

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



TEZĂ DE DOCTORAT
(REZUMAT)

**Tehnici moderne GIS pentru determinarea
riscurilor teritoriale**

Conducător științific:
Prof. Univ. Dr.ing. GEORGESCU Puiu Lucian

Doctorand
ARSENI Maxim

Seria I4 Inginerie Industrială Nr. 52
GALAȚI
2018

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



TEZĂ DE DOCTORAT

(REZUMAT)

Tehnici moderne GIS pentru determinarea riscurilor teritoriale

Doctorand: ARSENI Maxim

Conducător științific: Prof. Univ. Dr. Ing. GEORGESCU Puiu Lucian

Președinte Prof. Univ. Dr. Ing. RUSU Eugen

Referenți științifici: CSI Dr. Ing. BADEA Ovidiu Nicolae – Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea”
Conf. Univ. Dr. PREDA Ciprian Ion – Universitatea de Vest din Timișoara
Prof. Univ. Dr. MURARIU Gabriel – Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Seria I4 Inginerie industrială Nr. 52

GALAȚI

2018

Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:
Domeniul **ȘTIINȚE INGINEREȘTI**

Seria I 1: **Biotehnologii**

Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**

Seria I 3: **Inginerie electrică**

Seria I 4: **Inginerie industrială**

Seria I 5: **Ingineria materialelor**

Seria I 6: **Inginerie mecanică**

Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**

Seria I 8: **Ingineria sistemelor**

Domeniul **ȘTIINȚE ECONOMICE**

Seria E 1: **Economie**

Seria E 2: **Management**

Domeniul **ȘTIINȚE UMANISTE**

Seria U 1: **Filologie- Engleză**

Seria U 2: **Filologie- Română**

Seria U 3: **Istorie**

Mulțumiri...

Odată cu finalizarea unei etape importante din viața mea, doresc să aduc mulțumiri tuturor cadrelor didactice universitare care au contribuit la dezvoltarea și construirea mea în plan profesional și care m-au susținut și încurajat pe parcursul celor trei ani de doctorat.

O recunoștință și mulțumire aparte adresez domnului profesor universitar doctor inginer Lucian Puiu Georgescu, care în calitate de conducător științific mi-a oferit un sprijin deosebit în formarea mea ca cercetător pe întreaga durată a elaborării prezentei teze și a dat dovadă de încredere, răbdare și înțelegere în toți acești ani.

Adresez deosebite mulțumiri distinșilor domni referenți oficiali: CSI dr. ing. Badea Ovidiu Nicolae – Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea” și conf. univ. dr. Preda Ciprian Ion pentru analizele obiective făcute în cadrul referatelor asupra tezei de doctorat și pentru efortul de deplasare la Galați.

Mulțumesc domnului prof. dr. Gabriel Murariu pentru atenția acordată și colaborarea strânsă legată de demersurile publicistice, implicarea în lucrările științifice publicate, dar și pentru discuțiile utile asupra modalităților de evaluare statistică a datelor.

Mulțumesc doamnei prof. dr. Cătălina Iticescu pentru sprijinul și discuțiile utile, bine structurate, cât și observațiile asupra rapoartelor de cercetare realizate pe parcursul celor trei ani de doctorat.

Alese mulțumiri aduc domnului prof. dr. fiz. Adrian Cîrciumaru din cadrul Facultății Transfrontaliere de Științe Umaniste, Economice și Inginerești pentru accesul la echipamentele topografice costisitoare necesare dezvoltării cercetării și colaborării strânse pe întreaga durată a elaborării tezei de doctorat.

Țin să mulțumesc în mod special domnului lect. dr. ing. Roman Octavian pentru dezvoltarea mea profesională ca inginer geodez și ajutorul acordat în utilizarea echipamentelor de ultimă generație, cât și pentru încrederea și încurajările oferite.

Sincere mulțumiri adresez doamnei Șef Birou Înregistrare Sistematică Daniela Barna din cadrul OCPI Galați pentru acordarea posibilității aplicării cunoștințelor din domeniul GIS în proiecte componente naționale, cât și valorificarea acestora la nivel național.

Nu în ultimul rând doresc să mulțumesc colegului drd. Roșu Adrian, care a dat dovadă de un sprijin deosebit la efectuarea măsurătorilor în teren, etapă foarte grea și minuțioasă în cadrul realizării cercetării.

Doresc, prin atitudine plină de respect și mândrie, să mulțumesc soției mele care m-a sprijinit necondiționat în toate și a dat dovadă de o înțelegere deosebită în cele mai dificile momente întâmpinate pe parcursul celor trei ani de doctorat. O mulțumire și respect aparte îl aloc familiei și tuturor prietenilor mei, pentru înțelegerea și încurajarea oferită.

CUPRINS

<i>Mulțumiri</i>	iv
<i>Lista contribuțiilor personale</i>	vi
Introducere	1
Capitolul 1. Hazarde și riscuri teritoriale privind inundațiile pe râul Siret. Stadiul actual al cercetării	3
1.1 Delimitarea spațiului hidrografic Siret.....	3
1.2 Hidrografia bazinului hidrografic Siret	3
1.3 Riscul la înundații în spațiul hidrografic Siret.....	5
1.4 Istoricul inundațiilor în bazinul hidrografic Siret	5
Capitolul 2. Materiale, metode de cercetare și prelucrarea datelor	7
Capitolul 3. Rezultate experimentale și discuții	7
3.1 Experimente și studii preliminare asupra preciziei echipamentelor și metodelor utilizate	7
3.1.1 Influența parametrilor atmosferici asupra preciziei măsurării distanțelor cu stația totală ..	8
3.1.2 Precizia ortofotoplanurilor și generarea modelelor 3D utilizând tehnologia UAV	14
3.1.3 Imagini satelitare utilizate pentru monitorizarea hazardelor produse de inundații	17
3.1.4 Precizia măsurătorilor batimetrice SBES și compararea metodelor de interpolare	21
3.2 Determinarea riscului la inundații pe cursul inferior al râului Siret	25
3.2.1 Delimitarea zonei de studiu	26
3.2.2 Măsurători topo-batimetrice pe râul Siret	27
3.2.3 Modelul digital al terenului pe râul Siret, sector Dunăre – Șendreni – Independența	27
3.2.4 Combinarea MDT-urilor multiple	28
3.2.5 Modelul geometric HEC-RAS pentru râul Siret, sector Dunăre-Șendreni-Independența..	29
3.2.6 Rugozitatea terenului.....	31
3.2.7 Poduri și structuri supraînălțate	32
3.2.8 Calibrarea modelului hidraulic HEC-RAS	33
3.2.9 Modelarea hidraulică HEC-RAS	35
Capitolul 4. Concluzii, contribuții personale și direcții de cercetare	40
4.1 Concluzii și contribuții personale.....	40
4.2 Direcții de cercetare.....	43
<i>Bibliografie</i>	45

Lista contribuțiilor personale

Articole publicate în reviste cotate ISI

1. **Arseni, M.**, Rou, A., Bocaneala, C., Constantin, D. E., & Georgescu, L. P. (2017). *Flood hazard monitoring using GIS and remote sensing observations*. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 12(2), 329-334., ISSN: 1842-4090 (IF 2016 = 0.88)
<http://www.ubm.ro/sites/CJEES/viewTopic.php?topicId=682>
2. Constantin, D. E., Merlaud, A., Voiculescu, M., Van Roozendaal, M., **Arseni, M.**, Rosu, A., & Georgescu, L. (2017). *NO2 and SO2 observations in southeast Europe using mobile DOAS observations*. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 12(2), 323-328., ISSN: 1842-4090 (IF 2016 = 0.88)
<http://www.ubm.ro/sites/CJEES/viewTopic.php?topicId=681>

Articole publicate în volume indexate ISI (ISI Proceedings)

1. Murariu, G., Hahuie, V., Georgescu, L., **Arseni, M.**, Iticescu, C., Murariu, A. G., ... & Nistor, N. (2017). *Study on the influence of atmospheric parameters on the accuracy of the geodetic measurements*. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1796, No. 1, p. 040009). AIP Publishing., ISBN: 978-0-7354-1462
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4972387>
2. Nacu, V., Stoian, I., Vele, D., **Arseni, M.** (2015). *IT system for monitoring climatic changes*. Modern technologies for the 3rd millennium, pp. 35-41, ISBN: 978-88-7587-724
<http://www.arhiconoradea.ro/Conferinta/SY27.pdf>
3. Nacu, V., Stoian, I., Vele, D., **Arseni, M.** (2015). *Geodetic Methods Regarding The Crustal Movements And Earthquake Prediction*. Modern technologies for the 3rd millennium, pp. 27-33, ISBN 978-88-7587-724
<http://www.arhiconoradea.ro/Conferinta/SY27.pdf>

Articole publicate în reviste indexate în baze de date internaționale

1. **Arseni, M.**, Georgescu, L. P., Circiumaru, A., & Mugurel, E. C. (2015). *The influence of the atmospheric temperature value on the accuracy of distance measurement with the surveying total station*. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, 38(1), pp. 20 – 25
2. **Arseni, M.**, Georgescu, L. P., & Mugurel, E. C. (2015). *Analysis of the influence of relative humidity on the accuracy of distance measurement with total stations*. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, 38(1), pp. 33 – 39
3. **Arseni, M.**, Georgescu, L. P., & Murariu, G. (2016). *Photogrammetric applications using UAV systems*. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, 39(1).
4. Roșu, A., Roșu, B., Constantin, D. E., Bocăneală, C., **Arseni, M.**, & Georgescu, L. P. (2016). *Evolution of NO2 in five major cities in europe using remote satellite observations and in-situ measurements*. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, 39(1)
5. Roșu, A., Roșu, B., Constantin, D. E., Bocăneală, C., **Arseni, M.**, & Georgescu, L. P. (2016). *Correlation between O3, NO2 and UV index in Romania*. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, 39(1).
6. **Arseni, M.**, Roșu, A., Georgescu, L. P., & Murariu, G. (2016). *Single beam acoustic depth measurement techniques and bathymetric mapping for Catusa lake Galati*. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, 39(2).
7. **Arseni, M.**, Roșu, A., Nicolae A. F. , Georgescu L. P. & Constantin, D. E., (2017). *Comparison of models and volumetric determination for Catusa lake, Galati*. Tehnomus Journal New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies, pp. 67 – 72

8. Roșu, A., Roșu, B., **Arseni, M.**, Constantin, D. E., Voiculescu, M., Georgescu, L. P., ... & Van Roozendaal, M. (2017). *Tropospheric nitrogen dioxide measurements in south-east of Romania using zenith-sky mobile DOAS observations*. Tehnomus Journal New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies, pp. 189 – 195

Lucrări prezentate la conferințe internaționale și publicate în volumele acestora

1. Gabriel Murariu, Valentin Hahuie, Lucian Georgescu, Maxim Arseni and Adrian Gabriel Murariu, *Improving Orthophotoplans And Patterns Construct of Land by Using Aerial Photographs Captured Using UAV. Case Study - Forest Garboavele*, TIM 15 - 16 - INTERNATIONAL PHYSICS CONFERENCE West University of Timisoara, 26th – 28th of May 2016
http://www.timconference.uvt.ro/upload/TIM15-16_Conference%20Schedule.pdf
2. Gabriel Murariu, Valentin Hahuie, Lucian Georgescu, Maxim Arseni and Adrian Gabriel Murariu, *Investigation On Satellitar And UAV Cadastral Results. Case Study - Galati County Forest Areas*, TIM 15 - 16 - INTERNATIONAL PHYSICS CONFERENCE, West University of Timisoara, 26th – 28th of May 2016
http://www.timconference.uvt.ro/upload/TIM15-16_Conference%20Schedule.pdf
3. Gabriel Murariu, Valentin Hahuie, Lucian Georgescu, Maxim Arseni and Adrian Gabriel Murariu, *Study on the Influence of Atmosheric Parameters on the Accuracy Of The Geodetic Measurements*, TIM 15 - 16 - INTERNATIONAL PHYSICS CONFERENCE, West University of Timișoara, 26th – 28th of May 2016
http://www.timconference.uvt.ro/upload/TIM15-16_Conference%20Schedule.pdf
4. M **Arseni, M.**, Rou, A., Bocaneala, C., Constantin, D. E., & Georgescu, L. P. (2017). *Flood hazard monitoring using GIS and remote sensing observations*, poster presentation 11th International Conference ELSEDIMA May 27, 2016.
5. Constantin, D. E., Merlaud, A., Voiculescu, M., Van Roozendaal, M., **Arseni, M.**, Rosu, A., & Georgescu, L. (2017). *NO2 and SO2 observations in southeast Europe using mobile DOAS observations* oral presentation 11th International Conference ELSEDIMA May 26, 2016.

Lucrări prezentate la conferințe naționale și publicate în volumele acestora

1. **Arseni, M.**, Georgescu, L. P., & Murariu, G. (2016). *Photogrammetric aplicacions using UAV systems*, poster presentation Scientific Conference of Doctoral Schools of „Dunarea de Jos” University, Galati (CSSD-UDJG 2016), 3 June 2016.
2. Roșu, A., Roșu, B., Constantin, D. E., Bocăneală, C., **Arseni, M.**, & Georgescu, L. P. (2016). *Evolution of NO2 in five major cities in europe using remote satellite observations and in-situ measurements*, poster presentation Scientific Conference of Doctoral Schools of „Dunarea de Jos” University, Galati (CSSD-UDJG 2016), 3 June 2016.
3. Roșu, A., Roșu, B., Constantin, D. E., Bocăneală, C., **Arseni, M.**, & Georgescu, L. P. (2016). *Correlation between O3, NO2 and UV index in Romania*, poster presentation Scientific Conference of Doctoral Schools of „Dunarea de Jos” University, Galati (CSSD-UDJG 2016), 3 June 2016.

Cuvinte cheie:

GIS, riscuri teritoriale, batimetrie, sisteme UAV, hați de risc la inundații, scurgere unidimensională, model digital al terenului, metode de interpolare, râul Siret, coeficient de rugozitate Manning, modelare hidrodinamică

Introducere

Teza de doctorat cu titlul „*Tehnici moderne GIS pentru determinarea riscurilor teritoriale*”, abordează o temă de cercetare în domeniul ingineriei, privind evaluarea riscurilor și hazardelor naturale, utilizând diverse tehnici și metode moderne ingineresti de evaluare geospațială.

Cercetarea desfășurată asupra tehnicilor și metodelor GIS pentru determinarea riscurilor și hazardelor teritoriale a fost axată în special pe determinarea și combinarea metodelor moderne de topografie, geodezie, aerofotogrametrie și batimetrie, pentru realizarea scenariilor de inundabilitate în zona cursului inferior al râului Siret

Conform „*Directivei Inundații 2007/60/CE*” evaluarea și gestionarea riscurilor de inundații are la bază determinarea zonelor cu risc potențial la inundații și evaluarea statistică a indicatorilor cheie ce au fost supuși hazardelor naturale produse într-o zonă, la o anumită perioadă de timp. Realizarea acestor hărți reprezintă un proces complex de însumare a diferitor tehnici, cum este modelarea hidrologică și hidraulică, având la bază o serie de date ce descrie suficient de precis cartografia albiei minore a râului, cât și a albiei majore.

În perioada anilor 2005 – 2016 în zona cursului inferior al râului Siret au avut loc o serie de inundații semnificative.

În baza acestei strategii am inițiat acest studiu pentru determina tehnici și metode utile pentru realizarea hărților de hazard și risc la inundații. Perimetrul în care am desfășurat cercetarea este aplatat în lungul cursului râului Siret, începând de la confluența sa cu fluviul Dunărea, până la km 35 în amonte, adiacent cu localitatea Independența.

Pentru a atinge scopul principal al lucrării au fost realizate următoarele **obiective principale**:

- Abordarea integrală a cercetării efectuate asupra unei zone de studiu neevaluate în trecut;
- Determinarea metodelor topografice, batimetrice și aerofotografiere pentru colectarea cu precizie a datelor din teren.
- Combinarea datelor culese prin diferite metode, pentru obținerea unui model digital de elevație al terenului, care să cuprindă atât albia minoră, cât și albia majoră a zonei de studiu;
- Realizarea modelărilor hidraulice pentru evaluarea nivelului apei în profil, vitezei de curgere, adâncimilor și extinderea suprafețelor inundate;
- Transformarea rezultatelor obținute în urma modelării hidraulice în baze de date geospațiale;

- Compararea și evaluarea rezultatelor din punct de vedere statistic;
- Generarea hărților de risc și hazard la inundații în aria studiată;
- Cuantificarea metodelor, tehnicilor și instrumentelor cu o bază științifică solidă și identificarea soluțiilor de aplicabilitate sau abordării simplificate în structuri fără competențe științifice specifice.

Originalitatea acestei lucrări constă în abordarea cercetării pe un sector al râului Siret (Dunăre – Șendreni – Independența), asupra căruia nu au mai fost efectuate cercetări similare.

Teza, conform opțiunii alese, este structurată în 4 capitole și o introducere, unde fiecare capitol are rolul său în expunerea detaliilor tehnice și sunt structurate astfel încât informația să fie cât mai accesibilă posibil. Teza are la bază o bibliografie extinsă, expusă la finalul lucrării.

Introducerea tezei reprezintă un argument temeinic în favoarea alegerii temei, o subliniere a importanței domeniului, precum și o prezentare succintă a condițiilor și obiectivelor în care a fost dezvoltat studiul.

Capitolul 1. *Hazarde și riscuri teritoriale privind inundațiile pe râul Siret. Stadiul actual al cercetării*, prezintă evoluția istorică a hazardelor și riscurilor teritoriale din bazinul hidrografic Siret, bazin din care face parte zona în detaliu analizată.

Capitolul 2. *Materiale, metode de cercetare și prelucrarea datelor*, prezintă într-un cadru destul de detaliat diversitatea de studii și metode utilizate pentru elaborarea cercetării.

Capitolul 3. *Rezultate experimentale și discuții*, constituie partea experimentală a lucrării. Acest capitol este împărțit în două subcapitole importante. Subcapitolul 3.1, *Rezultate experimentale asupra determinării preciziei metodelor și instrumentelor utilizate* prezintă rezultate obținute asupra cercetării preciziilor de măsurare a instrumentelor utilizate. Subcapitolul 3.2, *Determinarea riscului la inundații pe cursul inferior al râului Siret*, constituie partea cea mai importantă a lucrării, în care sunt cumulate toate tehnicile și metodele descrise în celelalte capitole și aplicate în exclusivitate pentru zona de studiu aleasă.

Capitolul 4. *Concluzii și direcții de cercetare*, reprezintă partea lucrării unde sunt centralizate toate concluziile și comentariile asupra rezultatelor experimentale obținute, prin generalizarea acestora și aducerea la cunoștință a importanței utilizării sistemelor GIS în domeniul științelor ingineresti.

În integralitatea ei, teza reprezintă o însumare a mai multor tehnici și metode ingineresti aplicate în realitate, pentru obținerea rezultatelor ce descriu zone vulnerabile sau potențial vulnerabile în cazul unor scenarii de inundabilitate. Fiind realizată pe baza unei bibliografii de actualitate, consider că această cercetare este una de interes atât la nivel local, național, cât și internațional, aducând un aport științific despre tehnicile moderne GIS pentru determinarea riscului la inundații, în domeniul științelor ingineresti.

Capitolul 1. Hazarde și riscuri teritoriale privind inundațiile pe râul Siret. Stadiul actual al cercetării

1.1 Delimitarea spațiului hidrografic Siret

Bazinul Hidrografic Siret este situat în partea de est-nord-est a țării, și este caracterizat de râul Siret, care este cel mai mare și mai important afluent al Dunării (Romanescu și Stoleriu, 2013). Bazinul hidrografic al râului Siret cuprinde o suprafață de 42890 km² pe teritoriul României din care 28116 km² sunt în administrarea Direcției Apelor Siret, sub denumirea *Spațiul Hidrografic Siret (SHS)* (figura 1.1).

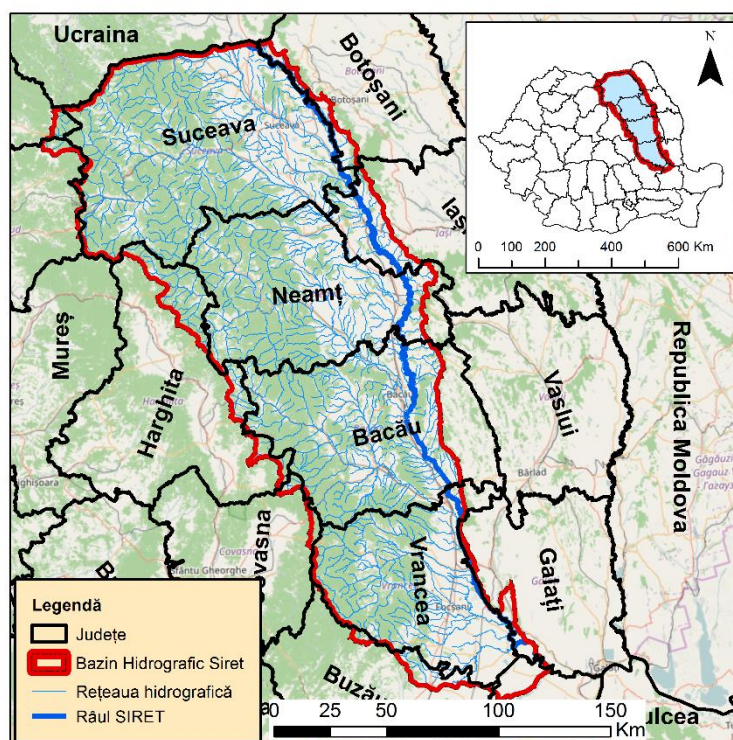


Figura 1.1 Delimitarea spațiului hidrografic Siret

1.2 Hidrografia bazinului hidrografic Siret

Bazinul hidrografic Siret reprezintă aproximativ 18% din suprafața totală a României (Apostol și Machidon, 2011). Alitudinea medie a BHS este de 515 m, iar panta medie a râului Siret este de 0.5‰ (REPRI, 2011; PPPDEI, 2014). Rețeaua hidrologică de-a lungul râului Siret este extrem de dezvoltată cu o lungime de 15175 km pe teritoriul României (Romanescu, 2009). Principala sursă de apă ce reprezintă 75%-80% pentru rețeaua hidrologică este determinată de precipitațiile din timpul anului. Bazinul hidrografic Siret nu are o formă regulată, având peste 70% din totalul de suprafață, izvoare ce izvorăsc din partea de vest, pe când din est este reprezentat doar de râul Bârlad, ca afluent principal (figura 1.2).

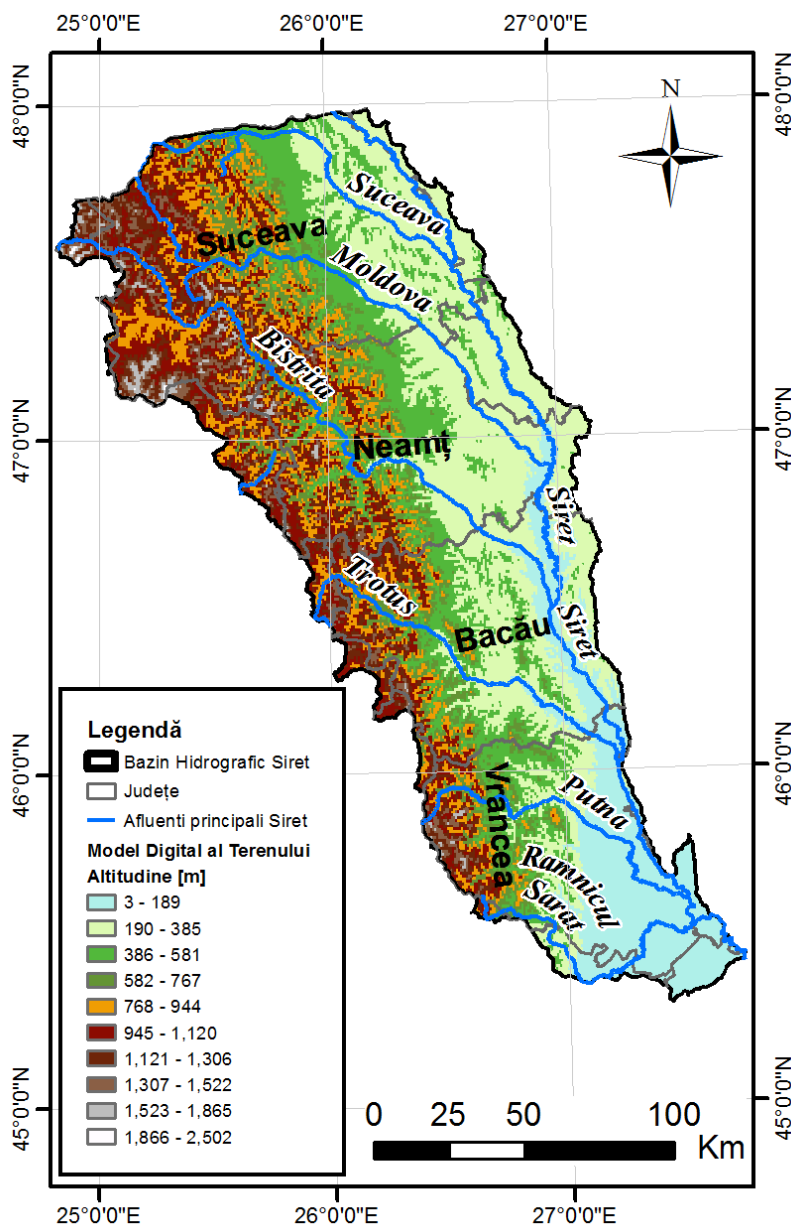


Figura 1.2 Râul Siret și afluenții principali

Relieful BHS este caracterizat de mai multe zone cu o varietate mare din punct de vedere a elementelor fizico-geografice, de exemplu: lanțul muntos al Carpaților Orientali, zona subcarpatică, Podișul Central Moldovenesc, zona de câmpie din partea sudică. Altitudinea medie a întregului bazin este dat de valoarea 515 m, iar pentru teritoriul României aceasta fiind de 507m (Radoane et al., 2003).

Clima este supusă unor modificări sezoniere diferențiate funcție de variația altitudinilor. În BHS este predominantă o climă continentală. În funcție de altitudini avem următoarele cantități de precipitații: zona de munte - 800-1000 l/m² (Rodoane et al., 2003; PMRI ABAS, 2016), zona subcarpatică - 500-700 l/m² (Obreja,2012; PMRI ABAS, 2016), zona de câmpie - 450 -550 l/m² (Romanescu et al., 2013; Apostol și Machidon, 2011).

Vegetația BHS este caracterizată de o varietate largă de specii. În zonele înalte sunt predominante de păduri mari de conifere (Obreja, 2011; Obreja et al., 2014). În zonele mai puțin muntoase sunt prezente pietre dure și cantități reduse ale suprafețelor acoperite de păduri. Zonele de altitudine medie sunt caracterizate de păduri din lemn tare. Partea de est și sud-est a bazinului este reprezentată de vegetații caracteristice climei de stepă, cu o distribuție mică a copacilor pe suprafață, aceasta având un efect diminuat asupra debitului de absorbție a apei și capacității de evacuare (Radoane, 2003; REPRI, 2011; Zaharia, 2014; Olariu et al., 2015).

1.3 Riscul la înundații în spațiul hidrografic Siret

Noțiunea de hazard (H) este definită în literatura de specialitate ca probabilitatea de apariție a unui fenomen amenințător sau cu potențial dăunător pentru om, într-un areal anumit, într-un interval precizat de timp (Blaikie, 2003) și acestea pot fi globale, regionale sau locale.

În funcție de mărimea efectelor hazardele sunt clasificate în cele cu efect redus, sever sau dezastre (catastrofe).

Vulnerabilitatea (V), după Cutter (1996), reprezintă capacitatea unui grup de persoane de a face față, a-și reveni și a se reface în urma impactului cu un hazard natural. După Adger (2006) vulnerabilitatea este o măsură ce se exprimă pe o scară de la 0% la 100%, având la bază cauze naturale, cauze economice și cauze socio-psihologice, aceasta putând fi voluntară sau involuntară.

Riscul (R) reprezintă produsul matematic dintre hazard și vulnerabilitate, fiind exprimat ca relația între un fenomen și consecințele acestuia, iar după Wang et al. (2015) riscul este considerat o cantitate ce definește expunerea reală a unei valori la un hazard, prin definirea gradului de risc, utilizând combinația între un hazard dintr-un areal și vulnerabilitatea societății umane din punct de vedere al pregătirii și reacției acesteia.

1.4 Istoricul inundațiilor în bazinul hidrografic Siret

De-a lungul timpului, râul Siret și afluenții săi au produs viituri considerabile cum au fost cele din perioada 1969 – 2016 (figura 1.3 – 1.5).

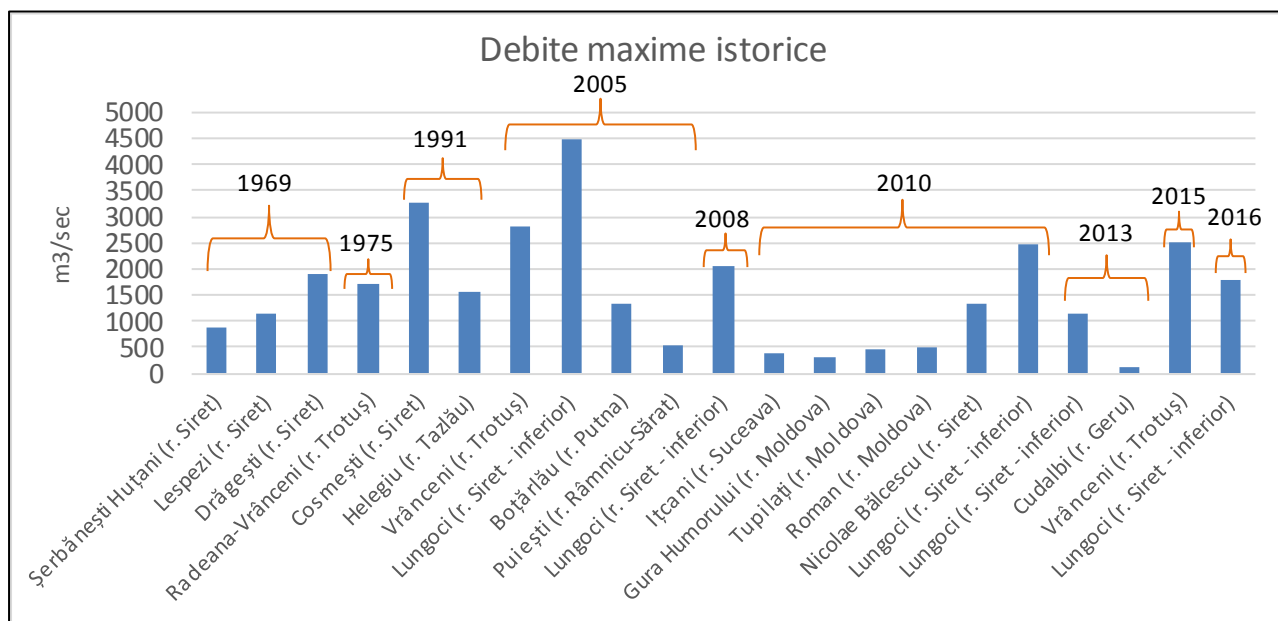


Figura 1.3. Debite maxime istorice înregistrate pe râul Siret și afluenții săi [I.N.H.G.A.]

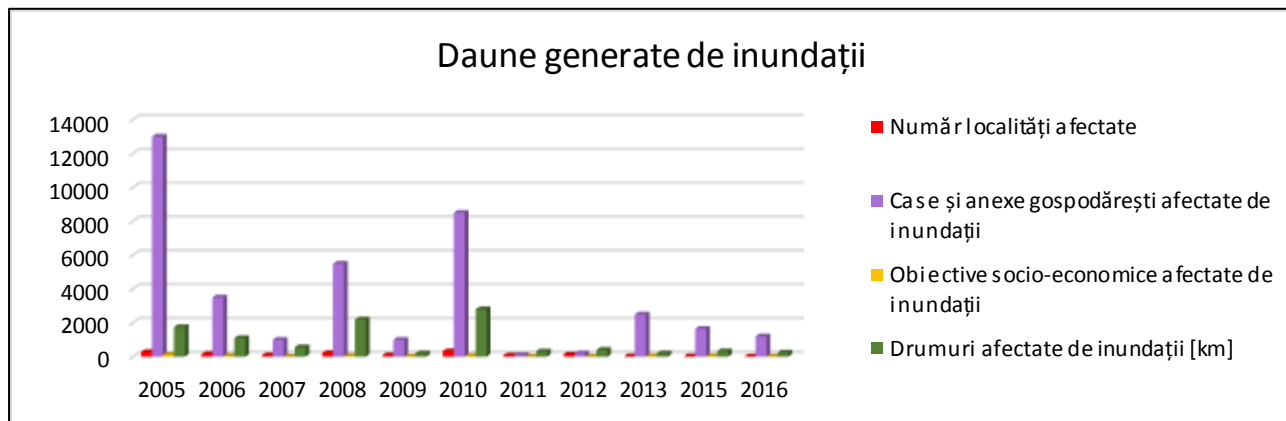


Figura 1.4. Pagube produse în urma inundațiilor istorice din perioada 2005-2016 [I.N.H.G.A.]

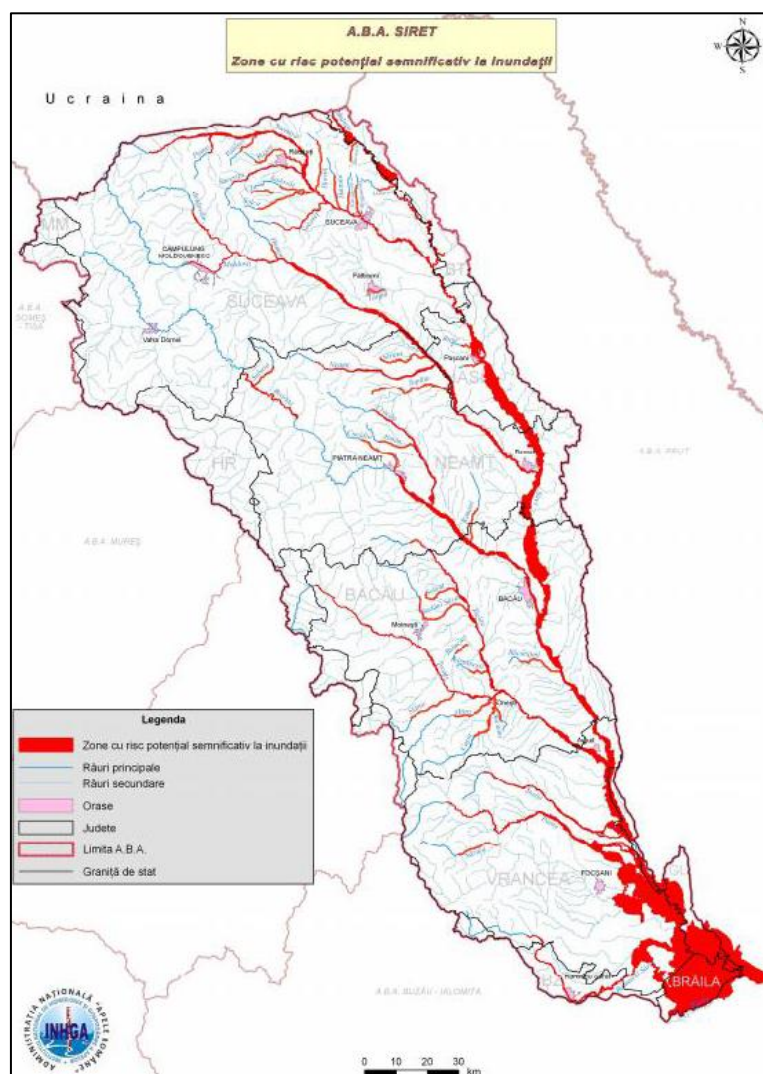


Figura 1.5. Zone cu risc potențial la inundații din BHS [<http://www.rowater.ro>]

Capitolul 2. Materiale, metode de cercetare și prelucrarea datelor

În cadrul elaborării studiului de cercetare privind riscurile și hazardele teritoriale în zona de studiu au fost folosite o diversitate de studii și metode de cercetare ingineresti (topo-geodezice, satelitare și hidraulice). În cadrul studiilor topografice și geodezice au fost analizate și evidențiate metode de scanare a terenului, cu ajutorul mijloacelor aeropurtate (LIDAR, teledetecție, UAV), metode de ridicări topografice cu ajutorul tehnologiilor GNSS și a stațiilor totale, cât și procesarea și prelucrarea datelor colectate în teren.

Materialele și instrumentele utilizate pentru efectuarea cercetării în această teză de doctorat au fost furnizate de către Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați, Facultatea de Științe și Mediu.

În cadrul cercetării au fost utilizate o serie de programe informatice pentru prelucrarea datelor (ArcGIS, AutoCAD, HecRAS, Microsoft Excel, Statistic, SPSS, QGIS, TransDat).

Capitolul 3. Rezultate experimentale și discuții

3.1 Experimente și studii preliminare asupra preciziei echipamentelor și metodelor utilizate

Un factor important în generarea unor rezultate corecte și admisibile din punct de vedere a toleranțelor de măsurare, este cunoașterea în detaliu a preciziei de măsurare a instrumentelor și metodelor folosite. În continuare sunt descrise cele mai importante experimente preliminare realizate în cadrul cercetării.

În schema logică reprezentată în figura 3.1 sunt arătate cele 4 experimente principale și rezultate preliminare obținute, necesare pentru a scoate în evidență erorile și preciziile de măsurare a echipamentelor, cât și excluderea aplicabilității eronate în cadrul cercetărilor efectuate pe râul Siret.

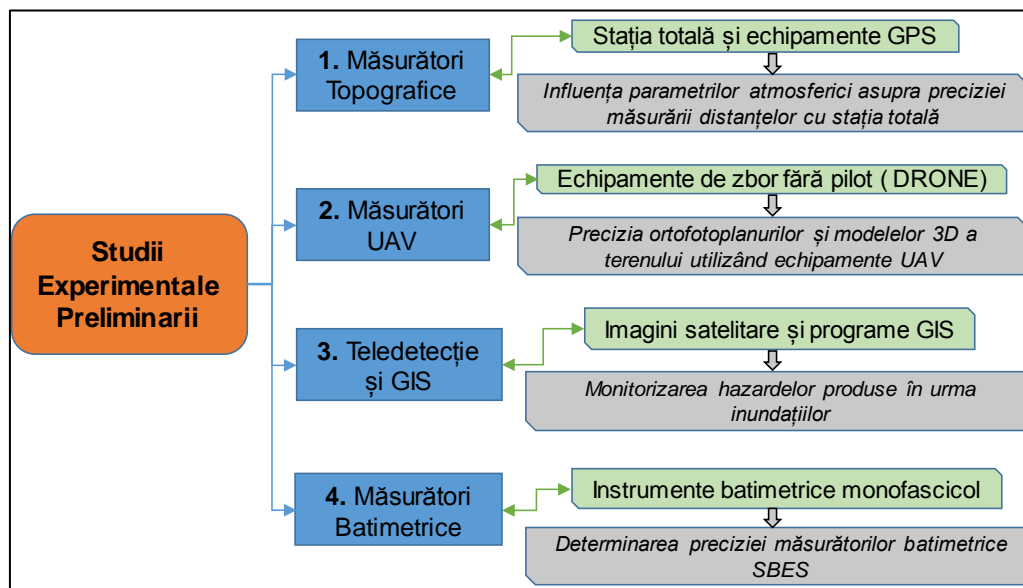


Figura 3.1. Schema logică de realizare a experimentelor preliminare pentru analiza și cunoașterea în detaliu a tehnicilor și metodelor GIS pentru determinarea riscurilor și hazardelor naturale

3.1.1 Influența parametrilor atmosferici asupra preciziei măsurării distanțelor cu stația totală

Măsurarea distanțelor cu ajutorul stației totale reprezintă un factor important în precizia de determinare a coordonatelor punctelor în faza de birou. Distanțele măsurate sunt influențate direct de o serie de erori, dintre care eroarea indusă de parametri atmosferici (*temperatura – t, presiune – p, umiditate – h*) este una de neglijat. Instrumentul de măsurare topografic descris în paragraful 2.1 reprezintă un echipament complex, care are încorporat un echipament electronic de determinare a distanțelor (EDM). Se poate aprecia că fazele precursore ale dezvoltării tehnicii de măsurare electronică a distanțelor pot fi considerate descoperirea în 1890 a celei Kerr și punerea la punct a radiolocației în perioada 1930-1940 (Pașagič și Parlić Risović, 2003).

Principiile de măsurare a distanțelor este relativ simplu. Toate tipurile de aparate emit o undă electromagnetică de la un emițător către un reflector, după care aceasta este reflectată și odată ajunsă înapoi la aparat este receptată și ulterior prelucrată. După Neuner și Badea (2002) există 3 procedee de măsurare: procedeul cu impulsuri – la care emițătorul emite semnale în intervale foarte scurte de timp, iar fasciculul servește și la măsurarea distanței; procedeul prin interferență – semnalul emis este folosit și ca semnal pe care se face măsurătoarea; procedeul fazic – semnalului continuu emis i se modulează un semnal pe care se face măsurătoarea.

Stația totală utilizată pentru determinarea coordonatelor punctelor utilizează procedeul fazic de măsurare a distanțelor (figura 3.2).

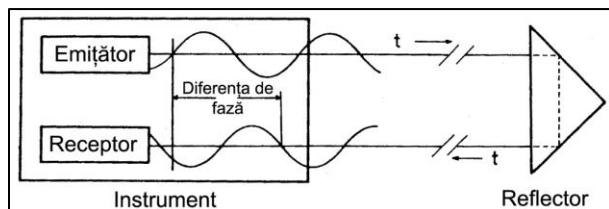


Figura 3.2. Principiul de măsurare a distanței prin diferența de fază [Rueger, 1990]

Pentru determinarea preciziei de măsurare a distanțelor, cu ajutorul stației totale a fost realizat un experiment, care ajută la cunoașterea în detaliu a modului de măsurare a distanțelor a echipamentului topografic utilizat. Acesta constă în măsurarea distanțelor funcție de diferiți parametri atmosferici ce pot influența echipamentul EDM al

stației. Primul set de măsurători de distanțe a fost executat la setările implicite ale stației totale: t (*temperatura*) = 12 °C; p (*presiunea atmosferică*) = 1013 mb; h (*umiditatea relativă*) = 40 %;

Pentru a pune în evidență influența temperaturii, al doilea set de măsurători a distanțelor a fost realizat prin păstrarea valorilor implicite a presiunii atmosferice și umidității, actualizând doar valorile temperaturii, citite la stația meteo. Cel de-al treilea set de măsurători pentru fiecare distanță a fost realizat actualizând valorile tuturor parametrilor atmosferici, la valorile citite pe display-ul stației meteo. În mod similar, pentru a surprinde influența umidității relative și presiunii a fost aplicat același principiu.

Pentru analiza influenței valorii temperaturii, umidității relative și presiunii atmosferice asupra măsurării distanțelor cu stația totală u fost realizate 10 seturi de măsurători, a câte 16 măsurători în fiecare set. Punctele în care au avut loc măsurătorile de distanțe au fost aplatate într-un grid bine definit și

structurat, pe direcțiile Nord-Sud, Est-Vest, pentru a fi observată și eventuala influență a câmpului electromagnetic terestru asupra preciziei măsurării distanțelor cu ajutorul stației totale (figura 3.3).

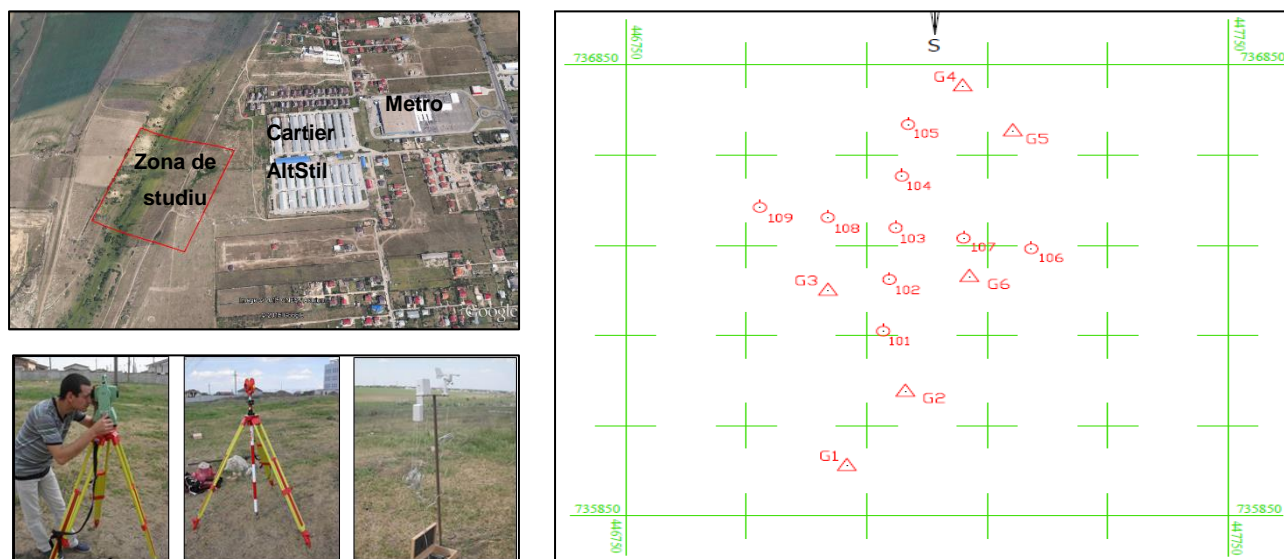


Figura 3.3. Amplasarea gridului de puncte, zona de studiu și echipamente utilizate [Arseni et al., 2015 a]

Pentru analiza rezultatelor au fost calculate erorile de măsurare și deviațiile standard în funcție de distanțele măsurate din coordonatele punctelor fixe. După Chandra (2005) eroarea de măsurare reprezintă diferența între valoarea măsurată și valoarea reală τ :

$$\varepsilon = x - \tau \quad (3.1)$$

Din practică este cunoscut faptul că valoarea reală niciodată nu poate fi determinată, astfel \hat{x} poate fi folosită ca valoare de referință, sau cea mai reprezentativă (probabilă) valoare pentru variația lui x . Astfel, v poate fi definită ca valoare reziduală exprimată ca deviație sau variație în măsurătoare:

$$v = \hat{x} - x \quad (3.2)$$

Deviația standard (Chandra, 2005) este o măsură a diferenței dintre o distribuție și un eșantion, și este reprezentată prin:

$$\sigma_n = \pm \sqrt{\left[\frac{\sum (\mu - x)^2}{n} \right]} \quad (3.3)$$

Totuși, μ nu poate fi determinat printr-o singură măsurare. În schimb media aritmetică \bar{x} este acceptată ca fiind valoarea cea mai reprezentativă și deviația standard a eșantionului devine:

$$\sigma_{n-1} = \pm \sqrt{\left[\frac{\sum (\hat{x} - x)^2}{(n-1)} \right]} = \pm \sqrt{\left[\frac{\sum v^2}{(n-1)} \right]} \quad (3.4)$$

Deviația standard dată de formula de mai sus este numită și eroarea standard.

Influența temperaturii atmosferice asupra distanțelor măsurate cu stația totală este reprezentată în figura 3.4, direcția S-N, N-S, E-V, V-E.

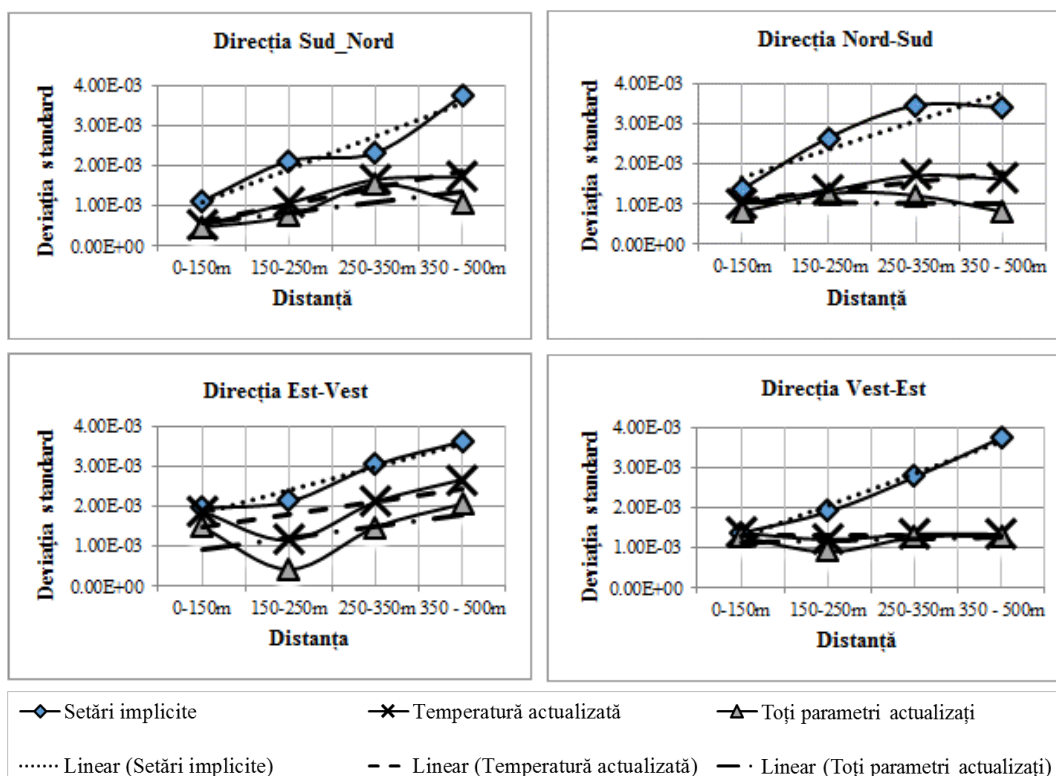


Figura 3.4. Deviația standard în funcție de direcția de măsurare

După cum se observă în reprezentarea de mai sus, rezultatele sunt combinate 2 câte 2, în funcție de direcția de măsurare. Pentru direcția S-N și N-S este evidențiată o creștere a deviației standard pentru distanțe cuprinse între 250-300 m, indiferent de setările echipamentului EDM. Este de remarcat faptul că tendințele liniare sunt în general în creștere. Cu cât distanța măsurată este mai mare, cu atât cresc și deviațiile standard. Aceasta denotă faptul că temperatura influențează în mod direct măsurătorile de distanțe cu stația totală.

O altă analiză a fost efectuată pentru determinarea influenței umidității relative asupra preciziei de măsurare a distanțelor. În figura 3.4. sunt reprezentate valorile obținute din măsurătorile de teren pentru distanțele cele mai mici. Analizând fiecare grafic se poate observa că actualizarea parametrului umidității relative în echipamentul de măsurare EDM a stației totale nu are un efect semnificativ asupra distanțelor măsurate (Arseni et al., 2015 b).

După cum se observă în figura 3.5, pentru distanțe mai mici de 150 m actualizarea h în echipamentul EDM modifică distanțele măsurate cu 1-2 mm.

În figura 3.6. este reprezentată influența umidității relative asupra distanțelor măsurate mai mari de 450 m. În comparație cu distanțele scurte, mai mici de 150 m, pentru distanțele mai mari de 450 m sunt înregistrate modificări ale distanțelor de 1-3 mm.

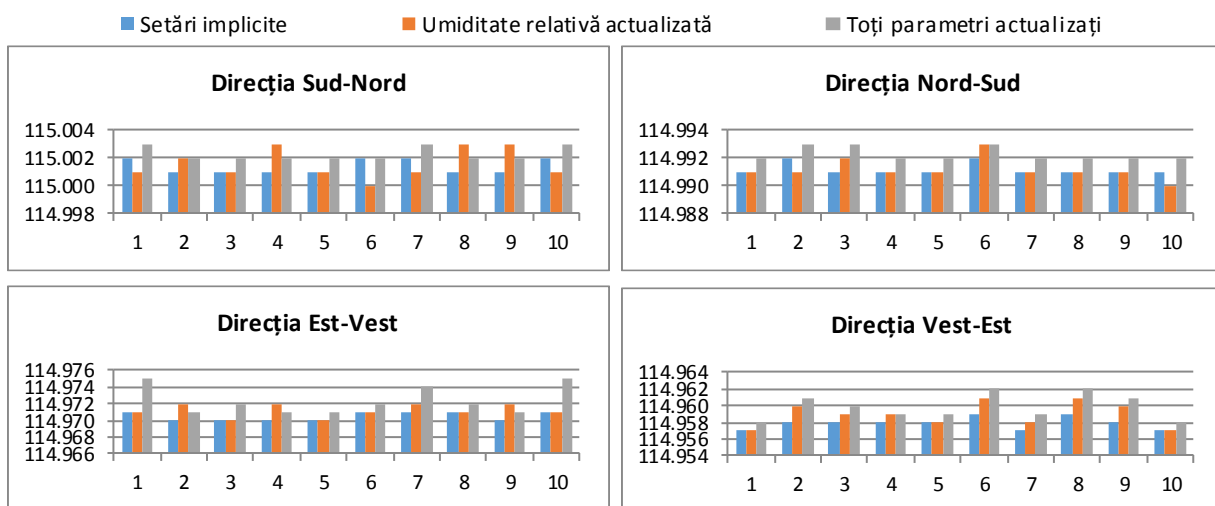


Figura 3.5. Influența umidității relative asupra distanțelor $D < 150$ m

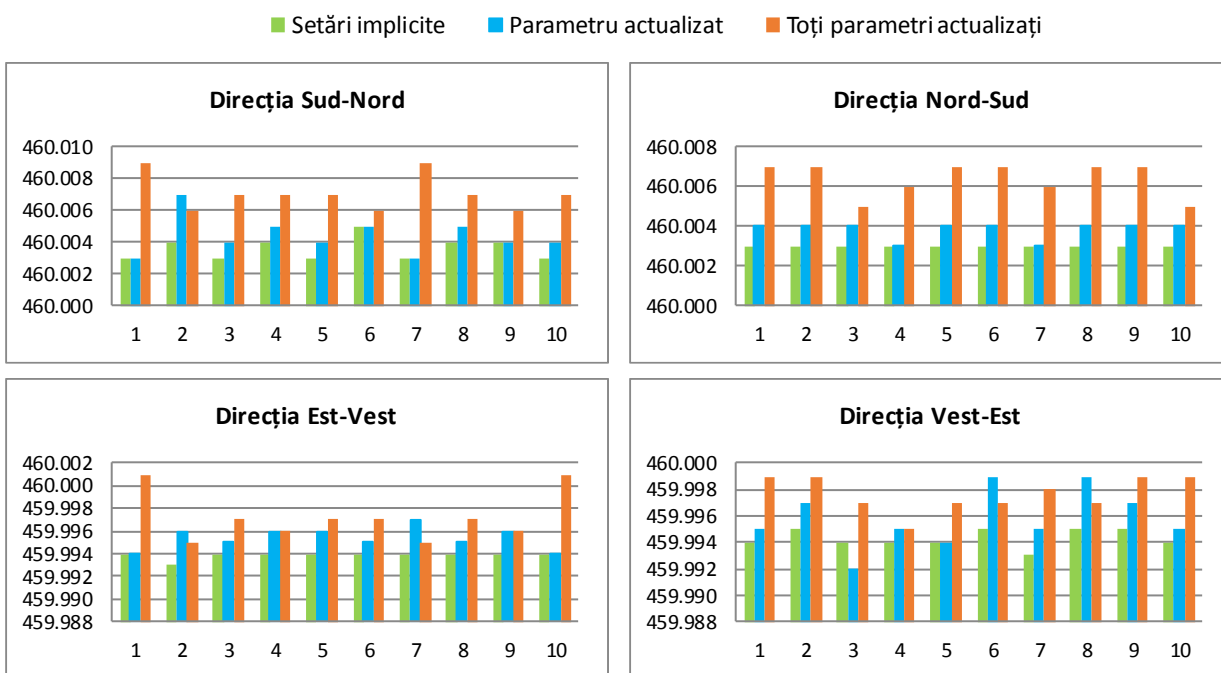


Figura 3.6. Variațiile distanțelor $D > 450$ m funcție de modurile de măsurare

Astfel, se poate concluziona că actualizarea parametrului atmosferic umiditate relativă în echipamentul EDM de măsurare a distanțelor a stației totale, nu are un rol important în determinarea cu precizie a distanței măsurate, deci nu influențează nici postprocesarea datelor pentru determinarea coordonatelor punctelor. După cum este demonstrat din cercetările efectuate, variația umidității relative cu 20%, influențează indicele de refracție și distanțele măsurate cu aproximativ 0.04 ppm, ceea ce este nesemnificativ din punct de vedere a preciziei măsurătorilor topografice.

În figura 3.7 este reprezentată deviația standard între măsurătorile efectuate cu diferite setări ale stației, în funcție de direcțiile de măsurare și parametru analizat – umiditate relativă.

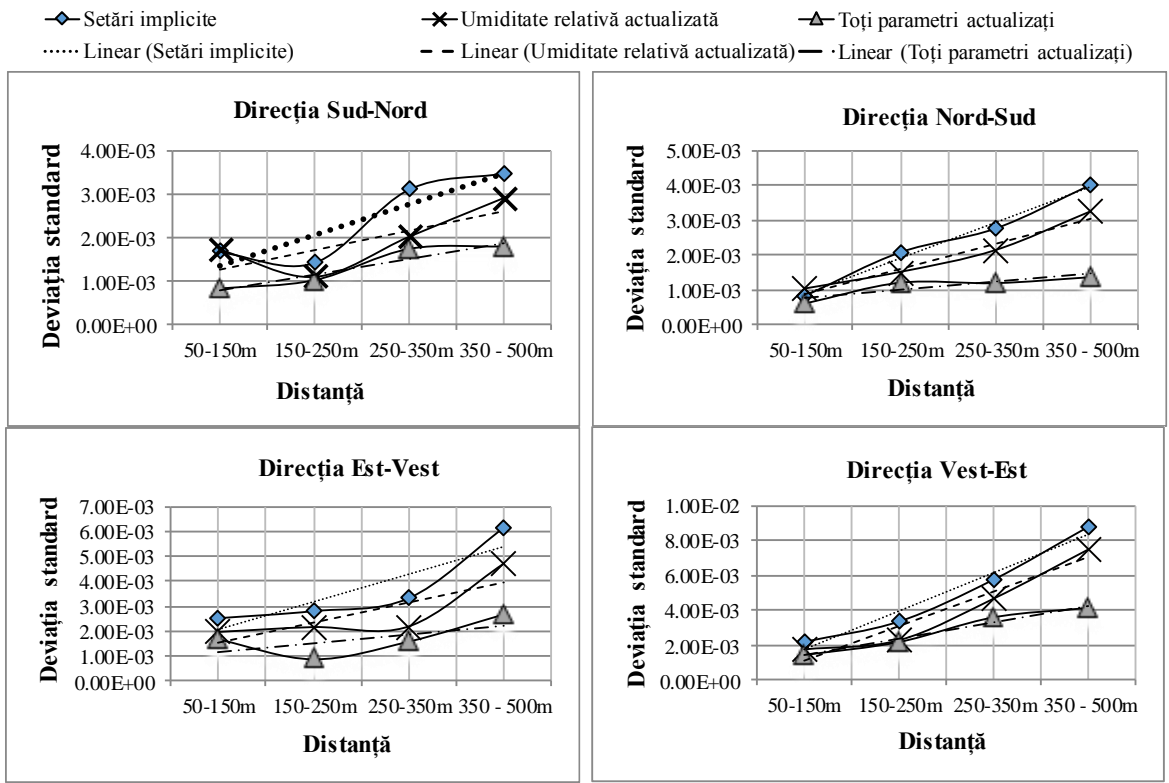


Figura 3.7. Deviația standard funcție de distanța măsurată și direcția de orientare

Al treilea parametru analizat în cadrul studiului de analiză a preciziei de măsurare a distanțelor cu stația totală este presiunea atmosferică. Din figura 3.8 se poate observa că presiunea atmosferică nu influențează semnificativ, decât cu 1-2 mm la o distanță de 450m, astfel, și acest parametru poate fi neglijat în timpul realizării măsurătorilor topografice.

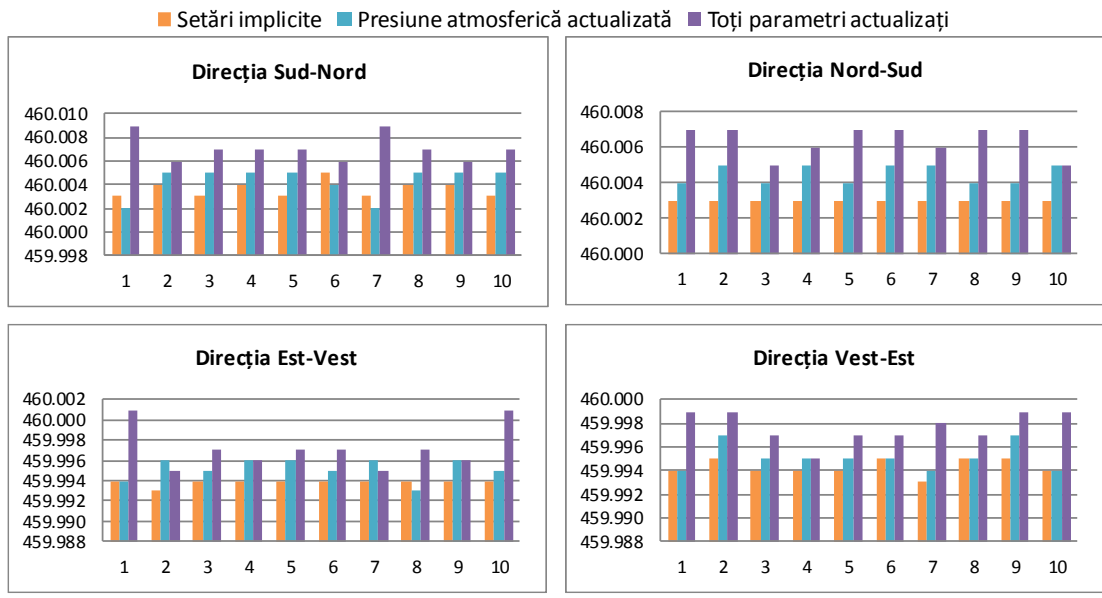


Figura 3.8. Variația măsurătorilor de distanțe funcție de cele 3 moduri de măsurare

În egală măsură se poate observa influența relativ scăzută (în ambele cazuri) a măsurării efectuate în condițiile actualizării valorii presiunii atmosferice. În condițiile prezentei analize, distanțele prezentate mai sus reprezintă cele mai mici valori măsurate și este de așteptat ca dispersia lor să fie mică atâta timp cât precizia de măsurare a stației totale scade odată cu creșterea distanței măsurate. Unul dintre factorii generatori de eroare foarte importanți în cazul analizei preciziei de măsurare a distanțelor cu stația totală este vântul. Toate formulele de corecție referitoare la valoarea indicelui de refracție în funcție de valorile parametrilor atmosferici, depind de presiunea atmosferică – presiunea statică. În condițiile prezentei mișcării maselor de aer (vânturi sau curenți ascensionali) valoarea presiunii statice este afectată, conform legii lui Bernoulli. Atâta timp cât vânturile sunt, în general, fenomene aleatoare și erorile induse vor fi aleatoare, din fericire așa cum rezultă și din analiza de mai sus, erorile induse de factorul presiune atmosferică sunt relativ mici. Este sigur că o analiză a efectului vântului asupra preciziei măsurării distanțelor s-ar face mai eficient în condiții controlate, așa cum a fost arătat și mai sus. În condițiile analizei în situație reală ar fi necesară măsurarea parametrilor viteza vântului și presiune statică pe întreaga traiectorie a unei electromagnetice folosită pentru măsurarea distanței.

Analizând în ansamblu toți 3 parametri atmosferici putem concluziona că temperatura atmosferică influențează cel mai mult măsurătorile de distanțe cu ajutorul stațiilor totale topografice.

Aceasta este confirmată și de rezultatele statistice obținute prin analiza componentelor principale (ACP) (figura 3.9). ACP reprezintă una dintre cele mai simple metode de analiză dintre analizele ce se bazează pe vectori proprii. ACP este foarte utilă pentru datele de dimensiuni foarte mari, unde șabloanele sunt greu de identificat, și astfel prin reducerea numărului de dimensiuni, șabloanele pot fi identificate fără o pierdere importantă de informații (Smith, 2002).

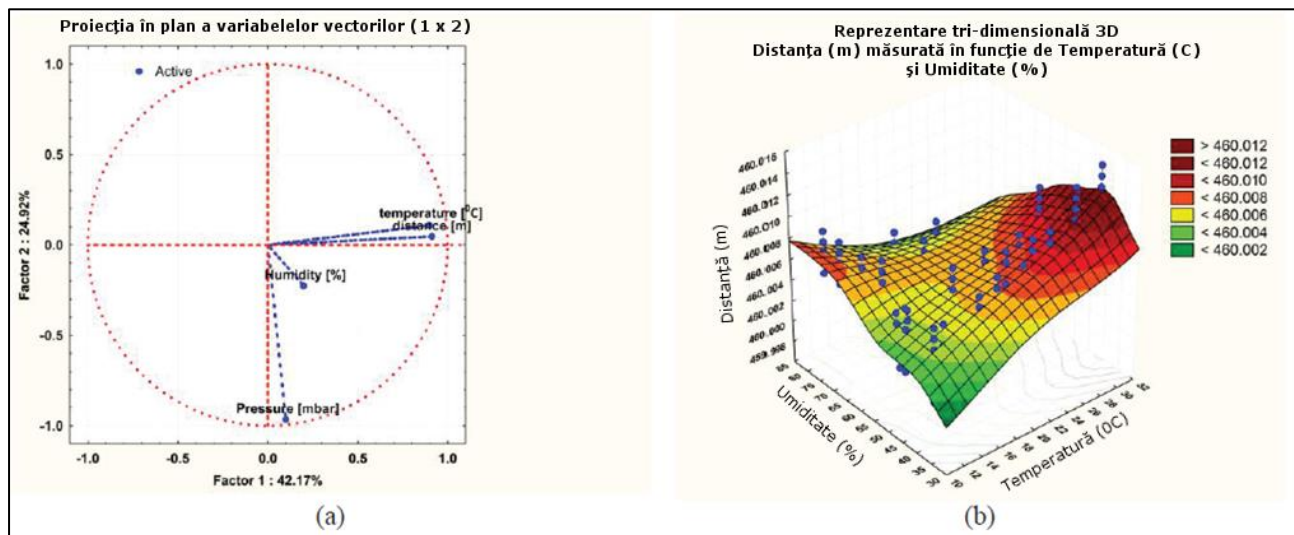


Figura 3.9. (a) Diagrama ACP bazată pe corelații vectoriale. (b) Reprezentare 3D a distanței măsurate în funcție de temperatură și umiditate relative [Murariu et al., 2017]

Concluzii

În concluzie se poate afirma cu precădere, că principala sursă de erori în măsurătorile electronice de distanțe o reprezintă mediul atmosferic străbătut de radiația electromagnetică în drumul său către țintă (reflector) și înapoi. Mediul fiind caracterizat de către parametri atmosferici fundamentali: presiunea atmosferică, temperatura și umiditatea relativă, acesta influențează, într-o direcție sau alta, precizia determinării distanțelor. Parametrul critic care afectează distanțele măsurate cu ajutorul stației totale îl reprezintă temperatura atmosferică. Variațiile parametrului critic – *temperatura aerului* influențează indicele de refracție și distanța măsurată cu aproximativ 10ppm, în condițiile determinării acestuia cu o incertitudine de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

3.1.2 Precizia ortofotoplanurilor și generarea modelelor 3D utilizând tehnologia UAV

În cadrul elaborării cercetării asupra prevenirii, monitorizării și atenuării hazardelor produse de inundații, a fost realizat și un studiu complementar asupra echipamentelor UAV ce pot fi folosite, cât și utilizarea ortofotoplanurilor rezultate în urma zborurilor cu drona. În acest sens a fost utilizat echipamentul de zbor descris în capitolul 2, acesta fiind unul modern și destinat special pentru generarea ortofotoplanurilor, modelelor 3D, modele TIN de precizie.

Zborurile generate pentru compararea rezoluției spațiale a ortofotoplanurilor elaborate au fost efectuate în mai multe zone de studiu. Acestea au avut o suprapunere a fotogramelor de 70% \times 70% (Arseni et al., 2017). În toate cazurile au fost folosită o viteză de zbor a echipamentului de 3 m/s, înregistrând câte 46 de fotograme pentru zona studiată (figura 3.10).

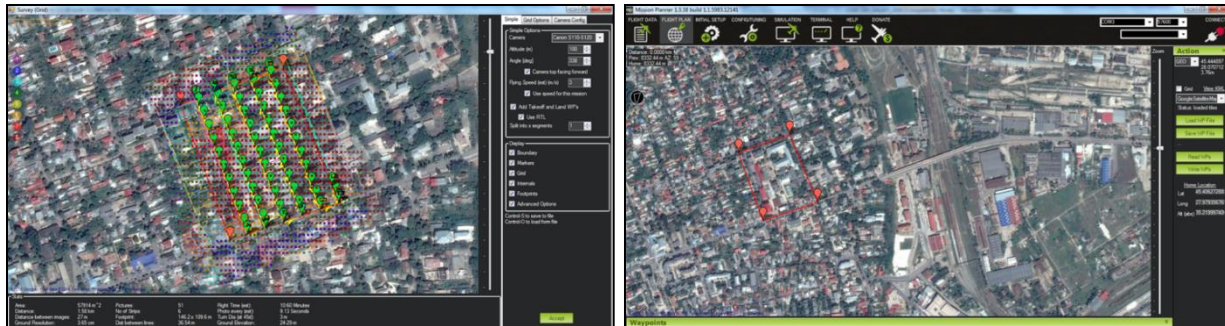


Figura 3.10. Suprapunere fotograme 70% \times 70% (*image stânga*) și delimitarea zonei de studiu – Campus Universitar „Dunărea de Jos”

Zborurile au fost efectuate cu ajutorul dronei octo-copter X8-M (figura 3.11).

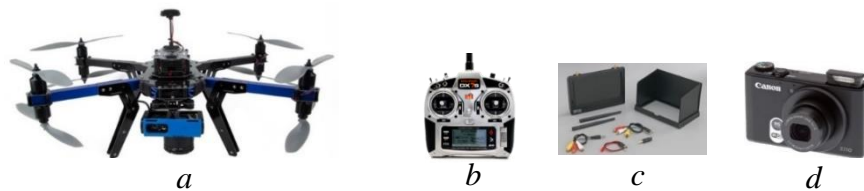


Figura 3.11. Echipamentul UAV și dispozitive auxiliare (*a – drona X8-M, b – telecomanda Spectrum DX7, c – sistem de vizualizare în timp real fără fir Diversity RX, d – aparat foto Canon S110*)

Pentru planificarea planului de zbor a fost utilizat programul *Mission Planner* (Puttok et al, 2015; <http://ardupilot.org/planner>), destinat cu exclusivitate pentru programarea echipamentelor de zbor, de apă, sau la sol - fără pilot.

Modelul textural (figura 3.12) și ortofotoplanul a fost generat cu ajutorul programului Agisoft PhotoScan (<http://www.agisoft.com>, 2016). Pentru georeferențierea fotogramelor au fost utilizate 18 puncte de control la sol (GCP, figura 3.13), materializate prin plăcuțe de lemn de dimensiunea 40 cm x 40 cm și coordonatele acestora fiind determinate în teren cu ajutorul GPS-ului South S82-V.

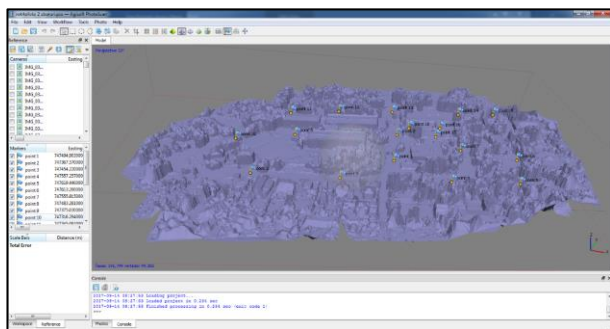


Figura 3.12. Model textural – Sit arheologic „Teatrul Vechi”, or. Cahul, Republica Moldova



Figura 3.13. Plăcuță de marcaj a punctelor de control la sol

Pentru generarea unui model digital al terenului, cele 46 de fotograme capturate în timpul zborului trebuie să aibă o suprapunere cât mai mare, atât longitudinal cât și latitudinal (figura 3.14). După cum se poate observa în figura 3.15, rezultată din raportul generat de Agisoft, calibrarea camerei de asemenea depinde de suprapunerea fotogramelor, astfel marginile zonei aerofotografiate având o suprapunerea mică generează reziduu mare a imaginilor realizate cu aparatul Canon S110.

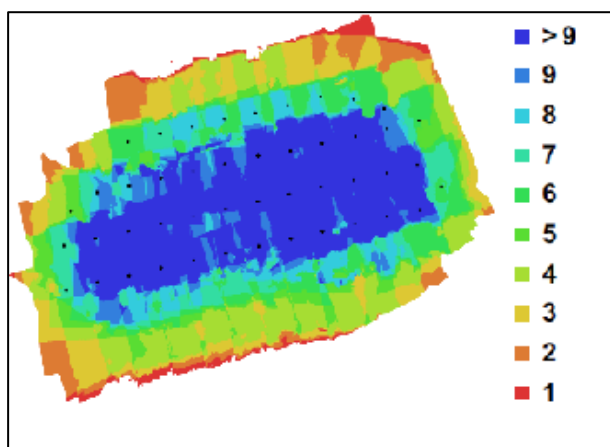


Figura 3.14. Suprapunerea fotogramelor la o altitudine de zbor de 100m cu o rezoluție a fotogramei de 3.26cm/pix

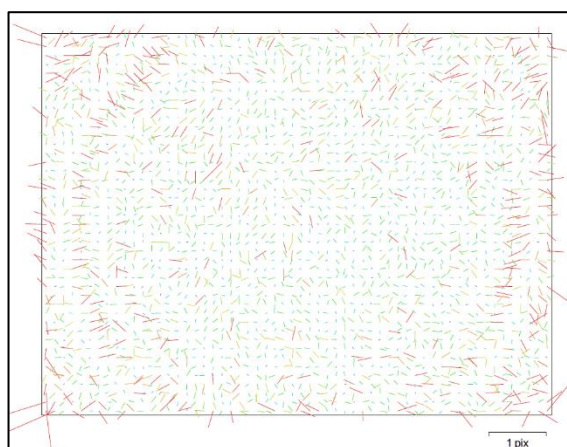


Figura 3.15. Reziduurile imaginilor pentru aparatul de fotografiat Canon S110

În figura 3.16 se poate observa reprezentarea grafică a erorilor pe orizontală și pe verticală a punctelor de control la sol. Analizând rezultatele obținute se observă că eroarea maximă a fost înregistrată pentru cota Z a punctului P1, aceasta fiind de 0.22 m. Această eroare este provocată de faptul că punctul P1 are o variație mai mare a diferenței de nivel față de celelalte puncte, care au

cote aproximativ egale. Repetarea măsurătorilor și zborurilor fotogrametrice ajută la excluderea acestor erori (Gillan et al., 2017).

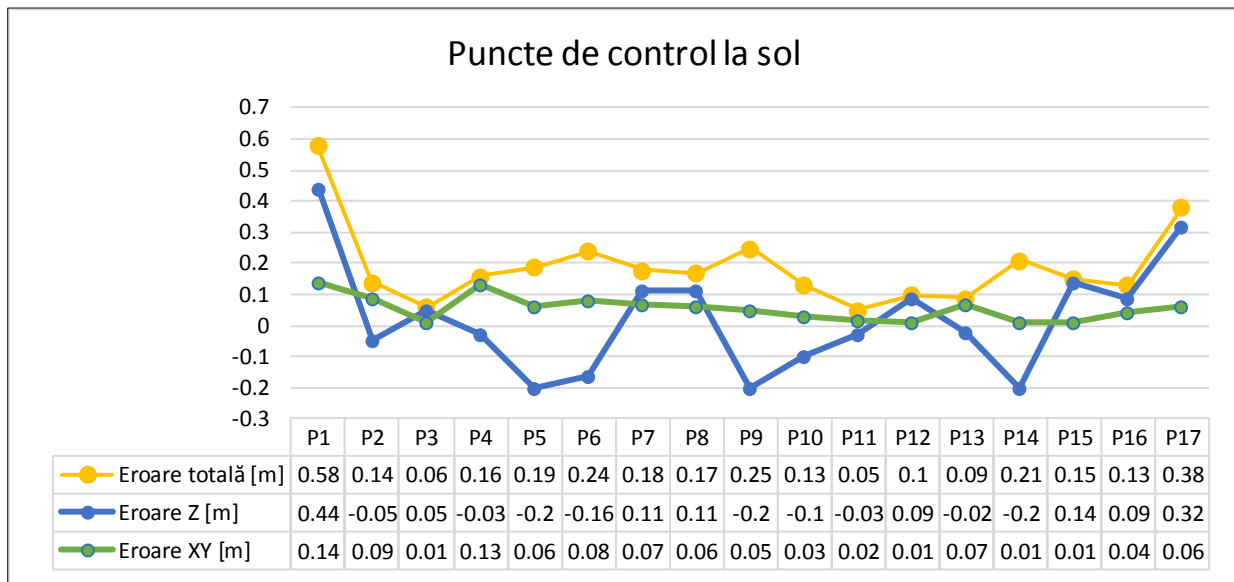


Figura 3.16. Erorile parțiale și totale ale punctelor de control la sol

Pentru crearea modelului digital al terenului (MDT) (figura 3.17), a fost utilizat norul de puncte generat de Agisoft, care însumează o valoare totală de 4959730 de puncte, pe o suprafață totală $S=84100\text{m}^2$. MDT-ul poate fi transformat și într-un model 3D (figura 3.18) pentru vizualizarea mai clară, calculul volumelor de săpătură-umplură, determinarea înălțimii arboreștilor, clădirilor etc.

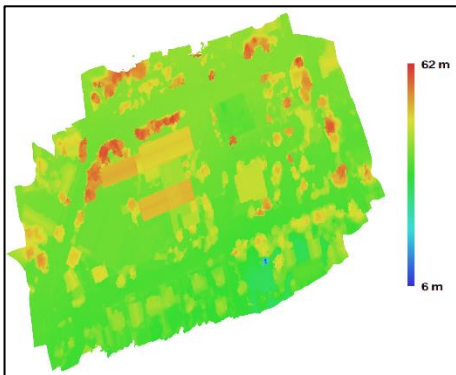


Figura 3.17. Model digital al terenului, rezoluție=13cm/pixel, 59 puncte/m²



Figura 3.18. Model 3D de suprafață

Concluzii

În concluzie putem spune că utilizarea echipamentelor UAV își găsesc la ora actuală un domeniu vast de aplicare, ce pot înlocui măsurătorile topografice în teren. Un avantaj al utilizării dronei X8-M constă în echiparea acestora cu toate modulele necesare pentru realizarea ortofotoplanurilor de precizie. Echipamentul de tip multi-rotor reprezintă avantaje de utilizare în zonele împădurite, urbane, terenuri cu relief accidentat, unde echipamente UAV de tip aripă, a căror timp de zbor chiar dacă este de 10 ori mai mare, nu pot fi utilizate (Remondino et al., 2011).

3.1.3 Imagini satelitare utilizate pentru monitorizarea hazardelor produse de inundații

Teledetecția reprezintă un domeniu în dezvoltare continuă și este utilizat tot mai des pentru obținerea de informații geospațiale. Pentru monitorizarea hazardelor produse de inundații cel mai des folosite sunt imaginile satelitare LANDSAT. În studiu prezentat de (Polcyn, 1987) este accentuat că imaginile LANDSAT pot fi folosite pentru modele agrometeorologice și generarea hărților de extindere teritorială a inundațiilor post-muson. Un aspect important este menționat în lucrarea lui (Mueller et al., 2016) asupra metodelor de detectare a apei din imaginile LANDSAT, care sunt considerate operaționale și aplicabile atâta timp cât suprafața apei nu este acoperită de vegetație.

Pentru exemplificarea utilizării acestor sisteme de teledetecție au fost analizate 2 zone afectate de inundație de pe râul Prut și Siret, în perioada de vară 2010. În această perioadă a avut loc o inundație majoră în zona Prutului inferior și a Siretului inferior, mai exact satul Cârja (România) de pe malul stâng al râului și satul Gotești (R. Moldova), de pe malul drept (figura 3.19 – 3.20).

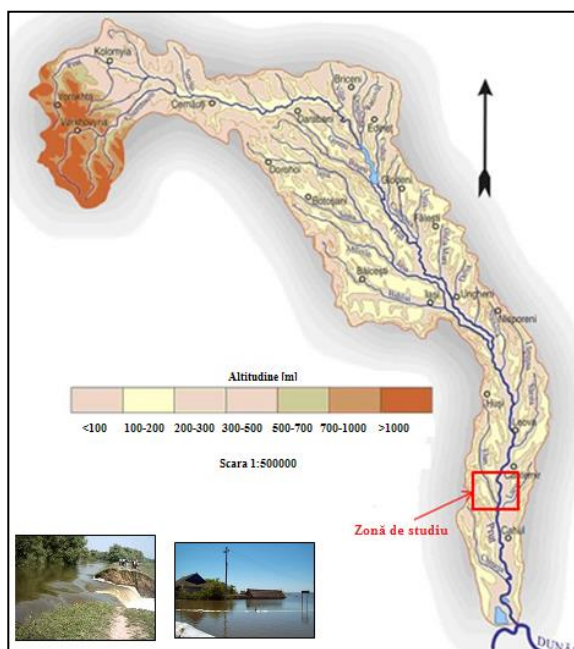


Figura 3.19. Zona afectată de inundație – râul Prut

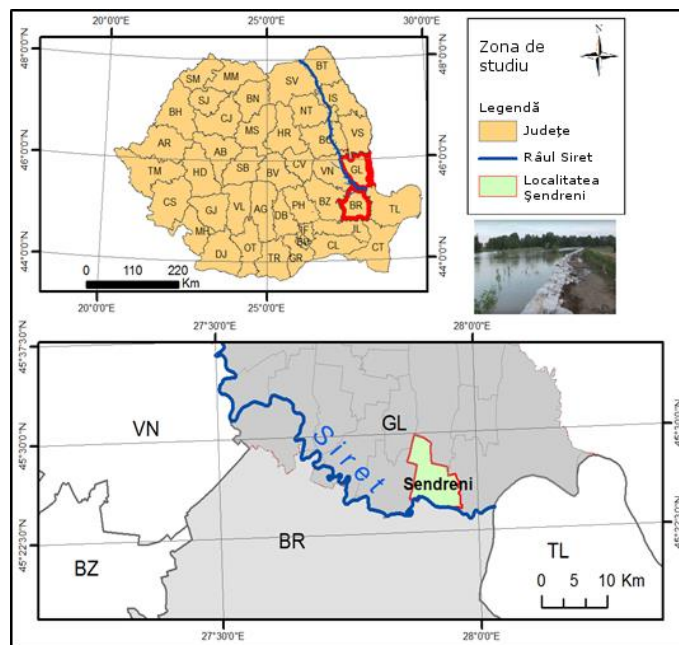


Figura 3.20. Zona de studiu râul Siret – satul Șendreni, jud. Galați

Pentru determinarea și monitorizarea inundației care a avut loc au fost comparate 2 imagini satelitare LANDSAT TM 5, achiziționate pentru perioada 01.05.2010 (înainte de inundație) și o imagine pentru perioada 14.08.2010 (în timpul inundației), pentru zona de studiu pe râul Prut, și setul de date din data de 11.06.2010, respectiv 20.07.2010, pentru râul Siret (<https://earthexplorer.usgs.gov>, 2016). Scopul lucrării a fost de a determina schimbările privind acoperirea terenului, comparând suprafețele cu apă și cele inundate (Minea, 2011, Popovici et al., 2013). Etapele principale ale prelucrării sunt prezentate în schema logică ce urmează (figura 3.21).

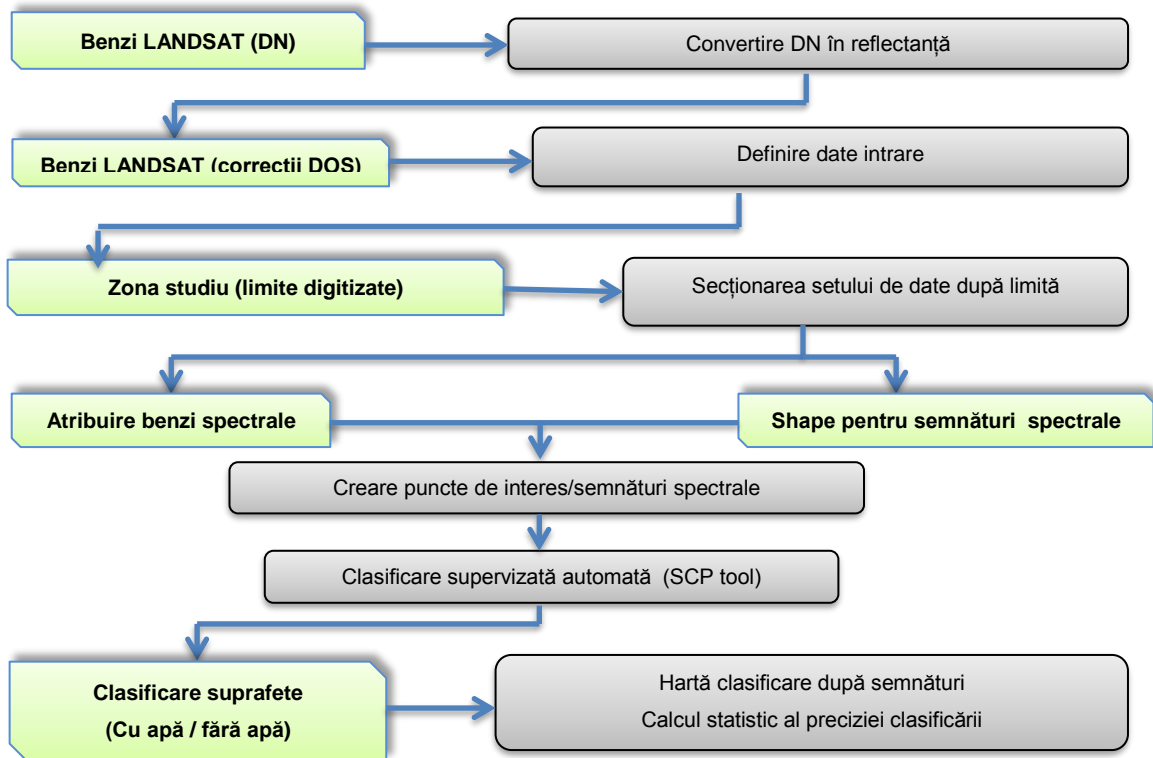


Figura 3.21. Etapele principale ale prelucrării imaginilor satelitare pentru realizarea clasificării

Într-o primă etapă a fost realizată conversia benzilor în suprafețe de reflectanță, bazată pe metoda DOS (Dark Object Subtraction), descrisă de (Tompoulidou et al. 2016). Apoi a fost analizată reflectanța spectrală pentru a determina pixelii ce caracterizează suprafețele cu apă. Tehnica de Remote Sensing este bazată pe măsurarea reflecției radiației ale diferitor suprafețe (Demirkesen et al., 2007). Fiecare obiect de pe suprafața terestră reflectă sau absoarbe radiația solară în mod diferit. Pentru aceasta este nevoie de analiza reflecției spectrale (figura 3.22 - 3.23) sau, cum se mai numesc, semnături spectrale ale obiectelor (Jarvis et al., 2004; Adewumi et al., 2016).

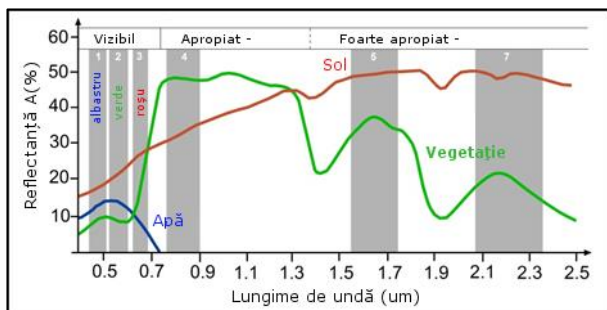


Figura 3.22. Curbele de refracție a apei, solului și vegetației în diferite lungimi de undă și canale LANDSAT TM [<http://www.seos-project.eu/modules/classification/classification-c01-p05.html>]

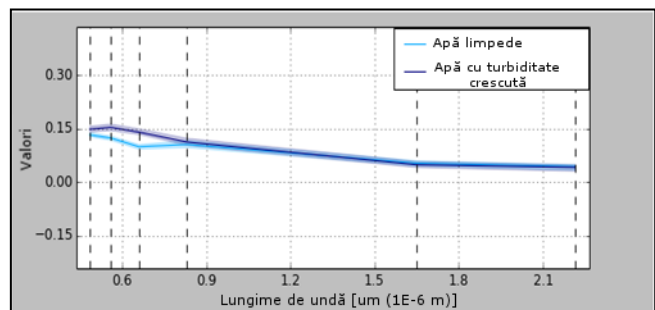


Figura 3.23. Valoarea reflectată de apa limpede și apa cu turbiditate crescută (după procesare cu unealta SCP - QGIS)

După cum se observă din figura 3.22 curba ce reprezintă suprafața acoperită de apă este caracterizată de o absorbție foarte mare în spectrul infraroșu, din acest motiv este foarte ușor de identificat din imaginile satelitare. Pentru a distinge suprafețele acoperite cu apă a fost utilizată schema color 4-3-2: banda 4 pentru roșu, banda 3 pentru verde și banda 2 pentru albastru (figura 3.24).

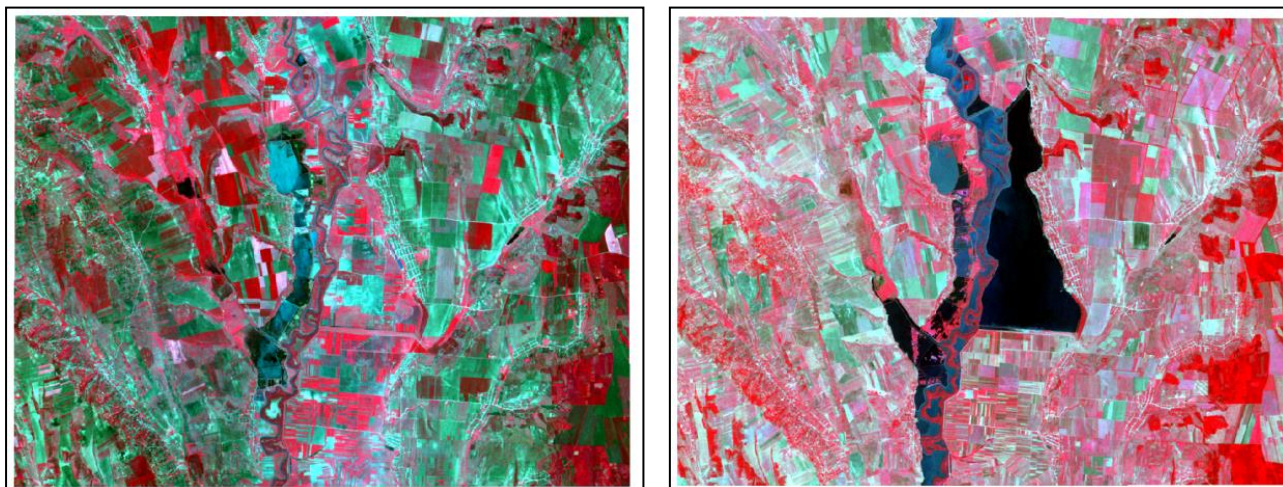


Figura 3.24. Compoziția de culoare 4-3-2: imagine stânga – înainte de inundație, imagine dreapta – după inundație (zonă de studiu râul Prut)

Pentru identificarea zonelor inundate au fost colectate semnăturile spectrale a suprafețelor caracterizate de apă pentru prima imagine satelitară și aplicate pentru cea de-a doua imagine.

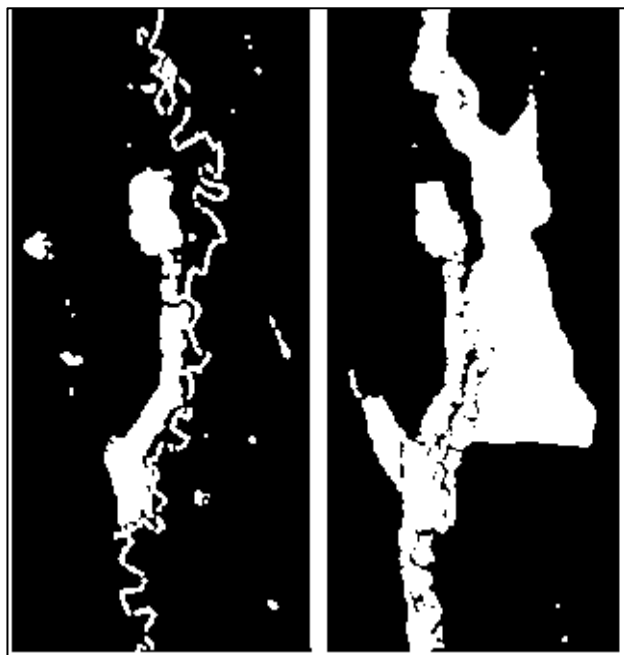


Figura 3.25. Clasificare pixelilor după suprafețe acoperite cu apă: *stânga* – până la inundație, *dreapta* – după inundație (râul Prut)

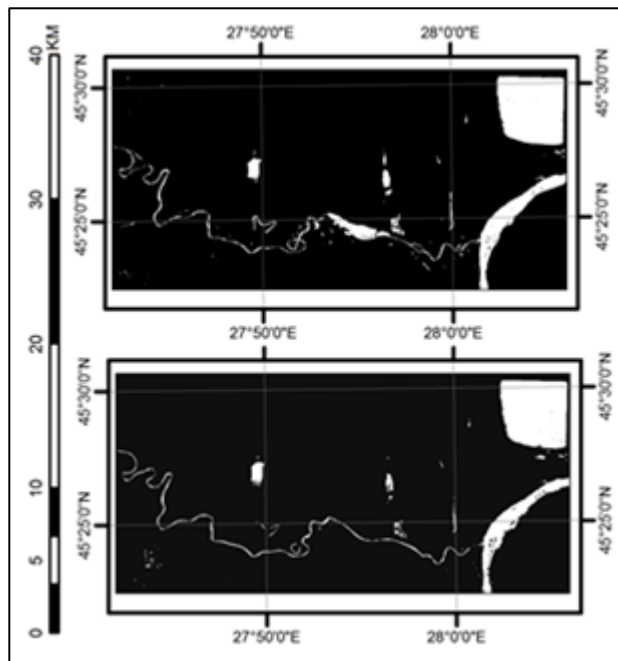


Figura 3.26. Clasificare pixeli după suprafețe acoperite cu apă: *sus* – până la inundație, *jos* – după inundație (râul Siret)

Suprafața totală inundată în zona 1 reprezintă 6.9% din totalul suprafeței studiate, adică 42.30 km² – suprafață inundată. Pentru zona de studiu 2 (râul Siret) avem un procent de 1%, respectiv 4.4 km² – suprafață inundată.

În urma analizei spațio-temporale a acestor 2 seturi de date, au fost generate și hărțile ce caracterizează inundațiile produse în perioadele respective (figura 3.27 – 3.28).

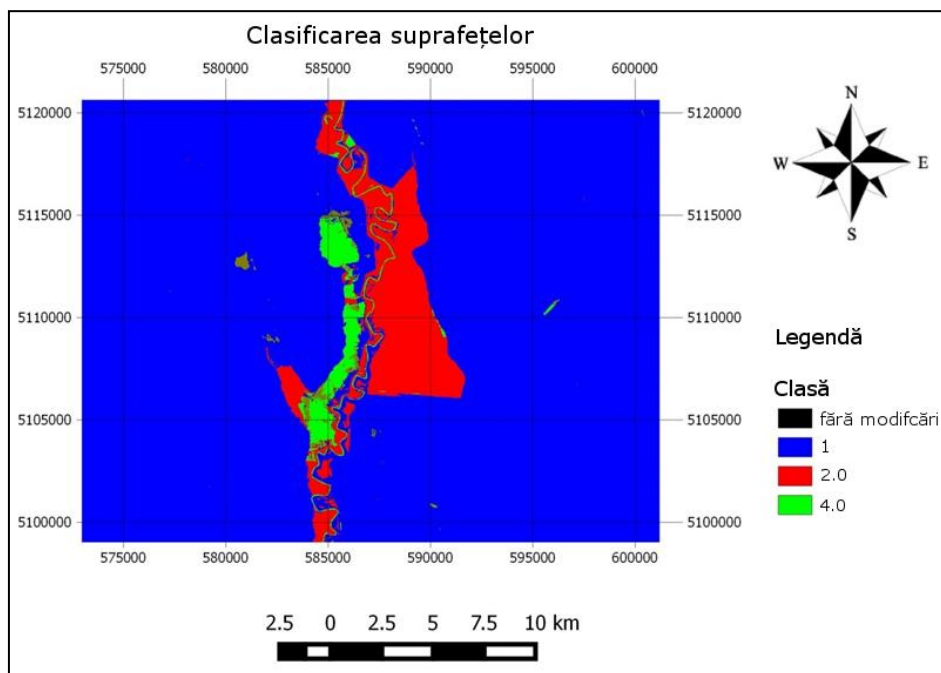


Figura 3.27. Harta extinsă a inundației din perioada 21 iulie 2010 – râul Prut

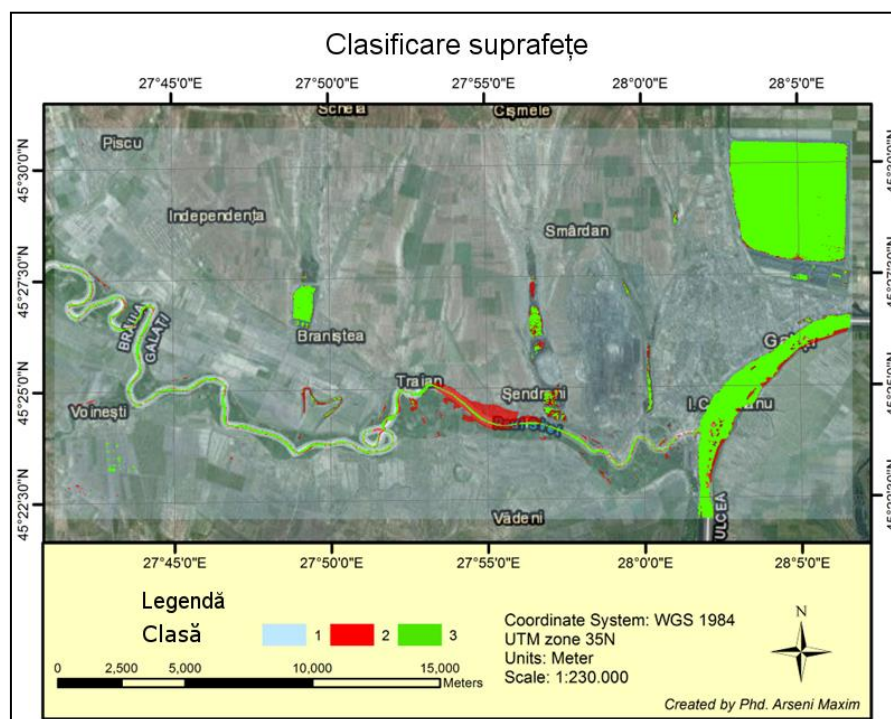


Figura 3.28. Modificarea acoperirii suprafețelor, inundație în zona de studiu 2 – râul Siret

Concluzii

În concluzie putem menționa că imaginile satelitare sunt larg utilizate în diverse domenii ale științelor mediului și ale ingineriei, inclusiv meteorologie, geologie, științele forestiere și hidrologie, prin furnizarea de informații geospațiale utile, de rezoluții diferite. Acestea înlocuiesc efortul semnificativ ce ar trebui depus prin efectuarea măsurătorilor in-situ și integrarea comună a datelor colectate în baze de date geospațiale. Cu toate acestea, există limitări datorită caracterului cursiv și natura indirectă a datelor obținute din satelit, în comparație cu cele realizate din măsurătorile in-situ.

Importanța celor două studii de analiză asupra schimbării acoperirii suprafețelor, pentru monitorizarea hazardelor teritoriale produse de inundații, reprezintă introducerea unei noi abordări a cartografierii inundațiilor și pagubelor produse bazate pe imagini satelitare și pe relația creștere-descreștere (valorii pixelilor) care sunt extrase din aceste imagini. Un aspect important este că validarea acestor rezultate nu poate fi integrală din cauza informațiilor lipsă a imaginilor obținute din satelit, dar rezultatele pot fi folosite pentru generarea hărților de inundații cu o precizie rezonabilă.

Metoda de analiză descrisă mai sus, reprezintă o abordare nouă de cartografiere a inundațiilor, dar necesită suplimentarea cu date, cum ar fi – valorile fluxului măsurate în momentele în care au fost preluate imaginile satelitare. Sunt necesare mai multe cercetări pentru integrarea altor date, cum ar fi datele topografice digitale și măsurătorile rețelelor fluviale, pentru a îmbunătăți acuratețea spațială și a dezvolta noi algoritmi pentru analiza inundațiilor.

3.1.4 Precizia măsurătorilor batimetrice SBES și compararea metodelor de interpolare

În momentul actual, apa reprezintă o resursă naturală foarte importantă. Există numeroase studii privind sistemele acvatice, referitoare la determinarea calității apei, temperaturi, salinității; măsurători volumetrice în lacuri, măsurători de adâncimi pentru dragare; realizarea hărților batimetrice a lacurilor supraglaciare, a suprafețelor acvatice lentice și lotice.

Pentru realizarea studiilor morfometrice ale suprafețelor lentice și lotice, sunt utilizate măsurătorile batimetrice și topografice. Adâncimile, de obicei sunt determinate utilizând eco-sonde cu un singur fascicul (SBES) sau cu mai multe fascicole (MBES). Sonarul de tip mono fascicul este instrumentul cel mai des utilizat pentru măsurătorile în bazine portuare, studii ale morfometriei lacurilor și fluviilor. Acesta continuă să furnizeze seturi de date corecte, dacă instrumentul este utilizat corect într-un proiect bine planificat și executat (FIG, 2010). Cu ajutorul măsurătorilor batimetrice pot fi create hărți batimetrice. Hărțile depind direct de acuratețea metodei de interpolare și a datelor măsurate. Un studiu preliminar cercetării a fost făcut asupra lacului Cătușa. Acest studiu scoate în evidență metoda batimetrică utilizată pentru cercetarea efectuată, compararea metodelor de interpolare folosite pentru realizarea hărților batimetrice, cât și determinarea volumului de apă existent la data măsurătorii. Lacul Cătușa este situat în partea de vest a Municipiului Galați (figura 3.29). Acesta este un lac de tip tunel cu o lungime aproximativă de 2100m și o lățime de aproximativ 225m.

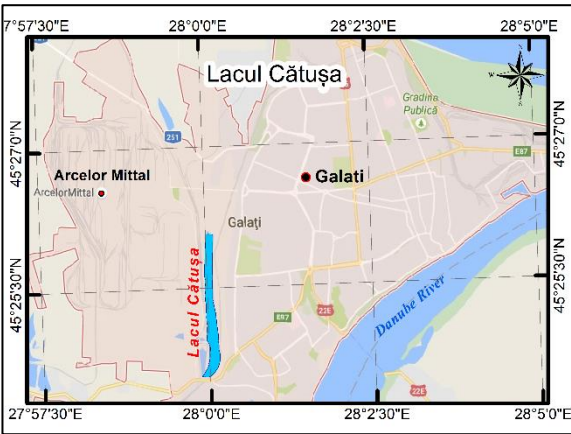


Figura 3.29. Zona de studiu – Lacul Cătușa



Figura 3.30. Instrumentul SonarMite utilizat cuplat cu GPS South S82-V

Atingerea scopului principal al acestui studiu a fost posibilă utilizând o tehnică combinată a măsurătorilor topografice cu măsurătorile batimetrice. Pentru determinarea cotelor albiei lacului a fost utilizat sonarul de tip mono fascicul SonarMite V3, cuplat la sistemul GNSS South S82-V (figura 3.30). Măsurătorile au fost realizate în sistem de coordonate național – Stereo70, cu sistem de altitudine – Marea Neagră – punctul z=0 Constanța. Aceste instrumente au fost montate pe o barcă gonflabilă.

Pentru a atinge o precizie ridicată a măsurătorilor, coordonatele punctelor au fost efectuate în mod RTK. Pentru asigurarea preciziei interpolării măsurătorile au fost efectuate în 3 moduri diferite (Popielaczyk și Templin, 2011) (figura 3.31): măsurători în zig-zag, măsurători longitudinale și măsurători ale limitei suprafeței acoperite cu apă. În total au fost înregistrate 5864 de puncte.

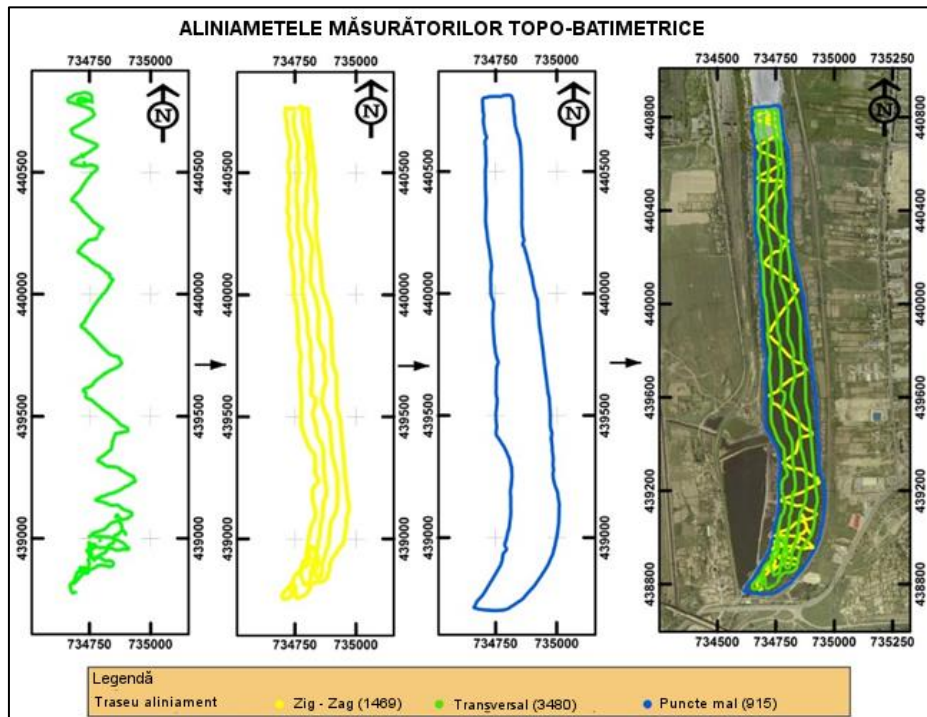


Figura 3.31. Direcția de măsurare în zig-zag și longitudinal

Generarea unei suprafețe continue a albiei lacului Cătușa necesită aproximarea valorilor celulelor în zonele unde nu există date măsurate in-situ. Astfel au fost folosite 4 metode de interpolare, cu ajutorul extensiei Geostatistical Analyst a programului informațional geografic ArcGis, și anume: IDW (distanța inversă la putere), RBF-CRS (funcții de bază radiale cu spline complet regularizată) SKRG (Kriging simplu), UKRG (Kriging universal). În tabelul 3.1 sunt prezentate valorile numerice exportate din extensia *Geostatistical Analyst* pentru validarea încrucișată a rezultatelor.

Tabel 3.1. Rezultatele validării încrucișate

	IDW	RBF-CRS	SKRG	UKRG
<i>Samples</i>	5864	5808	5864	5864
<i>MinMV</i>	2.750	2.750	2.750	2.750
<i>MinPV</i>	3.474	3.576	3.553	3.691
<i>MaxMV</i>	6.281	6.281	6.281	6.281
<i>MaxPV</i>	6.281	6.281	6.259	6.000
<i>MeanError</i>	-0.032	-0.050	0.005	-0.039
<i>RMSE</i>	0.251	0.299	0.232	0.532

Valoarea statistică de bază care definește frecvența și distribuția deviațiilor între valorile măsurate și cele interpolate este *Rădăcina Medie Pătratică (RMSE)* (Li și Heap, 2011). Un model poate fi considerat corect, atunci când RMSE are o valoare pozitivă mică și tinde spre zero. Diagrama reprezentată în figura 3.32 indică precizia modelului creat din punctele măsurate in-situ, pe baza calculării RMSE între valorile măsurate și cele prezise, pentru fiecare metodă de interpolare.

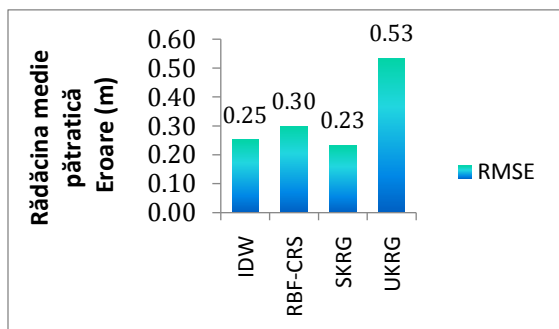


Figura 3.32. Eroarea medie pătratică pentru cele 4 metode de interpolare

Dacă analizăm diagrama, este de notat faptul că cel mic rezultat al erorii medii pătratice este generat prin metoda *SKRG*. Acest lucru este confirmat și în figura 3.33 (a, b, c, d), analizând distribuția abaterilor medii între valorile măsurate și cele interpolate, printr-o reprezentare de tip scatterplot. Rezultatele obținute pentru valorile măsurate și cele prezise au fost comparate în funcție de frecvența apariției erorilor:

$$\varepsilon = MV - PV \quad (3.5)$$

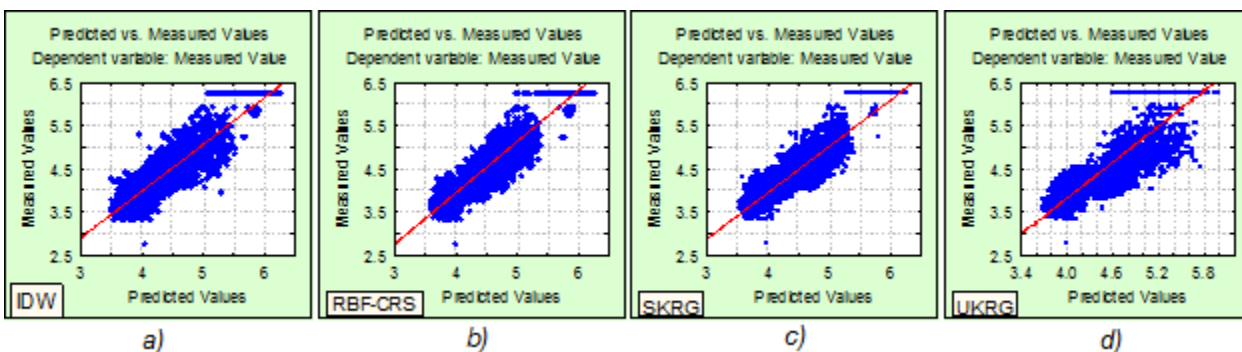


Figura 3.33. Corelare pozitivă între valorile măsurate și cele interpolate

După cum se observă în figura 3.33-c este reprezentată o determinație cu o distribuție mai constrânsă. Pentru a genera aceste rezultate pentru modelul Kriging a fost utilizată semi-variograma liniară, și aceasta va fi considerată ca rezultat de bază pentru compararea modelelor batimetrice.

Pentru fiecare metodă aplicată a fost creat câte un model batimetric al lacului Cătușa. Compararea modelelor din punct de vedere geometric a fost posibilă prin analiza curbelor de nivel rezultate (figura 3.35). Pentru analiza detaliată a fost analizat un profil transversal pentru toate 4 modele realizate (figura 3.34). Profilul transversal caracterizat de metoda SKRG, reprezentat în culoare verde este mai ondulat și descrie cel mai apropiat albia în secțiunea aleasă.

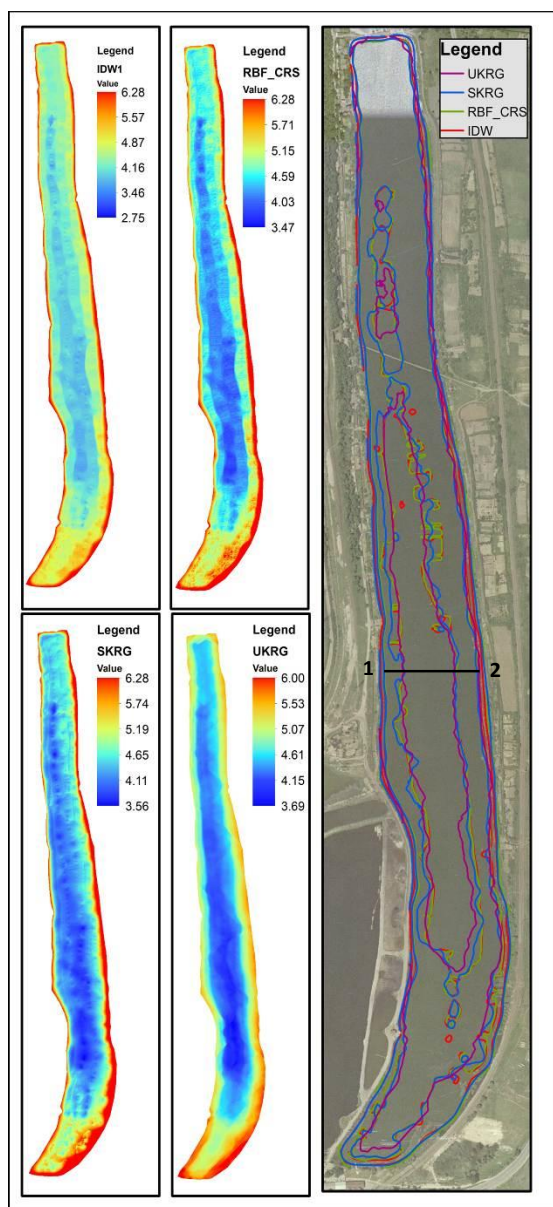


Figura 3.34. Model batimetric cu echidistanța curbelor de nivel de 1m

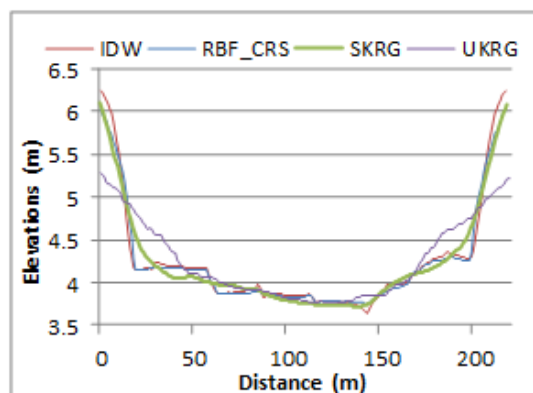


Figura 3.35. Profil transversal 1-2 din figura 3.45, creat din cele 4 modele batimetrice

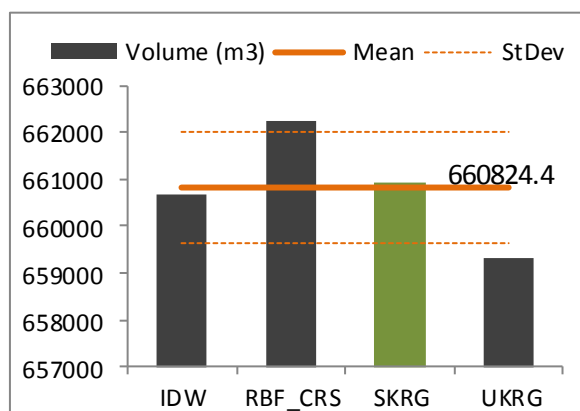


Figura 3.36. Capacitatea volumetrică de stocare a lacului Cătușa

Utilizând cele 4 modele batimetrice a fost calculat volumul de apă existent la data măsurătorilor. Volumele au fost calculate cu ajutorul unelei 3D Surface Analysis a pachetului ArcGIS (Hollister și Milstead, 2010).

În figura 3.36 sunt reprezentate grafic rezultatele asupra valorilor volumelor calculate, utilizând cele 4 modele digitale de elevație batimetrice, descrise anterior. Rezultatul cel mai apropiat de valoare medie, a fost obținut prin metoda *Simple Kriging (SKRG)*, iar al doilea rezultat este obținut prin metoda *IDW*. Volumul mediu calculat este aproximativ 660824 m³ de apă, cu o deviație standard de 1200 m³.

În concluzie putem menționa că hărțile batimetrice realizate în urma măsurătorilor SBES depind de precizia instrumentelor utilizate, metodele de măsurare, numărul de puncte culese din teren, cât și metodele de interpolare utilizate. Dacă analizăm rezultatele validării încrucișate, cea mai mică eroare medie pătratică, de 0.23, este obținută prin folosirea metodei de interpolare *SKRG*. Coeficientul de determinație R^2 între valorile măsurate și cele interpolate confirmă aceste rezultate, astfel: $R_{IDW}^2=0.913$, $R_{RBF}^2=0.895$, $R_{SKRG}^2=0.925$, $R_{UKRG}^2=0.639$. Putem remarca că volumele calculate prin metoda *IDW* și *SKRG* sunt aproximativ egale, cu o deviație standard minimă față de valoare totală a deviației standard. Celelalte două rezultate sunt cu mult peste limita deviației standard.

Un aspect important îl reprezintă și metoda de măsurători in-situ. În funcție de traseul de măsurare pot fi generate modele digitale de elevație de diferite rezoluții. După cum menționează și EL-Hattab (2014) în studiul realizat asupra măsurătorilor SBES pentru lucrări de dragare în dane și porturi, combinarea direcției traseelor în timpul măsurătorilor (longitudinal, transversal, zig-zag), cât și uniformizarea gridului de măsurători, aduce un aport semnificativ asupra densității punctelor pe metru pătrat și asigură o precizie ridicată a modelelor batimetrice ce rezultă în urma procesării datelor.

3.2 Determinarea riscului la inundații pe cursul inferior al râului Siret

În urma efectuării studiilor și experimentelor preliminare asupra metodelor experimentale și preciziei instrumentelor utilizate, a fost aleasă ca zonă de studiu sectorul inferior al râului Siret, mai exact, sectorul Dunăre-Șendreni-Independența (km 0 - 35). Am ales acest sector de râu deoarece în această zonă nu au mai fost efectuate astfel de tipuri de măsurători, aceasta fiind o noutate atât din punct de vedere științific, cât și din punct de vedere a aportului considerabil la suplinirea bazelor de date existente la nivel național cu informații în 4 dimensiuni (3 dimensiuni datorate caracterului spațial al elementului și a 4-a dimensiune datorată elementului atribut a fiecărei entități spațiale). Modelările hidrodinamice pentru realizarea hărților de hazard și risc la inundații au fost facute urmărind schema logică propusă în figura 3.37

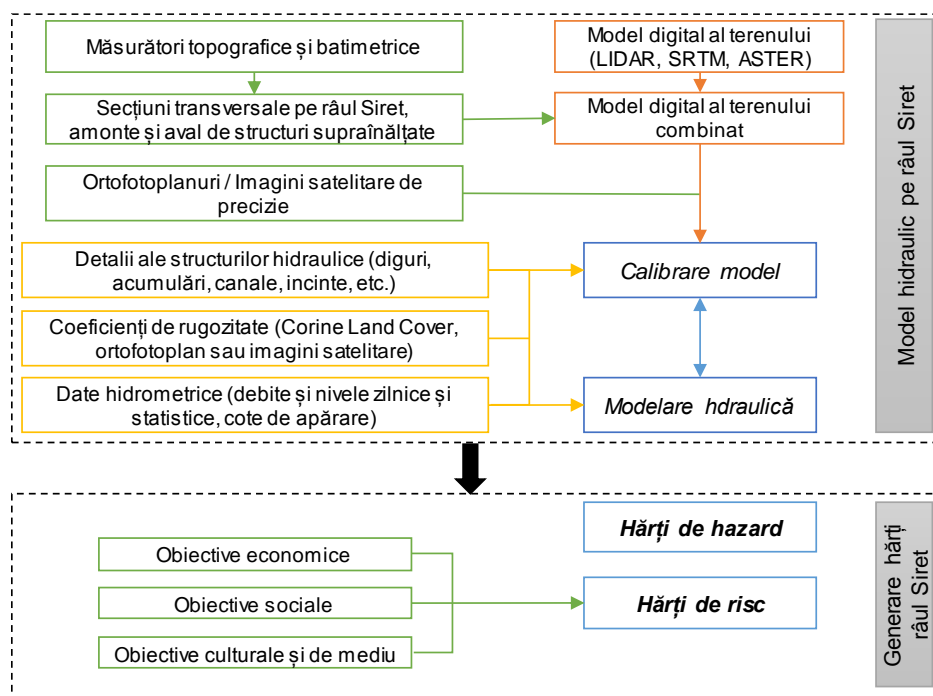


Figura 3.37. Schema logică a etapelor de realizare a hărților de risc și hazard la inundații pe cursul inferior al râului Siret (sector Dunărea – Șendreni – Independența)

3.2.1 Delimitarea zonei de studiu

Zona de studiu aleasă pentru efectuarea simulărilor hidraulice este amplasată în partea de sud a bazinului hidrografic Siret. Sectorul de râu analizat are o lungime de 35 km, de la gura de vărsare a râului Siret în fluviul Dunărea, până în localitatea corespondentă a km-ului 35 – comuna Independența (figura 3.38).

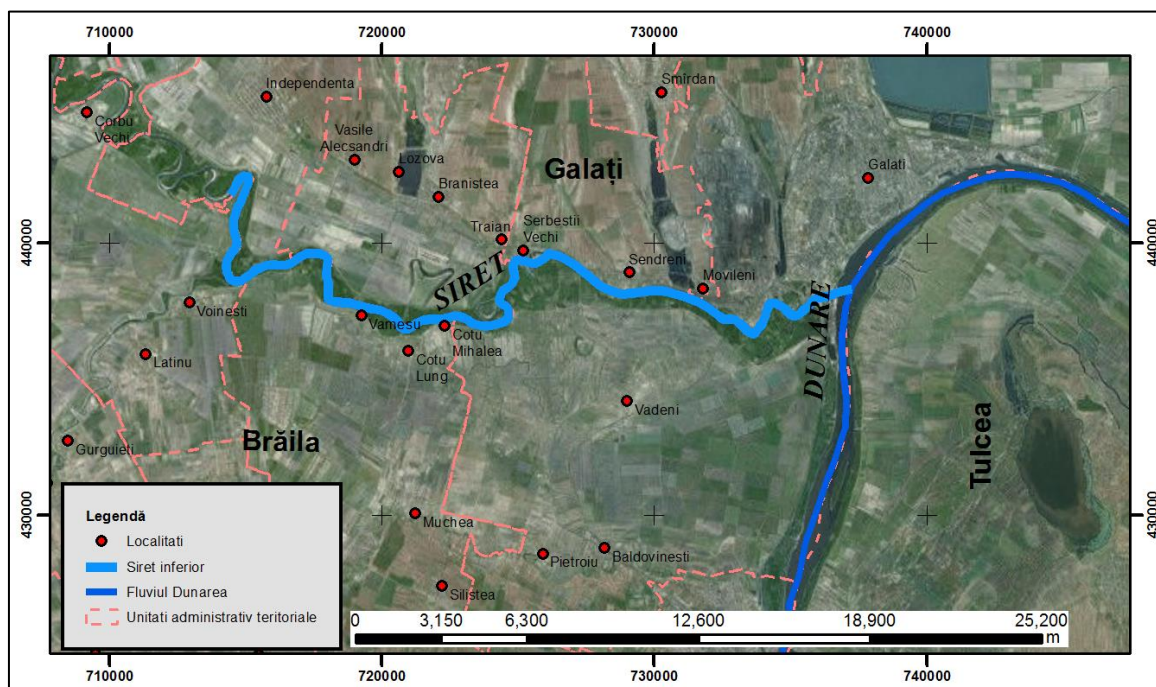


Figura 3.38. Zona de studiu situată la confluența râului Siret cu fluviul Dunărea

3.2.2 Măsurători topo-batimetrice pe râul Siret

Măsurătorile topo-batimetrice au fost efectuate din aval în amonte conform metodelor experimentale descrise în subcapitolul 3.1 (figura 3.39).

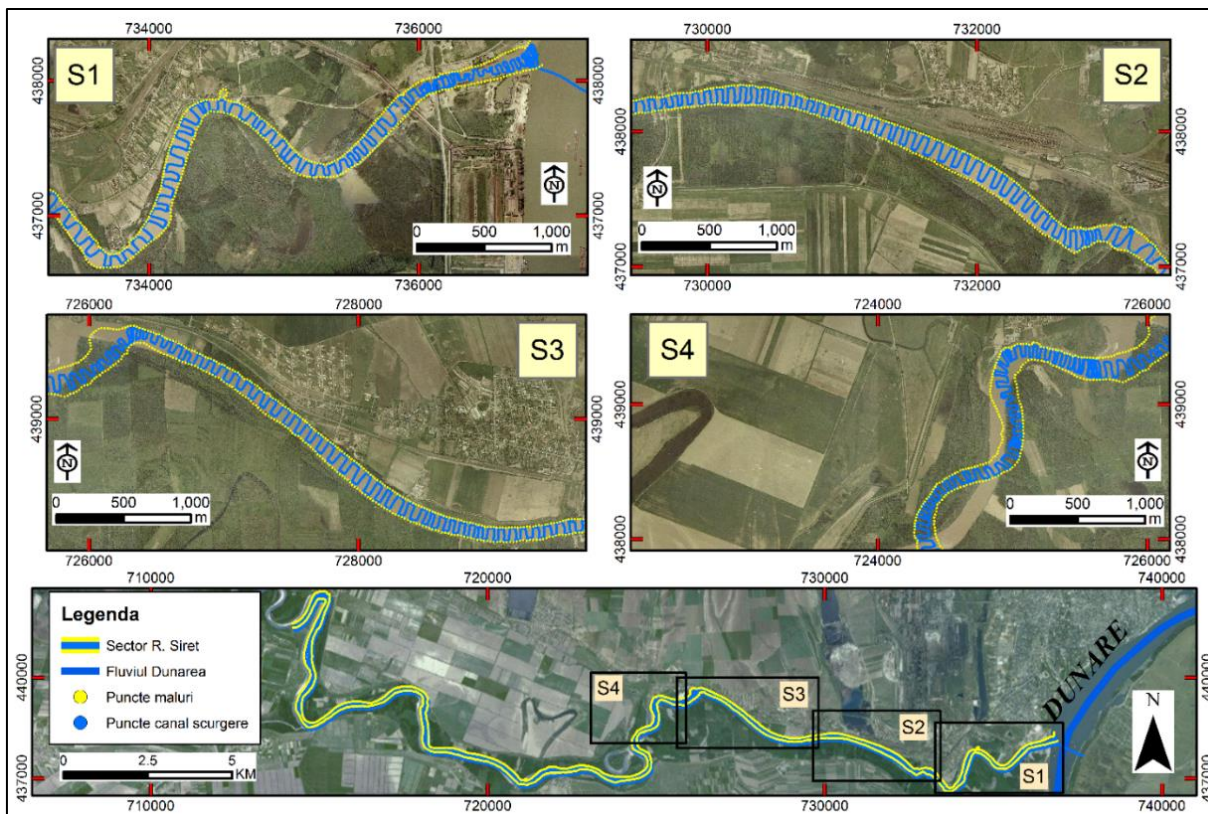


Figura 3.39. Colectarea datelor din teren în secțiunile S1 – S4 din amonte în aval

3.2.3 Modelul digital al terenului pe râul Siret, sector Dunăre – Șendreni – Independența

Modelul digital al terenului (MDT) reprezintă un produs utilizat pe scară largă și oferă o reprezentare tri-dimensională (X, Y, Z) a zonelor de teren studiate. În această lucrare de cercetare termenul de *MDT* poate fi definit ca „o reprezentare matricială regulată a variațiilor continue a unităților de relief în spațiu” (Burrough, 1986).

În urma colectării datelor topo-batimetrice și validării din punct de vedere a preciziei și calității acestora a fost generat un model digital prin metoda de interpolare *Topo to Raster*, cu ajutorul extensiei *3D Analyst Tools* al programului geografic informatic ArcGIS. Această metodă are la bază programul ANUDEM dezvoltat de Hutchinson (1988, 1989, 1996, 2000, 2011).

În figura 3.40 sunt reprezentate 4 modele digitale ale terenului, obținute prin 4 metode de interpolare diferite (IDW, RBF, Kriging, Topo to Raster), pentru o secțiune de 1500 m a sectorului de râu ales pentru dezvoltarea cercetării.

Analizând în detaliu modelele digitale obținute putem observa ca MDT-ul obținut prin metoda de interpolare Topo to Raster are o reprezentare grafică mult mai lină și plată, cu elemente de sinuozitate mai redusă.

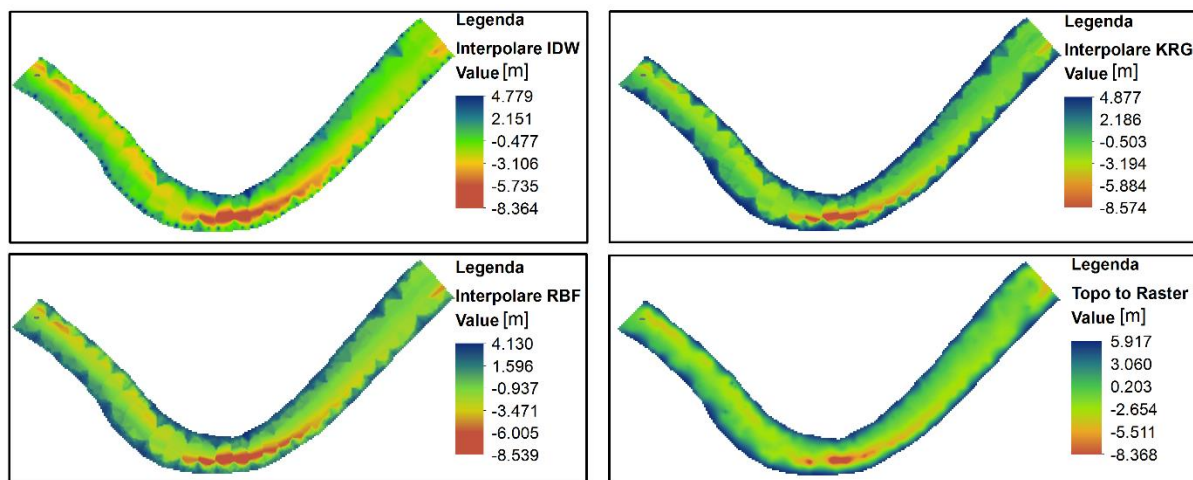


Figura 3.40. Model digital al terenului utilizând metode de interpolare diferite

Din prelucrările statistice ale datelor au fost obținuți următorii coeficienți de determinație:

Metoda IDW – $R^2=0.9589$; Metoda RBF - $R^2=0.9469$;

Metoda KRG - $R^2=0.9694$; Metoda Topo To Raster - $R^2=0.9728$

Astfel, modelul digital al terenului pentru albia minoră a râului are la bază metoda de interpolare Topo to Raster.

3.2.4 Combinarea MDT-urilor multiple

Realizarea simulărilor hidrologice pe râul Siret necesită generarea unui model 3D combinat a zonei de studiu, format din modelul digital al terenului pentru albia minoră și modelul digital al albiei majore. Modelele 3D combinate pot fi obținute cu ajutorul imaginilor satelitare (SRTM – figura 3.41, a; ASTER – figura 3.41, b), prin scanare laser (LIDAR – figura 3.41, c), sau prin măsurători topografice directe. Modelului 3D combinat al terenului utilizat în cercetare a fost compus din combinarea MDT-ului topobatimetric al albiei minore cu MDT-ul LIDAR al albiei majore. Acesta a avut la bază compararea unui profil transversal obținut din cele 4 metode de combinații posibile (figura 3.42).

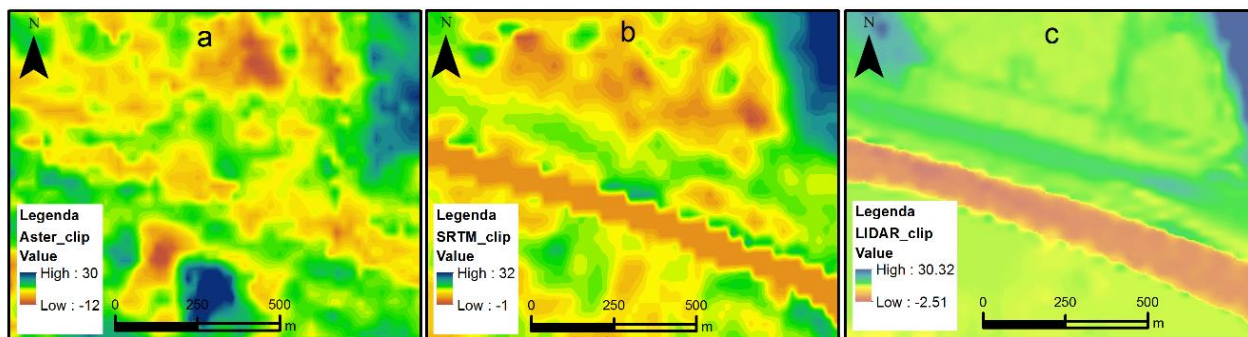


Figura 3.41. Exepmlu de imagine ASTER – a, SRTM – b, LIDAR – c, pentru un sector de râu din zona totală de studiu

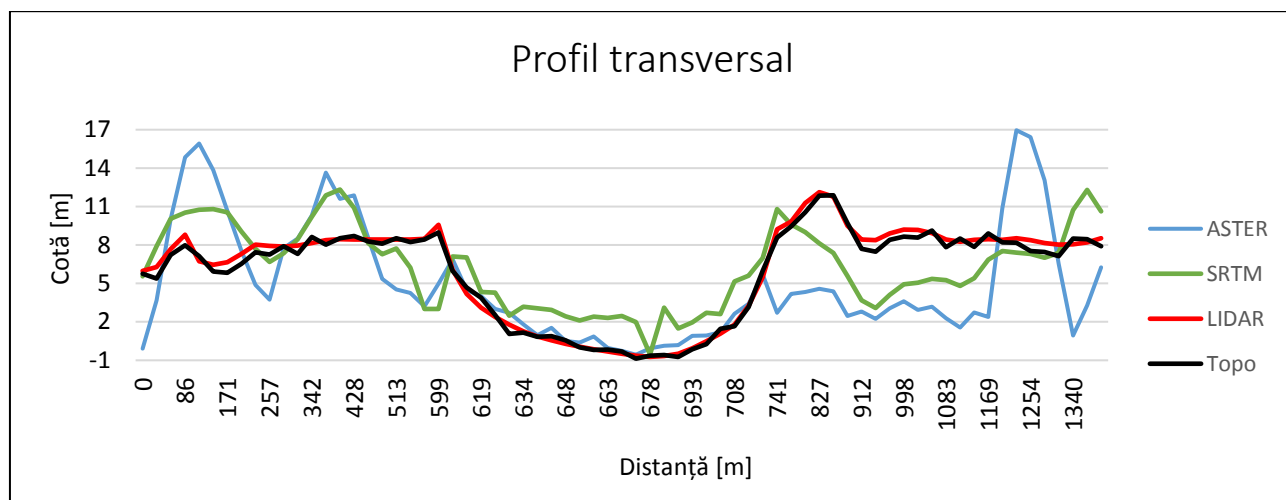


Figura 3.42. Profil transversal generat din 4 surse diferite pentru aceleași puncte planimetrice

3.2.5 Modelul geometric HEC-RAS pentru râul Siret, sector Dunăre-Șendreni-Independența

În urma definirii MDT-ului final, care a fost obținut prin combinarea MDT-urilor multiple, bazate pe diferite tipuri de măsurători topografice, batimetrice și satelitare, acesta este utilizat pentru definirea geometriei pentru râul Siret, sectorul Dunăre-Șendreni-Independența. După cum este menționat în lucrarea Dysarz et al. (2017) și Bates et al. (2005), definirea modelului geometric al râului pentru generarea simulărilor hidraulice, are la bază construirea corectă a acestuia în funcție de secțiunile transversale, create prin interconectivități.

Pentru zona de studiu aleasă (figura 3.43), secțiunile transversale au fost construite ținând cont de următoarele elemente, descrise în Manualul Hidraulic de Referință HEC-RAS (HEC-RAS Hidraulic Reference Manual, 2010):

- Secțiunile transversale au fost definite la distanțe aproximativ egale de-a lungul cursului râului, iar în zonele unde există poduri, scăderi accentuate de pantă, modificări de rugozitate sau în zonele unde meandrele sunt foarte sinuoase, secțiunile transversale au fost geometrizate la o distanță cât mai mic posibilă, astfel încât să descrie cât mai exact geometria canalului de scurgere;
 - Secțiunile transversale acoperă cel puțin lățimea râului și a zonei de inundabilitate;
 - Secțiunile transversale au fost definite perpendicular pe canalul de scurgere al râului, pe cât posibil, atât în partea stângă, cât și în partea dreaptă a malurilor, fără ca acestea să se intersecteze.

Având în vedere că lățimea medie a suprafeței umede a râului este de 100m, rezultă că distanța calculată aproximativă între două secțiuni transversale este de 200m. Această distanță variază în funcție de geometria râului, având valori mai mici în zonele cu meandre și valori mai mari în zonele mai liniare.

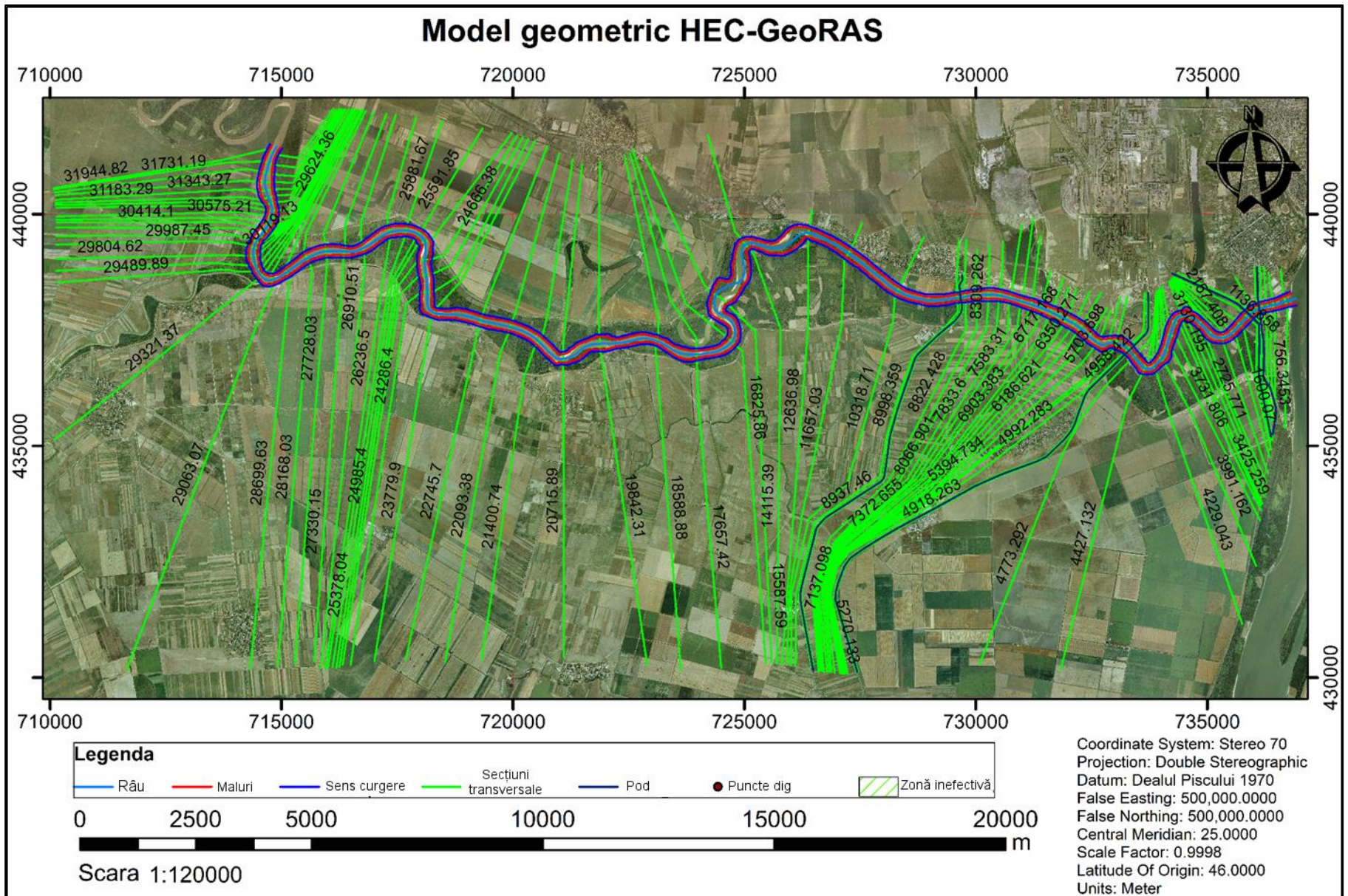


Figura 3.43. Modelul geometric pentru sectorul de râu studiat realizat în ArcGIS cu ajutorul unelii HEC-GeoRAS

3.2.6 Rugozitatea terenului

Valorile rugozității terenului reprezintă unul din aspectele importante în orice modelare hidraulică. În realitate rugozitățile sunt aproape imposibil de determinat prin măsurători în teren, de aceea rugozitățile, de obicei, sunt estimate din surse alternative, cum sunt hărțile pedologice, ortofotoplanurile sau imaginile satelitare LANDSAT. Pentru a atinge rezultate satisfăcătoare în literatură au fost modelate diferite combinații ale valorilor rugozității (Limerinos, 1970; Arcement și Schneider, 1989; Schumann et al., 2007). În această cercetare, în baza caracteristicilor fizice a albiei minore și majore au fost utilizate 8 clase de rugozități prezentate în tabelul 3.2.

Tabel 3.2. Coeficientii n de rugozitate (Te Chow, 1959)

Categorie	Descriere	Minim	Normal	Maxim
1. Albia minoră				
	a. Nisipos-argilos, multiple meandre, bancuri, pietre rare	0.030	0.050	0.070
2. Albia majoră				
	a. Pășune	0.030	0.035	0.050
	b. Iarbă scurtă	0.035	0.040	0.045
	c. Teren arabil	0.033	0.045	0.055
	d. Tufăriș	0.070	0.110	0.160
	e. Arbori deși, cioturi, crengi rupte	0.080	0.120	0.140
	f. Arbori foioși, salcii, frunze dese pe timp vara	0.110	0.150	0.200
3. Zone urbane				
	a. Asfalt, drum pavat	0.012	0.015	0.020

În baza ortofotoplanului disponibil (figura 3.44), a fost generată o hartă cu 8 clase de rugozități diferite descrise în tabelul 3.2. Rezultatul delimitărilor teritoriale pentru stabilirea coeficienților de rugozitate este evidențiat prin rampă de culori și reprezentat în figura 3.45. Distribuția coeficienților de rugozitate este reprezentată în format raster în figura 3.46.

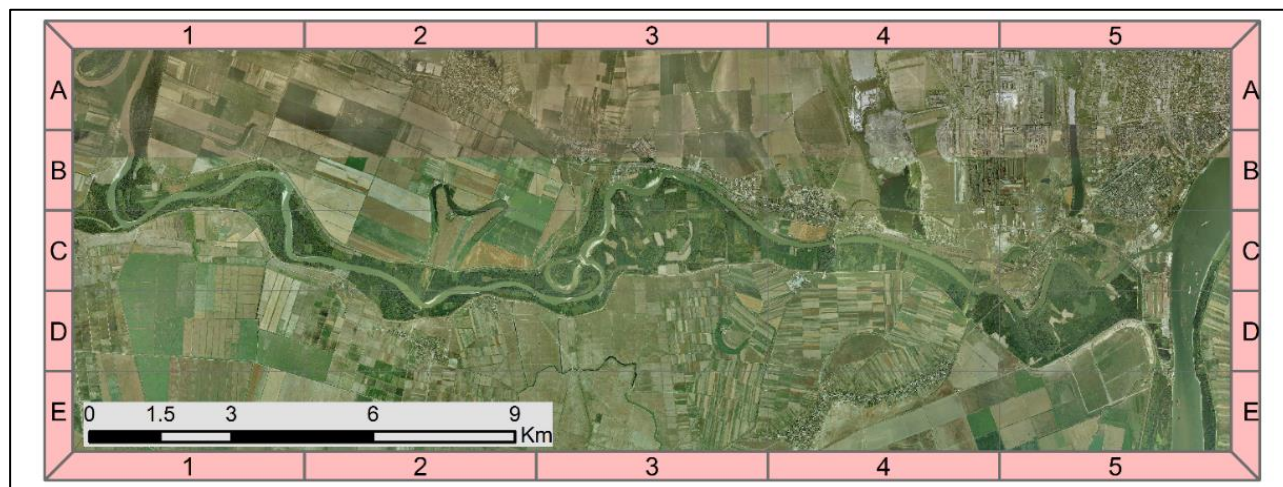


Figura 3.44. Ortofotoplan de precizie 0.5 m, Galați – Brăila

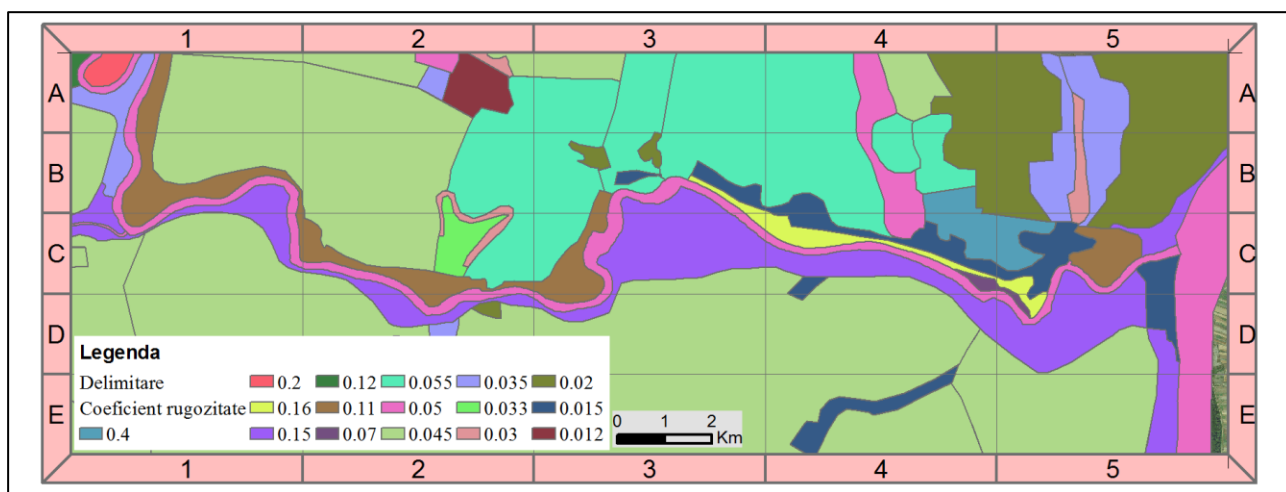


Figura 3.45. Delimitare suprafețe pentru atribuirea coeficienților de rugozitate

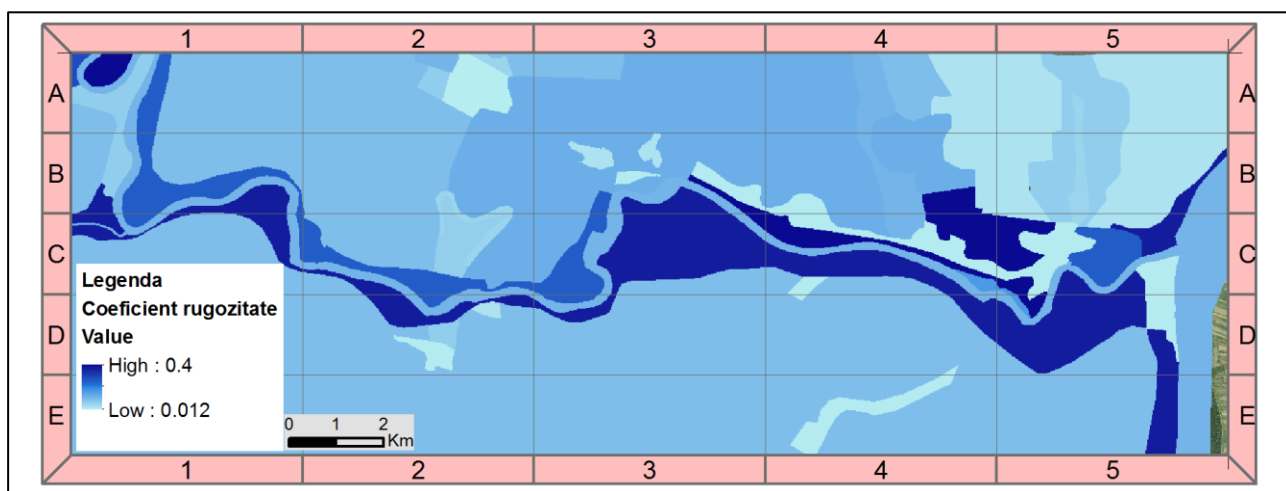


Figura 3.46. Harta rasterizată a distribuțiilor coeficienților de rugozitate

3.2.7 Poduri și structuri supraînălțate

Modelul hidraulic HEC-RAS este influențat din punct de vedere geometric și de structurile supraînălțate, cum sunt podurile sau linii transportoare ce traversează întreaga lățime de râu. Astfel pe lungimea de 35 de km de râu au fost identificate patru structuri supraînălțate, din care două structuri de tip pod cu destinație rutieră (figura 3.47 a, b), un pod cu destinație transport feroviar (figura 3.47 c) și o structură pe piloni cu destinație de bandă transportoare pentru combinatul metalurgic ArcelorMittal (figura 3.47 d).

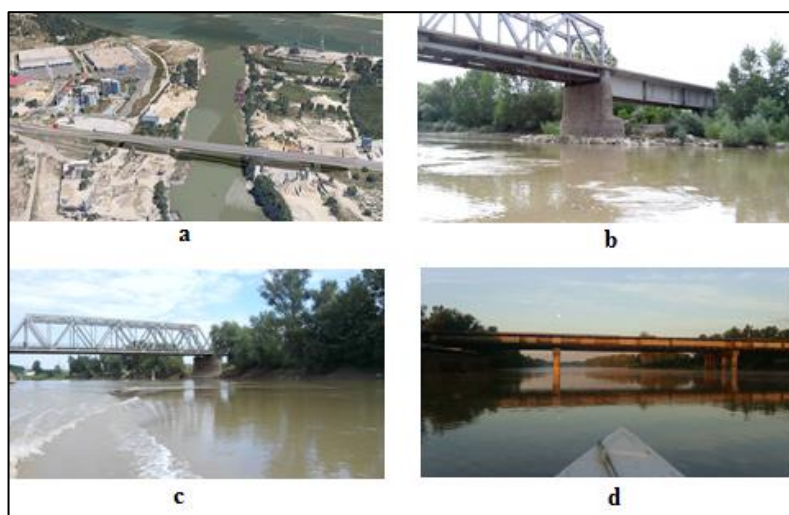


Figura 3.47. Structuri supraînălțate, a – pod rutier Galați-Brăila, b – pod rutier Șendreni, c – pod feroviar Barboși, d – bandă transportoare ArcelorMittal

Modelarea hidraulică în HEC-RAS este influențată de pierderile de energie în zonele unde există poduri, baraje sau alte structuri supraînălțate. Pentru determinarea pierderilor de energie trebuie luate în calcul următoarele caracteristici geometrice: secțiunile transversale din amonte și aval de structură; zona inefectivă în amonte și aval; deschiderea podului sau structurii construite.

$$h_{ce} = C \left| \frac{a_1 V_1^2}{2g} - \frac{a_2 V_2^2}{2g} \right| \quad (3.6)$$

unde: C – coeficientul de compactare sau expansiune.

Coeficienții de expansiune și compactare (expansion and compactation coefficients) influențează direct pierderile de energie în zonele inefective. În tabelul 3.3 sunt descrise valorile specifice ale coeficienților de compactare și expansiune pentru diferite tipuri de pierderi de energie.

Tabel 3.3. Coeficienți de compactare și expansiune [Brunner și Hunt, 1995]

Descriere	Coeficient Compactare	Coeficient Expansiune
Fără pierderi de expansiune	0.0	0.0
Pierderi treptate	0.1	0.3
Secțiuni transversale specifice pentru poduri	0.3	0.5
Pierderi rapide	0.6	0.8

3.2.8 Calibrarea modelului hidraulic HEC-RAS

În acest studiu de cercetare, datorită lipsei unui set de date complex asupra zonei de studiu, analiza și calibrarea modelului a fost limitată la compararea nivelelor de suprafață al apei rezultate din modelare cu nivele de suprafață găsite în literatură și teren. Acestea sunt bazate pe inundația majoră care a avut loc în anul 2005 (Murariu et al., 2010) (figura 3.48). Nivelul de suprafață al apei a fost înregistrat la stația hidrometrică Șendreni.

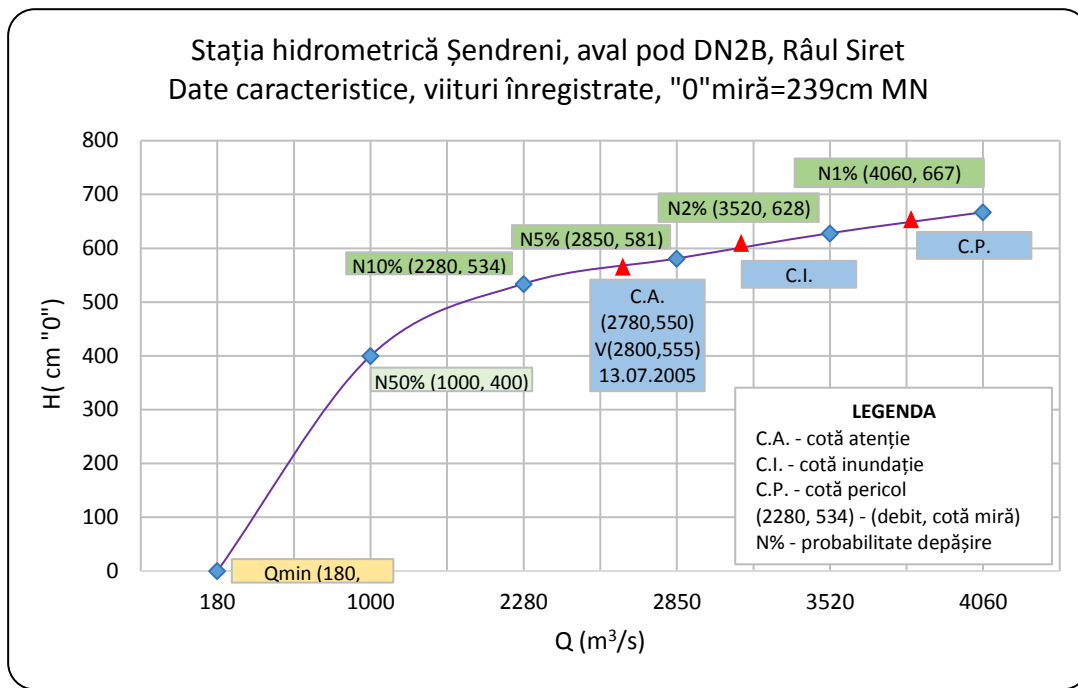


Figura 3.48. Valori înregistrate la mira hidrometrică Șendreni în timpul viiturii din anul 2005

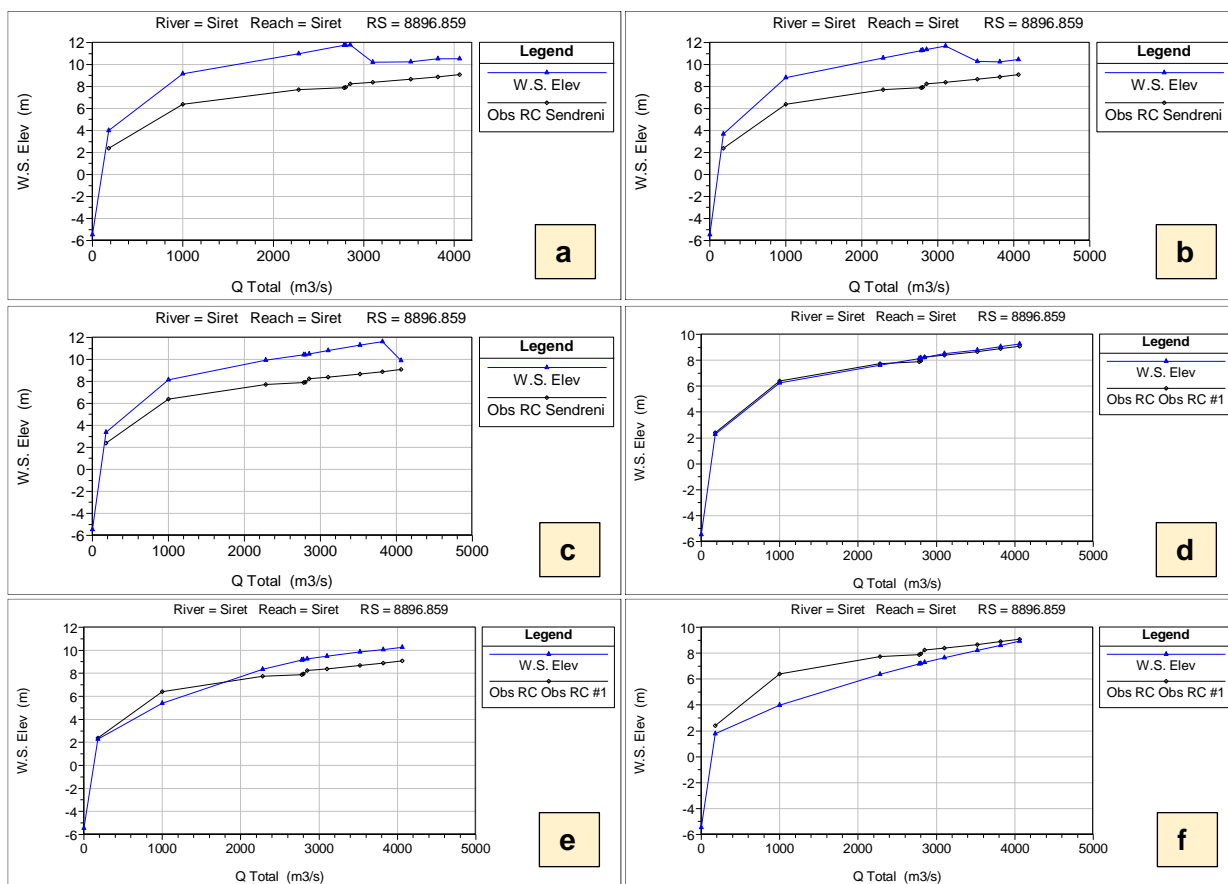


Figura 3.49. Calibrarea modelului în HEC-RAS funcție de rugozități: **a** – $n=0.07$; **b** – $n=0.06$; **c** – $n=0.05$; **d** – $n=0.04$; **e** – $n=0.03$; **f** – $n=0.02$

Calibrarea modelului a fost realizată prin modificarea coeficienților de rugozitate în albia minoră, în așa mod încât diferențele dintre cheia limnometrică măsurată și cheia limnometrică modelată să fie mai mici de 10 cm (figura 3.49).

3.2.9 Modelarea hidraulică HEC-RAS

Având în vedere importanța și scopul principal al cercetării asupra tehnicilor moderne GIS pentru determinarea riscurilor teritoriale, modelarea hidraulică reprezintă elementul cheie pentru realizarea scenariilor de inundabilitate pe râul Siret, sectorul Dunăre-Șendreni-Independența. În acest subcapitol vor fi prezentate rezultatele scenariilor de inundabilitate prin realizarea hărților de inundație, analiza comparativă a creșterii debitului și a comportamentului fizic al râului, prin precizarea nivelelor de suprafață al apei în diferite profile importante, viteza de deplasare a apei în profil și alte caracteristici specifice modelării hidraulice.

Conform „**Directivei 2007/60/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 23 octombrie 2007 privind evaluarea și gestionarea riscurilor de inundații**” hărțile de hazard ce sunt realizate acoperă zone geografice care ar putea fi inundate în următoarele cazuri:

- a) Inundații cu probabilitate mică sau în cazuri extreme – N 0.1% = inundații care se pot produce o dată la 1000 de ani;
- b) Inundații cu probabilitate medie – N 1% = inundații care se pot produce o dată la 100 de ani;
- c) Inundații cu probabilitate mare – N 2% inundații care se pot produce o dată la 10 de ani.

În urma studiului efectuat asupra probabilității de depășire de Murariu et al., 2010 sunt descrise următoarele probabilități de depășire în stația hidrometrică Șendreni, care au stat la baza realizării scenariilor de inundabilitate:

- 1) N10% - debit 2280 m³/s, nivel miră = 534cm, „0 miră” = 239cm;
- 2) N5% - debit 2850 m³/s, nivel miră = 581cm, „0 miră” = 239cm;
- 3) N2% - debit 3520 m³/s, nivel miră = 628cm, „0 miră” = 239cm;
- 4) N1% - debit 4060 m³/s, nivel miră = 667cm, „0 miră” = 239cm;

Nivelul maxim rezultat în urma modelării pentru probabilitatea de depășire de 1% este de 13.57m determinat pentru profilul transversal 31731m. Nivelul de suprafață își modifică tendința de creștere în partea aval a râului, unde cotele terenului se micșorează.

În figura 3.50 este reprezentată histograma frecvențelor apariției variabilelor ce descriu cotele pentru nivelul de suprafață al apei, cotele punctelor digurilor pe malul drept și stâng, pentru scenariul de inundabilitate de N1%.

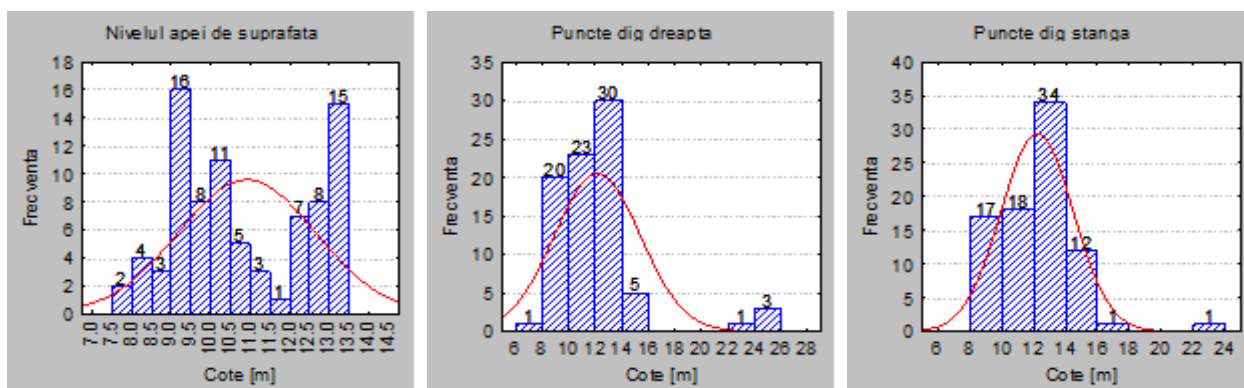


Figura 3.50. Histograma frecvențelor de apariție a valorilor cotelor pentru nivelul de suprafață al apei, puncte dig dreapta - stânga

Pentru atingerea scopului principal al lucrării au fost realizate hărți de inundabilitate pentru mai multe debite (figura 3.51, figura 3.52).

Hărțile de hazard la inundații sunt necesare pentru obținerea unor informații asupra extinderii suprafețelor inundate. Analizând figura 3.51-a se observă că un debit de $500\text{m}^3/\text{s}$ este un debit relativ mic pentru sectorul de râu analizat. Suprafața totală acoperită cu apă este de 393 ha. Dacă comparăm rezultatele obținute în urma modelării pentru debitul $Q=1000\text{m}^3/\text{s}$ se observă că în unele zone, în special cele cu meandre foarte sinuoase se înregistrează o creștere a nivelului de suprafață al apei (figura 3.51-b, marcajul roșu). Astfel suprafața acoperită cu apă crește cu 61.5 ha.

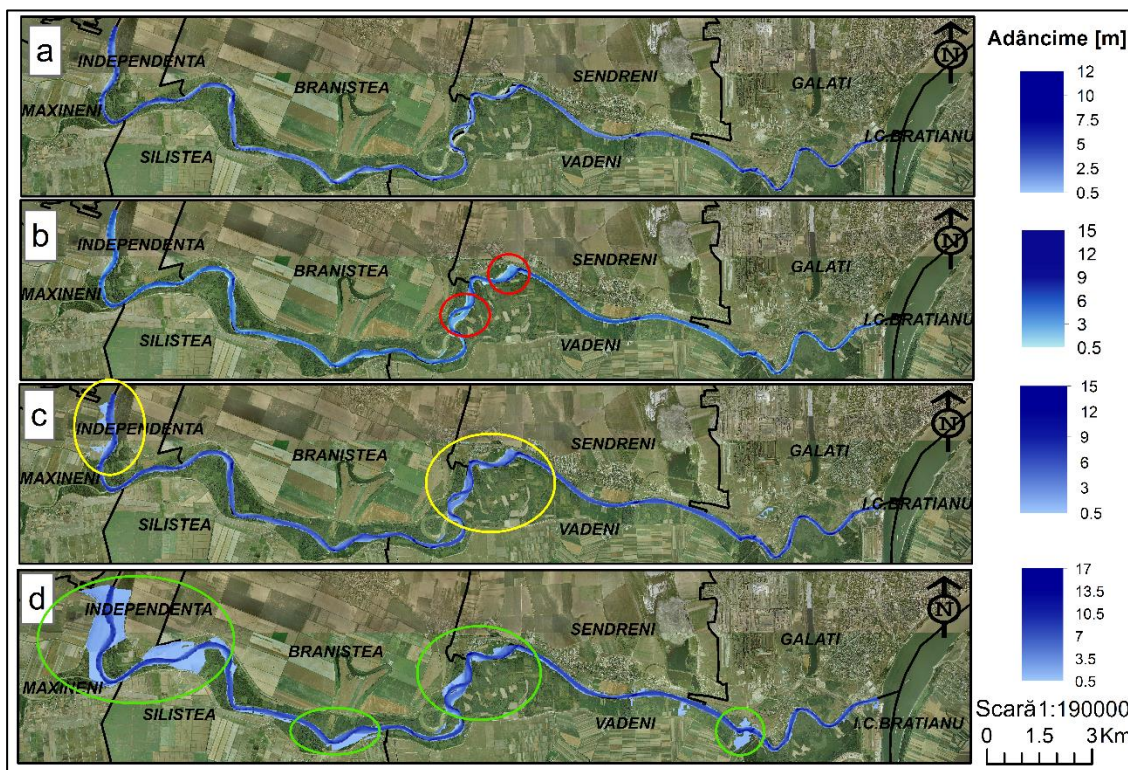


Figura 3.51. Scenarii inundabilitate și adâncimea apei: **a** – debit $Q=500\text{m}^3/\text{s}$, **b** – debit $Q=1000\text{m}^3/\text{s}$, **c** – debit $Q=1500\text{m}^3/\text{s}$, **d** – debit $N10\%$ $Q=2280\text{m}^3/\text{s}$

Pentru debitul specific de $1500\text{m}^3/\text{s}$ apar zone în care nivelul apei depășește cota malurilor, dar nu și cea a digurilor de protecție (figura 3.51-c, marcajul galben), astfel înregistrându-se o creștere a suprafeței acoperite cu apă de aproximativ de două ori mai mare decât pentru debitul $Q=500\text{m}^3/\text{s}$.

O dată cu creșterea debitului până la debitul cu probabilitate de depășire N10% - $2280\text{m}^3/\text{s}$, rezultatul modelării hidraulice este reprezentat de zone în care nivelul apei depășește cota malurilor și acestea se măresc ca suprafață (figura 3.51-d, marcajul verde), aceasta fiind de 861 ha.

În figura 3.52 sunt reprezentate rezultatele modelării pentru debite cuprinse între $2500\text{m}^3/\text{s}$ și $4060\text{m}^3/\text{s}$. După cum se observă pentru debitul $Q=4060\text{m}^3/\text{s}$ (figura 3.52-d) scenariul de inundabilitate cuprinde aproape toată zona de studiu analizată, având o suprafață totală acoperită cu apă de aproximativ 15500 ha.

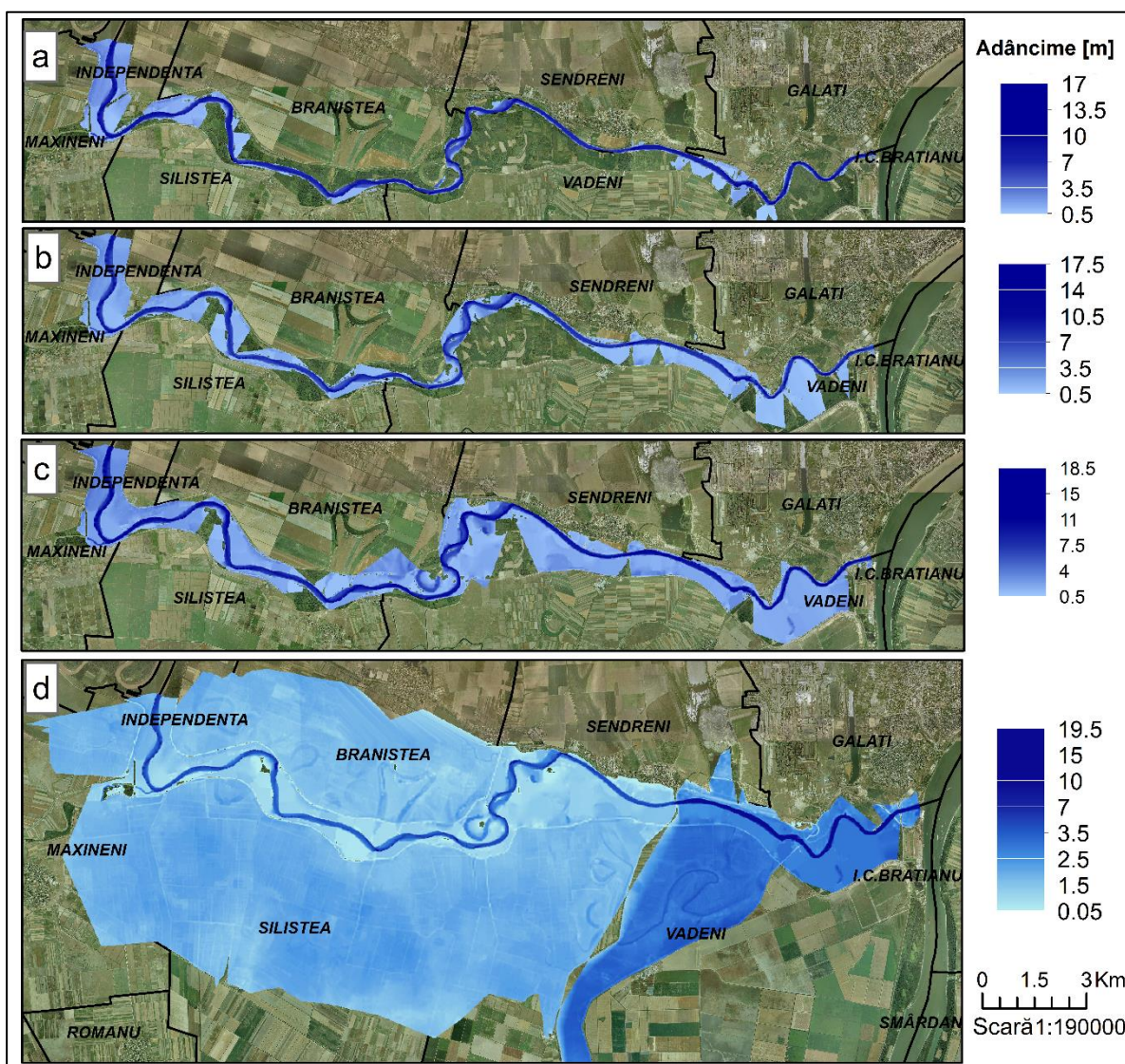


Figura 3.52. Scenarii de inundabilitate și adâncimea apei: **a** – debit $Q=2500\text{m}^3/\text{s}$, **b** – debit N5% $Q=2850\text{m}^3/\text{s}$, **c** – debit N2% $Q=3520\text{m}^3/\text{s}$, **d** – debit N1% $Q=4060\text{m}^3/\text{s}$

În urma efectuării modelărilor hidraulice pe sectorul de râu studiat, au fost extrase și analizate zonele inundate la diferite debite de apă. În figura 3.53 sunt reprezentate localitățile inundate în cazul unui scenariu cu probailitate N1%.

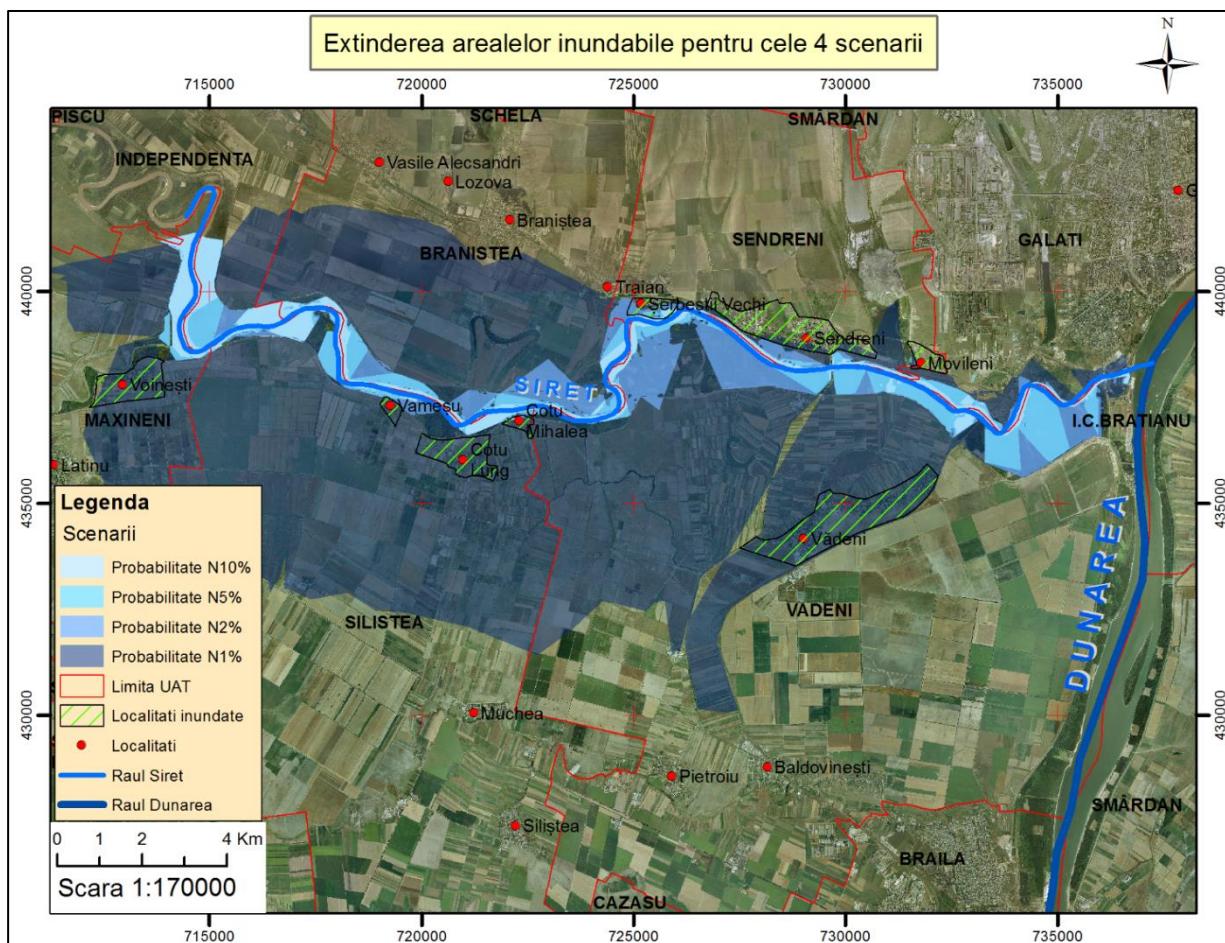


Figura 3.53. Scenarii de inundabilitate ce se pot produce odata la 10ani, 20ani, 50ani și 100 ani

Din motiv că modelul digital al terenului acoperă doar o parte din albia majoră a sectorului de râu studiat, unele localități care se află în albia majoră nu au fost cuprinse în modelare, dar acestea având la rândul lor un risc mic spre mediu de inundabilitate.

Conform **Directivei 2007/60/EC** acest scenariu modelat reprezintă o probabilitate cu risc mediu, iar cel de 0.1% - un risc ridicat. În funcție de adâncimile rezultate din modelările efectuate, au fost reclasificați pixelii specifici pentru adâncimi, în 3 clase: clasa 1 mai mici de 0.5 m – risc mic, clasa 2 cuprinsă între 0.5 m – 1 m – risc mediu, clasa 3 mai mari de 1.5 m – risc mare. Figura 3.54 reprezintă imaginea rasterizată pe categorii de clase de risc a localitatilor ce pot fi supuse unui risc mediu de N1%.

În urma elaborării hărților de risc și hazard au fost analizați indicatorii statistici ce descriu populația, patrimoniul cultural existent, drumuri, numărul de localități, dispuse în zona cu risc potențial mediu. În zona de studiu asupra căreia a fost făcută cercetarea locuiesc aproximativ 9500 locuitori expuși riscului la inundații, repartizați în 8 localități.

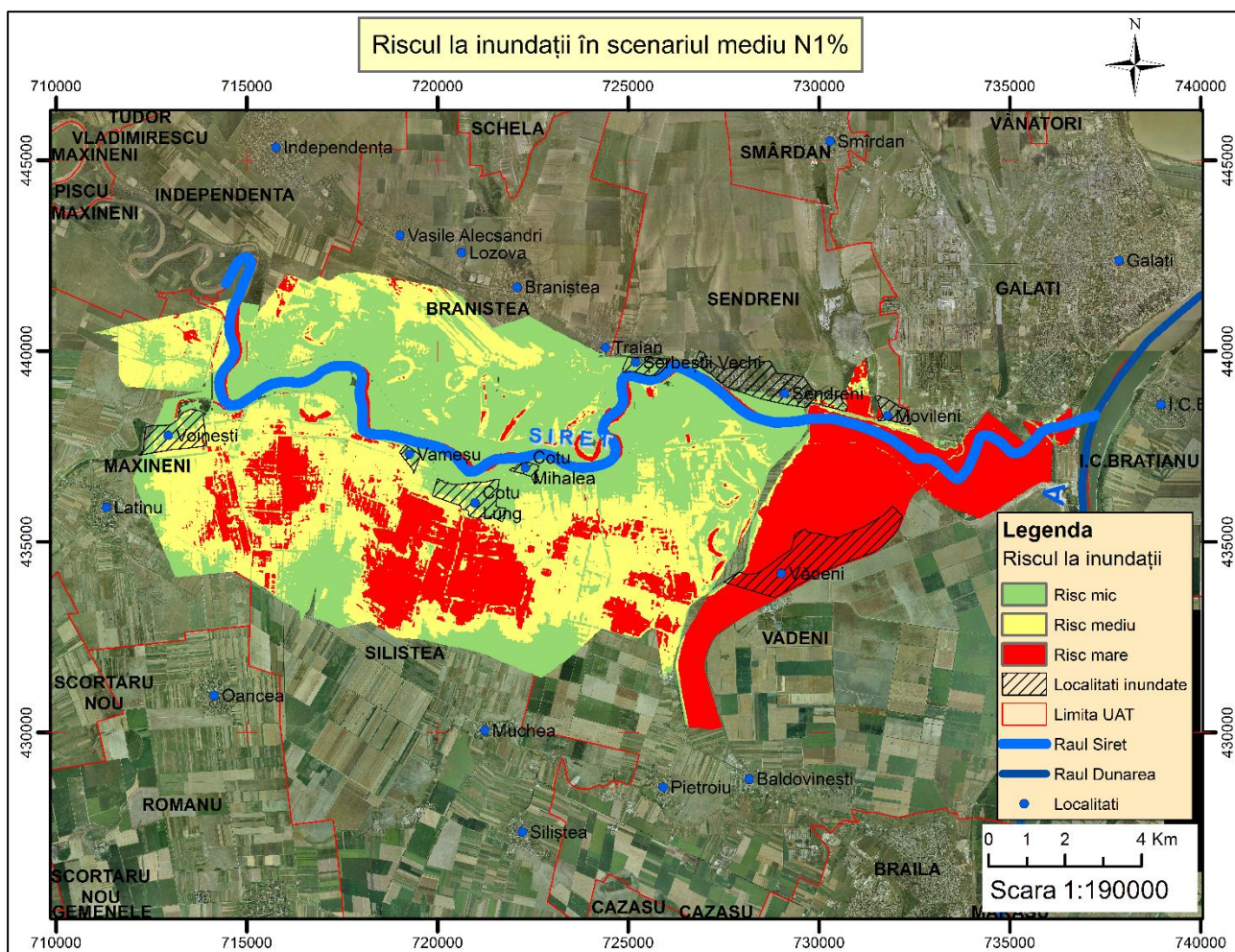


Figura 3.54. Riscul la inundații pentru scenariul cu probabilitate de depășire odata la 100 ani

Conform **Directivei 2007/60/EC** o categorie importantă care afectează economia Statelor Membre sunt consecințele inundațiilor asupra infrastructurii. În urma calculului distanțelor pentru fiecare categorie de drumuri, au rezultat 6 km de drum european și 9 km de drum național, 2 km de drum județean, 2.5 de km drum comunal, ce pot fi supuși riscului mediu la inundație.

Un alt element important îl reprezintă patrimoniul cultural. Acesta este la fel un element critic pe care **Directiva Inundații** o impune spre evaluare tuturor Statelor Membre. În acest sens, în zona de studiu au fost identificate 7 biserici și 1 catedrală, un muzeu și un monument cultural, care pot fi afectate în urma unor inundații cu probabilitate de apariție odată la 100 de ani.

O altă serie de indicatori-cheie este reprezentată de consecințele ce le pot avea inundațiile asupra mediului înconjurător. În acest sens au fost identificate mai multe tipuri de zone protejate (figura 3.55): 1 arie de protecție specială avifaunistică (ROSPA0071) cu cele două trupuri, Pădurea Neagră și Pădurea Dumbrăvița, 1 sit de importanță comunitară (ROSCI0162), 1 rezervație de interes național (RONPA042) - Balta Potcoava (figura 3.90). Toate 3 zone protejate se regăsesc în zona inundabilă a Siretului inferior (zona de studiu) și ocupă o suprafață totală de aproximativ 4725 ha.

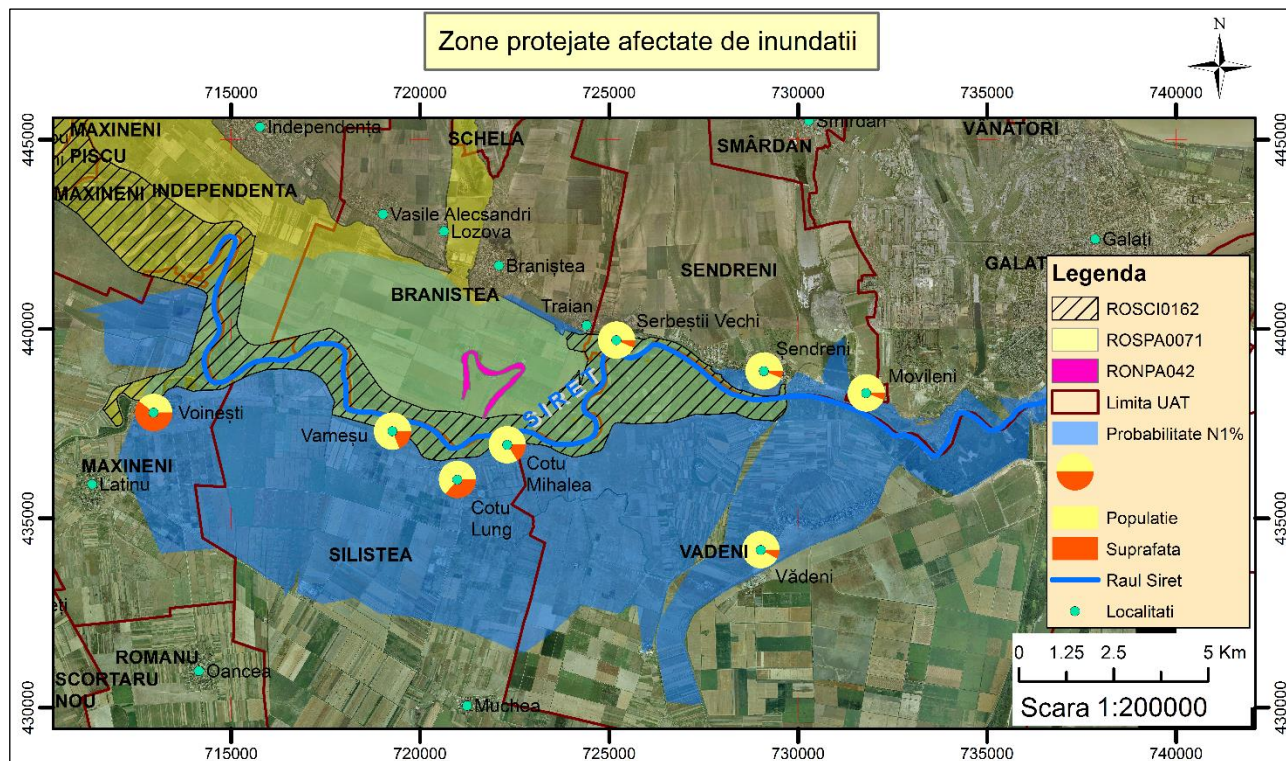


Figura 3.55. Zone protejate ce pot fi afectate de inundație odată la 100 de ani

Capitolul 4. Concluzii, contribuții personale și direcții de cercetare

Prezenta teză de doctorat are drept scop, abordarea în comun a diferitor tehnici și metode inginerești, pentru realizarea hărților de hazard și risc la inundații în zona cursului inferior a râului Siret. Aceasta este posibil prin utilizarea unor echipamente de măsurare moderne din domeniul topografiei, batimetriei, aerofotogrametriei cât și utilizarea tehnicilor GIS-CAD moderne pentru prelucrarea imaginilor satelitare și datelor brute obținute din măsurătorile din teren.

4.1 Concluzii și contribuții personale

În urma cercetării efectuate asupra tehnicilor GIS de determinare a riscurilor teritoriale, au rezultat următoarele concluzii:

1) Măsurătorile topografice și geodezice au un rol important în determinarea coordonatelor planimetrice și altimetrice a punctelor topografice.

Majoritatea inginerilor care utilizează un echipament topografic neglijează în timpul măsurătorilor valorile parametrilor atmosferici reali, efectuând măsurători cu valorile implicite ale stației, astfel obținând rezultate eronate. Luând în considerare acest lucru a fost adus un aport științific

considerabil prin efectuarea măsurătorilor de distanțe, în scopul de a determina influența parametrilor atmosferici asupra distanțelor măsurate cu stația totală topografică. Parametrul critic, *temperatura atmosferică*, influențează direct distanța măsurată cu ajutorul stației totale. Distanțele măsurate cu valoarea temperaturii actualizate, se pot modifica cu 10 cm pe o lungime de 100 m, la o diferență de temperatură de 10 °C. Ceilalți 2 parametri analizați, și anume, *umiditatea relativă a aerului* și *presiunea atmosferică*, nu au efect semnificativ asupra măsurătorilor de distanțe, doar în cazul în care se observă modificări bruște a acestor parametri.

Variația valorii temperaturii atmosferice influențează indicele de refracție și distanța măsurată cu aproximativ 10ppm, în condițiile determinării acestuia cu o precizie de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Astfel, cunoașterea în detaliu a comportamentului stației totale din punct de vedere a parametrilor atmosferici este necesară pentru obținerea unor rezultate de precizie, și utilizarea corectă a echipamentelor topografice în calculul coordonatelor absolute ale punctelor măsurate în teren.

2) În urma studiului preliminar realizat cu ajutorul tehnologiilor UAV am ajuns la concluzia că, în prezent, dronele reprezintă unul dintre cele mai accesibile echipamente utilizate în diverse domenii. Cu ajutorul acestora pot fi obținute rezultate experimentale pentru diverse domenii.

O contribuție personală în cadrul cercetării în ansamblu a fost realizată prin studiul elaborat cu ajutorul dronei X8-M de tip multi-rotor, din dotarea laboratorului, care a avut drept scop demonstrarea că echipamentele UAV pot înlocui măsurătorile topografice în teren și oferă un avantaj din punct de vedere a rapidității lucrului efectuat cu postprocesare mai ușoară și rapidă. Avantajul dronei X8-M este echiparea acesteia cu toate modulele necesare pentru efectuarea zborurilor în mod automat pentru capturarea fotogramelor, necesare realizării ortofotoplanurilor de precizie. Precizia ortofotoplanurilor generate cu ajutorul echipamentului UAV utilizat, este de ordinul 5-10 cm în plan orizontal, iar modelele digitale de elevație au o precizie de 10-15 cm în plan vertical.

3) O concluzie importantă este dată de rezultatele obținute în urma studiului premergător realizat asupra tehnicilor din domeniul teledetecției și aplicabilității acestora în determinarea riscurilor și hazardelor produse de inundații.

Un aspect original în această cercetare este dat de metoda de utilizare a teledetecției, în special a imaginilor satelitare, pentru a obține rezultate geospațiale asupra a două evenimente produse în urma hazardului produs de inundații, din perioada verii anului 2010, în două zone de studiu diferite.

Avantajul utilizării acestei metode de analiză este dată de rapiditatea de lucru pentru suprafețe extinse. Utilizarea imaginilor satelitare înlocuiesc măsurătorile din teren, care necesită un efort semnificativ și o echipă de lucru numeroasă. Metoda de analiză prezentată în subcapitolul 3.1.3 este o introducere a unei abordări noi de cartografiere a benzilor de inundabilitate și pagubelor produse de acestea, în domeniul științelor inginerești.

4) Măsurătorile batimetrice realizate în cadrul studiului preliminar descris în subcapitolul 3.1.4 reprezintă etapa cea mai importantă în atingerea scopului principal al lucrării, și anume, pentru generarea hărților de risc și hazard la inundații, pentru diverse scenarii de inundabilitate, pe cursul inferior al râului Siret.

Aceste determinări efectuate pe un lac (care este zonă cu acoperire cu apă stătătoare) au condus la concluzia că obținerea unui model batimetric al albiei este posibilă doar prin determinarea coordonatelor planimetrice și altimetrice a fundului lacului. Colectarea punctelor din teren pe un traseu combinat (transversal, longitudinal și în zig-zag) face ca gridul de măsurători să fie cât mai uniformizat și astfel crește și densitatea punctelor colectate.

În concluzie, pot menționa că în cazul realizării măsurătorilor batimetrice pe ape stătătoare (lac, acumulări de ape), punctele pot fi interpolate prin metoda SKRG, iar în cazul măsurătorilor SBES pe cursuri de ape curgătoare (râu, fluviu) punctele trebuie interpolate prin metoda TopoToRaster, deoarece modelul batimetric obținut are o reprezentare mult mai lină și plată, cu sinuozități reduse și un factor de determinație a valorilor măsurate cu cele interpolate de $R^2=0.94$.

5) Cercetările efectuate asupra tehnicilor și metodelor moderne GIS pentru evaluarea și determinarea riscurilor și hazardelor teritoriale, reprezintă un ansamblu de lucrări, realizate cu precizie ridicată, atât din punct de vedere a colectării datelor brute, cât și a prelucrării acestora în laborator.

Realizarea MDT-ului pentru albia majoră a râului Siret și albia minoră, pentru cursul inferior (Dunăre – Șendreni – Independența) obținut prin combinarea tehnicilor aeropurtate LIDAR sau UAV cu cele de la sol – batimetrie și topografie reprezintă un MDT unic și nou pentru această zonă. Acesta generează un rezultat cu factor de determinație $R^2=0.98$. Acest element contribuie în proporție de 90% la obținerea unor rezultate corecte în urma modelărilor și simulărilor hidraulice făcute. Precizia măsurătorilor topografice și batimetrice trebuie să fie de 1-10 cm în plan orizontal și 5-15 cm în plan vertical, pentru a realiza un model digital de elevație de precizie.

6) Un parametru critic în definirea cu precizie a elementelor geometrice pentru modelarea hidraulică în HEC-RAS, îl reprezintă modelul digital de elevație rezultat. Elementele geometrice cheie pentru modelul hidraulic sunt reprezentate de secțiunile transversale care sunt dispuse la o lățime de aproximativ 2 x 1 lățime de râu (B), în cazul în care cursul râului este cu meandre sinuoase. Cursul inferior a râului Siret ce descrie zona de studiu aleasă, reprezintă un curs combinat, unde există și zone liniare, de aceea distanța dintre profilele transversale digitizate poate ajunge până la 2 x 10 lățimi de râu (B). În momentul în care, în albia minoră, există scăderi accentuate de pantă sau diferențe mari ale rugozității terenului, profilele transversale necesită o dispunere mai densă.

7) Rezultate obținute în urma modelării hidraulice în programul HEC-RAS sunt direct influențate de coeficienții de rugozitate Manning. Albia minoră a cursului inferior a râului Siret este caracterizată

în totalitate de un sol nisipos-argilos, cu multiple meandre și bancuri de nisip formate în urma deplasării sedimentelor, pietre rare ce își fac apariția doar în zonele unde au fost executate reabilitări sau amenajări ale malurilor de protecție, de aceea este pretabilă utilizarea unui coeficient de rugozitate de 0.040. Albia majoră are în componența sa categorii de teren diferite și de aceea coeficienții de rugozitate diferă de la o categorie la alta, fiind cuprinși între 0.012 și 0.10. Coeficientul de rugozitate reprezintă parametrul critic pentru calibrarea modelului HEC-RAS. Acesta trebuie ajustat în așa mod, încât diferențele dintre cheia limnometrică modelată și cheia limnometrică măsurată la mira hidrografică, să nu fie mai mari de 10-15 cm.

O abordare nouă în această teză de cercetare este atribuirea coeficienților de rugozitate în mod automat, în funcție de limitele poligoanelor ce caracterizează fiecare categorie de teren, digitizate în faza de elaborare a modelului geometric cu ajutorul programelor GIS.

8) Odată cu finalizarea calibrării modelului HEC-RAS am elaborat hărțile de hazard și risc la inundații în zona de studiu a cursului inferior a râului Siret. Analizând corelările obținute între viteza de curgere și puterea râului, se poate menționa că puterea râului este influențată direct de viteza de curgere a apei, dată prin rezultatul obținut în urma corelării a acestor doi indicatori de $R^2 = 0.7166$, în cazul unui debit maxim de 4060 m³/s. Din acest motiv, în unele zone, în special unde sinuozitatea râului este mai accentuată pot apărea de-a lungul timpului modificări bruște ale cursului de apă.

9) Realizarea hărților de risc și hazard au fost întocmite în conformitate cu *Directiva Inundații*, excepție făcând scenariul cu probabilitate de depășire N0.1%, pentru care nu am dispus de date istorice înregistrate. În total, la un risc mediu de producere a unui hazard odată la 100 de ani, sunt vulnerabili peste 9500 de locuitori, 19.5 km de infrastructură rutieră, 16.5 km de infrastructură feroviară, 8 elemente de patrimoniu social și 3 indicatori de mediu.

4.2 Direcții de cercetare

Prezenta cercetare reprezintă o cumulare de metodologii și tehnici GIS pentru determinarea riscurilor și hazardelor teritoriale. Aceste tehnici și metode sunt într-o continuă dezvoltare și pot fi tot timpul îmbunătățite, fapt pentru care propun următoarele direcții de cercetare:

a) Investigațiile realizate cu ajutorul metodelor de interpolare moderne *IDW, KRG, RBF și Topo to Raster* pot fi subsituite cu succes, și poate cu rezultate superioare, prin tehnici MAR, ce au la bază exploziva teorie a fractalilor, ce se dovedește utilă în tot mai multe domenii.

b) Ecuțiile clasice cu derivate parțiale ce stau la baza programelor software utilizate în capitolul 2, pot fi investigate ulterior, în opinia autorului Creutz et al. (2009), în scopul analizei prezentei teze, prin determinarea grupurilor de simetrii după metoda lui Peter Olver (1977, 2000).

c) Utilizarea pe aceeași zonă de studiu a unui echipament batimetric de tip multi-fascicol, fapt ce conduce la reducerea timpului de lucru în teren, utilizarea datelor în studiul transportului de sedimente și determinarea cu precizie a vitezelor de curgere a apei atât pe orizontală, cât și pe verticală. Datele obținute prin scanare multi-beam, asupra albiei minore, generează un rezultat ce este reprezentat de un număr mai mare de puncte, structurate într-un grid uniformizat, deoarece determinarea acestora este făcută printr-o scanare unghiulară continuă și o frecvență de măsurare până la 500 kHz într-un grid mai structurat.

d) Continuarea cercetărilor asupra morfologiei, morfometriei albiei minore și topografiei terenului a albiei majore pentru suplinirea bazelor de date geospațiale existente, compararea rezultatelor în timp/spațiu și predicția pe viitor a zonelor cu grad major de risc, la diverse hazarde naturale (alunecări de teren, incendii, defrișări, colmatări, eroziuni, inundații). Tot aici, pot menționa, că este necesară studierea influenței factorului antropic asupra schimbărilor morfologice și morfometrice a albiei minore și majore în zona de studiu, prin propunerea de măsuri necesare de atenuare a acestui fenomen pe termen lung.

e) La baza tuturor modelărilor hidraulice stă modelul digital al terenului. Astfel, pentru îmbunătățirea acestuia, pot fi utilizate echipamente de zbor fără pilot. Utilizând dronele de tip aripă, poate fi asigurată o determinare a punctelor topografice cu costuri reduse, atât din punct de vedere a echipei de lucru, cât și a prețului pentru un kilometru pătrat scanat. Un avantaj îl reprezintă și timpul de zbor a dronelor de tip aripă, care este de aproximativ 10 ori mai mare decât UAV-urile de tip elice, ceea ce oferă o acoperire totală a zonei de studiu, doar din câteva zboruri.

f) Optimizarea observațiilor asupra elementelor caracteristice din teren (infrastructură, poduri, zone împădurite, blocuri, zone industriale), amplasate în zona de cercetare, pot fi obținute și prin achiziționarea de imagini satelitare de precizie ($p = \pm 15$ cm). Aceste imagini pot fi utilizate pentru studiul comparativ, corelații între rezultate, care se pot constitui în concluzii pe termen lung.

g) Consider necesar, continuarea observațiilor pe cursul inferior a râului Siret, prin extinderea arealului de studiu, care să cuprindă și analiza morfometrică a râului Buzău, acesta având un aport de debit semnificativ în râul Siret, cât și a fluviului Dunărea, pentru a putea genera rezultate și concluzii cu privire la efectul „remuu” ce este prezent în zona de studiu.

h) Un element important este conlucrarea eficientă și fructuoasă între instituțiile și factorii de decizie din domeniu, astfel încât rezultatele obținute din cercetare să fie utilizate în suplinirea bazelor de date existente la nivel național și local. În așa mod, se poate ajunge la un schimb continuu de bune practici la nivel național și internațional, prin aplicarea metodologiei și tehnicilor respective, cu aceeași complexitate, în alte cercetări similare.

BIBLIOGRAFIE

- Adewumi, J. R., Akomolafe, J. K., Ajibade, F. O., & Fabeku, B. B. (2016). *Application of GIS and Remote Sensing Technique to Change Detection in Land Use/Land Cover Mapping of Igbokoda, Ondo State, Nigeria*. Journal of Applied Science & Process Engineering, 3(1).
- Adger, W. N. (2006). *Vulnerability*. Global environmental change, 16(3), 268-281.
- Ahmed, K., Shahid, S., & Harun, S. B. (2014). *Spatial interpolation of climatic variables in a predominantly arid region with complex topography*. Environment Systems and Decisions, 34(4), 555-563.
- Akel, N. A., Zilberstein, O., & Doytsher, Y. (2003, April). *Automatic DTM extraction from dense raw LIDAR data in urban areas*. In Proc. FIG Working Week.
- Apostol, L., & Machidon, O. (2011). *Considerations on the hail regime in Moldavia between the Siret and Prut rivers*. Aerul si Apa. Componente ale Mediului, 45.
- Arcement, G. J., & Schneider, V. R. (1989). *Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains*.
- Arseni, M., Georgescu, L. P., & Mugurel, E. C. (2015b). *Analysis of the influence of relative humidity on the accuracy of distance measurement with total stations*. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, 38(1), pp. 33 – 39
- Arseni, M., Georgescu, L. P., & Murariu, G. (2016). *Photogrammetric applications using UAV systems*. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, 39(1).
- Arseni, M., Georgescu, L. P., Circiumaru, A., & Mugurel, E. C. (2015a) *The influence of the atmospheric temperature value on the accuracy of distance measurement with the surveying total station*. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, 38(1), pp. 20 – 25
- Arseni, M., Roșu, A., Georgescu, L. P., & Murariu, G. (2016). *Single beam acoustic depth measurement techniques and bathymetric mapping for Catusa lake Galati*. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, 39(2).
- Arseni, M., Roșu, A., Nicolae A. F. , Georgescu L. P. & Constantin, D. E., (2017). *Comparison of models and volumetric determination for Catusa lake, Galati*. Tehnomus Journal New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies, pp. 67 – 72
- Barker, D. M., Lawler, D. M., Knight, D. W., Morris, D. G., Davies, H. N., & Stewart, E. J. (2009). *Longitudinal distributions of river flood power: the combined automated flood, elevation and stream power (CAFES) methodology*. Earth Surface Processes and Landforms, 34(2), 280-290.
- Bates, P. D., Horritt, M. S., Hunter, N. M., Mason, D., & Cobby, D. (2005). *Numerical modelling of floodplain flow* (pp. 271-304). John Wiley and Sons Ltd.: Chichester, UK.
- Bilașco, Ș., & Csaba, H. (2016). *Cartografierea digitală a benzilor de inundabilitate pe baza statisticii, a calculelor hidraulice și a analizei spațiale GIS*. Casa cărții de Știință, Cluj-Napoca 2016.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (2014). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge.
- Brunner, G. W., & Hunt, J. H. (1995). *A Comparison of the One-dimensional Bridge Hydraulic Routines from HEC-RAS, HEC-2 and WSPRO* (No. HEC-RD-41). HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER DAVIS CA.
- Brunner, G. W. (1995). *HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic User's Manual. Version 1.0*. HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER DAVIS CA.
- Buhmann, M. D. (2003). *Radial basis functions: theory and implementations*. Cambridge Monographs on Applied and Computational Mathematics, 12, 147-165.
- Burrough, P.A. (1986) *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. OUP, Oxford, Ch. 8 , Methods of interpolation, pp. 147-166.
- Cai, C., Gao, Y., Pan, L., & Dai, W. (2014). *An analysis on combined GPS/COMPASS data quality and its effect on single point positioning accuracy under different observing conditions*. Advances in Space Research, 54(5), 818-829.
- Calugaru, A., Anca, P. F., & Vasile, A. (2016, June). *3D cartography in urban environments for municipal administrations*. In 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON CARTOGRAPHY AND GIS (p. 725).
- Cambra, C., Sendra, S., Lloret, J., & Parra, L. (2016). *Ad hoc network for emergency rescue system based on unmanned aerial vehicles*. Network Protocols and Algorithms, 7(4), 72-89.
- Cărbureanu, M. (2010). *O metodă de analiză factorială aplicată în domeniul dezvoltării*. Analele Universității "Constantin Brâncuși" din Târgu Jiu, Seria Economie, Nr. 1/2010
- Chandra A.-M. (2005) *Surveying – Problem Solving with Theory and Objective Type Questions*, New Age International Publishers, New Delhi - 110002, 1

- Chen, H. (2016). *Monitoring tropical billabong water turbidity using Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) derived imagery* (Doctoral dissertation, Charles Darwin University).
- Childs, C. (2004). Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst. *ArcUser*, July-September, 3235, 569.
- Coburn, T. C., Yarus, J. M., & Chambers, R. L. (Eds.). (2005). *Stochastic modeling and geostatistics: principles, methods, and case studies*, vol. II, AAPG computer applications in geology 5 (Vol. 5). AAPG.
- Colomina, I., & de la Tecnologia, P. M. (2008, July). *Towards A New Paradigm for High-Resolution Low-Cost Photogrammetry and Remote Sensing*. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Congress, Beijing, China, XXXVII. Part B* (Vol. 1, pp. 1201-1206).
- Cook, A. C. (2008). *Comparison of one-dimensional HEC-RAS with two-dimensional FESWMS model in flood inundation mapping*. Graduate School, Purdue University, West Lafayette.
- Cook, A., & Merwade, V. (2009). *Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping*. *Journal of Hydrology*, 377(1), 131-142.
- Corbus, C., Mic, R. P., Matreata, M., & Chendes, V. (2012). *Climate change impact upon maximum flow in Siret river basin*. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management, 3, 587.
- Counselman, C. C. (1990). U.S. Patent No. 4,894,662. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Covasnianu, A., Tudose, O. G., Cazacu, M. M., Nichersu, I., Memier, M., & Balin, I. (2010). *REELD (Economical and Ecological Reconstruction of the Danube Flood Plain) Campaign: airborne LIDAR data and GIS technique outputs*. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 12, p. 3982).
- Cressie, N. (1990). *The origins of kriging*. *Mathematical geology*, 22(3), 239-252.
- Creutz, D., Mazo Jr, M., & Preda, C. (2009). *Superstability and finite time extinction for c_0 -semigroups*. arXiv preprint arXiv:0907.4812.
- Cristescu, C. (2006). *Morfologia albiilor și conceptul de restaurare a râurilor. Stadiul actual al cercetării. Teză de doctorat.* (https://www.researchgate.net/publication/264420279_MORFOLOGIA_ALBIILOR_SI_CONCEPTUL_DE_RESTAURARE_A_RAURILOR_thesis_chapter)
- Cutter, S. L. (1996). *Vulnerability to environmental hazards*. *Progress in human geography*, 20(4), 529-539.
- Dăscălița, D., Daniela, P., & Olariu, P. (2008). *Aspect regarding some hydroclimatic phenomena with risk character from Siret hidrographic area. Structural and nonstructural measures of prevention and emergency*. *Present Environment and Sustainable Development*, 1(2), 318-332.
- De Smith, M. J., Goodchild, M. F., & Longley, P. (2007). *Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools*. Troubador Publishing Ltd.
- Demirkesen, A. C., Evrendilek, F., Berberoglu, S., & Kilic, S. (2007). *Coastal flood risk analysis using Landsat-7 ETM+ imagery and SRTM DEM: A case study of Izmir, Turkey*. *Environmental monitoring and assessment*, 131(1), 293-300.
- Dimitriadis, P., Tegos, A., Oikonomou, A., Pagana, V., Koukouvinos, A., Mamassis, N., ... & Efstratiadis, A. (2016). *Comparative evaluation of 1D and quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping*. *Journal of Hydrology*, 534, 478-492.
- Dumitrescu, A. (2012), *Spațializarea parametrilor meteorologici și climatici prin tehnici SIG*, Teză de doctorat, București 2012.
- Dunteman, G. H. (1989). *Principal components analysis* (No. 69). Sage.
- Dysarz, T., Szałkiewicz, E., & Wicher-Dysarz, J. (2017). *Long-Term Impact of Sediment Deposition and Erosion on Water Surface Profiles in the Ner River*. *Water*, 9(3), 168.
- ECE, U. (2007). *Our waters: joining hands across borders-First Assessment of Transboundary Rivers*. *Lakes and Groundwaters*, UN ECE, Geneva, p.135.
- Elhasan Ismat, *Bathymetric Techniques*, 2015 (https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2015/ppt/TS04A/TS04A_elhasan_7716_ppt.pdf)
- EL-Hattab, A. I. (2014). *Single beam bathymetric data modelling techniques for accurate maintenance dredging*. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17(2), 189-195.
- Erdogan, S. (2009). *A comparison of interpolation methods for producing digital elevation models at the field scale*. *Earth surface processes and landforms*, 34(3), 366-376.
- Fenton, J. (2005). *Open channel hydraulics*. *Engineering Hydraulics and Hydrology*, 54(6).
- FIG, 2010. *Federation Internationale des Geometres*, <http://www.fig.net/>
- Fowler A., France J.I., Truong M. (2011) – *Application of advanced laser scanning technology in geology* (www.rieglusa.com/pdf/applications-of-advanced-laser-scanning-technology-in-geology-ananda-fowler-final.pdf)

- Ghiurcă, D., & Gherghel, I. (2007). *Research upon the hybridization areas between Bombina bombina and Bombina variegata in the middle Siret River basin (Bacău and Neamț Counties, Romania)*. *Herpetologica Romanica*, 1, 45-52.
- Gillan, J. K., Karl, J. W., Elaksher, A., & Duniway, M. C. (2017). *Fine-Resolution Repeat Topographic Surveying of Dryland Landscapes Using UAS-Based Structure-from-Motion Photogrammetry: Assessing Accuracy and Precision against Traditional Ground-Based Erosion Measurements*. *Remote Sensing*, 9(5), 437.
- Goldberg, S. J., Kirby, J. T., & Licht, S. C. (2016). *Applications of Aerial Multi-spectral Imagery for Algal Bloom Monitoring in Rhode Island*. SURFO Technical Report No. 16-01, 28.
- Gorunescu, F. (2006). *Data Mining: concepte, modele și tehnici*. Editura Albastră.
- Gundogdu, K. S., & Guney, I. (2007). *Spatial analyses of groundwater levels using universal kriging*. *Journal of Earth System Science*, 116(1), 49-55.
- Hathcock Lee, Mississippi State University, Geosystems Research Institute, *Evaluation of Current and Upcoming LIDAR Systems*, Geosystems Research Institute Report 5070, 2016
- HEC-RAS River Analysis System, *Application Guide*, Version 4.1, January 2010
- HEC-RAS River Analysis System, *Hidraulic Reference Manual*, Version 4.1, January 2010
- Hodgson, J. C., Baylis, S. M., Mott, R., Herrod, A., & Clarke, R. H. (2016). *Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles*. *Scientific reports*, 6.
- Hollister, J., & Milstead, W. B. (2010). *Using GIS to estimate lake volume from limited data*. *Lake and Reservoir Management*, 26(3), 194-199.
- Hutchinson, M. F. (1988, August). *Calculation of hydrologically sound digital elevation models*. In *Proceedings of the Third International Symposium on Spatial Data Handling (Vol. 133)*. Columbus, Ohio: International Geographical Union.
- Hutchinson, M. F. (1989). *A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits*. *Journal of hydrology*, 106(3-4), 211-232.
- Hutchinson, M. F. (1996, January). *A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models*. In *Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling* (pp. 21-26).
- Hutchinson, M. F. (2000). *Optimising the degree of data smoothing for locally adaptive finite element bivariate smoothing splines*. *ANZIAM Journal*, 42, 774-796.
- Hutchinson, M. F., Xu, T., & Stein, J. A. (2011). *Recent progress in the ANUDEM elevation gridding procedure*. *Geomorphometry*, 2011, 19-22.
- Jain, V., Preston, N., Fryirs, K., & Brierley, G. (2006). *Comparative assessment of three approaches for deriving stream power plots along long profiles in the upper Hunter River catchment, New South Wales, Australia*. *Geomorphology*, 74(1), 297-317.
- Jarvis, A., Rubiano, J. E., Nelson, A., Farrow, A., & Mulligan, M. (2004). *Practical use of SRTM data in the tropics: Comparisons with digital elevation models generated cartographic data*.
- Jin, S., Feng, G. P., & Gleason, S. (2011). *Remote sensing using GNSS signals: Current status and future directions*. *Advances in space research*, 47(10), 1645-1653.
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS geostatistical analyst (Vol. 380)*. Redlands: Esri.
- Jung, Y., Kim, D., Kim, D., Kim, M., & Lee, S. O. (2014). *Simplified flood inundation mapping based on flood elevation-discharge rating curves using satellite images in gauged watersheds*. *Water*, 6(5), 1280-1299.
- Kearns, T. A., & Breman, J. (2010). *Bathymetry—The art and science of seafloor modeling for modern applications*. *Ocean globe*, 1-36.
- Klimkowskaa, A., Leea, I., & Choia, K. (2016). *Possibilities of Uas for Maritime Monitoring*. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 885-891.
- Koh, L. P., & Wich, S. A. (2012). *Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation*. *Tropical Conservation Science*, 5(2), 121-132.
- Li, J., & Heap, A. D. (2008). *A review of spatial interpolation methods for environmental scientists*, *Geoscience Australia, Record 2008/23*, 137 pp.
- Li, J., & Heap, A. D. (2011). *A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors*. *Ecological Informatics*, 6(3), 228-241.
- Li, P., & Zhang, X. (2014). *Integrating GPS and GLONASS to accelerate convergence and initialization times of precise point positioning*. *GPS solutions*, 18(3), 461-471.
- Li, X., Ge, M., Dai, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J., & Schuh, H. (2015). *Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo*. *Journal of Geodesy*, 89(6), 607-635.

- Li, X., Zhang, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J., & Schuh, H. (2015). *Precise positioning with current multi-constellation global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou*. Scientific reports, 5.
- Limerinos, J. T., & California. Dept. of Water Resources. (1970). *Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in natural channels*.
- Luca, D., Stan, C., & Universitatea Al I, C. I. (2007). *Mecanică clasică*. Iasi.
- Marcu, C., Măsurători terestre – fundamente Vol.III, Modulul G, Editura Matrix Rom, București, 2002
- Matheron, G. (1963). *Principles of geostatistics*. Economic geology, 58(8), 1246-1266.
- MICLĂUȘ, L. (2001). *Glosar aviatic*. Editura Marineasa.
- Minea, I. (2011). *Changes in land use in the last century in the south part of Moldova plain*. Agronomy Series of Scientific Research/Lucrari Stiintifice Seria Agronomie, 54(2).
- Mohammed, J. R., & Qasim, J. M. (2012). *Comparison of One-Dimensional HEC-RAS with Two-Dimensional ADH for Flow over Trapezoidal Profile Weirs*. Caspian Journal of Applied Sciences Research, 1(6).
- Mueller, N., Lewis, A., Roberts, D., Ring, S., Melrose, R., Sixsmith, J., ... & Ip, A. (2016). *Water observations from space: Mapping surface water from 25years of Landsat imagery across Australia*. Remote Sensing of Environment, 174, 341-352.
- Munteanu, C.-G., Cartografie matematică, Editura Matrix Rom, București, 2003
- Murariu, G., Hahuie, V., Georgescu, L., Arseni, M., Iticescu, C., Murariu, A. G., ... & Nistor, N. (2017, January). *Study on the influence of atmospheric parameters on the accuracy of the geodetic measurements*. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1796, No. 1, p. 040009). AIP Publishing.
- Murariu, G., Puscasu, G., & Gogoncea, V. (2010, January). *Non—Linear Flood Assessment with Neural Network*. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1203, No. 1, pp. 812-819). AIP.
- Negrea B. M., Iosub C. I., *Flood forecasting using open data in the Siret River Basin*, Aalborg University, Denmark, 2016 (<http://projekter.aau.dk>)
- Neuner, J., Badea, G., Măsurători terestre – fundamente Vol.I, Modul A, Editura Matrix Rom, București, 2002, p. B-83
- Nex, F., & Remondino, F. (2014). *UAV for 3D mapping applications: a review*. Applied Geomatics, 6(1), 1-15.
- OBREJA, F. (2011). *The suspended load flow on Siret river from the north side of Moldavia during the 2010 flood*. GEOREVIEW: Scientific Annals of Stefan cel Mare University of Suceava. Geography Series, 20(1), 57-67.
- Obreja, F. (2012). *The Sediment Transport of the Siret River during the Floods from 2010/Transportul de aluviuni al râului Siret în timpul viiturii din anul 2010*. In Forum geografic (Vol. 11, No. 1, p. 90). University of Craiova, Department of Geography.
- Obreja, F., Gheorghe, D., & Obreja, I. (2014). *The role of land use from the hydrographical basin Siret in production and transportation of the sediments*. 2 nd International Conference - Water resources and wetlands (<http://www.limnology.ro/water2014/proceedings.html>)
- OFDA/CRED International Disasters Database, 2016 (<http://www.emdat.be/database>)
- OLARIU, P., COJOC, G. M., TIRNOVAN, A., & OBREJA, F. (2015). *The future of the reservoirs in the Siret River Basin considering the sediment transport of rivers (ROMANIA)*. GEOREVIEW: Scientific Annals of Stefan cel Mare University of Suceava. Geography Series, 24(1), 65-75.
- Olariu, P., Obreja, F., & Obreja, I. (2009). *Unele aspecte privind tranzitul de aluviuni din bazinul hidrografic Troțuș și de pe sectorul inferior al râului Siret în timpul viiturilor excepționale din anii 1991 și 2005*. Analele Universității „Ștefan cel Mare” Suceava, Secțiunea GEOGRAFIE ANUL XVIII.
- Olver, P. J. (1977). Evolution equations possessing infinitely many symmetries. *Journal of Mathematical Physics*, 18(6), 1212-1215.
- Olver, P. J. (2000). *Applications of Lie groups to differential equations* (Vol. 107). Springer Science & Business Media.
- Onose, D., Badea, A.-M., Măsurători terestre – fundamente Vol.I, Modulul C, Editura Matrix Rom, București, 2002
- PALAMARIU, M., BELDEA, M., & VOINA, I. (2016). *Topographic Research upon the Subsidence in the East of the Mining Basin of Petroșani*. Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture, 73(1).
- Pašagič, V., & Parlić Risović, T. (2003). *The influence of temperature and pressure on performance of optical surveying instruments*. In XVII IMEKO World Congress Metrology in the 3rd Millennium, Dubrovnik, Croatia (Vol. 187).
- Patriche, C. V. (2009). *Metode statistice aplicate în climatologie*. Terra Nostra

- Pavlovskaya, M. (2016). *Digital Place-Making: Insights from Critical Cartography and GIS*. In *The Digital Arts and Humanities* (pp. 153-167). Springer International Publishing.
- Pebesma, E. J. (2004). *Multivariable geostatistics in S: the gstat package*. *Computers & Geosciences*, 30(7), 683-691.
- Pleșoiianu, D., & Olariu, P. (2010). *Monitoring data proving hydroclimatic trends in Siret hydrographic area*. *Present Environment and Sustainable Development*, 4, 327-338.
- PMRI ABAS, 2016. *Planul de management al riscului la inundatii*, Administratia bazinala de apa Siret
- Polcyn, F. (1987). *Monsoon flood boundary delineation and damage assessment using space borne imaging radar and Landsat data*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(4), 405-413.
- Popielaczkyk, D., & Templin, T. (2011). *RTK/GPS water level determination during Lake Kamienne bathymetric measurements*. *Reports on Geodesy*, (1/90), 391-396.
- Popovici, E. A., Bălțeanu, D., & Kucsicsa, G. (2013). *Assessment of changes in land-use and land-cover pattern in Romania using Corine Land Cover Database*. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8(4), 195-208.
- PPPDEI, 2014. *Planul pentru Prevenirea, Protecția și Diminuarea Efectelor Inundațiilor (PPPDEI) în bazinul hidrografic Siret*, Versiunea 2, 2014, Bacau (<http://www.anpm.ro/documents/12220/2307323/PPPDEI.pdf/446221fb-5391-4f23-908e-5a2b6db7c087>)
- Puttock, A. K., Cunliffe, A. M., Anderson, K., & Brazier, R. E. (2015). *Aerial photography collected with a multirotor drone reveals impact of Eurasian beaver reintroduction on ecosystem structure*. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3(3), 123-130.
- Radoane, M., Rădoane, N., & Dumitriu, D. (2003). *Geomorphological evolution of longitudinal river profiles in the Carpathians*. *Geomorphology*, 50(4), 293-306.
- Raport ISU Galați 2013. ([http://www.prefecturagalati.ro/portal/portal.nsf/allbyunid/000079A6/\\$File/Raport%20-%20inundatii%20septembrie%202013.pdf](http://www.prefecturagalati.ro/portal/portal.nsf/allbyunid/000079A6/$File/Raport%20-%20inundatii%20septembrie%202013.pdf))
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011). *UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives*. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(1), C22.
- REPRI (2011). *Raport, Evaluarea Preliminara a riscului la Inundatii*. Administratia Bazinala de Apa Siret (http://www.rowater.ro/EPRI%20Rapoarte/RO10_%20PFRA_Report_%2020130531.pdf)
- Romanescu, G. (2009). *Siret river basin planning (Romania) and the role of wetlands in diminishing the floods*. *WIT Transaction on Ecology and the Environment*, 125, 439-453.
- Romanescu, G., & Nistor, I. (2011). *The effects of the July 2005 catastrophic inundations in the Siret River's Lower Watershed, Romania*. *Natural Hazards*, 57(2), 345-368.
- Romanescu, G., & Stoleriu, C. (2013). *Causes and effects of the catastrophic flooding on the Siret River (Romania) in July–August 2008*. *Natural hazards*, 69(3), 1351-1367.
- Romanescu, G., Cretu, M. A., Sandu, I. G., Paun, E., & Sandu, I. (2013). *Chemism of streams within the Siret and Prut Drainage Basins: water resources and management*. *Rev. Chim.(Bucharest)*, 64(12), 1416-1421.
- Rüeger, J.-M., *Electronic distance measurement*, Editura Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1990
- S.C. TEHNOGIS GROUP S.R.L., S.C. INTERCONSTRUCT S.R.L., *Realizarea unui sistem de sprijin pentru lucrările hidrografice pe Dunăre în scopul asigurării adâncimilor minime de navigare*, iunie 2015
- Savu A. (2010) – *Perfecționări ale lucrărilor topografice și geodezice în domeniul căilor de comunicații*, Teză de Doctorat, București.
- Schmid, R., & Rothacher, M. (2003). *Estimation of elevation-dependent satellite antenna phase center variations of GPS satellites*. *Journal of Geodesy*, 77(7), 440-446.
- Schumann, G., Matgen, P., Hoffmann, L., Hostache, R., Pappenberger, F., & Pfister, L. (2007). *Deriving distributed roughness values from satellite radar data for flood inundation modelling*. *Journal of Hydrology*, 344(1), 96-111.
- Scott, D. N., Brogan, D. J., Lininger, K. B., Schook, D. M., Daugherty, E. E., Sparacino, M. S., & Patton, A. I. (2016). *Evaluating survey instruments and methods in a steep channel*. *Geomorphology*, 273, 236-243.
- Singh, R., Artman, D., Taylor, D.-W., Brinton, D., *Basic surveying – theory and practice*, Ninth Annual Seminar Presented by the Oregon Department of Transportation Geometrics Unit, Bend, Oregon, February 15th-17th, 2000
- Sinnakaudan S, Ab Ghani A, Chang C.K. *Flood inundation analysis using HEC-6 and ArcView GIS 3.2a*. In *Proceeding, 5th International Conference on Hydro-Science & Engineering*, September 18–21 (2002), Warsaw University of Technology, Poland.

- Smith, L. I. (2002). *A tutorial on principal components analysis*. Cornell University, USA, 51(52), 65.
- Son, J., Mattila, K. G., & Myers, D. S. (2005). Determination of haul distance and direction in mass excavation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(3), 302-309.
- Sonarmite Reference Manual V. 3.0 (2009), OHMEX Instrumentation. (<http://www.ohmex.com/SM3hardware.pdf>)
- Song, S., Schmalz, B., & Fohrer, N. (2014). *Simulation and comparison of stream power in-channel and on the floodplain in a German lowland area*. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 62(2), 133-144.
- Sunda, S., Sridharan, R., Vyas, B. M., Khekale, P. V., Parikh, K. S., Ganeshan, A. S., ... & Bagiya, M. S. (2015). *Satellite-based augmentation systems: A novel and cost-effective tool for ionospheric and space weather studies*. *Space Weather*, 13(1), 6-15.
- Tanislav, D., Costache, A. (2007). *Geografia hazardelor natural și antropice*, Editura Transversal, Târgoviște, p.11.
- Te Chow, V. (1959). *Open channel hydraulics*. McGraw-Hill Book Company, Inc; New York.
- THSOA, 2015. The Hydrographic Society of America (THSOA), EM 1110-2-1003, Hydrographic Surveying (<http://thsoa.org/Southeast-Chapter-News-Rooms/3536891>)
- Tompoulidou, M., Stefanidou, A., Grigoriadis, D., Dragozi, E., Stavrakoudis, D., & Gitas, I. Z. (2016). *National fuel type mapping methodology using geographic object based image analysis and landsat 8 oli imagery*.
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger, M. (2003). *Remote sensing for biodiversity science and conservation*. *Trends in ecology & evolution*, 18(6), 306-314.
- Varvarina, E. A. (2014). *The review of existing technologies of creation ortophotoplans on linear objects*. Вестник Орловского государственного аграрного университета, 47(2).
- Vasenciuc, F. (2002). *The year 2000—A characterization of the period with precipitation deficit in the Siret river basin*. *Lucrările Seminarului Geografic" Dimitrie Cantemir"*, 21(21-22).
- Verhoeven, G. (2011). *Taking computer vision aloft—archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photostan*. *Archaeological Prospection*, 18(1), 67-73.
- Wahba, G. (1990). *Spline models for Observational data*. Paper presented at CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics. Philadelphia: Soc. Ind. Appl. Maths.
- Wang, Z., Lai, C., Chen, X., Yang, B., Zhao, S., & Bai, X. (2015). *Flood hazard risk assessment model based on random forest*. *Journal of Hydrology*, 527, 1130-1141.
- Wong, W. V., Tsuyuki, S., Loki, K., & Phua, M. H. (2014). *Accuracy assessment of global topographic data (SRTM & ASTER GDEM) in comparison with LIDAR for tropical montane forest*. In *Proceedings of the 35th Asian Conference on Remote Sensing*, Nay Pyi Taw, Myanmar (pp. 27-31).
- Wood, J. (1996). *The geomorphological characterisation of digital elevation models*. Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy at the University of Leicester, March 1996
- Yang, Y., Li, J., Xu, J., Tang, J., Guo, H., & He, H. (2011). *Contribution of the compass satellite navigation system to global PNT users*. *Chinese Science Bulletin*, 56(26), 2813-2819.
- Zaharia, C. (2014). *Evaluation of water pollution status in Siret Hydrographical Basin (Suceava Region) due to agricultural activities*. *Chem. J. Moldova: Gen. Ind. Ecol. Chem.*, 9(1), 42-52.
- Zarraoa, N., Mai, W., Sardon, E., & Jungstand, A. (1998). Preliminary evaluation of the Russian GLONASS system as a potential geodetic tool. *Journal of Geodesy*, 72(6), 356-363.
- Zimmerman, D., Pavlik, C., Ruggles, A., & Armstrong, M. P. (1999). *An experimental comparison of ordinary and universal kriging and inverse distance weighting*. *Mathematical Geology*, 31(4), 375-390.
- Иноземцев, Д. П. (2013). *Беспилотные летательные аппараты: теория и практика*. Часть 2. Модель обработки аэрофотоснимков в среде AGISOFT PHOTOSCAN. Обзор технических средств.[Электронный ресурс].— Режим доступа: <http://www.credo-dialogue.com/getattachment/6cf5bf18-cf53-4532-b5bd-1ed04dabc234/Bespilotnue-letatelnie-apparatu.aspx>.
- Качановская, Д. А., Черняков, Г. В., & Романкевич, А. П. (2016). *Опыт использования беспилотного летательного аппарата при картографировании территории УП «Щемьслица» БГУ*.