

**Universitatea „Babeş-Bolyai” Cluj-Napoca  
Facultatea de Geografie  
Catedra de Geografie Fizică și Tehnică**

**Vrije Universiteit Brussel  
Department of Hydrology and Hydraulic Engineering**

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**- rezumat -**

**Modelarea GIS a formării scurgerii rapide. Aplicație  
în bazine torențiale din Munții Apuseni**

**Conducători științifici:  
PROF. DR. HAIDU IONEL  
PROF. DR. OKKE BATELAAN**

**Doctorand:  
DOMNIȚA MATEI**

Cluj-Napoca  
- 2011 -

## CUPRINS

<b>1.Introducere</b>	<b>1</b>
<b>2.Motivația și obiectivele cercetării și localizarea geografică a zonei de studiu</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Motivația și obiectivele cercetării</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Elemente de localizare geografică a bazinelor de studiu</b>	<b>6</b>
<b>3. Modelarea spațială în GIS</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Modele utilizabile în GIS - definiție, clasificare</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Utilitatea modelării spațiale</b>	<b>11</b>
<b>3.3 Procesul de modelare</b>	<b>13</b>
<b>3.4 Tipuri de modele spațiale</b>	<b>15</b>
<b>3.5 Modele perceptuale pentru scurgere</b>	<b>19</b>
<b>4. Stadiul Actual Al Cercetării În Modelarea Scurgerii Rapide În GIS</b>	<b>23</b>
<b>4.1. Evoluția modelelor de scurgere</b>	<b>23</b>
4.1.1 Metoda rațională	24
4.1.2 Metodele bazate pe timp și arie	25
4.1.3 Dezvoltarea hidrografului unitar	28
4.1.4 Primele modele pentru sisteme informatice: Modelul Stanford	30
4.1.5 Modele distribuite bazate pe procese	31
4.1.6 Modele distribuite simplificate bazate pe funcții de distribuție	32
4.1.7 Dezvoltarea recentă a modelelor	33
<b>4.2. Modele hidrologice spațial distribuite</b>	<b>33</b>
4.2.1 Modele de scurgere spațial distribuite. Metoda SCS curve number	33
4.2.2 Modele hidrologice complete spațial distribuite SHE	40
<b>4.3 Modele spațial distribuite bazate pe elemente de versanți</b>	<b>44</b>
<b>4.4. Modele distribuite simplificate bazate pe funcții de distribuție</b>	<b>46</b>
4.4.1 Modelul TOPMODEL	46
4.4.2 Modelele de tip VIC: Xinanjiang/ARNO/VIC	50
<b>4.5 Modele bazate pe unități hidrologice de răspuns. Modelul SLURP.</b>	<b>53</b>
<b>4.6. Modele create în institute de cercetare sau universități</b>	<b>56</b>
4.6.1 Chiradeep Adhikari - A GIS - Remote Sensing compatible rainfall – surface runoff model for regional level planning	56
4.6.2 Francisco Olivera and David Maidment - Geographic information systems based spatially distributed model for runoff routing	57
4.6.3 TANG Congguo, LIU Congqiang - Simulation of surface runoff	

in the Wujiang River watershed based on GIS	59
<b>5. Modele de date pentru modelarea scurgerii de suprafață</b>	<b>61</b>
5.1 Reprezentarea datelor pentru modelări hidrologice	61
5.2 Modelul de date ArcHydro	62
5.3 Structura bazei de date ArcHydro	66
5.4 Operații specifice disponibile în modelul ArcHydro	67
<b>6. Metode de implementare ale modelelor proces în GIS</b>	<b>73</b>
6.1 Cuplarea modelelor cu GIS	73
6.2 Posibilități de implementare ale modelelor în GIS	74
6.3 Modelare grafică	76
6.4 Modelarea prin scripting	79
6.4.1 Limbaje de scripting	79
6.4.2 Limbajul Python	81
<b>7. Cuplarea și interoperabilitatea între modele</b>	<b>81</b>
7.1 Interoperabilitatea între produse GIS realizată prin scripturi	83
7.2 Utilizarea de Biblioteci disponibile în diverse pachete GIS	85
<b>8. Funcții existente în GIS utile în modelarea scurgerii</b>	<b>86</b>
<b>9. Constituirea Bazei De Date</b>	<b>92</b>
9.1 Date necesare modelării scurgerii de suprafață folosind GIS	92
9.2 Date altimetrice ale terenului (DEM)	93
9.3 Structuri de date altimetrice	93
9.3.1 Modelarea raster a DEM-ului	94
9.3.2 Modelarea prin TIN - Triangulated Irregular Network	97
9.3.3 Modelarea prin izolinii	100
9.4 Solurile	101
9.5 Utilizarea terenului	103
9.6 Precipitații	104
9.7 Obținerea datelor de altitudine în format digital	108
9.7.1 Tehnici de măsurare în teren	109
9.7.2 Date preluate prin teledetecție	110
9.8 Date obținute prin interpolarea informațiilor din hărțile existente	112
9.8.1 Rezoluția unui DEM	112
9.8.2 Necesitatea interpolării pentru măsurători discrete	114
9.5.1 Rezoluția unui model	115
9.6 Metoda TOPOGRID (ANUDEM)	117

<b>10. Discretizarea spațială în funcție de ordinul rețelei de drenaj</b>	<b>120</b>
<b>10.1 Determinarea bazinelor hidrografice și clasificarea acestora</b>	<b>122</b>
<b>10.2 Modelul de discretizare în funcție de ordinul rețelei de drenaj</b>	<b>123</b>
10.2.1: Configurarea sistemului pentru rularea comenzilor	123
10.2.2: Determinarea cursurilor de apă, bazinelor hidrografice și punctelor de închidere	124
10.2.3: Determinarea ordinului Strahler al punctelor de închidere	126
10.2.4: Crearea bazinelor cu ordinul corespunzător	129
<b>11. Algoritm GIS pentru modelarea debitului generat de scurgerea rapidă în bazine mici</b>	<b>125</b>
<b>11.1 Model Conceptual</b>	<b>125</b>
11.1.1 Determinarea precipitațiilor nete din datele existente utilizând metoda SCS Curve Number	135
11.1.2 Determinarea coeficientului de scurgere	138
11.1.3 Determinarea timpului de parcurgere/concentrare	139
11.1.4 Calculul scurgerii generate de precipitații	140
11.1.5 Generarea hidrografului scurgerii	141
<b>11.2 Exemple de Aplicații practice</b>	<b>142</b>
11.2.1 Aplicație pentru bazine foarte mici în comuna Râșca	142
11.2.2 Aplicație pentru bazine din satul Mărișel	145
<b>11.3. Model conceptual pentru modelarea scurgerii de suprafață în bazine mici folosind calculul ecuațiilor scurgerii</b>	<b>149</b>
<b>12. Concluzii</b>	<b>152</b>
<b>13. Bibliografie</b>	<b>154</b>
<b>14. Glosar De Termeni</b>	<b>169</b>
<b>15. Anexe</b>	<b>173</b>

Datorită exploatării iraționale a teritoriului și lipsei unei infrastructuri durabile de protecție împotriva fenomenelor hidrologice extreme, România a fost și va rămâne vulnerabilă la inundații frecvente. În ultimii ani numărul acestor catastrofe a crescut, România necesitând de două ori ajutor material de la Comisia Europeană. În vara anului 2008 Comisia Europeană a acordat un ajutor de 11,78 milioane euro iar în primăvara și toamna anului 2005 România a mai primit 71,2 milioane euro. Ajutorul UE a contribuit la costurile suportate de autoritățile publice pentru a răspunde situațiilor de urgență, și pentru refacerea infrastructurii esențiale de protecție împotriva inundațiilor.

Zonele care au lacuri de acumulare disponibile pentru atenuarea viiturilor, precum și pe cursurile mijlocii și inferioare ale principalelor râuri din țară, infrastructura hidrotehnică a fost îmbunătățită în vederea protecției împotriva inundațiilor. Dar, în bazinele de dimensiuni mici din zona montană lucrările antierozionale cu efect de stingere a torenților sau de diminuare a viiturilor nu au fost întreținute și nu mai au eficiența necesară. Pe lângă aceasta, România a fost afectată de defrișările masive necontrolate și realizate anarhic, fără curățarea zonelor defrișate de resturile vegetale și protejarea zonelor cu pericol de apariție al viiturilor. Aceste defrișări din ultimele decenii au ridicat coeficienții de scurgere și au contribuit la reducerea infiltrației și stocajului, astfel încât un volum mai mare de precipitații devine scurgere rapidă, care se concentrează cauzând viiturile din aceste zone. Prin urmare, un număr mare de așezări montane sunt afectate de torenți și viituri rapide.

Traseul scurgerii și apariția torenților depinde de deplasarea celulei convective și variația intensității precipitațiilor în timpul furtunii. Prin urmare, elaborarea unei metode de a anticipa efectele ploilor torențiale bazată pe date statistice (Haidu, 2003; Sohn, 2005) sau modele dinamice (Ebert, 2005) este necesară.

O serie de studii hidrologice au fost efectuate pentru zona Munților Apuseni și cele mai multe dintre ele au fost concretizate în teze de doctorat. Aceste studii includ lucrările lui Buta I. (1967), Ersilia Iacob (1971); Anițan, I. (1974) sau cele mai recente realizate de către Șerban G. (2004), Patko R., (2007), Arghiuș V., (2008), Bilașco Șt., (2008), Crăciun A.I. (2011).

Scurgerea rapidă de suprafață este scurgerea care apare pe suprafața terenului sub formă de cursuri de apă (ogașe, ravene, torenți) sau ca un strat uniform de apă care curge peste versanți. Principalul motiv pentru studiul scurgerilor de suprafață este contribuția acestui fenomen în producerea viiturilor. Scurgerea rapidă care apare curge peste terenul și se

acumulează în aval în cel mai apropiat curs de apă într-un timp foarte scurt. Concentrația rapidă a apei de pe o suprafață de teren mare pune canalul colector în imposibilitatea de a transmite cantitatea mare de apă și în consecință cauzează viiturile rapide.

Inundațiile apar ori de câte ori un sistem de drenaj primește mai multă apă decât poate transporta. În limba engleză termenul "Flash Flood" este utilizat pentru a descrie o viitură rapidă. Un 'flash flood' este o inundație care urmează evenimentul cauzator (precipitațiile) într-o perioadă scurtă de timp și adesea este caracterizat de o creștere bruscă a nivelului și vitezei unui curs de apă. Termenul de "flash" reflectă un răspuns rapid la evenimentul generator, cu creșterea rapidă a debitului de apă în rețeaua de drenaj atingând maximul debitului într-o perioadă de timp de la câteva minute până la câteva ore de la debutul evenimentului, lăsând timp extrem de scurt pentru avertismente și pregătiri. Un prag de aproximativ 6 ore este de multe ori folosit pentru a distinge un flash flood de o inundație normală, cu creștere lentă a nivelului apei (Mogil și colab., 1978; Georgakakos, 1986a; Grunfest și Huber, 1991). Cele mai multe viituri au loc în cursurile de apă și bazinele hidrografice mici, cu o suprafață de drenaj de câteva sute de kilometri pătrați sau mai puțin (Kelsch, 2001). Astfel de bazine răspund rapid la ratele de precipitații abundente din cauza pantelor abrupte și suprafețelor impermeabile, solurilor saturate sau din cauza modificărilor antropice (de exemplu defrișări sau incendii) care cauzează modificări ale drenajului natural.

Prin intermediul acestei lucrări propun dezvoltarea unei metodologii GIS pentru modelarea procesului ploaie-scurgere care să ajute la anticiparea cantității de apă disponibilă pentru scurgere și la integrarea scurgerii pe versanți în vederea estimării magnitudinii viiturilor rapide care pot apărea. Se urmărește, așadar, ca, în condițiile prognozării unei cantități de precipitații pentru o anumită zi, cunoscându-se condițiile anterioare de umezeală și caracteristicile terenului, să se poată estima cantitatea de apă care va contribui la generarea viiturii și distribuția scurgerii acestei cantități de apă în spațiu și timp. Desigur, anticiparea viiturii depinde în mare măsură de precizia prognozei meteorologice emise.

Modelul va lua în considerare factorii prezentați și va fi capabil să anticipeze cantitatea de apă disponibilă pentru scurgere și să simuleze deplasarea acesteia prin bazinele hidrografice, în scopul de a estima variația debitului care apare în punctul de închidere al bazinului. Scopul principal al acestui model este de a obține, cunoscând caracteristicile peisajului, precipitațiile anterioare și precipitațiile prognozate pentru o anumită zi, cantitatea de apă care va genera

viitura și distribuția acesteia în timp. Rezultatul aplicării modelului este hidrograful generat de un anumit eveniment pluviometric spațial distribuit care poate afecta o zonă locuită de munte. Hărți de vulnerabilitate pentru inundații pot fi generate pe baza rezultatelor modelului.

Modelul proces va utiliza un model digital altimetric (DEM), hărți ale solurilor (din care se poate obține rata de infiltrare) și hărți de utilizare a terenului în format digital. Detalii ale precipitațiilor și prognozarea acestora sunt folosite pentru a modela scurgerea rapidă. Modelul va fi în special axat pe bazine fără măsurători, care este cazul general pentru bazinele hidrografice mici din Munții Apuseni. Modelul va trebui, prin urmare, să fie realist cu privire la disponibilitatea datelor. O strategie de validare pentru modelul GIS va fi elaborată prin comparație cu alte modele existente sau cu măsurători din bazine unde sunt disponibile stații de măsurare ale debitelor.

Lucrarea este structurată în 11 capitole, care corespund următoarei succesiuni de etape care stau la baza elaborării temei de cercetare: fixarea obiectivelor – studiul nivelului de cunoaștere al domeniului – studiul posibilităților de modelare a fenomenului – constituirea bazei de date necesare – dezvoltarea algoritmilor GIS de discretizare automată a zonei de studiu – dezvoltarea și automatizarea modelului proces pentru prognoza viiturilor rapide cauzate de ploi torențiale – validarea modelului pentru prognoza viiturilor rapide cauzate de ploi torențiale

Capitolul 1 prezintă o introducere referitoare la situația hidrologică din Munții Apuseni, motivele pentru care un astfel de model ar fi util și structura studiului. Următorul capitol cuprinde o prezentare a obiectivelor și a locației geografice a zonei de studiu folosite pentru aplicarea modelelor GIS create pentru acest studiu.

Capitolul 3 prezintă câteva concepte teoretice legate de modelele spațiale în GIS. Pe parcursul acestui capitol, sensuri ale cuvântului "modelul" dintr-o perspectivă GIS sunt discutate și clasificări diferite de modele sunt prezentate. Utilitatea modelării spațiale și a procesului care trebuie urmat atunci când este creat un model al unui proces distribuit spațial sunt discutate. Ultima parte a capitolului se axează pe prezentarea proceselor care pot fi modelate în cadrul unui model hidrologic și modul în care aceste procese interacționează.

Capitolul 4 prezintă stadiul actual al cercetării în domeniul modelării scurgerii folosind GIS și situația actuală în cercetarea națională și internațională. O scurtă istorie a modelelor de scurgere rapidă este prezentată și evoluția acestor modele prin timp este urmărită de la primele încercări de modelare a scurgerii în 1851 (T.J. Mulvaney) până la cele mai noi evoluții în

domeniu. Concepte diferite referitoare la modelarea scurgerii rapide sunt punctate și diferitele posibilități în crearea unui astfel de model sunt analizate.

Capitolul 5 prezintă reprezentările datelor GIS specifice pentru modelarea hidrologică și un model de date creat în acest scop de Centrul de Cercetare în Resurse de Apă (CRWR- Center for Research in Water Resources) din Texas: ArcHydro. ArcHydro este un model de date conceput special pentru modelarea hidrologică de către ESRI (Environmental Systems Research Institute) și CRWR. ArcHydro conține standarde pentru reprezentarea datelor hidrologice în bazele de date spațiale și un set de funcții de geoprocesare pentru prelucrarea acestor date. Funcțiile de prelucrare disponibile pentru utilizare cu modelul de date ArcHydro sunt prezentate pe scurt. Modelul de date ArcHydro și funcțiile disponibile împreună cu acesta au fost utilizate în scripturile și modelele create în acest studiu.

Capitolul 6 prezintă diferite posibilități de modelare spațială cu ajutorul GIS. Cuplarea modelelor (modul în care modelele sunt conectate) cu GIS este prezentată împreună cu diferite moduri de creare a modelelor spațiale. Modelarea grafică scurt este prezentată împreună cu câteva exemple de posibilități de modelare oferite de diferite produse GIS. Modelarea folosind script-uri este, de asemenea, prezentată și limbajul de scripting Python este analizat.

Capitolul 7 prezintă interoperabilitatea între produsele GIS diferite, care poate fi obținută prin crearea de script-uri ce apelează metode din bibliotecile specifice acestor produse GIS. Motivele pentru care un analist ar avea nevoie de funcții prezente în produse GIS diferite pentru un model sunt specificate. Câteva biblioteci Python utilizate frecvent în domeniul modelării spațiale sunt prezentate împreună cu modul în care aceste biblioteci pot prelucra date de la mai multe produse GIS. Modelul creat pentru acest studiu utilizează, de asemenea, unele dintre bibliotecile prezentate în acest capitol.

Capitolul 8 prezintă o serie de funcții specifice GIS și module cuplate cu GIS create special pentru modelarea scurgerii rapide sau a scurgerii prin albie. Spre deosebire de funcțiile de prelucrare a datelor prezentate în capitolul 5, care sunt folosite pentru orice tip de prelucrare a datelor hidrologice, aceste funcții și module sunt specifice pentru modelarea scurgerii pe suprafața terenului. Unele dintre acestea au fost folosite în modelul hidrologic care face obiectul acestei teze.

Capitolul 9 prezintă baza de date creată pentru studiu și construirea acestei baze de date. Baza de date include seturile de date GIS referitoare la topografia terenului și caracteristicile sale



hidrologice, precum și metodele de obținere și utilizarea acestor date sunt prezentate. Diferitele structuri de date care poate fi folosite pentru reprezentarea acelorași date spațiale sunt discutate și reprezentările alese pentru studiul de față sunt argumentate. Extragerea datelor de soluri digitale obținute prin scanarea și digitizarea hărților de sol de pe suport de hârtie, datele de utilizare a terenurilor din baza de date Corine Land Cover și a datelor climatice din baza de date NCDC GSOD, precum și metodele folosite pentru a extrage aceste date sunt discutate. Câteva scripturi folosite pentru extragerea datelor climatice din baza de date NCDC create în scopul modelării scurgerii din acest studiu sunt structurate și discutate.

Capitolul 10 prezintă punerea în aplicare a unor algoritmi de discretizare spațială a zonei de studiu în funcție de rețeaua de drenaj sub formă de module GIS. Acești algoritmi sunt utilizați pentru a crea o structură topologică pentru reprezentări ale bazinelor hidrografice care pot fi folosite mai târziu pentru rutarea scurgerii și pentru modelarea debitelor. Zona de studiu este împărțită în sub-bazine și relațiile topologice corecte între aceste bazine sunt obținute prin intermediul acestor module. Alte informații importante sunt, de asemenea, obținute prin modulul prezentat în acest capitol: punctele de închidere ale fiecărui subbazin, ordinul conform clasificării Strahler al fiecărui segment din rețeaua de scurgere corespunzător unui subbazin hidrografic. Împreună cu acest ordin, modulul obține și legăturile-ul în direcția de drenaj între subbazinele hidrografice. Modulul poate fi, de asemenea, folosit pentru a crea subbazine cu un ordin de scurgere specific, dacă este necesar într-o analiză.

Capitolul 11 prezintă două abordări în modelarea inundațiilor generate de scurgerea rapidă create pentru acest studiu. Primul model se bazează pe metoda de timp-arie (care implică determinarea timpului de parcurgere și a timpului de concentrare al scurgerii din fiecare subbazin, determinarea scurgerii generate în diferite secțiuni a bazinelor și generarea de hidrografului scurgerii prin integrarea liniară și acumularea scurgerii la punctul de închidere al bazinului studiat. Stratul disponibil pentru scurgere generat în fiecare celulă este calculat folosind metoda SCS Curve Number pentru determinarea coeficienților de scurgere și a adâncimii stratului de scurgere la nivelul unei celule raster. Rezultatele includ seturi de date GIS pentru adâncimea stratului scurgerii, coeficienții de scurgere, volumul de apă disponibil pentru scurgere, timpul de deplasare, diagrame timp-arie pentru scurgerea generată în fiecare subbazin și, în final hidrograful de debite la punctul de închidere al bazinului obținut prin integrarea scurgerii rapide în diferite secțiuni ale bazinului hidrografic. Două exemple de aplicații în

Munții Apuseni pentru acest model sunt prezentate împreună cu rezultatele lor. Al doilea model conceptual se bazează pe o rutare a scurgerii folosind ecuațiile Saint-Venant pentru scurgere nepermanentă în albie naturale și generare automată a tabelelor de variație a debitelor utilizate pentru afișarea grafică a hidrografelor.

Scripturile complete utilizate pentru a crea modulele prezentate în intermediul tezei sunt incluse în anexe pentru a putea fi utilizate în viitor. Tabelele de valori pentru coeficienții folosiți (Curve Number și Mannings  $n$ ) sunt, de asemenea, incluse.