



UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI  
FACULTATEA DE ȘTIINȚA ȘI INGINERIA MEDIULUI  
CLUJ-NAPOCA, ROMÂNIA



# **Instrumente GIS utilizate în evaluarea cantitativă a daunelor produse de inundații în zone cu date limitate**

- Rezumatul tezei de doctorat -

Conducător științific:

Prof. Dr. Ing. Alexandru Ozunu

Doctorand:

Ing. Iulia Crăciun

Cluj-Napoca

2018

# Cuprins

<b>Introducere</b>	<b>1</b>
<b>Scopul și obiectivele tezei</b>	<b>5</b>
<b>Conținutul tezei</b>	<b>8</b>
<b>Listă de figuri</b>	<b>9</b>
<b>Listă de tabele</b>	<b>11</b>
<b>Abrevieri</b>	<b>12</b>
<b>Partea I – Considerații teoretice privind evaluarea riscului la inundații</b>	<b>13</b>
<b>1. Concepte teoretice și date statistice privind riscul la inundații</b>	<b>13</b>
1.1. Inundațiile	13
1.2. Terminologie privind riscul la inundații	15
1.3. Concepte teoretice și termeni privind daunele produse de inundații	16
1.3.1. Tipuri de daune	17
1.3.2. Factori care influențează daunele produse de inundații	18
1.4. Inundațiile în Europa și România	19
1.4.1. Inundațiile în Europa	19
1.4.2. Inundațiile în România	21
1.5. Legislația privind inundațiile în România	24
<b>2. Metodologia generală privind evaluarea daunelor produse de inundații</b>	<b>26</b>
2.1. Analiza actualelor metodologii în domeniul evaluării daunelor produse de inundații	27
2.2. Instrumente și metode GIS aplicate în domeniul evaluării daunelor produse de inundații	29
2.3. Analiza hazardului. Instrumente și metode	31
2.3.1. Modele hidraulice	31
2.3.2. Instrumente și modele GIS	33
2.4. Analiza expunerii și date de utilizare a terenului	35
2.4.1. Elemente susceptibile riscului	35
2.4.2. Baze de date privind utilizarea terenului	36
2.4.3. Date de teledetecție	41

2.5. Analiza daunelor	43
2.5.1. Funcții de estimare a daunelor	44
2.5.2. Instrumente pentru analiza consecințelor – Modele de daune	45
2.6. Incertitudini în estimarea daunelor produse de inundații	54
<b>Concluzii</b>	<b>56</b>
<b>Partea II. Evaluarea daunelor produse de inundații și a incertitudinilor în zone cu date limitate. Aplicații și rezultate</b>	<b>57</b>
<b>3. Studiu de caz 1. Evaluarea daunelor produse de inundații și analiza incertitudinilor privind evenimentul din 2006 din bazinul Ilișua, România</b>	<b>58</b>
3.1. Introducere	58
3.2. Aria de studiu	59
3.3. Metodologie	60
3.3.1. Analiza hazardului	61
3.3.2. Analiza expunerii și a vulnerabilității	63
3.3.3. Analiza daunelor	66
3.4. Analiza incertitudinii	69
3.5. Concluzii	71
<b>4. Studiu de caz 2. Instrumente GIS pentru analiza la scară mare a daunelor economice directe produse de inundații. Studiu de caz - România</b>	<b>73</b>
4.1. Introducere	73
4.2. Aria de studiu	74
4.3. Metodologie	76
4.3.1. Analiza hazardului	78
4.3.1.1. Metoda GFI	79
4.3.1.2. Estimarea nivelului apei utilizând indexul GFI. Metodologie.	81
4.3.2. Analiza expunerii. Date și metode	85
4.3.2.1. Procesarea imaginilor satelitare	86
4.3.2.2. Segmentarea imaginilor	90
4.3.2.3. Descrierea caracteristicilor și clasificare	90

4.3.2.4. Date de instruire. Procesarea datelor de utilizare a terenului	92
4.3.2.5. Rezultatele privind validarea și clasificarea	95
4.3.3. Analiza daunelor	97
4.4. Rezultate și discuții	100
4.5. Concluzii	106
<b>5. Concluzii generale</b>	<b>108</b>
<b>6. Potențiale aplicații pentru părțile co-interesate și recomandări viitoare</b>	<b>112</b>
<b>Publicații și alte activități</b>	<b>115</b>
<b>Bibliografie</b>	<b>117</b>
<b>Annex 1. Harta Europeană de inundații (Harta de hazard JRC) cu o perioadă de revenire de 100 de ani</b>	<b>131</b>
<b>Annex 2. Analiza hazardului. Direcția fluxului și Acumularea fluxului</b>	<b>132</b>
<b>Annex 3. Rezultate ale procesării imaginilor Landsat 8</b>	<b>133</b>

**Cuvinte cheie:** riscul la inundații, daune produse de inundații, simularea inundațiilor, GIS, instrumente, modelare, Landsat 8, zone cu date limitate, incertitudini

## Introducere

Inundațiile sunt fenomene care au loc anual în întreaga lume, fiind principalul hazard natural cu un impact devastator asupra societății. Considerând faptul că frecvența și intensitatea inundațiilor vor continua să crească datorită schimbărilor climatice, iar pe de altă parte expunerea populației și economiei va crește datorită creșterii socio-economice, îmbunătățirea evaluării și managementului riscului la inundații a devenit o sarcină importantă nu doar la nivel local și național, dar și la scară Europeană și globală (Cirella et al., 2014; Albano et al., 2015; Scorzini and Frank, 2015).

Evaluarea riscului la inundații, care tradițional se concentra pe analiza hazardului și pe măsurile de protecție, recent a început să se axeze pe o abordare bazată pe risc, incluzând nu doar controlul și reducerea inundațiilor dar și analiza daunelor, riscul fiind o combinație între hazard și consecințele acestuia; această schimbare a fost susținută prin adoptarea Directivei 2007/60/EC (Directiva privind Inundațiile) de către Parlamentul și Consiliul European (EU Directive 2007/60/CE, 2007).

În acest context, există nevoia unei abordări cuprinzătoare privind managementul riscului la inundații care să evalueze și cuantifice corespunzător toate aspectele privind evaluarea riscului la inundații precum hazardul, expunerea și vulnerabilitatea. Aceste aspecte joacă un rol important în procesul de luare al deciziilor, în identificarea ariilor cu risc ridicat de inundații și în elaborarea unor strategii adecvate privind managementul riscului la inundații (Cirella et al., 2014; Scorzini and Frank, 2015). Astfel, există o nevoie urgentă de estimare a consecințelor produse de inundații și de adoptare a diferitelor scenarii și cursuri de acțiune.

### *Scopul și obiectivele tezei*

Principalul scop al acestei lucrări este analiza cantitativă a daunelor produse de inundații și a incertitudinilor asociate, în zone cu date limitate. Pentru îndeplinirea acestui scop, a fost aplicată o metodologie care poate să ofere soluții eficiente și rentabile pentru identificarea ariilor inundabile și calcularea daunelor. Această abordare poate să susțină diferitele părți co-interesate în vederea identificării ariilor inundabile, estimării daunelor și analizei riscului la inundații în diferite contexte teritoriale și socio-economice. Astfel, abordarea prezentată poate reprezenta un punct de plecare, fiind utilă în transferul cunoștințelor din comunitatea științifică către părțile co-interesate.

În acest context, întrebările adresate în această teză se referă la: cum poate fi utilizat potențialul caracteristicilor GIS free and open-source în evaluarea cantitativă a daunelor produse de inundații; care sunt incertitudinile legate de evaluarea daunelor produse de inundații și cum pot fi analizate; cum se pot evalua daunele produse de inundații în zone cu date limitate; cum se poate îmbunătăți acuratețea aplicațiilor la scară mare utilizând baze de date disponibile publicului larg și date de Observare a Pământului (EO – „Earth Observation”).

Această teză se axează pe estimarea daunelor în zone cu date limitate, aplicând o metodă care utilizează datele existente în zone reduse și extinde aceste informații în zonele în care aceste date lipsesc. În acest fel, informații utile pot fi furnizate pentru a efectua o evaluare cuprinzătoare a daunelor produse de inundații, incluzând toate ariile afectate. Mai mult decât atât, evaluările realizate în această teză utilizează date de înaltă rezoluție, îmbunătățind astfel acuratețea și fiabilitatea rezultatelor.

Principalele obiective ale acestei teze sunt:

- Prezentarea conceptelor teoretice privind riscul la inundații și evaluarea daunelor, precum și actualele instrumente și metode utilizate în literatură;
- Estimarea cantitativă la scară mare a daunelor economice în zone cu date limitate, utilizând funcții adâncime-daune Europene;
- Aplicarea unui model GIS pentru calcularea nivelului apei la scară mare și în zone cu date limitate, utilizând date de rezoluție înaltă;
- Utilizarea tehnicilor *machine learning* și a imaginilor Landsat 8 pentru a furniza date de rezoluție înaltă privind utilizarea terenului pentru zone extinse și cu disponibilitate limitată de date;
- Utilizarea instrumentelor *free and open source* pentru cuantificarea daunelor produse de inundații;
- Analiza incertitudinilor privind evaluarea daunelor produse de inundații.

### **Conținutul tezei**

- Capitolul 1 prezintă principalele concepte legate de inundații, riscul la inundații și daune produse de inundații, precum și situația în Europa și România privind inundațiile.

- Capitolul 2 descrie abordarea metodologică privind evaluarea daunelor produse de inundații. Metodologiile actuale sunt descrise, evidențiindu-se principalele probleme în domeniu și cum pot fi aceste probleme rezolvate.
- Capitolul 3 prezintă o evaluare cantitativă a daunelor produse de inundații și o analiză a incertitudinilor pentru un bazin hidrografic din România.
- Capitolul 4 prezintă o metodologie de evaluare la scară mare a daunelor produse de inundații în zone cu date limitate, combinând date de rezoluție înaltă, EO (30 m) și instrumente GIS *free and open-source*.
- Capitolele 5 și 6 prezintă concluziile studiilor de caz și aduc recomandări, prezentând de asemenea potențiale aplicații pentru părțile co-interesate. De asemenea sunt subliniate viitoare potențiale teme de cercetare.

### 1. Concepte teoretice și date statistice privind riscul la inundații

Privind riscul la inundații există două definiții care sunt larg utilizate și acceptate în literatura de specialitate:

$$R = P \times C \quad (1)$$

R (Risc); P (Probabilitate); C (Consecințe)

$$R = H \times E \times V \quad (2)$$

R (Risc); H (Hazard); E (Expunere); V (Vulnerabilitate)

În prima definiție riscul este caracterizat ca fiind produsul dintre probabilitatea de producere a evenimentului și consecințele pe care acesta le poate avea asupra populației, economiei sau a mediului (Ozunu and Anghel, 2007; Klijn, 2009; Scorzini et al., 2015; Botezan et al., 2015). În a doua definiție riscul este constituit din trei factori: hazard, expunere și vulnerabilitate. *Hazardul* se referă la caracteristicile și frecvența unei inundații; caracteristicile unei inundații oferă informații privind magnitudinea evenimentului și sunt reprezentate de factori precum adâncimea apei și aria inundabilă (Albano et al., 2015; Winsemius et al., 2013). *Expunerea* se referă la populația și bunuri economice aflate în aria inundabilă, fiind astfel expuse hazardului. *Vulnerabilitatea* se referă la susceptibilitatea populației și a bunurilor potential afectate de inundații (Barredo et al., 2006; Ștefănescu et al., 2018).

Inundațiile afectează elementele expuse (precum populația, bunurile economice, mediul) producând daune. În general potențialele daune produse de inundații sunt clasificate în patru categorii: daune directe tangibile, daune directe intangibile, daune indirecte tangibile și daune indirecte intangibile. (Scorzini and Frank, 2015; Meyer et al., 2013).

Tabel 1. Categoriile de daune și exemple (Meyer et al., 2013)

	<b>Daune tangibile</b>	<b>Daune intangibile</b>
<b>Daune directe</b>	Distrugerea clădirilor, infrastructurii și a recoltelor	Pierderi de vieți omenești
<b>Daune indirecte</b>	Pierderi de producție, costuri de perturbare a traficului, întreruperea serviciilor publice	Traume, vulnerabilitate crescută a supraviețuitorilor, efecte negative asupra mediului

În ultimele trei decenii (1988 – 2018) hazardele naturale cu cea mai mare frecvență în Europa sunt reprezentate de inundații. Baza de date CRED EM-DAT a înregistrat un număr de 506 evenimente privind inundațiile începând cu anul 1988, reprezentând 37% din cele mai importante evenimente care au avut loc în această perioadă. De asemenea, 39% din daunele economice totale legate de hazardele naturale sunt cauzate de inundații (CRED EM-DAT).

În România, inundațiile sunt hazardele naturale cu cea mai mare frecvență, România fiind una din țările cele mai afectate de inundații din Europa (Arghiuș et al., 2011). Conform CRED EM-DAT, în ultimii 30 de ani, daunele economice cauzate de hazardele naturale sunt produse de inundații (86%) și secete (14%). Privind pierderile de vieți omenești, hazardele naturale care au cauzat cel mai mare număr de decese sunt temperaturile extreme (529 decese) și inundațiile (436 decese) (CRED EM-DAT).

În acest context, Directiva 2007/60/EC privind evaluarea și managementul riscului la inundații a fost transpusă la nivel național în 2010 prin H.G. 846/2010 privind Strategia Națională pentru Managementul Riscului la inundații pe termen mediu și lung. Principalul scop al acestei strategii este reprezentat de reducerea daunelor și prevenirea pierderilor de vieți omenești (G.O. 846/2010). Procesul de implementare cuprinde trei etape: evaluarea preliminară a riscului la inundații, dezvoltarea hărților de hazard și risk la inundații și dezvoltarea planurilor de management a riscului la inundații.



## 2. Metodologia generală privind evaluarea daunelor produse de inundații

Abordarea clasică de evaluare a daunelor produse de inundații (Fig. 1) conține următoarele etape: analiza hazardului, analiza expunerii și analiza vulnerabilității (de Moel et al., 2015; Bubeck and Kreibich, 2011; Scorzini and Frank, 2015).

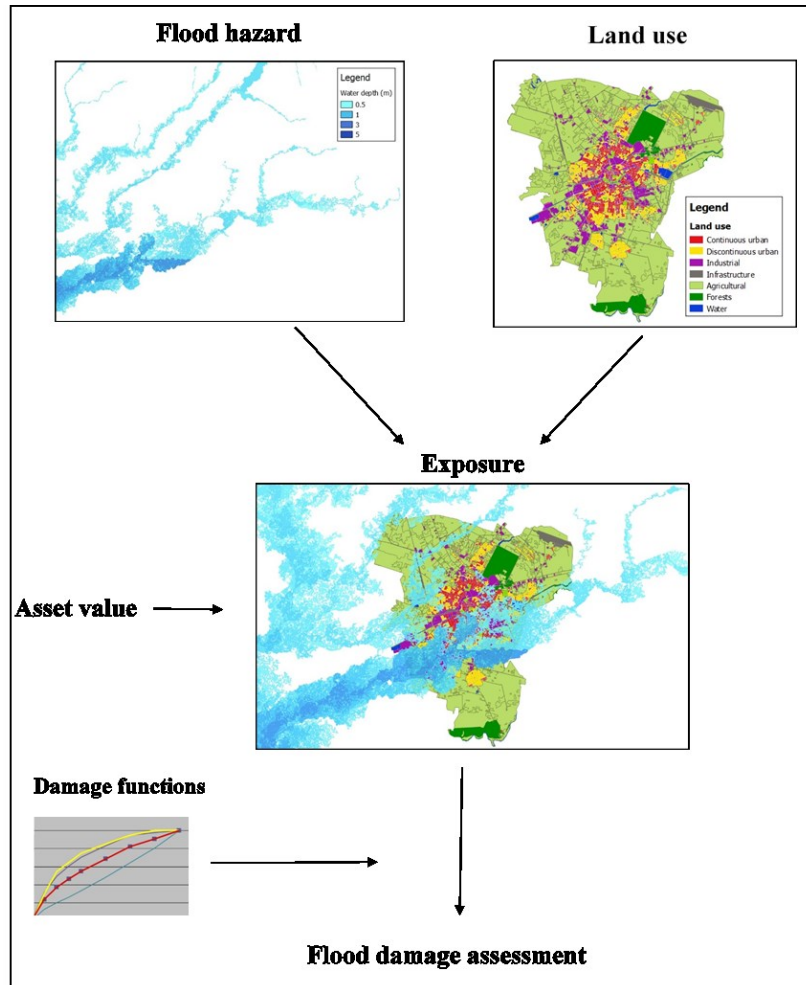


Fig. 1. Reprezentarea schematică privind metodologia de estimare a daunelor produse de inundații

În ultimii ani, utilizarea softului *free and open source* GIS (Geographical Information Systems) în procesul de evaluare a daunelor produse de inundații a crescut datorită faptului că instrumentele GIS pot să ofere procesarea adecvată a datelor spațiale, analiza acestora precum și cartarea lor. Aceste caracteristici sunt utile pentru dezvoltarea hărților de hazard și risc privind inundațiile precum și pentru vizualizarea rezultatelor. De asemenea, disponibilitatea gratuită a datelor a dus la o creștere în dezvoltarea de instrumente și modele care pot fi utilizate pentru analiza

hazardului și a consecințelor produse de inundații (Steiniger and Bocher, 2009; Chingombe et al., 2015; Albano et al., 2015). Aceste instrumente pot procesa date și pot furniza informații care sunt utilizate în modelarea hidraulică cu scopul de a obține caracteristicile inundației precum aria inundabilă, nivelul apei și viteza apei.

Analiza hazardului implică determinarea probabilității și a intensității inundației. Intensitatea inundației poate fi reprezentată de mai mulți parametri, precum nivelul apei, viteza apei, durată și extinderea inundației (Sole et al., 2013). Acești parametri pot fi calculați utilizând modele hidraulice 1D sau 2D (de Moel, 2012; Messner et al., 2007). Cu toate acestea, în bazinele nemonitorizate prin stații hidrometrice, datele necesare modelării nu sunt disponibile; pe de altă parte limitările privind resursele și timpul au evidențiat necesitatea unor metode simplificate. O astfel de metodologie de estimare a ariei inundabile a fost propusă de Samela et al., 2017. Această metodă utilizează geomorfologia bazinului pentru a obține o analiză la scară mare a ariei inundabile în zone cu date limitate. Pe baza acestei metodologii instrumentul (Geomorphic Flood Area) a fost dezvoltat în softul QGIS (Samela et al., 2018).

Elementele susceptibile riscului sunt de obicei reprezentate de populație, clădiri sau tipuri de utilizări ale terenului. De obicei, elementele susceptibile riscului sunt clasificate în sectoare economice (urban, industrial, agricultură, etc.), elemente individuale ale aceluiași sector având aceleași caracteristici. Pe baza acestor sectoare au fost dezvoltate hărți de utilizare a terenului cu diferite rezoluții și număr de clase de utilizare a terenului. Aceste hărți sunt utilizate pentru reprezentarea elementelor susceptibile riscului. Aceste informații, care sunt reprezentate de hărți indicând caracteristicile elementelor susceptibile riscului și localizarea lor, sunt suprapuse cu informațiile privind hazardul (hărți de hazard) și astfel elementele expuse sunt obținute (de Moel et al., 2015; Albano et al., 2015).

Datorită urbanizării rapide care a avut loc în ultimii ani, există o lipsă a datelor de utilizare a terenului actuale, în special în țările dezvoltate (Wieland and Pittore, 2016). De asemenea, majoritatea hărților disponibile au o rezoluție scăzută, conținând un număr de clase limitat, scăzând astfel acuratețea rezultatelor (Albano et al., 2015). Astfel, în ultimii ani s-a înregistrat un interes crescut în utilizarea imaginilor satelitare cu scopul de a obține date de utilizare a terenului. Disponibilitatea actuală a imaginilor satelitare de rezoluție înaltă permite identificarea automată a diferitelor clase de utilizare a terenului și a diferitelor tipuri de așezări. Această tendință a dus la

dezvoltarea diferitelor abordări de clasificare a utilizării terenului bazate pe imagini satelitare (Ok, 2013).

Elementele aflate în aria inundabilă pot fi afectate într-o măsură diferită în funcție de proximitatea lor față de râu, de nivelul și viteza apei în locația unde se află sau în funcție de caracteristicile lor (tipul utilizării terenului, materialul de construcție în cazul clădirilor). Gradul daunelor care poate avea loc este determinat utilizând funcții de daune. Cele mai comune utilizate sunt funcțiile adâncime-daune care determină susceptibilitatea unui anumit element expus în funcție de nivelul (adâncimea) apei (Jongman et al., 2012; Cammerer et al., 2013).

Dezvoltarea și utilizarea modelelor de daune a crescut în ultimii ani, devenind instrumente importante în estimarea daunelor produse de inundații și ulterior în evaluarea riscului la inundații. În această teză a fost utilizat modelul FloodRisk. FloodRisk este un instrument dezvoltat în softul QGIS, care calculează daunele economice directe și pierderile de vieți omenești cauzate de inundații și poate fi aplicat pentru analize la diferite scări spațiale. Este un instrument gratuit și flexibil bazat pe o abordare transparentă și colaborativă (Mancusi et al., 2015; Albano et al., 2017b).

Rezultatele evaluării daunelor produse de inundații sunt afectate de diferite incertitudini care pot fi induse de datele de intrare, de procesul de modelare precum și de schimbările spațiale și temporale privind informațiile care sunt utilizate (de Moel and Aerts, 2011). Analiza acestor incertitudini este importantă pentru o înțelegere mai bună a procesului privind riscul la inundații, evidențind parametrii care induc cele mai mari erori în rezultate. Astfel, datele și metodele care sunt utilizate pot fi îmbunătățite, furnizând rezultate de acuratețe mai mare (de Moel et al., 2012).

### **3. Studiu de caz 1. Evaluarea daunelor produse de inundații și analiza incertitudinilor privind evenimentul din 2006 din bazinul Ilișua, România**

În acest capitol este implementată o abordare de evaluare cantitativă a daunelor produse de inundații. Pentru acest scop a fost utilizat instrumentul FloodRisk dezvoltat în softul QGIS. Funcțiile adâncime-daune colectate și armonizate de JRC (Joint Research Centre) al Comisiei Europene, (Huizinga, 2007) au fost utilizate pentru o evaluare comparativă, arătând că rezultatele sunt puternic influențate de tipul funcțiilor adâncime-daune. De asemenea, a fost efectuată o analiză a incertitudinilor comparând daunele obținute prin utilizarea funcțiilor JRC cu cele reale, raportate în cazul studiului propus din Nord-Vestul României, și anume inundația din 2006 din bazinul Ilișua.

În procesul de analiză a hazardului, aria inundabilă și nivelul apei au fost calculate. În acest scop au fost utilizate softurile QGIS și HEC RAS. Datele de intrare au fost procesate cu ajutorul instrumentelor QGIS și exportate în HEC RAS utilizând instrumentul Q-RAS. Pentru simularea hidraulică a fost utilizat modelul hidraulic 1D HEC RAS pentru a obține profilul curentului. Parametri utilizați sunt:  $Q=280 \text{ m}^3/\text{s}$ , condiții de scurgere: adâncime critică în amonte și adâncime normală în aval, regim de curgere mixt (Albano et al., 2017a). Rezultatele sunt prezentate în Fig. 2.

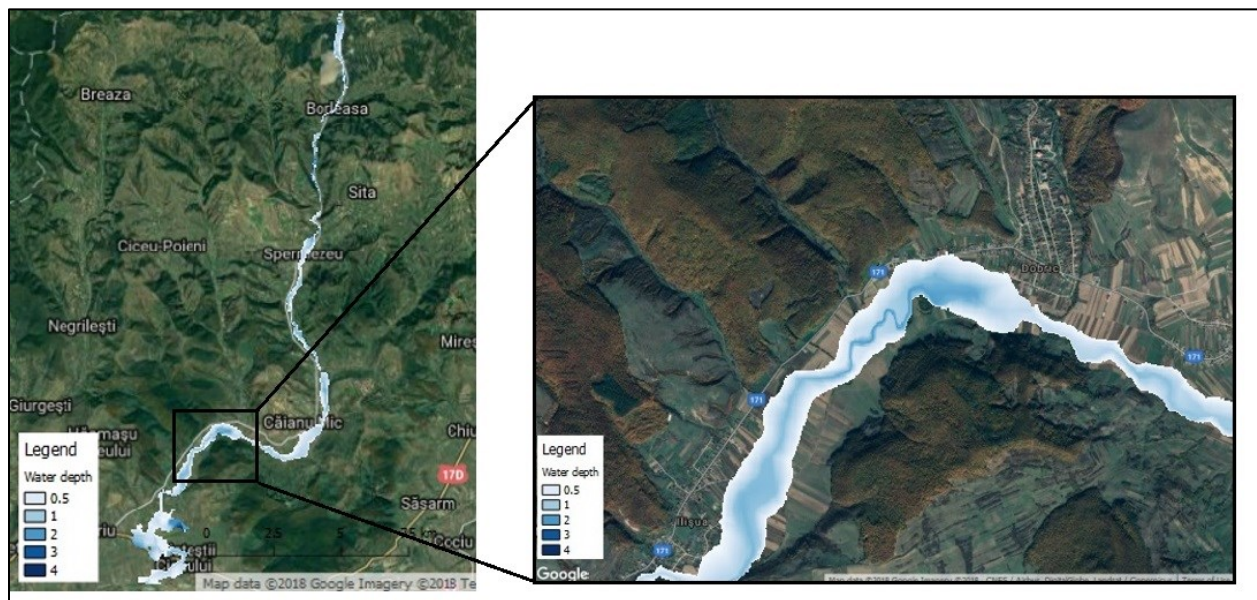


Fig. 2. Harta de hazard pentru bazinul Ilișua, dezvoltată în acest studiu

Pentru analiza expunerii a fost utilizată baza de date Corine Land Cover. Pentru fiecare clasă de utilizare a terenului s-a determinat o valoare monetară, care reprezintă “valoarea bunurilor”. De asemenea, pentru fiecare clasă s-a atribuit o funcție adâncime-daune corespunzătoare.

Pentru estimarea daunelor directe au fost folosite următoarele date de intrare: harta de hazard dezvoltată în acest studiu, harta de utilizare a terenului Corine Land Cover care conține valoarea bunurilor pentru fiecare clasă și funcțiile de adâncime-daune asociate. Rezultatele sunt prezentate în Tabelul 2.

Tabel 2. Rezultatele daunelor utilizând diverse funcții adâncime-daune JRC și daunele reale, raportate (Albano et al., 2017a)

	<b>Daune (MEuro)</b>			
	<b>Rezidențial</b>	<b>Drumuri</b>	<b>Agricultură</b>	<b>Total</b>
<b>Belgia JRC</b>	8.3	0.09	0.85	9.2
<b>Cehia JRC</b>	5	0.14	0.69	5.8
<b>Germania JRC</b>	3.8	0.16	0.31	4.3
<b>Olanda JRC</b>	3.2	0.10	0.81	4.2
<b>Norvegia JRC</b>	18.4	0.26	0.69	19.4
<b>Elveția JRC</b>	13.8	0.13	0.58	14.6
<b>UK JRC</b>	32.4	0.13	1	33.6
<b>Daune raportate Bazin Ilișua</b>	<b>0.29</b>	<b>0.6</b>	<b>0.12</b>	<b>1.1</b>

Rezultatele sunt caracterizate de o variabilitate largă, astfel eroarea relativă a fost calculată. De asemenea, a fost efectuată o analiză a incertitudinilor privind transferabilitatea funcțiilor utilizate. Rezultatele sunt prezentate în Tabelul 3.

Tabel 3. Determinarea erorii relative și a incertitudinii funcțiilor (Albano et al., 2017a)

		<b>Eroarea relativă</b>	<b>Incetitudinea</b>
<b>Valoarea raportată (MEuro)</b>		<b>1.1</b>	
<b>Valoarea calculată (MEuro)</b>	Belgia-JRC	9.2	<b>8.37</b>
	Cehia -JRC	5.8	<b>5.28</b>
	Germania-JRC	4.3	<b>3.92</b>
	Olanda-JRC	4.2	<b>3.79</b>
	Norvegia-JRC	19.4	<b>17.53</b>
	Elveția-JRC	14.6	<b>13.18</b>
	UK-JRC	33.6	<b>30.35</b>

Rezultatele acestui studiu au arătat că aplicabilitatea și transferabilitatea funcțiilor adâncime-daune în alte regiuni geografice reprezintă o lipsă în modelarea daunelor la inundații, însă cuantificarea incertitudinii și comunicarea acesteia părților co-interesate reprezintă un pas important în maximizarea eficienței abordării cantitative, în vederea atingerii obiectivelor privind gestiunea inundațiilor din Directiva 2007/60/EC, asigurând faptul că informațiile privind riscul sunt credibile și transparente.

#### **4. Studiu de caz 2. Instrumente GIS pentru analiza la scară mare a daunelor economice directe produse de inundații. Studiu de caz - România**

Creșterea dezvoltării de instrumente și modele care pot fi utilizate în analiza hazardului și a daunelor produse de inundații s-a dovedit a fi deosebit de utilă în analizele la scară largă și a câștigat multă atenție în ultimii ani. Analiza riscului la inundații la scară largă oferă suport pentru politicile naționale și globale și sunt utilizate în prioritizarea investițiilor la nivel național, principalele părți interesate fiind guvernele și companiile de asigurări.

Cu toate acestea, abordările la scară largă prezintă limitări, reprezentate de lipsa unor date consistente pe arii extinse și de lipsa datelor de rezoluție înaltă. În multe zone, există bazine nemonitorizate care oferă informații limitate și astfel modelarea hidraulică devine dificilă și necesită timp.

În acest context, au fost dezvoltate abordări mai simpliste, utilizând datele disponibile, precum modele digitale ale terenului (DEM- „Digital Elevation Model”) pentru a extrage informațiile necesare pentru analiza hazardului. De asemenea, bazele de date privind utilizarea terenului disponibile pentru arii extinse au o rezoluție scăzută, fapt care poate induce incertitudini în rezultate. Astfel, în ultimii ani, studiile au început să se axeze în utilizarea bazelor de date de rezoluție înaltă EO pentru a extrage informațiile privind utilizarea terenului (de Moel et al., 2015; Alfieri et al., 2014).

În acest studiu de caz, a fost propusă o metodologie pentru evaluarea cantitativă a daunelor produse de inundații în zone cu date limitate, utilizând date ușor accesibile. Analiza daunelor a fost efectuată pentru întregul teritoriu al României, pentru o perioadă de revenire de 100 de ani, combinând date de rezoluție înaltă EO (rezoluție 30 m) și instrumente GIS *free and open-source*.

În analiza hazardului, ariile inundabile au fost identificate și nivelul apei pentru aceste arii a fost calculat. Pentru acest scop a fost utilizat instrumentul GFA (Geomorphic Flood Area), care utilizează geomorfologia bazinului (Samela et al., 2017). Acest instrument se bazează pe metoda

GFI (Geomorphic Flood Index) care combină informațiile geomorfologice extrase din DEM cu informațiile existente în arii restrânse privind hazardul, pentru a extinde aceste informații în zone cu date limitate.

Harta de hazard obținută (Fig. 3) conține aria inundabilă și nivelul apei pentru întregul teritoriu studiat, incluzând râurile secundare și minore care de obicei nu sunt considerate în analizele la scară largă.

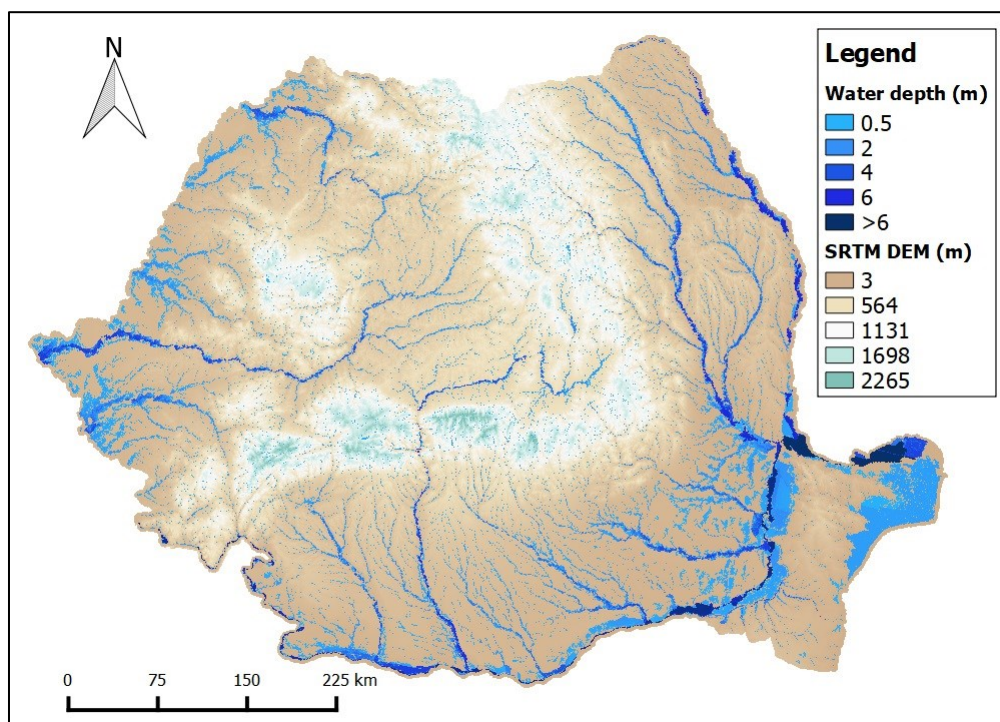


Fig. 3. Harta de hazard conținând nivelul apei (*Harta de hazard GFI*)

Privind analiza expunerii, în acest studiu a fost dezvoltată o hartă a utilizării terenului utilizând imagini satelitare. Pentru acest scop, au fost utilizate datele Landsat 8 cu o rezoluție de 30 m și un algoritm de clasificare *machine-learning* a fost aplicat pentru a identifica clasele de utilizare a terenului.

Metoda folosește o abordare bazată pe obiecte, ceea ce înseamnă că analiza este realizată pentru segmente ale imaginii și nu pentru fiecare pixel. Aceste segmente au diferite caracteristici care pot fi analizate utilizând algoritmi automați pentru a detecta anumite obiecte, în cazul de față clase de utilizare a terenului. Pentru clasificare, a fost folosită o Rețea Neuronală Artificială (Artificial Neural Network - ANN), numită Multi-Layer Perceptron (MLP), iar pentru calibrare a fost utilizată baza de date Urban Atlas.

Astfel, au fost determinate clasele de utilizare a terenului pentru aria de interes – aria inundabilă. Pentru acest studiu, 7 clase de utilizare a terenului au fost obținute: zonă urbană continuă, zonă urbană discontinuă, zonă industrială, infrastructură, agricultură, pădure și apă (Fig. 4).

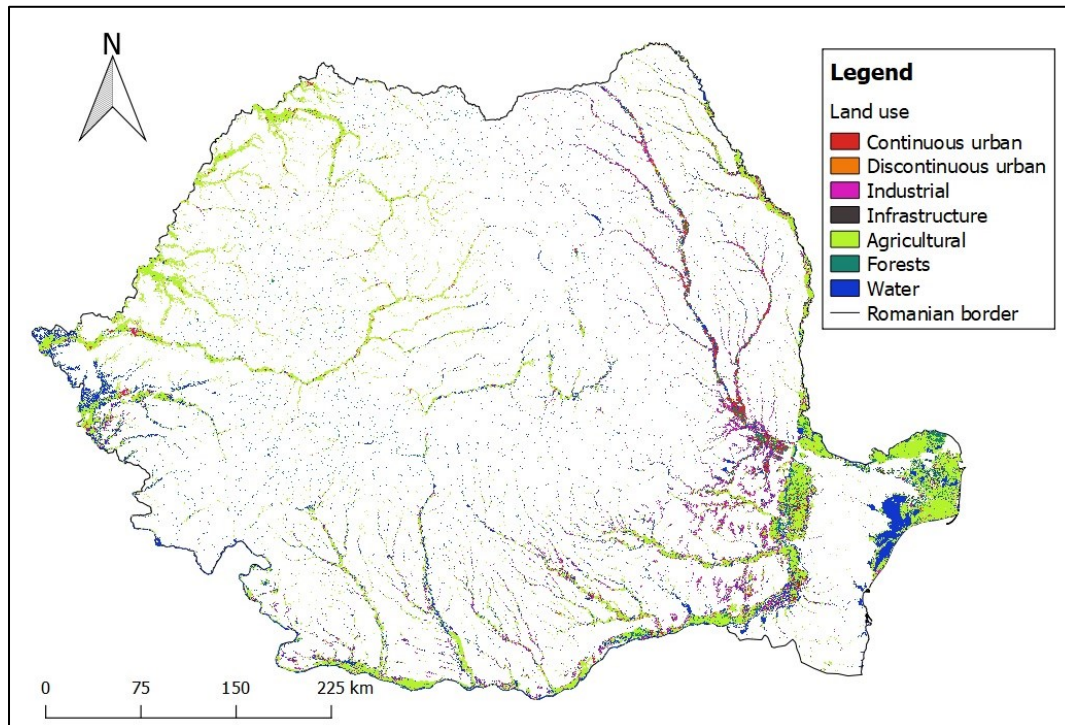


Fig. 4. Harta de utilizare a terenului dezvoltată pentru ariile inundabile utilizând imaginile satelitare Landsat 8 (*Harta de utilizare a terenului Landsat 8*)

Pentru a calcula potențialele daune directe tangibile la nivel național, a fost utilizat instrumentul FloodRisk . Daunele au fost calculate pentru patru seturi de date de intrare (Fig. 5):

- Harta hazardului JRC și Corine Land Cover (CLC)
- Harta hazardului GFI și Harta de utilizare a terenului Landsat 8
- Harta hazardului JRC și Harta de utilizare a terenului Landsat 8
- Harta hazardului GFI și Corine Land Cover (CLC)

Harta hazardului JRC este reprezentată de harta Europeană dezvoltată de Alfieri et al., 2014; Harta hazardului GFI este reprezentată de harta dezvoltată în acest studiu utilizând metoda GFI; Harta de utilizare a terenului Landsat 8 este reprezentată de harta dezvoltată în acest studiu utilizând imaginile satelitare Landsat 8.



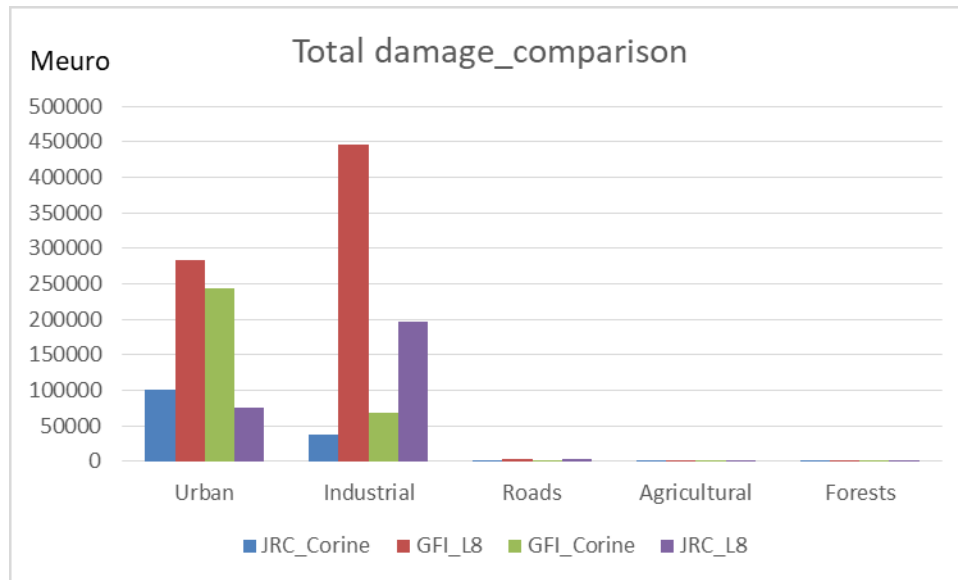


Fig. 5. Comparație a valorilor daunelor între cele patru scenarii

Rezultatele au arătat că atunci când este utilizată harta de hazard GFI valoarea daunelor este supraestimată. Acest lucru poate fi explicat de faptul că harta GFI este mult mai detaliată incluzând toate râurile din aria de studiu.

Pe de altă parte, simulările realizate utilizând baza de date CLC relevă un procent mai ridicat al daunelor în zonele urbane, pe când utilizarea hărții de utilizarea a terenului Landsat 8 oferă un procent al daunelor mai mare în zona industrială. Aceste rezultate indică faptul că utilizarea terenului Landsat 8 are o influență mai mare asupra daunelor din zonele industriale, supraestimându-le.

Diferențele date de utilizarea hărților de utilizare a terenului diferite pot fi cauzate de rezoluția datelor utilizate. Baza de date CLC are o rezoluție de 100 m, oferind o clasificare generală la utilizării terenului. Harta de utilizare a terenului Landsat 8 are o rezoluție de 30 m, oferind astfel rezultate de o acuratețe mai mare. Prin analizarea datelor, se observă că harta Landsat 8 conține mai multe arii industriale în comparație cu baza de date CLC, acest fapt fiind un rezultat al rezoluției mai înalte a hărții Landsat 8.

Pentru a demonstra această teorie, si anume că mai multe arii industriale sunt identificate atunci cand sunt folosite date de rezoluție înaltă, baza de date CLC (rezoluție 100 m) a fost comparată cu baza de date Urban Atlas (rezoluție 10 m). O matrice de confuzie a fost aplicată pentru toate ariile din România, pentru care sunt disponibile datele Urban Atlas (35 de orașe). Rezultatele au arătat o acuratețe totală bună, însă atunci când este considerată doar clasa de zone

industriale, rezultatele arată o acuratețe redusă. Acest lucru demonstrează faptul că baza de date CLC nu identifică corect toate zonele industriale și astfel daunele rezultate utilizând aceste date prezintă incertitudini.

## **5. Concluzii**

Această teză se axează pe îmbunătățirea procesului de evaluare a riscului la inundații aplicând o metodologie cantitativă de estimare a daunelor produse de inundații și efectuând o analiza a incertitudinilor asociate, utilizând instrumente inovative.

### *Contribuții personale*

- Identificarea și sinteza problemelor actuale privind evaluarea cantitativă a riscului la inundații și modelarea daunelor;
- Utilizarea instrumentelor *free and open-source*, pentru analiza hazardului, expunerii și a daunelor GIS;
- Aplicarea acestor instrumente pentru estimarea cantitativă a daunelor produse de inundații în zone cu date limitate;
- Încurajarea utilizării datelor disponibile gratis și de rezoluție înaltă;
- Dezvoltarea unei analize a incertitudinilor asociată evaluării daunelor produse de inundații, demonstrând necesitatea acesteia pentru a oferi părților co-interesate rezultate cuprinzătoare privind evaluarea a riscului la inundații.

## Selected bibliography

Albano, R., Mancusi, L., Sole, A., Adamowski, J., 2015. Collaborative Strategies for Sustainable EU Flood Risk Management: FOSS and Geospatial Tools—Challenges and Opportunities for Operative Risk Analysis. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 4, 2704-2727.

Albano, R., Crăciun, I., Mancusi, L., Sole, A., Ozunu, A., 2017a. Flood damage assessment and uncertainty analysis: the case study of 2006 flood in Ilișua basin in Romania. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, July 2017, Vol. 12, No. 2, p. 335 - 346

Albano, R., Mancusi, L., Sole, A., Adamowski, J., 2017b. FloodRisk: a collaborative, free and open-source software for flood risk analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8:2, 1812-1832. DOI: 10.1080/19475705.2017.1388854.

Alfieri, L., Salamon, P., Bianchi, A., Neal, J., Bates, P., Feyen, L., 2014. Advances in pan-European flood hazard mapping. *Hydrol. Process.* 28, 4067–4077. <https://doi.org/10.1002/hyp.9947>

Arghiuș, V., Botezan, C., Găgiu, A. C., Samara, I., Senzaconi, F., Ozunu, A., 2011. Normalized economical flood damages in Romania during 2000-2009. *Environmental Engineering and Management Journal*, 10, 17-21.

Barredo, J. I., 2006. Major flood disasters in Europe: 1950–2005. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 42, 125-148.

Biro, K., Pradhan, B., Sulieman, H., Buchroithner, M., 2013. Exploitation of TerraSAR-X Data for Land use/Land Cover Analysis Using Object-Oriented Classification Approach in the African Sahel Area, Sudan. *J Indian Soc Remote Sens.*, 41(3):539–553. DOI 10.1007/s12524-012-0230-7.

Botezan, C., Ozunu, A., Ștefănie, H., 2015. Vulnerability assessment: the case of the Arieș river middle basin. *Journal of Environmental Protection and Ecology* 16, No 4, 1326–1336.

Bubeck, P., Kreibich, H., 2011. Natural Hazards: direct costs and losses due to the disruption of production processes. *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. 20p.

Cammerer, H., Thieken, A. H., Lamme, J., 2013. Adaptability and transferability of flood loss functions in residential areas. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13, 3063–3081.

Chingombe, W., Pedzisai, E., Manatsa, D., Mukwada, G., Taru, P., 2015. A participatory approach in GIS data collection for flood risk management, Muzarabani district, Zimbabwe, *Arabian Journal of Geosciences*, Volume 8, Issue 2, pp 1029–1040.

Cirella, G.T., Semenzin, E., Critto, A., Marcomini, A., 2014. Natural Hazard Risk Assessment and Management Methodologies. Review: Europe. In book: Sustainable Cities and Military Installations, DOI10.1007/978-94-007-7161-1\_16

CRED EM-DAT, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2018. The International Disaster Database, Available at: [www.emdat.be](http://www.emdat.be), [Accesat în 06 Februarie 2018].

Directive 2007/60/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. Off. J. Eur. Union 2007, L288/27-L288/34.

G.O. 846/2010, Government Order no. 846/2010 for the approval of the National Strategy of flood risk management - published in the “Monitorul Oficial” (Official Gazette of Romania), Part I, No. 626/September 6, 2010.

Huizinga, J., 2007. Flood damage functions for EU member states. European Commission – Joint Research Centre.

Jongman, B., Kreibich, H., Apel, H., Barredo, J.I., Bates, P.D., Feyen, L., Gericke, A., Neal, J., Aerts, J.C.J.H., Ward, P.J., 2012. Comparative flood damage model assessment: Towards a European approach. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 3733–3752.

Klijin, F., 2009. Flood Risk Assessment and Flood Risk Management. An Introduction and Guidance Based on Experiences and Findings of FLOODsite; FLOODsite Project: Delft, the Netherland.

Liu, J., Wang, S., Li, D., 2014. The Analysis of the Impact of Land-Use Changes on Flood Exposure of Wuhan in Yangtze River Basin, China, *Water Resour Manage* (2014) 28:2507-2522, DOI 10.1007/s11269-014-0623-1

Mancusi, L., Albano, R., Sole, A., 2015. FloodRisk: a QGIS plugin for flood consequences estimation, *Geomatics Workbooks n°12 – FOSS4G Europe Como*.

Messner, F., Penning-Rowsell, E.C., Green, C., Meyer, V., Tunstall, S.M., Van der Veen, A., 2007. Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods, FLOODsite, Report No. T09-06-01.

Meyer, V., Becker, N., Markantonis, V., Schwarze, R., van den Bergh, J.C.J.M., Bouwer, L.M., Bubeck, P., Ciavola, P., Genovese, E., Green, C., Hallegatte, S., Kreibich, H., Lequeux, Q., Logar, I., Papyrakis, E., Pfuerscheller, C., Poussin, J., Przulski, V., Thielen, A.H., Viavattene, C., 2013. Assessing the costs of natural hazards – state of the art and knowledge gaps. *Hazards and Earth System Sciences*, 13, 1351–1373.

de Moel, H., Aerts, J.C.J.H, 2011. Effect of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates. *Hazards and Earth System Sciences*, 58, 407–425.

de Moel, H., 2012. *Uncertainty in Flood Risk*, PhD Thesis, VU University of Amsterdam, ISBN: 978-94-6203-055-8

de Moel, H., Jongman, B., Kreibich, H., Merz, B., Penning-Rowsell, E., Ward, P.J., 2015. Flood risk assessment at different spatial scales. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 20, 865-890.

Ok, A.O., 2013. Automated detection of buildings from single VHR multispectral images using shadow information and graph cuts. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 86, 21–40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.09.004>.

Ozunu, A., Anghel, C. I., 2007. *Evaluarea riscului tehnologic și securitatea mediului*, Editura Accent, Cluj-Napoca.

Samela, C., Albano, R., Sole, A., Manfreda, S., 2018. A GIS tool for cost-effective delineation of flood-prone areas. *Comput. Environ. Urban Syst.* (accepted).

Samela, C., Troy, T.J., Manfreda, S., 2017. Geomorphic classifiers for flood-prone areas delineation for data-scarce environments. *Adv. Water Resour.* 102, 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.01.007>

Scorzini, A.R., Frank, E., 2015. Flood damage curves: new insights from the 2010 flood in Veneto, Italy. *FloodRiskManagement*. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12163>

Sole, A., Giosa, L., Albano, R., Cantisani, A., 2013. The laser scan data as a key element in the hydraulic flood modelling in urban areas. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-4/W1, 65-70, 2013.

Steiniger, S., Bocher, E., 2009. An overview of current free and open source desktop GIS developments. *International Journal of Geographical Information Science*, 23:10, 1345-1370, DOI: 10.1080/13658810802634956

Ștefănescu, L., Botezan, C., **Crăciun, I.**, 2018. Vulnerability analysis for two accident scenarios at an upper-tier Seveso establishment in Romania. *Geographia Technica*, Vol. 13, Issue 1, pp 109 to 118.

Wieland, M., Pittore, M., 2016. Large-area settlement pattern recognition from Landsat-8 data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 119, Pages 294-308. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.06.010>

Winsemius, H.C., Van Beek, L.P.H., Jongman, B., Ward, P.J., Bouwman, A., 2013. A framework for global flood risk assessments, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 1871–1892, doi:10.5194/hess-17-1871-2013