*Haidu, Győri, Humbert, 2014*).

În ultimii ani s-a pus accentul pe astfel de studii datorită relevanței pe care ele o au din punct de vedere socio-economic cât și rolului pe care îl ocupă în cadrul gestionării riscului la inundații. Prin urmare o serie de metodologii au fost propuse pentru simularea hidraulică a unui râu.

Pentru a stabili impactul inundațiilor, am ales sistemul de modelare MIKE11 dezvoltat de *Danish Hydraulic Institute (DHI)*.

Acest program este destinat să realizeze calcule hidraulice și hidrodinamice unidimensionale, dar cu elemente de suprafețe hidraulice, numite zone de stocare (și deseori numite „fals 2-D”), pentru o rețea completă de canale naturale și construite.

În esență, procedura de calcul se bazează pe o soluție numerică a ecuațiilor unidimensionale de conservare a energiei și a masei (sistemul de ecuații *Barre-de-Saint-Venant*). Pierderile de energie sunt evaluate în principal prin frecare (ecuația Manning) și contracție/dilatate (coeficient multiplicat cu schimbarea sarcinii dinamice).

Pentru cele trei cursuri de apă, menționate anterior, a fost utilizată metoda hidrodinamică unidimensională (1D).

Această metodă a fost folosită pentru reprezentarea albiei minore a râurilor. Au fost parcurse următoarele etape importante de lucru:

➤ **Analiza modelului digital al terenului, axurilor râurilor și extragerea secțiunilor transversale în albia minoră.**

Pentru zonele modelate 1D, secțiunile transversale în albia minoră au fost generate la o distanță aproximativă de 100 m. Aceste secțiuni transversale au fost trasate perpendicular pe direcția de curgere a râului.

Analiza terenului are în vedere și stabilirea coeficienților de rugozitate pe baza hărții utilizării terenurilor. Valoarea coeficientului Manning „n” este foarte variabilă și depinde de un număr de factori, inclusiv: rugozitatea suprafeței, vegetația, iregularitățile albiei, rectificarea cursului, dimensiunea și forma albiei.

➤ **Realizarea modelului hidrodinamic (estimarea preliminară pentru condițiile inițiale de debit și nivel al apei, rularea preliminară a modelului și rezolvarea instabilităților rezultate)**

Rularea preliminară a modelului se face pentru a obține condițiile inițiale de debit și nivel al apei existente în albia râului înainte de producerea unui eveniment, indiferent de probabilitatea lui de apariție. Această estimare se face pe baza unui eveniment istoric care va fi utilizat la calibrarea modelului hidrodinamic. Rezultatul acestei simulări preliminare se folosește ca și condiții inițiale pentru rulările de calibrare și simulările pentru evenimentele probabilistice.

Trebuie stabilite condițiile limită la elementele „open ends” (extremități aval și amonte) sau „point source” (aport difuz) ale rețelei hidrografice modelate, atât în amonte, cât și în aval de zona modelată.

În condiții limită amonte, am utilizat hidrografe de debite obținute din studiul hidrologic. Condiția limită aval este o relație debit-adâncime normală calculată pe ultima secțiune transversală.

Calitatea rezultatelor modelării hidrodinamice, a fost dependentă de calitatea datelor de intrare și a modului de aplicare a metodologiei de lucru.

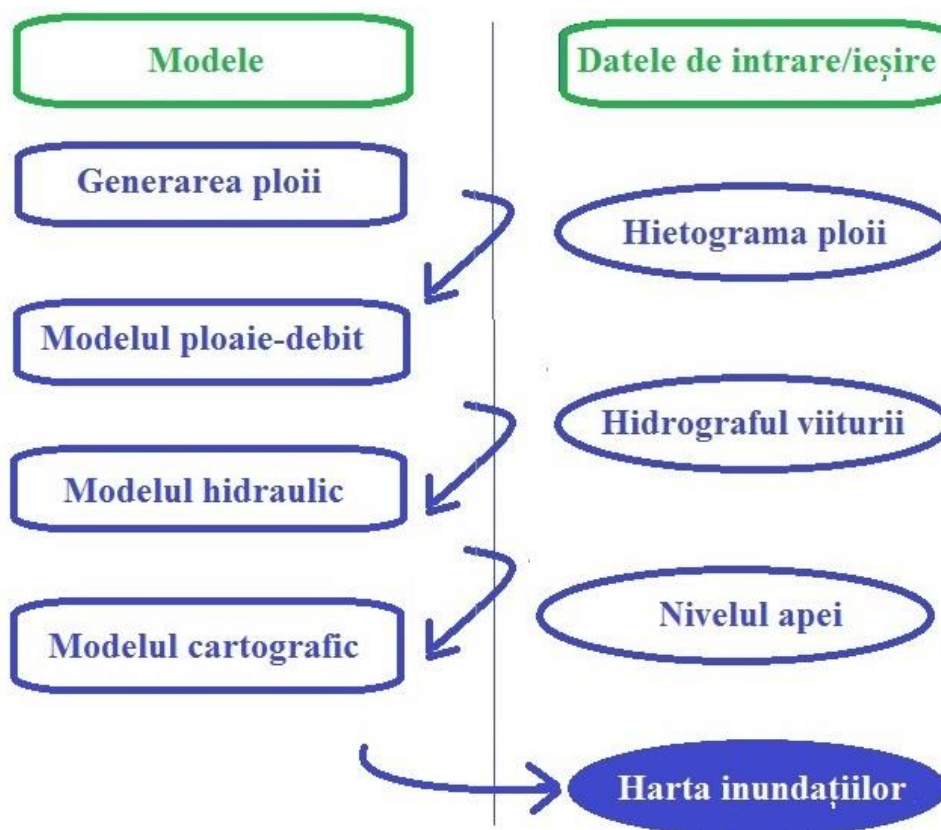


Fig. 6.1 Schema schimbului de date între diferitele modele (adaptare după Kreis, 2004).

Datele de intrare în procesul de modelare

Date topografice

Datele din teren cele mai utilizate în modelarea hidraulică sunt: hărțile topografice, profilele râurilor, secțiunile transversale și elementele construcțiilor hidrotehnice.

Date LiDAR și date batimetrice

În cazul studiului de față având de a face cu trei bazine cu suprafețe între 30 km² și 110 km², utilizarea datelor SRTM și ASTER nu este una potrivită. Astfel s-a utilizat un DEM de o rezoluție de 2 m care reunește datele LiDAR cât și cele batimetrice..

Secțiunile transversale

Alegerea corectă a unui *set de secțiuni transversale* în vederea reprezentării geometriei râurilor și a luncii acestora este un pas esențial în cadrul construirii bazei de date necesare modelului utilizat. Există o serie de criterii ce trebuie respectate în ceea ce privește trasarea acestora, însă de cele mai multe ori experiența din teren arată că subiectivitatea celui ce efectuează măsurătorile intervine de cele mai multe ori în cadrul acestei etape.

În total pentru trasarea zonei inundabile au fost trasate în total de 94 de secțiuni transversale pentru Pârâul Petriș, 88 pentru Pârâul Troaș și 79 pe Valea Monoroștia.

Aceste secțiuni au fost extrase de pe un DEM de mare rezoluție (2 m). Cele trei sectoare componente ale fiecărei secțiuni sunt: albia majoră stânga/dreapta, albie minoră iar fiecărei secțiuni se aplică un *coeficient de rugozitate* (**fig. 6.2**).

Datorită scării mici a bazei de date CORINE, nu s-a putut atribui coeficienții de rugozitate necesari pentru cei trei afluenți de dreapta ai Mureșului, astfel că la acest punct al proiectului a fost necesară digitizarea claselor de utilizare a terenului de pe ortofotoplanurile existente din anul 2006. Digitizarea s-a concentrat pe zona inundabilă din cadrul celor trei bazine.

Rețeaua modelului

Rețeaua modelului este de fapt reprezentarea diferitelor elemente existente pe teren. Acesta poate fi vizualizată în **fig. 6.4**. Pentru râul Petriș. Rețelele aferente Pârâului Troaș și Monoroștia au fost de asemenea construite.

Astfel a fost posibilă reprezentarea sectorului principal de râu care străbate o serie de localități pentru care se dorește trasarea limitelor de inundații pentru evenimentele cu probabilități de depășire de 1%, 2% și 10%. Sectorul de râu este reprezentat prin intermediul a *Network Editor*, astfel creându-se rețeaua de râuri MIKE 11 cu coordonatele aferente.

Date hidrologice

În aceeași **fig. 6.4** pot fi vizualizate și sub-bazinele trasate la nivelul modelului hidrologic. Fiecare dintre debitele de la ieșirea unui subbazin constituie un aport pentru râul principal reprezentat la nivelul modelului hidrologic prin intermediul componentei *condiții limită* (*Boundary Conditions*).

La acest nivel sunt astfel introduse debitele obținute din cadrul modelului hidrologic. Vârfurile hidrografelor obținute se încadrează în intervalul (abaterea) "-2% și "+4%.

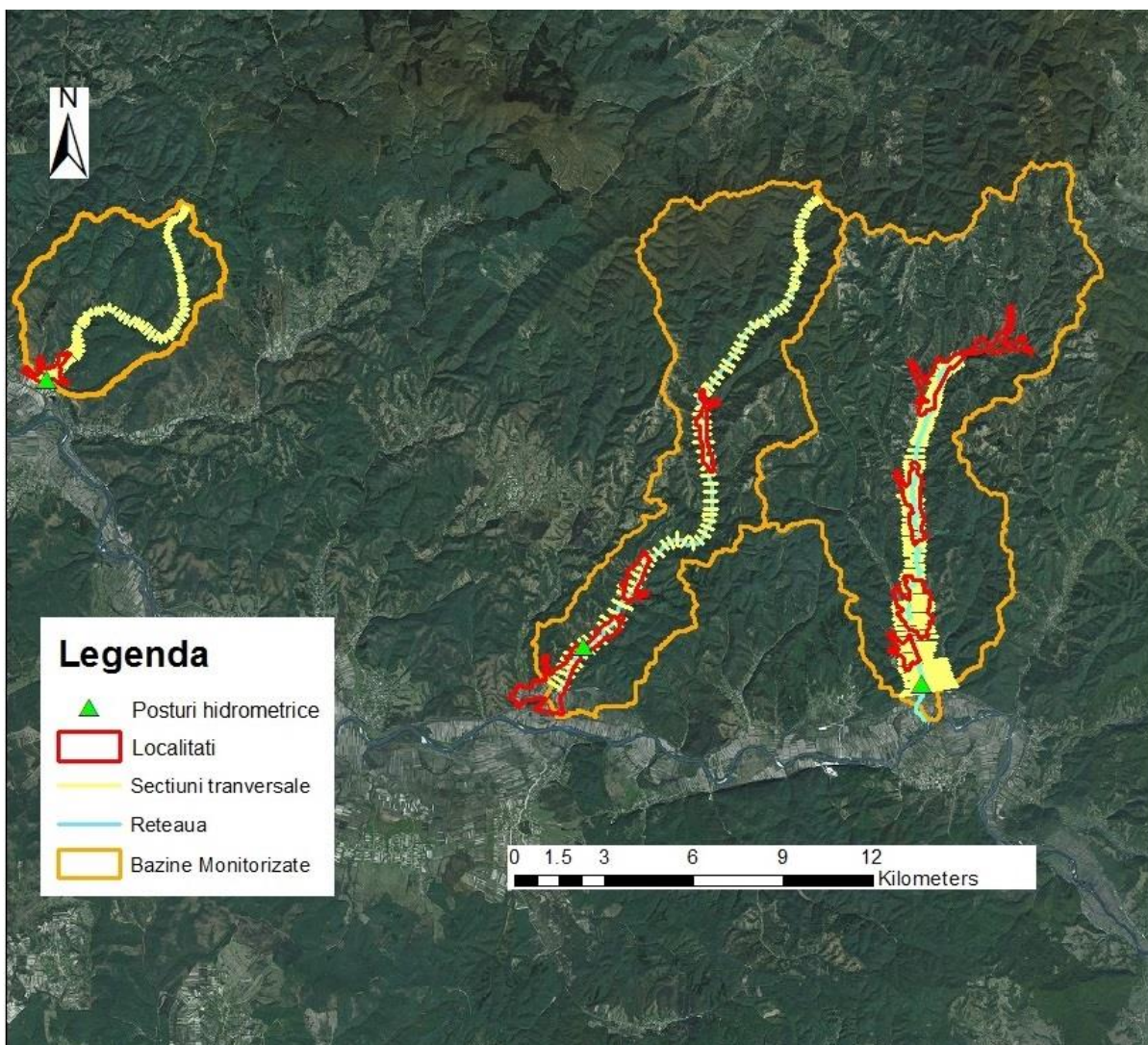


Fig. 6.4 Schemă a rețelei utilizată la modelarea hidraulică pe Pârâul Petriș, Troaș și Valea Monoroștia.

Trasarea hărților de inundații pe baza modelului hidraulic aplicat pe bazinele mici

În urma realizării bazei de date pentru modelul hidraulic, acesta a fost rulat pe toate cele trei bazine pentru simulările:

- Un eveniment cu perioadă de revenire de 100 ani;
- Un eveniment cu perioadă de revenire de 50;
- Un eveniment cu perioadă de revenire de 10 ani

După cum se arată în figurile următoare, aplicația *Mike View* permite celui care modelează să aibă acces la rezultate grafice sau tabelare (nivelul apei, debit, etc.).

Disponând de astfel de informații putem extrage debitul la intrarea și la ieșirea din fiecare sat situat pe cursurile de apă (**Tabel 6.2**). Se poate ușor observa că debitele calculate prin intermediul modelului hidraulic corespund în dreptul postului hidrometric cu valorile debitelor calculate prin modelul ploaie-scurgere HEC-HMS (*capitolul 4*)

Tabel.6.2 Debitele calculate la intrarea și ieșirea din localitățile situate în bazinele de studiu (*Haidu, Győri, Humbert, 2014*).

Pârâul Petriș						
Denumire sat	Q (m ³ /s) intrare în sat			Q (m ³ /s) ieșire sat		
	Q 1%	Q2%	Q10%	Q 1%	Q2%	Q10%
Roșia Nouă	-	-	-	27,2	24.9	14.4
Corbești	29.3	26.3	15.4	39.4	35.6	22.6
Petriș	40.5	36.7	23.6	52.8	44.8	28.8
Seliște	52.8	44.8	28.8	55.2	46.7	30.1
Post hidrometric	Q 1%		Q2%	Q10%		
	59.6		50	32.4		

Pârâul Troaș						
Denumire sat	Q (m ³ /s) intrare în sat			Q (m ³ /s) ieșire sat		
	Q 1%	Q2%	Q10%	Q 1%	Q2%	Q10%
Troaș	6.3	5.6	2.5	10.8	9.6	4.7
Temeșești	15	13.6	6.6	16	14.6	7.1
Săvârșin	17.3	15.9	7.8	19.4	17.8	8.8
Post hidrometric	Q 1%		Q2%	Q10%		
	18.9		17.4	8.6		

Valea Monoroștia						
Denumire sat	Q (m ³ /s) intrare în sat			Q (m ³ /s) ieșire sat		
	Q 1%	Q2%	Q10%	Q 1%	Q2%	Q10%
Monoroștia	17.5	15.6	11.8	27.2	24.2	17.7
Post hidrometric	Q 1%		Q2%	Q10%		
	21.6		19.3	14.5		

Nivelul apei corespunzător acestor debite poate să fie urmărit pe *profilele longitudinale* ce sunt obținute odată ce simularea a fost efectuată. De asemenea în dreptul intrării și ieșirii din fiecare sat, au fost trasate *profilele transversale* cu nivelul de apă corespunzător pentru fiecare dintre viiturile de 1%, 2%, 10% (**fig. 6.5**)

Toate aceste informații pot fi mai departe utilizate pentru a realiza *hărțile de inundații* la viiturile cu diferite probabilități de depășire (**fig. 6.10, 6.15**).

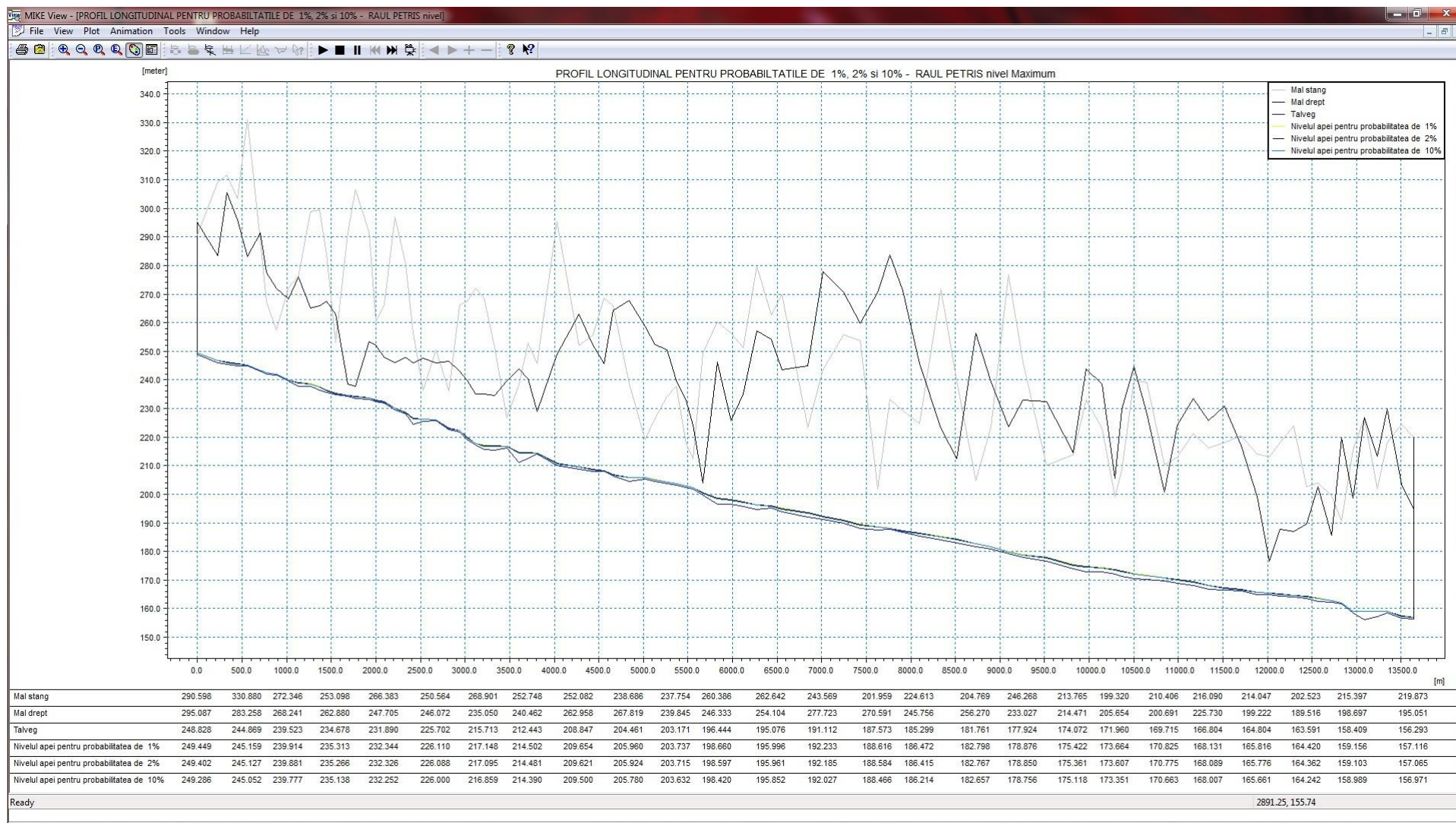


Fig.6.5 Profil longitudinal pentru probabilități de 10, 2 și 1% pe Pârâul Petriș.

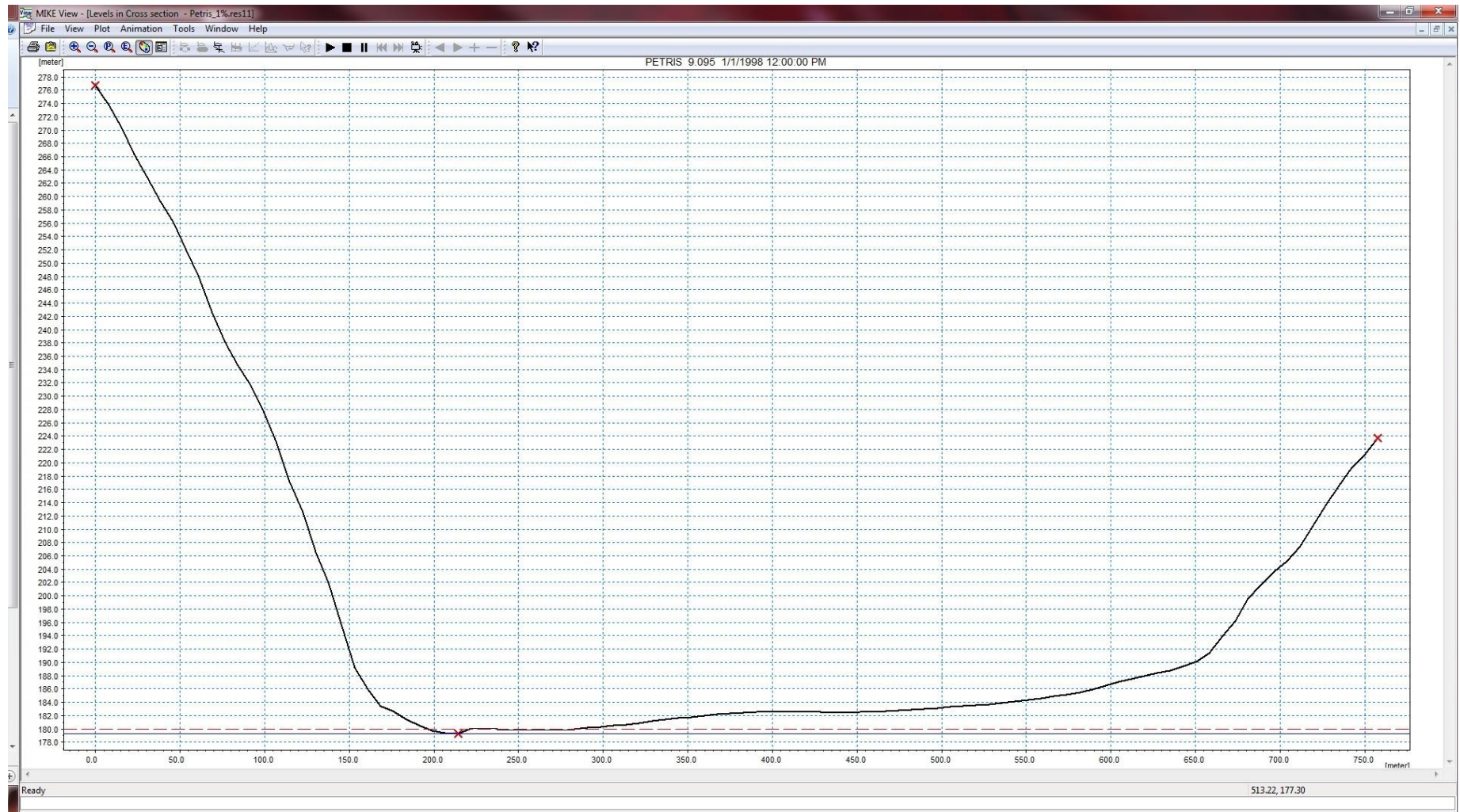


Fig. 6.8 Nivelul apei la viitura de 1% la intrare în satul Petriș

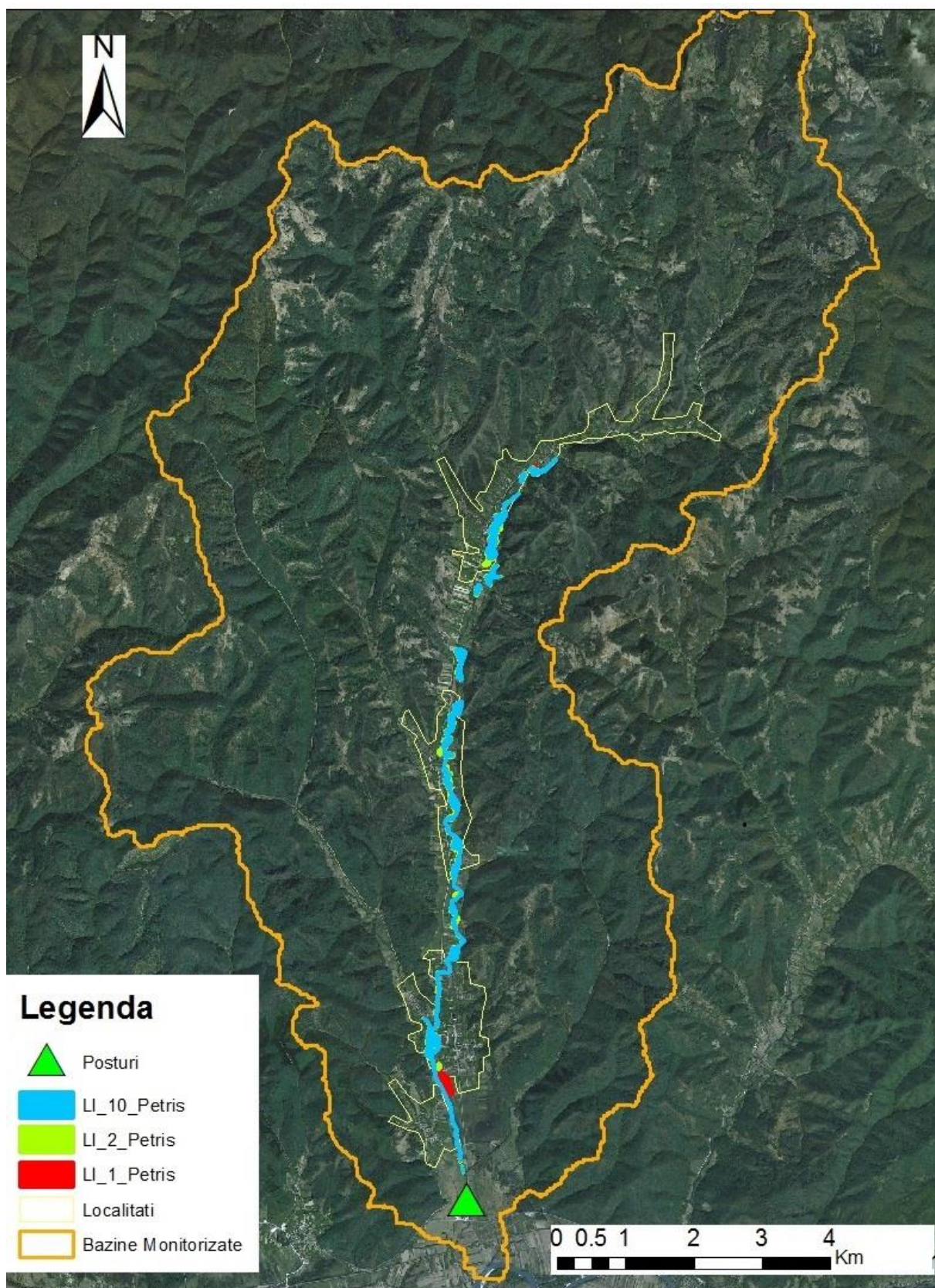


Fig. 6.10 Harta zonelor inundabile cauzate de viiturile cu probabilități de depășire 1, 2, 10 % pe Pârâul Petriș
(adaptare după Haidu, Györi, Humbert, 2014).

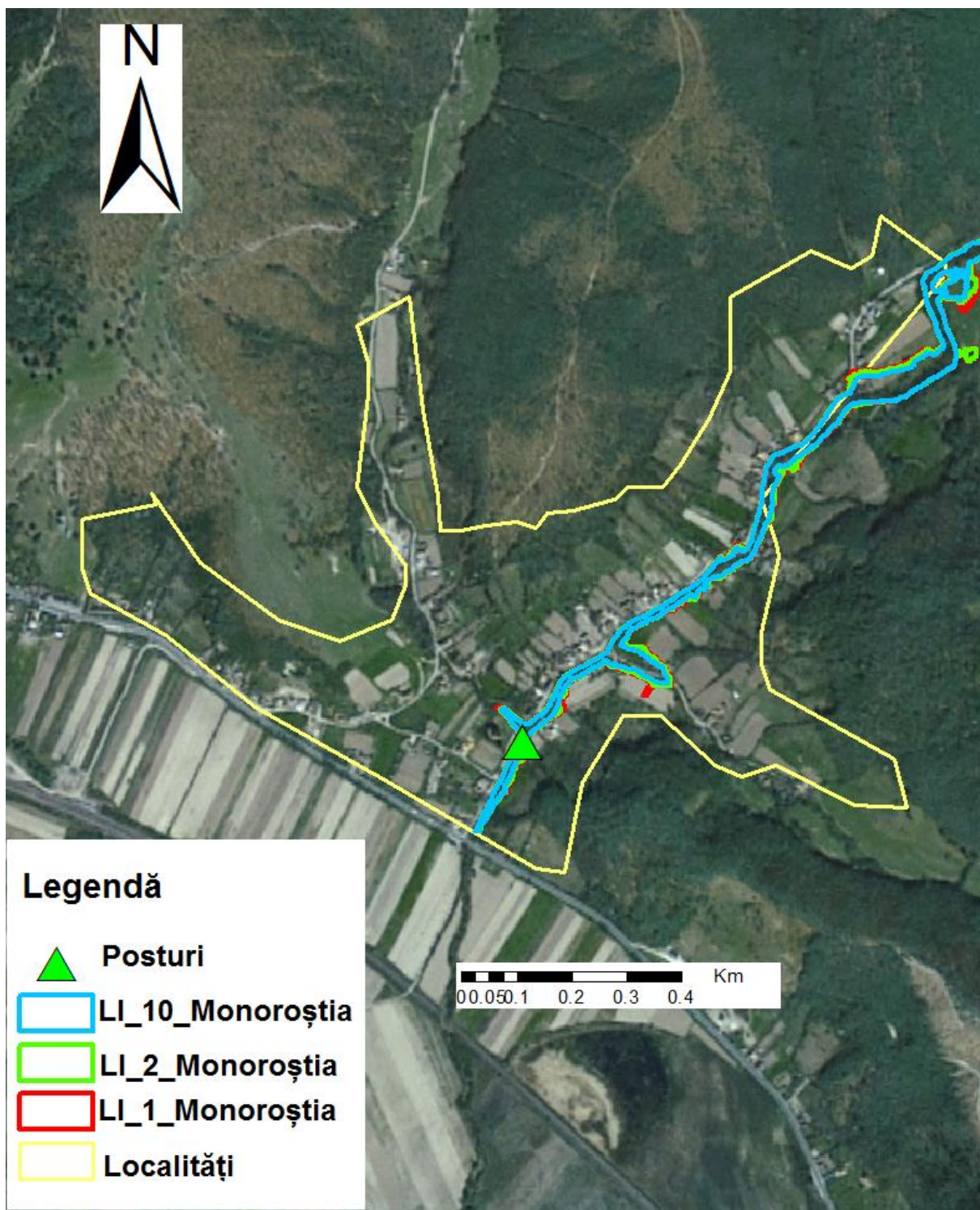


Fig. 6.15 Harta zonelor inundabile cauzate de viiturile cu probabilități de depășire 1, 2, 10 % pe Monoroștia. Detaliu Localitatea Monoroștia (*Haidu, Győri, Humbert, 2014*).

7. Concluzii

În procesul de modelare al viiturilor există o strânsă interdependență între GIS și sistemele de modelare hidrologică, datele geospațiale fiind folosite drept date de intrare în procesul de modelare.

În cadrul studiului de față invocarea principiului de staționaritate a setului de date a făcut posibilă determinarea diferitelor durate ale ploilor maxime probabile (5 min, 15 min, 1h, 2h, 3h, 6 h, 12 h, 24 h) conform literaturii de specialitate. Aplicând conceptele teoriei probabilităților, ploile cu perioade de revenire de 10, 50 și 100 de ani au fost generate pentru a servi simulării viiturilor cu aceeași probabilitate.

În urma calibrărilor, se constată că pe Pârâul Petriș o ploaie cu durata de o oră va genera debite maxime apropiate de cele rezultate în urma analizei statistice a debitelor (maxime). Durata ploilor care au determinat viiturile cu diferite perioade de retur se înscriu bine indicațiilor SCS pentru bazinele Troaș și Monoroștia, adică durata unui ploi cu perioadă de revenire de „T” ani este de patru ori mai mare decât timpul de concentrare al bazinului. Numeroasele studii realizate cu această metodă arată în același timp că durata optimă a ploii va fi în final aleasă pe baza cunoștințelor și experienței hidrologului cât și în funcție de rezultatele de la calibrare.

Modelul de la Cluj reprezintă distribuția parametrilor hidrologici care constituie date de intrare intermediare pentru rularea modulului imediat următor. Modelele conceptuale care stau de altfel la baza Modelului de la Cluj au avantajul de a fi rapid de implementat pe diferite bazine, cerând o cantitate mică de informații și fiind foarte eficiente din punct de vedere computațional.

Modelarea hidrologică a procesului ploaie-scurgere prin intermediul a HEC-HMS include etape succesive de lucru pentru că pe baza ploilor probabilistice concretizate sub forma modelului meteorologic, dar și pe urma datelor legate de utilizarea terenului, pedologie, parametrii morfologici ai bazinului, reunite sub așa-numitul Model al Bazinului, se vor obține valorile de debite cu diferite probabilități de depășire deci și hidrografele corespunzătoare.

Această etapă a fost cea care a solicitat un volum mare de muncă pentru ca hidrograful simulat să aibă corespondent la postul hidrometric studiat.

Studiul hidraulic s-a realizat prin utilizarea softului Mike 11. Un studiu hidraulic implică utilizarea unui sistem computațional performant care să permită rularea unei modelări 1D, 1D+, 2D, 3D care să ducă la definirea benzilor de inundație pentru probabilitățile 1%, 2%

10% care prin vizualizare permit evidențierea zonelor expuse la risc (așezări omenești, terenuri agricole, obiective economice, drumuri etc.)

O bună corespondență între debitele generate de modelul hidrologic iar apoi de către cel hidraulic, comparativ cu debitele statistice se constată la nivelul posturilor hidrometrice. Astfel, prin intermediul modelului hidraulic s-a generat seria de hărți de inundabilitate atât de necesare pentru un bun management al inundațiilor și intervenții în situații de urgență.

BIBLIOGRAFIE

- Abbott, M., Refsgaard, J., C., (1996), *Distributed Hydrologic Modelling*, Kluwer Academic Publishers.
- Anderson, D., J., (2000), *GIS-based Hydrologic and Hydraulic Modeling for Floodplain Delineation at Highway River Crossings*, Dissertation, Faculty of the Graduate School of the University of Texas at Austin.
- Arghiuș, V., I., (2007), *Studiul viiturilor de pe cursurile de apă din estul munților Apuseni și Riscurile asociate*, Teză de doctorat, Cluj-Napoca.
- Atkinson, S., Woods, R., A., Sivapalan, M., (2002), *Climate and landscape controls on water balance model complexity over changing time scales*. *Water Resources Research*, 38(12), 1314.
- Baltas, E.,A., Dervos, N.,A., Mimikov, M., A., (2007), *Determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece*, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, pg. 1825-1829.
- Bedinet, B., P., (2002), *Hydrology and Flood plain Analysis*, Prentice Hall.
- Beven, K., J., (2006), *Rainfall-Runoff Modelling The Premier*, John Wiley & Sons Ltd.
- Beven, K. J., si Kirkby, M., J., (1979), *A physically based, variable contributing area model of basin hydrology*, *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1), 43-69.
- Bilașco, Șt., (2008), *Implementarea SIG în modelarea viiturilor de versant. Studii de caz în bazinul Someșului Mic*. Teză de doctorat, Cluj-Napoca.
- Blaga, Ghe., Filipov, F., Udrescu, S., Vasile, D., (2005), *Pedologie*, Editura AcademicPres, Cluj-Napoca.
- Blöschl, G., (2005), *Rainfall-runoff modeling of Ungauged Catchments*, *Encyclopedia of Hydrologic Sciences*, pg. 2061-2079, John Willey & Sons Ltd.
- Blöschl, G., Sivapalan, M., Wagener, T., Viglione, A., Savenije, H., (2013), *Runoff Prediction in Ungauged Basins-Synthesis across Processes Places and Scales*, Cambridge University Press.
- Bobee, B., B., Ashkar, F., (1991), *The Gamma Family and Derived Distributions Applied in Hydrology*, Water Resources Publications, Littleton, CO.

- Borah, D., K., Xia, R., Bera, M., (2002), DWSM- A Dynamic Watershed Simulation Model, în *Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications*, Singh, V., P., Frevert, D., K., editori, Water Resource Publications, Littleton, CO., p. 113- 166.
- Boucher, M., (2009), *Rainfall Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curves*, Costa County Flood Control&Water Conservation District.
- Burt, J., E., Barber, G., M., (1996), *Elementary Statistics for Geographers*, Guilford Press, New York.
- Chendeş, V., (2007), *Scurgerea lichidă și solidă în Subcarpații de la curbură*, Teză de doctorat, Institutul de Geografie, Academia Română.
- Chow, Ven, T., Maidment, D., R., Mays, L., W., (1998), *Applied Hydrology*, McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series.
- Chow, Ven, Te, (1964), *Handbook of Applied Hydrology- a compendium of water-resources technology*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Costea, G., (2012), *Using Remote Sensing for deforestation assessment. The deforestation effect over the underlying surface characteristics changes in the upper basins of Someșul Cald and Someșul Rece river*, PhD Thesis.
- Crăciun A., I., Haidu I., Magyari-Sáska, Zs., Imbroane A., I., (2009), *Estimation of runoff coefficient according to soil moisture using GIS techniques*, Geographia Technica, No. 2, 2009, p. 1-10, ISSN 1842-5135.
- Crăciun, A.,I., (2011), *Estimarea indirectă, cu ajutorul GIS, a umezelii solului în scopul modelării viiturilor pluviale. Aplicații în Munții Apuseni*, Teză de doctorat, Cluj-Napoca
- Cunderlik, J., M., Simonovic, S., P., (2004), *Calibration, verification and sensitivity analysis of the HEC-HMS hydrologic model. CFCAS project: Assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing Climatic Conditions*. Project Report IV.
- Davie, T., (2002), *Fundamentals of Hydrology*, (2th ed), London and New York: Routledge.
- Dawdy, D., R., O'Donnell, T., (1965), *Mathematical models of catchement behaviour*, Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 91 (HY4):123-127

- Diaconu C., Șerban P., (1994), *Sinteze și regionalizări hidrologice*, Editura Tehnică, București.
- Di Baldassarre, G., (2012), *Inundation Modelling, Floods in a Changing Climate*, International Hydrology Series, Cambridge University Press.
- Djokic, D., (2008) , *Comprehensive Terrain Preprocessing Using Arc Hydro Tools*, ESRI Press, Redlands, CA.
- Drobot, R., (2007), *Metodologia de determinare a bazinelor hidrografice torențiale în care se află așezări umane expuse pericolului viiturilor rapide*, UTCB, Departamentul de cercetare și proiectare în construcții, București.
- Eman Ahmed Hassan El-Sayed, (2011), *Generation of Rainfall Intensity Duration Frequency Curves For Ungauged Sites, Nile Basin*, Water Science & Engineering Journal, Vol.4, Issue 1.
- Ewen, J., Bathurst, J. Parkin, G., O'Connell, E., Adams, R., Hiley, R., Kilsby, C., Burton, A., (2002), *SHETRAN: Physically-Based Distributed River Basin Modelling System*, în *Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications*, Singh, V., P., Frevert, D., K., editori, Water Resource Publications, Littleton, CO., p. 43-68 .
- Fleming, G., (1975), *Computer Simulation Techniques in Hydrology*, Environmental Science Series, Elsevier.
- Florea, N., Munteanu, I., (2003), *Sistemul român de taxonomie a solurilor (SRTS)*, Editura Estfalia, București.
- Florea, N., Munteanu, I., Băcăințan, N., Bălăceanu V., Cârstea Șt., (2000), *Sistemul român de taxonomie a solurilor: SRTS-2000*, Editura Universității "Al. I. Cuza".
- Ford, D., T., Hamilton, D., (1996), *Computer models for water-excess management*. Mays L. W. (editor), Water Resources Handbook, McGraw-Hill, New York.
- Freeze, R., A., Harlan, R., L., (1969), *Blueprint for a physically-based digitally simulated hydrologic response model*. Journal of Hydrology, 9, pg. 237-258.
- Geetha, K., Mishra, S., K., Eldho, T., I., Rastogi, A., K., Pandey, R., P., (2008), *SCS-CN-based Continuous Simulation Model for Hydrologic Forecasting*, Water Resources Management 22: 165-190, January 09, 2008.

- Green, J. I., Nelson, E.,J., (2002), *Calculation of time of concentration for hydrologic design and analysis using geographing information system vector objects*, Journal of Hydroinformatics, 04.2, IWA Publishing.
- Gumbel, E.,J., (1958), *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, New York.
- Györi, Maria-Mihaela, Humbert, J., Haidu, I., (2013) *Deriving flash floods in the case of simulated precipitations*, Geographia Napocensis, VII, No. 2 (acceptată pentru publicare).
- Györi, Maria-Mihaela, Haidu, I., (2011), *Unit Hydrograph Generation for Ungauged Subwatersheds. Case Study: the Monoroștia River, Arad County, Romania*, Geographia Technica, No. 2, pg. 23 – 29.
- Haan, C., T., (1977), *Statistical Methods in Hydrology*, Iowa State University Press, New York.
- Haidu, I., (1993), *Evaluarea potentialului hidroenergetic natural al râurilor mici din Carpatii Maramuresului si Bucovinei*, Editura GLORIA Cluj-Napoca & RENEL, Bucuresti.
- Haidu, I., (2002), *Analiza de frecvență și evaluarea cantitativă a riscurilor. Riscuri și catastrofe*, Editura Casa Cărții de Știință Cluj-Napoca, Vol. 2, pg. 180-207.
- Haidu, I., (2006), *Elemente de hidrologie*, Edit. Academicpres, Cluj-Napoca.
- Haidu, I., Crăciun A.,I., Bilașco, Șt. (2007), *The SCS-CN model assisted by GIS-alternative estimation of the hydric runoff in real time*, Geographia Technica, ISSN 1842-5135, No. 1, 2007, pg. 1-7.
- Haidu I., Crăciun A., Domnița M, Magyari-Saska Zs., Györi M. (2007-2010). **AȘEZĂRI MONTANE AMENINȚATE DE TORENȚI PLUVIALI – METODOLOGIE G.I.S. PENTRU ESTIMAREA VULNERABILITĂȚII ȘI RISCULUI. APLICAȚII LA MUNȚII APUSENI.**, Grant CNCSIS_PN-II-ID-PCE_RO - Cod.517, Raport final. http://geografie.ubbcluj.ro:8010/Idei_517/.
- Haidu, I., Györi, Maria-Mihaela, Humbert, J., (2014), *Deriving the floodplain of small basin having limited data. Case study: Zărandului Mountains, Romania*. Geographia Technica, 18, No.1 (acceptată pentru publicare).
- Hapuarachchi, H., A., P., Wang, Q., J., Pagano, T., C., (2011), *A review of advances in flash flood forecasting*, Hydrological Processes, 25, pg 2771–2784, Published online 15 March 2011 in Wiley Online Library.

- Imbroane, A.M., Moore, D., (1999), *Inițiere în GIS și teledetecție*, Edit. Presa Universitară Clujeană, Cluj-Napoca.
- Ionescu, V., Giurma, I., Popovici, G., (1975), *Calculule și modele matematice pentru combaterea eroziunii solului*, Institutul Național de Informare și Documentare, București.
- Kafle, T., P., Hazarika, M., K., Karki, S., Sshrestha, R., M., Sharma, R., Samarakoon, L., (2010), *Basin Scale Rainfall - Runoff Modeling for Flood Forecasts*, <http://www.cct.edu.np/uploads/result/flood%20hazard.pdf>
- Katani, Mehdi, Nasri, Masoud, Soleimani Sardoo, Farshad, *Simulation of the Rainfall-Runoff Process Using of HEC-HMS Hydrological Model (A Case Study of Sheikh Bahaei Dam Basin)*, World Academy of Science, Engineering and Technology 78 2011, 2011, pg 548- 551.
- Keller E., (2008), *Evaluarea și simularea fluxului de apă în situații de risc cu ajutorul S.I.G. : aplicație la municipiul Baia Mare*, Teză de doctorat, UBB Cluj.
- Kreis, N., (2004), *Modélisation des crues des rivières de moyenne montagne pour la gestion intégrée du risque d'inondation- Application à la Vallée de la Thur (Haut-Rhin)*. Thèse. ENGEES.
- Kritski , S.,N., Menkel, M., F.,(1950),*The Hydrological Basis of River Hydro-Techique*, Moscow: Academy of Sciences Publishing.
- Lang, M., Lavabre, J., (2007), *Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondations*, Editions Quae.
- Magyari-Saska Zs., (2008), *Dezvoltarea algoritmilor S.I.G pentru calculul riscurilor geografice naturale: aplicație la Bazinul Superior al Mureșului*, Teză de doctorat, UBB, Cluj-Napoca.
- Maidment, D., R., (1993), *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill.
- Maidment, D., R.,(2002a), *Arc Hydro: GIS for Water Resources*, ESRI Press, Redlands, CA.
- Marian, R., A.,(2013) *Geoinformatics Study Regarding the Hydrological Impact of the Damage to Water Supply Networks in Rural Areas.Application to Baia Mare Depression*, PhD Thesis.
- McCuen, R., H., (1982), *A guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.

- McCuen, R., H., (2003), *Modeling Hydrologic Change: Statistical Methods*, Lewis Publishers, CRC Press LLC.
- McKillup, S., Dyar, M., D., (2010), *Geostatistics Explained- An Introductory Guide for Earth Scientists*, Cambridge University Press.
- Meyer, S., Olivera, F., (2007), *Floodplain Mapping & Hydraulic Analysis with HEC-GeoRAS 4.1.1 and ArcGIS 9.1*, Texas A&M University – Zachry Department of Civil Engineering.
- Mishra, S., K., Singh, V., P., (1999) *Another look at the SCS-CN method*, Journal of Hydrologic Engineering, 4(3): 257–264.
- Mishra, S., K., Singh, V., P., (2002), SCS-CN-Based Hydrologic Simulation Package, în *Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications*, Singh, V., P., Frevert, D., K., editori, Water Resource Publications, Littleton, CO., p. 391- 464.
- Mishra, S., K., Singh, V., P., (2003), *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) methodology*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Moore, I.,D., Grayson, R., B., Ladson, A.,R., (1991), *Digital terrain Modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications*, Broadway, N.S.W.: Water Research Foundation of Australia.
- Moore, R., J., Clarke R., T., (1981), *A distribution function approach to rainfall-runoff modelling*, Water Resources Research 17, pg. 1367-1382.
- Mujumdar, P. P., Nagesh Kumar, D., UNESCO, (2012), *Floods in a Changing Climate, Hydrologic Modeling*, International Hydrology Series, Cambridge University Press.
- Musy, A., Higy C., (1998), *Hydrologie appliquée*, Editions H.G.A., București.
- Oceanit, (2008), *Final Hydrology Report- Ala Wai Watershed Project*.
- Ogden, F., L., Julien, P., Y., (2002), *CASC2D- A Two-Dimensional, Physically-Based, Hortonian Hydrologic Model*, în *Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications*, Singh, V., P., Frevert, D., K., editori, Water Resource Publications, Littleton, CO., p. 69-112.
- Patriche, C.V., (2003), *Evaluarea biofizică și tehnică a terenurilor agricole*, Editura Terra Nostra, Iași.
- Păcurar, V. D., (2005), *Utilizarea Sistemelor de Informații Geografice în modelarea și simularea proceselor hidrologice*, Editura Lux Libris, Brașov.

- Ponce V.M., Hawkins R.H., (1996), *Runoff curve number: Has it reached maturity?* , Journal of Hydrological Engineering, ASCE, Vol. I, No1, pg. 11-19.
- Pop, P., Gr., (2006), *Carpații și Subcarpații României*, Ediția a II-a, Presa Universitară Clujeană.
- Raman, H., S., M., Padalinathan, P., (1995), *Models for extending streamflow data: a case study*, Hydrological Sciences Journal, 40 (3), pg. 381-393.
- Ramesh, S., Teegavarapu, V., (2012), *Floods in a Changing Climate, Extreme Precipitation*, International Hydrology Series, Cambridge University Press.
- Razi, M., A., M., Ariffin, J., Tahir, W., Arish, N., A., M., (2010), *Flood Estimation Studies using Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) for Johor River, Malaysia*. Journal of Applied Sciences, 10: 930-939, 2010.
- Refsgaard, J., C., (2007), *Hydrological Modelling and River Basin Management*, Doctoral Thesis, Geological Survey of Denmark and Greenland, Danish Ministry of the Environment.
- Rosso, R., Rulli, M., C., (2002), *An integrated simulation method for flash-flood risk assessment: Frequency predictions in the Bisagno River by combining stochastic and deterministic methods*, Hydrology and Earth System Sciences, vol. 6, 2002.
- Rus, D., (2006), *Culoarul Mureșului, sectorul Brănișca – Păuliș - studiu geografico-uman*, Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca.
- Sabourin J., F., and Associates Inc., (2009), *Floodplain Mapping Report for the Van Gall and Arbuckle Municipal Drains in the Village of Richmond*.
- SGA Arad, (2006), *Planul de apărare împotriva inundațiilor*.
- Shantosh Karki, (2011), *A Final Report on: GIS Based Flood Hazard Mapping and Vulnerability Assessment of People due to Climate Change: A Case Study from Kankai Watershed, East Nepal*, National Adaptation Programme of Action (NAPA), Ministry of Environment.
- Sinclair Knight Merz, (2009) *Impact of Land Use Change on Floods in the Upper Waikato, Phase 2: model calibration and flood hydrograph generation*, Auckland, New Zealand.
- Singh, V., P., (1995), *Computer Models of Watershed Hydrology*, Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO.

- Singh, V., P., Frevert, D., K., (2006) *Watershed Models*, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Skøien, J., O., Blöschl, G., (2007) *Spatiotemporal topological kriging of runoff times series*, Water Resources Research, 43(9), 1-21, doi 10.1029/2006WR005760
- Smith, M., J., Asal, F.,F.,F., Priestnall, G., (2004), *The use of Photogrammetry and lidar for landscape roughness estimation in hydrodynamic studies*, in M. Altan Orhan (Ed.), International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 35, pg 714-719.
- Kollet, S., J., Maxwell R. M., (2008), *Capturing the influence of groundwater dynamics on land surface processes using an integrated, distributed watershed model*, Water Resources Research, 44(2), 1-18 doi:10.1029/2007WR006004.
- SMIVAL (2011), *Etude Hydraulique de la Leze Phase 2 : Simulation des Crues Synthétiques*, CACG.
- Sommeijer, M. J., (2010), *Sensitivity analysis of the Curve Number method For the Assesment of hydrological impacts of hill slope revegetaion in the Baviaanskloof, South Africa*, Thesis report, Wageningen University.
- Stedinger, J., R., Vogel, R., M., Foufoula-Georgiou (1993), *Frequency analysis of extreme events*, in D., R., Maidment (Ed.), Handbook of Hydrology, New York: McGraw-Hill, pg.18.1-18.66.
- Şerban, P.,(1995), *Modele Hidrologice Deterministe*, Editura Didactică și Pedagogică, București.
- Ujvari, I., (1972), *Geografia Apelor României*, Editura Științifică, București.
- USDA, (1997), *Hydrology Handbook*, No.28.
- US Army Corps of Engineers USDA, (2000) *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*, Technical Reference Manual.
- US Army Corps of Engineers USDA, (2001), *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*, User's Manual, Version 2.1.
- US Army Corps of Engineers USDA, (2008), *Urban Flooding Studies, Chapter 2 of Hydrologic Modeling System HEC-HMS Application's Guide*.
- US Army Corps of Engineers USDA, *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*, (2008), Applications Guide.
- US Army Corps of Engineers USDA, (2009), *HEC-DSS Vue- HEC Data Storage System Visual Utility Engine*, Users' Manual.

- US Army Corps of Engineers USDA, (2010) *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*, User's Manual, Version 3.5.
- US Army Corps of Engineers USDA, (2010), *Geospatial Hydrologic Modeling Extension*, User's Manual, Version 5.0.
- US Army Corps of Engineers USDA, (2010), *HEC-RAS River Analysis System*, User's Manual, Version 4.1.
- US Army Corps of Engineers USDA, (2010), *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*, User's Manual, Version 3.5.
- US Army Corps of Engineers USDA, (2011), *HEC-GeoRAS, GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS*, Version 4.3.93.
- Ven Te Chow, (1964), *Handbook of Applied Hydrology- a compendium of water-resources technology*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Vespremeanu E. (1998), *Pedimente, Piemonturi și glacisuri în Depresiunea Mureșului Inferior*, Editura Universitară, București.
- W.J.R. Alexander, (2002), *Statistical Analysis of extreme Floods*.
- Wigmosta, M., S., Nijssen, B., Storck, P., Lettenmaier, D., P., (2002): *The Distributed Hydrology Soil Vegetation Model, în Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications*, Singh, V., P., Frevert, D., K., editori, Water Resource Publications, Littleton, CO., p. 7-42.
- Wolfe, D., L., (2006), *Hydrology Manual*, Los Angeles County Department of Public Works, Water Resources Division.
- WRC Engineering, (2008), *Floodplain and Stormwater Criteria Manual*, Vol 1 & 2, (PDF's only).
- Yener, M., K., Şorman, A., Ü., Şorman, A., A., Sensoy, A., Gezgin, T., *Modeling studies with HEC-HMS and runoff scenarios in Yuvacik Basin, Turkiye*,(2006), International Congress on River Basin Management, pg 621- 634.
- *** Anuar APM Arad (1998).
- *** Arc Hydro Tools – Tutorial Version 1.3 (2009), ESRI.
- *** ArcGIS Desktop I- Getting Started with GIS, ESRI România.
- *** ArcGIS Desktop II- Tools and Functionality, ESRI România.
- *** ArcGIS Desktop III- GIS Workflows and Analysis, ESRI România.
- *** Atlasul Cadastrului Apelor din RPR, (1964), București.
- *** Atlasul Geografic al RSR, (1974), Editura Academiei, București.

- *** CLC 2006 <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-clc2006-100-m-version-12-2009>.
- *** Geografia României vol. III, (1963), Editura Academiei, București.
- *** Geografia României, Geografia Fizică, Editura Academiei R.S.R., (1983).
- *** Studii hidrologice anuale pe râul Mureș și afluenți, (1973-1998), SGA Arad.
- *** Using ArcGIS Spatial Analyst, (2001-2002), ESRI Press, Redlands, CA.

WEBOGRAFIE

- http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrology#Hydrologic_modeling.
- <http://forums.esri.com/Forums.asp?c=93>
- <http://giswin.geo.tsukuba.ac.jp/sis/tutorial/koko/zonalstatistics/ZonalStatistics.pdf>
- <http://hydrologicmodels.tamu.edu/models.htm>, accesat la 15 Decembrie 2011
- <http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.datamodels.filteredgateway&dmid=15>
- <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=welcome>
- <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=welcome>
- http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/ce374k/hms/hms_ex.htm
- <http://www.cplusplus.com/doc/tutorial/variables/>
- <http://www.crwr.utexas.edu/gis/archydrobook/DataModelFiles/Tutorial/ArcHydroPart1.htm>
- <http://www.crwr.utexas.edu/gis/archydrobook/DataModelFiles/Tutorial/ArcHydroPart2.htm>
- <http://www.crwr.utexas.edu/gis/archydrobook/DataModelFiles/Tutorial/ArcHydroPart3.htm>
- <http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishydro05/Time/RepresentingSpaceAndTime.htm>
- <http://www.crwr.utexas.edu/giswr/events/091999giswr/>
- <http://www.crwr.utexas.edu/giswr/hydro/ArcHOSS/model/index.cfm>
- <http://www.gsd.harvard.edu/gis/manual/raster/index.htm>
- http://www.library.yale.edu/MapColl/gis_workshop_materials.html
- <http://www.sinotechcc.co.za/Software/UPFLOOD/SDF1.pdf>