

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



TEZĂ DE DOCTORAT

(REZUMAT)

Studii privind riscul la inundații în Delta Dunării

Doctorand,

BĂNESCU Alexandru

Conducător științific,

Prof. Univ. Dr. Ing. GEORGESCU Puiu Lucian

Conducător științific în cotutelă,

Prof. Univ. Dr. Ing. RUSU Eugen Victor Cristian

Seria I 4: Inginerie industrială Nr. 81

GALAȚI

2021

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



TEZĂ DE DOCTORAT

(REZUMAT)

Studii privind riscul la inundații în Delta Dunării

Doctorand

BĂNESCU Alexandru

Președinte	Prof univ. dr. ing. FETECĂU Cătălin - Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Conducător științific	Prof univ. dr. ing. GEORGESCU Puiu Lucian - Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Conducător științific în cotutelă	Prof univ. dr. ing. RUSU Eugen Victor Cristian - Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Referenți științifici	Prof univ. dr. ing. LOGHIN Maria Carmen - Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași Prof univ. dr. ing. BIRIȘ Sorin Ștefan - Universitatea Politehnică din București Prof univ. dr. DOBREA Răzvan Cătălin - Academia de Studii Economice din București

Seria I 4: Inginerie industrială Nr. 81

GALAȚI

2021

Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

Domeniul fundamental ȘTIINTE 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**
- Seria I 9: **Inginerie și management în agricultură și dezvoltare rurală**

Domeniul fundamental ȘTIINTE SOCIALE

- Seria E 1: **Economie**
- Seria E 2: **Management**
- Seria SSEF: **Știința sportului și educației fizice**

Domeniul fundamental ȘTIINTE UMANISTE ȘI ARTE

- Seria U 1: **Filologie- Engleză**
- Seria U 2: **Filologie- Română**
- Seria U 3: **Istorie**
- Seria U 4: **Filologie - Franceză**

Domeniul fundamental MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII

- Seria C: **Chimie**

Domeniul fundamental ȘTIINTE BIOLOGICE ȘI BIOMEDICALE

- Seria M: **Medicină**

CUVÂNT ÎNAINTE

Drumul pe care l-am parcurs în vederea realizării prezentei teze de doctorat a fost unul lung și interesant, deseori dificil, dar extrem de provocant. Astfel, doresc să aduc mulțumiri tuturor cadrelor didactice universitare care m-au ajutat la dezvoltarea mea în plan profesional și care m-au susținut pe parcursul celor trei ani de doctorat.

Doresc să-mi exprim sincera recunoștință și mulțumire domnului profesor universitar doctor inginer Lucian Puiu Georgescu, Rector al Universității "Dunărea de Jos", care în calitate de conducător științific, mi-a oferit un sprijin deosebit în formarea mea ca cercetător pe întreaga durată a elaborării tezei de doctorat, și a dat dovadă de răbdare și încredere în toți acești ani.

Doresc să-mi exprim aprecierea față de domnul academician profesor universitar doctor inginer Eugen Victor Cristian Rusu, pentru prețioasele îndrumări acordate de-a lungul acestor ani, pentru atenția acordată și colaborarea strânsă legată de demersurile publicistice, implicarea în lucrările științifice publicate și pentru ajutorul acordat în elaborarea tezei de doctorat.

În egală măsură doresc să mulțumesc doamnei profesor universitar doctor Cătălina Iticescu pentru sprijinul acordat, pentru sfaturile și sugestiile oferite în decursul celor trei ani de doctorat.

Mulțumesc domnului profesor universitar dr. Gabriel Murariu pentru atenția acordată și colaborarea strânsă legată de proiectele de cercetare, implicarea în lucrările științifice publicate dar și pentru discuțiile utile asupra metodelor de prelucrare și procesare a datelor.

Țin să mulțumesc și domnului lector doctor inginer Maxim Arseni pentru ajutorul acordat, pentru încrederea și încurajările oferite și pentru implicarea în lucrările științifice publicate.

Totodată vreau să mulțumesc domnului Director General al Institutului Național de Cercetare – Dezvoltare Delta Dunării, domnul Marian Tudor și domnului Director Tehnic Adrian Constantinescu pentru deschiderea și sprijinul acordat în toți acești ani.

De asemenea doresc să îmi afirm recunoștința față de colegii mei din Departamentul de Dezvoltare Tehnologică, Transfer Tehnologic și Planificare Spațială, pentru ajutorul acordat în cadrul expedițiilor de măsurători în teren.

Îmi exprim întreaga recunoștință și mulțumire familiei și a celor apropiați pentru susținerea, încrederea și înțelegerea oferită.

Octombrie 2021

Alexandru Bănescu

GALAȚI

IV

CUPRINS

<i>CUVÂNT ÎNAINTE</i>	IV
<i>Lista contribuțiilor personale</i>	VI
<i>Lista de proiecte</i>	VIII
INTRODUCERE	1
Capitolul 1. Riscurile teritoriale privind inundațiile în Delta Dunării. Stadiul actual al cercetării	3
1.1. Caracterizarea zonei de studiu.....	3
1.1.1. Generalități.....	3
1.1.2. Principalele unități morfohidrografice.....	4
1.1.3. Relief.....	5
1.1.4. Clima.....	6
1.1.5. Așezările umane	6
1.2. Riscul la inundații în Delta Dunării.....	7
1.2.1. Concepte.....	7
1.3. Istoricul inundațiilor în Delta Dunării	8
1.3.1. Inundabilitatea Deltei Dunării.....	8
1.3.2. Lucrările hidrotehnice de îndiguire a incintelor în Delta Dunării	8
1.3.3. Efectul îndiguirilor și al inundațiilor în Delta Dunării	9
1.3.4. Impactul inundațiilor în zona de studiu	10
Capitolul 2. Materiale și metode de cercetare	13
Capitolul 3. Rezultate și discuții	14
3.1. Rezultatele modelării hidraulice cu HEC-RAS (metoda dinamică) și analizei GIS (metoda statică) pe brațul Chilia	14
Capitolul 4. Concluzii generale, contribuții proprii și potențiale direcții de cercetare....	26
4.1. Concluzii generale	26
4.2. Contribuții proprii.....	28
4.3. Potențiale direcții de cercetare viitoare.....	29
<i>Bibliografie</i>	31
<i>Bibliografie online</i>	33

Lista contribuțiilor personale

Articole publicate în reviste cotate Web of Science

1. **Banescu, A.**, Maxim, A., Georgescu, L.P., Rusu, E., Iticescu, C. (2020). Evaluation of Different Simulation Methods for Analyzing Flood Scenarios in the Danube Delta. Applied Sciences, 10(23), 8327., ISSN: 1842-4090 (**IF 2020 = 2.474**)
<https://www.mdpi.com/2076-3417/10/23/8327>
2. **Banescu, A.**, Georgescu L., Rusu E., Iticescu C., (2018). Use of GIS technology to support the navigation on the Danube river. In "International conference on traffic and transport engineering – ICTTE Belgrade
http://ijtte.com/uploads/news_files/ICTTE%20Belgrade%202018_Proceedings.pdf

Articole științifice SCOPUS

1. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Rusu E., Murariu G., (2018). *Analysis of the floods risk in a sector from the Danube Delta using GIS technologies*. In 18 International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM)
<https://www.sgem.org/sgemlib/spip.php?article12628>
2. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Iticescu C., Rusu E., (2018). *Analysis of the wind action on the turbines operating in the Dobrogea region from Romania*. In 18 International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM)
<https://www.sgem.org/index.php/elibrary?view=publication&task=show&id=1111>
3. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Rusu E., Murariu G., (2019). *Analysis of the floods risk in the peripheral localities from the north of the Danube Delta using GIS technologies*. In 19 International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM)
<https://www.sgem.org/index.php/elibrary?view=publication&task=show&id=5553>
4. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Iticescu C., Rusu E., (2019). *Analysis of the floods risk agriculturals enclosures from the Danube Delta using 2D modeling. Case study Pardina enclosure*. In 19 International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM)
<https://www.sgem.org/index.php/elibrary?view=publication&task=show&id=5602>
5. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Iticescu C., Rusu E., (2019). *Analysis of the earthquake force for a frame structure located in seismic risk areas*. In 19 International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM)
<https://www.sgem.org/index.php/elibrary?view=publication&task=show&id=4864>
6. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Rusu E., Murariu G., (2020). *Analysis of the coastal wind and waves in the Danube discharge area based on historical measurements*. In 20 International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM)
<https://search.proquest.com/openview/5e3e1d1681f06857d032cc729754b0e3/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1536338>
7. **Banescu A.**, Sbarcea M., Georgescu L. P., Rusu E., (2020). *Earthquake response analysis of buildings located in seismic areas*. In 20 International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM)
<https://search.proquest.com/openview/c6988f2bc9e52d3612bfbaf4f4c103ac/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1536338>

Articole publicate în reviste indexate în baze de date internaționale

1. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Iticescu C., Rusu E., (2017). *Analysis of the behavior of civil constructions under seismic action*. Mechanical Testing and Diagnosis, 3, pp. 5-13
2. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Iticescu C., Rusu E., (2018). *Analysis of river level and of the volume flow on the Danube close to the city of Tulcea, based on in situ measurements*. Journal of Marine Technology and Environment, 1, pp. 7-13
3. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Iticescu C., Rusu E., (2019). *Analysis of the flood risk in Danube Delta - Case study the Maliuc area*. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, pp. 40-49
4. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Iticescu C., Rusu E., (2019). *Analysis of the Industrial Metallic Halls under Lateral Force Action Generated by an Earthquake in the Danube Delta Area*. Scientific Annals of the Danube Delta Institute, 24(1), pp. 131-138
5. Nichersu I., **Banescu A.**, Constantinescu A., Nichersu I. (2019). *Hazard Analysis on the Rainwater Runoff in Tulcea City, Romania*. Scientific Annals of the Danube Delta Institute, 24(1), pp. 157-166
6. Constantinescu A., Pindic P., **Banescu A.**, Anore C., (2019). *Flooding Hazard and Risk Maps for Localities along Sulina and Sf. Gheorghe Branches*. Scientific Annals of the Danube Delta Institute, 24(1), pp. 223-242
7. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Iticescu C., Rusu E., (2019). *Use of GIS technology in flood risk analysis. Case study Mila 23 locality from the Danube Delta*. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, pp. 77-84
8. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Iticescu C., Rusu E., (2020). *Methods of flood risk analysis. Case study Baltenii de Sus locality from the Danube Delta*. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, pp. 48-57

Lucrări prezentate la conferințe internaționale și publicate în volumele acestora

1. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Rusu E., Iticescu C., (2018). *Use of GIS technology to support the navigation on the Danube river*. In "International conference on traffic and transport engineering – ICTTE Belgrade 27th – 28th of September 2018
http://ijtte.com/uploads/news_files/ICTTE%20Belgrade%202018_Proceedings.pdf

Lucrări prezentate la conferințe naționale și publicate în volumele acestora

1. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Iticescu C., Rusu E. *Analysis of the flood risk in DanubeDelta - Case study the Maliuc area*. Scientific Conference of Doctoral Schools of „Dunarea de Jos” University, Galati (CSSD-UDJG 2018), 07-08 June 2018
2. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Iticescu C., Rusu E. *Use of GIS technology in flood risk analysis. Case study Mila 23 locality from the Danube Delta*. Scientific Conference of Doctoral Schools of „Dunarea de Jos” University, Galati (CSSD-UDJG 2019), 13-14 June 2019
3. **Banescu A.**, Georgescu L. P., Iticescu C., Rusu E. *Methods of flood risk analysis. Case study Baltenii de Sus locality from the Danube Delta*. Scientific Conference of Doctoral Schools of „Dunarea de Jos” University, Galati (CSSD-UDJG 2020), 18-19 June 2020

Lista de proiecte**Cercetare:**

1. Îmbunătățirea condițiilor hidrologice în habitatele naturale acvatice din RBDD pentru conservarea biodiversității și a resurselor halieutice – Complexele lacustre Șonțea – Fortuna, Matița – Merhei, Somova Parcheș (perioada 2020-2021, Responsabil colectare date și probe din teren);
2. Îmbunătățirea condițiilor hidrologice în habitatele naturale acvatice din RBDD pentru conservarea biodiversității și a resurselor halieutice – Complexele lacustre Gorgova – Uzlina, Roșu – Puiu (perioada 2020-2021, Responsabil colectare date și probe din teren);
3. Îmbunătățirea condițiilor hidrologice în habitatele naturale acvatice din RBDD pentru conservarea biodiversității și a resurselor halieutice – Complexele lacustre Dunăvăț-Dranov, Razim – Sinoie, Zona Sinoie – Istria – Nunțași, lacul Murighiol (perioada 2020-2021, Responsabil colectare date din teren și elaborare proiect tehnic);
4. Scent – Smart toolbox for engaging citizens into a people centric observation web – premiarea participării la Orizont (perioada 2017-2019, Responsabil colectare date);
5. Lucas – Land Use and Land Cover Survey (perioada 2018-2019, Responsabil prelevare probe de sol/Fotointerpretare/Supervizor);
6. Cercetări privind starea de conservare a zonelor de reproducere naturală a peștilor din RBDD (perioada 2018, Responsabil colectare date din teren);
7. Proiect suport de management pentru crearea componentelor românești din cadrul proiectului Pan – European de infrastructură distribuită Danubius-ri (centrul internațional de studii avansate pentru sisteme fluvii – mări) – DANS (perioada 2018-2019, Responsabil parte tehnică);
8. Danurb (Danube Urban Brand): a regional network building through tourism and education to strengthen the “Danube” cultural identity and solidarity (2018-2019, Responsabil modelare GIS);
9. Evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acvatice de pe teritoriul Rezervației Biosferei Delta Dunării (perioada 2019-2020, Responsabil colectare date din teren);
10. Modelarea și proiectarea unor soluții sistemice naturale pentru limitarea influențelor factorilor de risc în planificarea spațială integrată și durabilă din Delta Dunării (perioada 2019-2020, Responsabil colectare date din teren);
11. Elaborarea studiului topo-batimetric și modelul hidraulic al lacului Belev pentru elaborarea studiului de fezabilitate privind restaurarea ecologică a zonei umede Belev conform termenilor de referință tor_rew/04 din 06.05.2019 în cadrul proiectului „Restaurarea zonelor umede și stepele Deltei Dunării (perioada 2019-2020, Responsabil modelare hidraulică).

Proiectare:

1. Profile transversale și longitudinale – Bazinul Vard Tulcea prin ridicări topobatimetrice și trasări axe zona de excavat (perioada 2018, Responsabil proiect);
2. Măsurători hidrologice în Bazinul Vard prin ridicări topo-batimetrice (perioada 2019, Responsabil proiect);
3. Măsurători hidrologice pe Dunăre între km 505 – km 511 (perioada 2020, Responsabil proiect);
4. Asigurarea unui statut favorabil de conservare pentru salvare de la extincție a populației de nurcă europeană – *Mustela lutreola* (specie de interes comunitar, critic periclitată) – din România – SAVE E-MINK – RO (perioada 2020-2021, Responsabil parte tehnică);
5. Situație de Urgență HG 299/23.05. 2019 ”Lucrări de decolmatare a canalelor Letea și Sidor, de pe raza comunei CA Rosetti, județul Tulcea” (perioada 2019, Responsabil parte tehnică).

Cuvinte cheie:

Amenajare Agricolă, modelul digital al terenului, metoda dinamică, metoda statică, modelare hidraulică, analiză GIS, batimetrie, scenarii de inundabilitate, hărți de inundații, hărți de hazard, hărți de risc, brațul Chilia, interpolare

INTRODUCERE

Teza de doctorat cu titlul „*Studii privind riscul la inundații în Delta Dunării*”, abordează o temă de cercetare în domeniul ingineriei, privind riscul la inundații, utilizând diverse instrumente și metode moderne ingineresti de analiză a scenariilor de inundabilitate.

Din această perspectivă, scopul cercetării îl reprezintă elaborarea hărților de extindere ale zonelor potențial inundabile, pentru localitățile din Delta Dunării.

Conform „**Directivei 2007/60/CE**” intrată în vigoare în luna noiembrie 2007 privind evaluarea și gestionarea riscurilor de inundații, are ca fundament indetificarea perimetrelor cu risc potențial la inundații. Directiva privind inundațiile urmărește micșorarea și gestionarea riscurilor pe care o inundație le prezintă, în special pentru demersurile economice în desfășurare, mediul, patrimonial cultural, și pentru sănătatea umană. Așadar, această acțiune poate fi realizată prin elaborarea hărților de hazard și a hărților de risc la inundații.

În Delta Dunării, inundațiile sunt evenimente hidrologice care pot apărea la orice scară. Aceste fenomene au apărut tot mai des în ultimele decenii. Datorită poziției geografice și a specificului zonei, precum și a caracterului natural unic al Deltei Dunării, apar frecvent pericole hidrologice (averse abundente, uneori însoțite de grindină, inundații fluviale, furtuni puternice, temperaturi extreme etc). Procesul de inundații este influențat de rata creșterii nivelului apei Dunării. În funcție de amploarea lor, acestea afectează proporțional o anumită parte a suprafeței Deltei și, în special, localitățile de-a lungul brațelor principale ale fluviului.

Inundațiile din Delta Dunării devin dezastre naturale atunci când afectează așezările umane. Marea majoritate a localităților din Delta Dunării sunt situate în zone inundabile, în special cele situate pe brațele principale ale Dunării, care prezintă un risc ridicat de inundații. Pericolul este determinat de cedarea digurilor de protecție ale localităților, din cauza viiturilor severe ale fluviului și a duratei prelungite a acestora. Presiunea viiturii exercitată pe dig face ca acesta să cedeze, în special în zonele vulnerabile (se creează o breșă/ruptură într-o secțiune a digului pe unde apa își face loc), punând în pericol casele și gospodăriile.

Odată ce contextul unei probleme specifice de inundații ce trebuie abordată a fost stabilit, riscul la inundații trebuie identificat și analizat. Aceasta implică analize hidrologice și hidraulice folosind programe specializate care modelează fenomene de inundații.

Prin urmare, obiectivul principal al acestui studiu îl reprezintă evaluarea a două metode de analiză a scenariilor de inundații pentru a determina gradul de inundare a localităților din Delta Dunării, prin utilizarea de echipamente cu cost redus și metode de simulare mai puțin consumatoare de timp, în vederea obținerii hărților de inundații corespunzătoare diferitelor scenarii de inundabilitate. Perimetrul în care am desfășurat cercetarea este situat în lungul brațului Chilia (de la ceatal Chilia până la la vărsarea acestuia în Marea Neagră), acest sector având aproximativ 111 km. Localitățile analizate sunt amplasate pe malul drept al brațului Chilia, mai exact acestea se află în amenajarea agricolă Sireasa.

În vederea obținerii scopului principal al lucrării au fost atinse următoarele **obiective specifice**:

- Analiza nivelurilor și a debitelor maxime din ultimii 51 de ani;
- Dezvoltarea unei metodologii proprii pentru două metode de analiză a scenariilor de inundații;
- Actualizarea modelului digital al terenului prin realizarea măsurătorilor topografice pe digul

- de protecție (ridicare topografică);
- Actualizarea modelului albiei minore al brațului Chilia prin efectuarea măsurătorilor topobatimetrice;
- Realizarea modelului digital al terenului complex prin combinarea modelului digital al terenului actualizat cu modelul albiei minore;
- Elaborarea scenariilor de inundabilitate pentru localitățile vizate în acest studiu, utilizând programele de specialitate Hydrologic Engineering Centers - River Analysis System (HEC-RAS) și Global Mapper;
- Evaluarea suprafețelor inundate, a adâncimilor și a vitezelor de curgere a apei rezultate în urma modelărilor hidraulice și a analizelor Geographic Information System (GIS);
- Elaborarea hărților de hazard și risc la inundații pentru localitățile vizate în acest studiu;
- Analiza comparativă a rezultatelor obținute în urma aplicării metodelor de analiză a scenariilor de inundabilitate.

Lucrarea, conform opțiunii alese, este structurată în 4 capitole la care se mai adaugă introducerea și bibliografia la finalul lucrării. Fiecare capitol este structurat în așa fel încât datele și informațiile să fie cât mai la îndemână cu putință.

Introducerea tezei prezintă motivația alegerii temei de doctorat, obiectivul principal, obiectivele specifice și scopul cercetării, pornind de la faptul că inundațiile în Delta Dunării reprezintă cel mai frecvent pericol hidrologic și multe așezări în special cele distribuite pe brațele principale ale Dunării, sunt afectate de acest fenomen care provoacă daune importante, atât pentru infrastructură, cât și pentru agricultură și gospodării.

Capitolul 1. Riscurile privind inundațiile în Delta Dunării. Stadiul actual al cercetării, caracterizează pe larg Delta Dunării din care face parte zona de studiu analizată în detaliu, prin prezentarea generală a Deltei Dunării. De asemenea este prezentat riscul la inundații în Delta Dunării prin descrierea conceptelor cum ar fi expunerea, viiturile, inundațiile, riscul și vulnerabilitatea. Totodată, sunt descrise informații referitoare la istoricul inundațiilor în Delta Dunării, iar accentul se pune pe impactul inundațiilor în zona de studiu.

Capitolul 2. Materiale și metode de cercetare, prezintă într-un mod detaliat datele și instrumentele utilizate în realizarea cercetării, metodele de analiză a riscului la inundații, modelarea hidraulică cu programul software Hydrologic Engineering Centers - River Analysis System (HEC-RAS) și analiza GIS cu programul software Global Mapper.

Capitolul 3. Rezultate și discuții, reprezintă partea din lucrare unde sunt afișate rezultatele cercetărilor prezentei teze și studiilor preliminare privind evaluarea diferitelor metode de simulare pentru analiza scenariilor de inundații în Delta Dunării. Astfel sunt prezentate cele mai importante cercetări realizate în urma aplicării metodei dinamice de modelare hidraulică și metodei statice de analiză GIS. Subcapitolul 3.1, *Rezultatele modelării hidraulice cu HEC-RAS (metoda dinamică) și analizei GIS (metoda statică) pe brațul Chilia*, reprezintă partea cea mai importantă a tezei, unde au fost integrate toate metodele prezentate în capitolele anterioare și aplicate pentru zona de studiu stabilită.

Capitolul 4. Concluzii generale, contribuții proprii și potențiale direcții de cercetare, este partea de teză unde sunt descrise toate concluziile și comentariile obținute din analiza rezultatelor. Tot în cadrul acestui capitol sunt prezentate contribuțiile proprii originale și potențiale direcțiile de cercetare, unde au fost subliniate principalele aspecte privind tehnicile și metodele care pot fi îmbunătățite în continuare prin analize suplimentare.

Așadar, lucrarea reprezintă o cumulare a mai multor metode și instrumente ingineresti aplicate, pentru dobândirea rezultatelor ce conturează suprafețele inundate expuse și zonele de risc, în cazul producerii unei inundații ca urmare a apariției unei breșe în digul de protecție. Cercetarea este structurată și prezentată în așa fel încât să se vadă clar toate etapele parcurse în vederea analizei riscului la inundații.

Capitolul 1. Riscurile teritoriale privind inundațiile în Delta Dunării. Stadiul actual al cercetării

1.1. Caracterizarea zonei de studiu

1.1.1. Generalități

Fluviul Dunărea străbate de la izvoare, din Munții Pădurea Neagră, mai exact din zona localității Donaueschingen (Germania) și până la Marea Neagră, zece țări având o lungime de curgere de aproximativ 2.858 km. Ca mărime, fluviul Dunărea este al doilea din Europa după Volga și construiește de peste 12.000 de ani una dintre cele mai frumoase și reprezentative Delte din Europa [1]. Delta Dunării este rezultatul complex al interacțiunii dintre fluviul Dunărea și Marea Neagră și se regăsește în prezent în cea mai mare măsură, sub influența activității fluviului. În ceea ce privește fauna, bogăția peisagistică, în care păsările sunt încadrate pe locul cel mai important, Delta Dunării prezintă un aspect cu totul deosebit din punct de vedere științific fiind considerat un adevărat laborator de formare, a ecosistemelor deltaice, economic și turistic prin resursele sale regenerabile. Suprafața Deltei Dunării este apreciată la aproximativ 4.178 km² din care cea mai mare parte (3.510 km²) se află pe teritoriul României, fiind axată pe cele trei brațe principale: Chilia, Sfântu Gheorghe și Sulina. În Rezervație există 24 de Unități Teritoriale Administrative (UAT), unde sunt delimitate la întreaga suprafață 20 de zone strict protejate cu o suprafață ocupată de 50.904 ha precum și zone tampon cu o suprafață ocupată de aproximativ 223.000 ha [2], [3]. În Figura 1.1 este prezentată harta cu limita Rezervației Biosferei Delta Dunării (RBDD) suprapusă peste ortofotoplan.

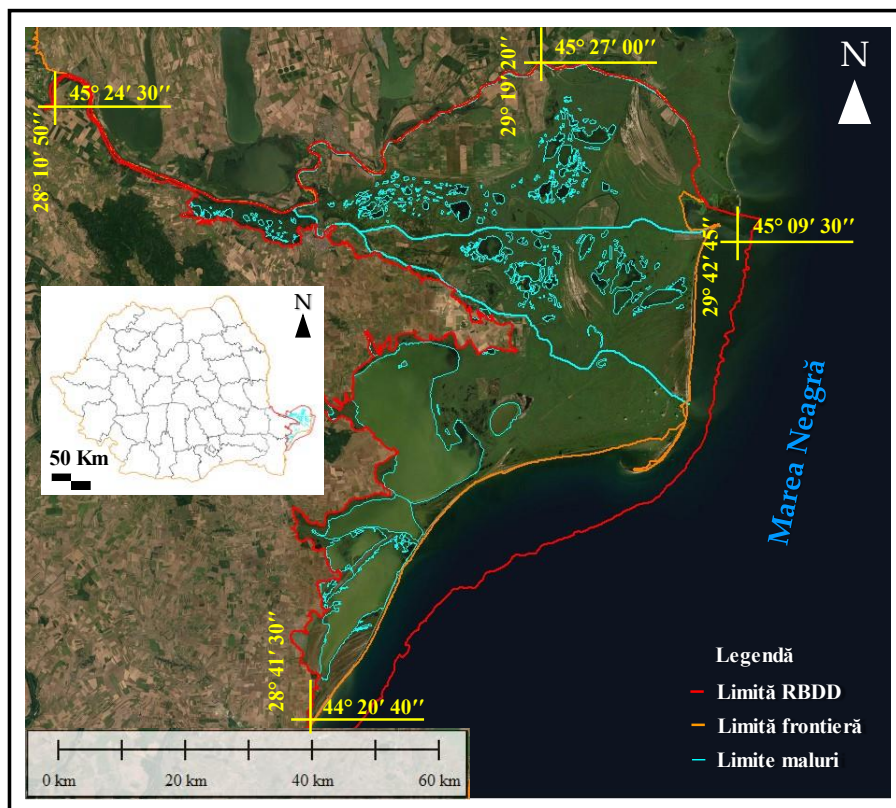


Figura 1.1. Limita Rezervației Biosferei Delta Dunării suprapusă peste ortofotoplan [hartă realizată personal cu ajutorul datelor GIS procurate în anul 2020 de la Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare Delta Dunării (INCDDD) și de pe https://cdr.eionet.europa.eu/ro/eu/n2000/envx_mrhg/]

1.1.2. Principalele unități morfohidrografice

Rețeaua hidrografică este un subsistem determinant în ceea ce privește funcționarea ținutului deltaic. Rețeaua hidrografică principală este constituită din brațele fluviului: brațul Chilia, brațul Tulcea, continuat de brațele Sulina și Sfântu Gheorghe. Brațele Dunării transportă în Marea Neagră aproximativ întregul debit de apă și aluviuni ale fluviului. Brațele sunt definite de adâncimi și lățimi însemnate și sunt cuplate de grinduri fluviatile bine formate. Rețeaua hidrografică secundară este compusă din canale, periboine, sahare, japșe și gârle. Ele fac comunicația atât între lacuri cât și între ele și brațele principale. Pe brațele Sulina și Sfântu Gheorghe au fost efectuate modificări importante și anume scurtarea cu 28,15 km a brațului Sulina, respectiv cu 39 de km a brațului Sfântu Gheorghe [4]. Aceste acțiuni au determinat beneficii în ceea ce privește navigația navală pe brațe. Lungimea brațelor, respectiv lățimea lor și panta la nivel mediu este dată în Tabelul 1.1.

Tabel 1.1. Brațele principale ale Dunării [5]

Brațul	Lungimea (m)	Lățimea medie (m)	Panta la nivel mediu (%)
Chilia	111.000	340	0,015
Sfântu Gheorghe	110.000	348	0,017
Sulina	64.000	146	-

Teritoriile predeltaice sunt suprafețele încorporate în suprafața Deltei Dunării care au aparținut Câmpiei Bugeacului, iar datorită fenomenelor de eroziune fluvială, aceste suprafețe au fost separate fiind localizate în partea de nord a brațului Chilia. Aceste teritorii sunt alcătuite din depozite loessoide și se diferențiază mult de subunitățile limitrofe. În zona câmpul Chiliei, altitudinea se micșorează treptat de la nord spre sud și de la nord-vest spre sud-est, pe aceeași direcție, depozitele loessoide fiind ușor acoperite de depozitele fluviale. Astfel, peisajul se schimbă trecând de la imaginea unei câmpii veritabile la nord, la cel deltaic la sud. Suprafața teritoriilor predeltaice în prezent este aproximată la 8.183 ha (din care 2.755 ha pentru Stipoc și 5.428 ha Câmpul Chiliei). Altitudinea maximă identificată pentru Stipoc este de 3,80 m și 7,10 m pentru Câmpul Chiliei [6].

Grindurile fluviale s-au format în Delta Dunării datorită proceselor de depunere a aluviunilor în procesul de inundație. Ele se pot identifica în lungul brațelor principale ale Dunării. Înălțimea grindurilor fluviale crește din amonte către aval. În perioada dinainte de 1989 atunci când exista campania stuficolă a Deltei, au fost construite canale și platforme pentru depozitarea stufului, rezultând astfel grinduri antropice, unele dintre ele mai înalte față de cele naturale, fiind și ele considerate repere importante. Ca suprafață, grindurile fluviale acoperă aproximativ 50.000 de ha (15% din suprafața Deltei Dunării).

Grindurile maritime au fost rezultatul unei acțiuni combinate a fenomenelor marine și a fenomenelor fluviale. Aceste grinduri sunt distribuite perpendicular pe brațele Dunării. Grindurile maritime sunt în mare parte perisipuri vechi care au aceeași compoziție litologică și natură genetică similară. Aceste grinduri arată în mare parte ca niște legături de cordoane litorale, distribuite radier de la nord spre sud și sud – est pentru grindurile Caraorman, Letea și Jibrieni, iar de la nord – est spre sud și sud – vest în cazul grindurilor Chituc și Sărăturile. Ca suprafață, grindurile maritime acoperă aproximativ 35.000 de ha (în jur de 11% din suprafața Deltei) [7].

Depresiunile din Delta Dunării sunt elemente caracteristice. Faptul că aceste depresiuni există, se datorează faptului suprapunerii suprafețelor de apă cu suprafețe îndesate și fâșii de uscat care, comparându-se ca niște diguri amplasate la diferite înălțimi, fac ca cea mai mare parte din acoperirea zonei de vărsare a fluviului să se subîmpartă în fâșii depresionare din ce în ce mai mici, pe parcursul micșorării nivelului general al apelor. Depresiunile din Delta Dunării sunt de

fapt ostroave în adevăratul sens al cuvântului. Interiorul depresiunilor este amplasat sub înălțimea grindurilor periferice și au o înfățișare depresionară, astfel încât ele devin inundabile în momentul în care nivelurile apelor de pe canale sau brațe crește. Depresiunile amplasate fix în zonele de ramificație a brațului Chilia sunt ostroave în mare parte mici. Colmatarea acestora este relativ constantă, rețeaua hidrografică și lacurile ori nu apar, ori nu prezintă importanță. Depresiunile au în regimul de inundabilitate o fază unică. Astfel, din cauza colmatării aproape uniforme și a suprafețelor mici, compartimentarea din interior și crearea subdepresiunilor, nu sunt sesizabile pe măsură ce nivelul apei descrește [8].

Terenurile mlăștinoase sunt zone în Delta Dunării învelite permanent sau aproape permanent cu apă. Datorită faptului ca nu sunt suficient de adânci, terenurile mlăștinoase sunt invadate de vegetație de baltă și de stuf. Ele sunt situate fie la marginea lacurilor, fie independent în situația în care sunt foste lacuri care au ajuns într-o fază înaintată de colmatare. Atunci când apele sunt mari, multe terenuri mlăștinoase se modifică în bălți, acoperind cea mai mare parte a perimetrelor depresionare din Delta Dunării propriu-zisă. Suprafața aproximativă a terenurilor mlăștinoase cuprinde la 3 hidrografe, aproape 40% din teritoriul ei [9].

1.1.3. Relief

Delta Dunării, ca și celelalte delte, constituie o formațiune tânără, rezultată din raportul dintre factorii importanți care controlează zonele de coastă, respectiv variația nivelului mării, marea, valurile și curenții, asta pe de o parte, și debitul de apă în sectorul de vărsare pe cealaltă parte. Din punct de vedere morfologic, Delta Dunării poate fi considerată o câmpie aluvială în formare, ce poate fi remarcată printr-o hipsometrie redusă (ecart altitudinal de aproximativ 16 m), din care o parte sub nivelul marin. Din punct de vedere fizico-geografic, Delta Dunării este împărțită după cum urmează: delta fluvială și delta maritimă constituind două mari subregiuni naturale.

Un procent de aproximativ 65% din suprafața totală a Deltei este destinată Deltei fluviale, fiind desfășurată de la cealaltă Chilia spre aval, până la grindul Caraorman și grindul Letea. În ceea ce privește configurația hipsometrică pentru Delta Dunării, aceasta reprezintă un suport al tuturor componentelor cum ar fi: hidrografie, soluri, vegetație, habitat uman, activitate economică, și altele. Altitudinile medii și suprafețele subunităților sunt prezentate în Figura 1.2.

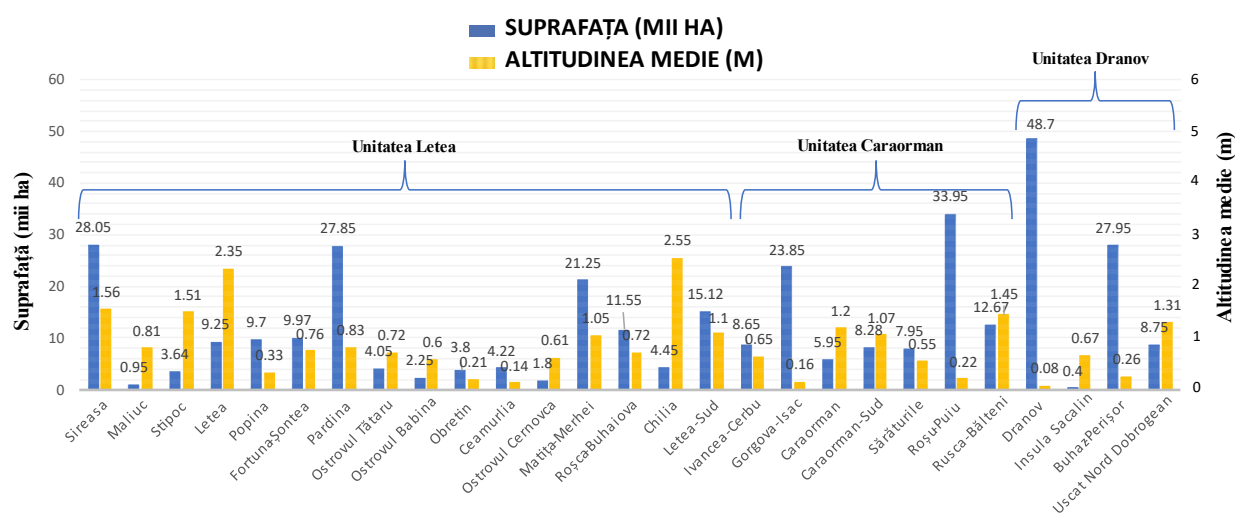


Figura 1.2. Suprafața (mii ha) și Altitudinea medie (m) a Unităților Letea, Caraorman și Dranov [grafic realizat personal cu ajutorul datelor procurate în anul 2006 de la Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare Delta Dunării]

Astfel, conform Figurii 1.2, în Delta Dunării, altitudinea medie este de +0,52 metri, valoare provenită din însumarea și medierea valorilor pe treptele hipsometrice dintr-un total de 27 de subunități. Acestea sunt generalizate la nivelul celor 3 unități existente și în final pe tot teritoriul spațiului deltaic. Cele 3 unități sunt denumite astfel: Unitatea Letea fiind formate din alte 16 subunități, Unitatea Caraorman cu 7 subunități și Unitatea Dranov cu 4 subunități.

1.1.4. Clima

Clima Deltei Dunării este dată de influențele pontice (deschiderea la Marea Neagră), influențe continentale și influențele ale aerului în advecție. Pentru că Marea Neagră este o mare continentală, influența ei asupra zonelor limitrofe este redusă. În schimb ea este cumulată cu influența suprafețelor acvatice și mlaștinoase din Delta Dunării. Influența cea mai mare se înregistrează în primii 25 de km de la țărm, suprafață în care gradientii orizontali de temperatură și umezeală se reduc considerabil. În ceea ce privește temperatura aerului, în Delta Dunării valorile sunt moderate. De la vest spre est, valorile medii anuale cresc consecutiv, totodată cu micșorarea influenței uscatului și cu amplificarea influenței mării. Valorile medii anuale sunt cuprinse între 11°C (Tulcea și Jurilovca) și 11,4°C (Gura porțiței) [10].

1.1.5. Așezările umane

În Delta Dunării se regăsesc 28 de localități. Populația din aceste localități a cunoscut fluctuații dealungul perioadei în ceea ce privește evoluția importanței economice a zonei. Dacă vorbim de aspectul morfostructural, există două tipuri de sate și anume: satul răsfirat și satul adunat. Localitățile cu structură răsfirată se regăsesc atât în Delta Dunării cât și în zona limitrofă. Ele sunt caracterizate având o densitate redusă a locuințelor. Localitățile cu structură adunată sunt în general amplasate pe câmpul continental (Chilia Veche), pe grindurile neinundabile marine și anume Letea și Constantin Alexandru (CA) Rosetti și în câmpia litorală Razim. În această perioadă, numărul de locuitori din Delta Dunării a scăzut cu peste 3.500 de locuitori. Acest lucru este dat de scăderea mediei anuale de 2,5% [11].

Evoluția numerică a populației a scăzut în perioada 1912 – 2011, chiar în perioadele în care populația a cunoscut o creștere (Tabelul 1.2).

Tabel 1.2. Evoluția populației din Delta Dunării [12]

Anii	Rural	Urban	Total
1912	10.459	7.347	17.806
1930	12.135	6.399	18.534
1966	15.713	4.005	19.718
1977	9.046	5.484	14.530
1997	8.475	5.137	13.612
2002	9.694	4.601	14.295
2011	8.012	4.295	12.307

În perioada 1948 – 1956 a fost înregistrat cel mai mare spor al populației, de 12,6%. Această lucră a fost datorat sporului natural din rural care a înregistrat 13,4%. Sporul cel mai mic s-a înregistrat în perioada 1966-1977, din cauza micșorării populației rurale. Totodată, populația rurală în această perioadă s-a redus cu un sfert, și anume peste 4.000 de persoane. Cauza care a dus la acest declin demografic o reprezintă migrația forței de muncă. O bună parte din populația rurală a plecat din Delta în perioada inundațiilor mari care s-au înregistrat în anii 1970 și 1975. În mai toate localitățile din Delta Dunării, populația s-a micșorat considerabil în perioada anilor 1966-1977: Pardina, -19,3%, Rosetti, -27,9%, Ceatalchioi, -43,6%, Maliuc, -30,0% [12]. Densitatea medie a populației în Delta Dunării este destul de mică, și anume 5,4 loc./km².

1.2. Riscul la inundații în Delta Dunării

1.2.1. Concepte

O privire în ansamblu în ceea ce privește amenințarea și efectele pe care le poate dezvolta un pericol este legată fix de înțelegerea și interpretarea următoarelor noțiuni: **expunere, viituri, inundație, risc și vulnerabilitate**.

Expunerea este dată de activele și valorile din perimetrele predispușe la inundație. Expunerea este prezentată ca o componentă suplimentară a riscului de distrugere. Ea vizează la ceea ce este afectat de hazardele naturale, cum sunt teritoriile, proprietățile, oamenii ș.a. În altă ordine de idei, expunerea este dată de bunurile materiale, de prezența oamenilor sau alte elemente care ar putea fi afectate în perimetrele unde se produc inundații [13].

Viiturile sunt fenomene naturale ce sunt reprezentate de o creștere rapidă și bruscă a debitului unei ape curgătoare și care fac parte din zona evenimentelor normale ale scurgerii ce determină momente maxime de vârf în evoluția scurgerii apei unui fluviu sau râu. După ce se atinge pragul maxim, urmează scăderea bruscă a apelor, dar ritmul este mult mai lent în raport cu creșterea, în final revenind la parametri de scurgere normali [14]. Viiturile sunt printre cele mai dăunătoare tipuri de dezastre meteorologice cu care se confruntă omenirea în zilele noastre. Ele pot fi cauzate fie de precipitații extreme, de eșecul structurilor create de om, cum ar fi digurile, fie de interacțiunile complexe apă-zăpadă. Dezvoltarea rapidă a viiturilor impune provocări suplimentare pentru predicția timpurie în comparație cu inundațiile fluviale. Măsurile structurale adoptate pentru a reduce impactul acestor evenimente includ construcția de componente fizice menite să îmbunătățească rezistența generală a sistemelor de drenaj, cum ar fi digurile și iazurile de detenție. Soluțiile nestructurale includ adoptarea reglementărilor pentru utilizarea / ocuparea terenului, instruirea personală pentru acțiuni receptive și implementarea sistemelor operaționale de avertizare rapidă împotriva inundațiilor [15].

Inundațiile în anumite cazuri reprezintă efectul pe care viiturile le au. Inundațiile sunt fenomene naturale la care societatea noastră este expusă de cele mai multe ori, fiind considerate fenomene cauzatoare responsabile pentru pierderile umane, economice și de mediu în context global. Inundația este fenomenul de acoperire a terenului cu un strat de apă (provenită din revărsarea apelor, din ploii) care poate fi în stagnare sau în mișcare. Prin mărimea și durata sa provoacă victime umane și distrugerii materiale punând în pericol buna desfășurare a activităților social-economice din zona afectată. Conform Agenției Europene de Mediu – European Environment Agency (EEA), inundațiile sunt responsabile pentru o treime din pierderile economice. În ultima vreme, inundațiile reprezintă cel mai frecvent eveniment împreună cu furtunile. Inundațiile sunt din categoria hazardelor naturale, care pot apărea la orice scară, fiind prezente în literatura de specialitate sub acest nume. Hazardul reprezintă evenimentul care apare cu o probabilitate de apariție într-o anumită zonă și într-o anumită dată, a unui fenomen distructiv [16].

Riscul poate fi definit ca probabilitatea de expunere a omului și a proprietăților acestuia la forța generată de un hazard cu o mărime specifică. Riscul reprezintă pragul probabil de pierdere de vieți omenești, cifra de răniți, pagubele provocate proprietăților, și pagubele activităților economice de un fenomen natural anume sau de o sumă de fenomene într-o perioadă de timp. Putem spune că elementele de risc sunt date de populație, de activități economice, de căile de comunicație, de proprietăți, etc., expuse riscului într-un anumit areal. Riscul mai poate fi reprezentat ca fiind un produs matematic dintre vulnerabilitate și hazard, fiind afișat ca o relație între un fenomen și consecințele lui [17].

Vulnerabilitatea este o problemă ce preocupă frecvent lumea științifică din domeniul managementului riscului, aceștia aducând noi contribuții atât în definiții, cât și în modul de determinare. În general, de-a lungul timpului, termenul de vulnerabilitate face referire la

incapacitatea de a îndura efectele unui mediu care nu este favorabil, utilizat însă în mediile științifice, capătă un sens nemaîntâlnit, fiind explicat în cuprinsul studiului respectiv. În altă ordine de idei, definiția și metoda cu care se evaluează vulnerabilitatea sunt date de fiecare studiu în parte, iar în final trebuie să fie transparente în contextul specific. Multe definiții și metode care evaluează vulnerabilitatea reprezintă o evidență a diversității de opinii și a înțeleșurilor oferite acestui termen. Dacă ne referim la abordările ingineresti, discutăm concret de vulnerabilitatea fizică, ca fiind nivelul de pierdere pentru un anumit component sau seturi de componente, localizate în perimetrul afectat de un pericol [18].

1.3. Istoricul inundațiilor în Delta Dunării

1.3.1. Inundabilitatea Deltei Dunării

Un aspect important în acest studiu este cunoașterea aspectelor procesului inundabilității. Studiul acestui proces se impune prin strânsa legătură care există între inundarea interiorului Deltei și diminuarea viitoarelor construcții hidrotehnice, marcarea suprafețelor agrosilvice, stuficole și piscicole, amplasarea diferitelor construcții, alegerea suprafețelor locuibile, etc. Delta Dunării este o unitate fizico-geografică al cărei relief este dat numai în aparență lipsit de diversitate. Astfel, deși energia de relief se concretizează prin diferențe altitudinale de numai câțiva metri, acestea, alături de numeroase grinduri interioare localizate la diferite înălțimi, fac ca inundarea Deltei să se desfășoare ca un proces fizic deosebit de complex. Această complexitate se manifestă atât în timp cât și în spațiu [19].

1.3.2. Lucrările hidrotehnice de îndiguire a incintelor în Delta Dunării

Primele operațiuni de îndiguire și regularizare ale fluviului sunt realizate în perioada secolului al XVIII-lea, ca urmare a "Direcțiunii Imperiale pentru Navigație". Această direcțiune a fost emisă de Împărăteasa Maria Tereza în anul 1773. În acest sens s-au realizat primele îndiguiri de maluri pe suprafața actuală a Ungariei și Austriei, pentru evitarea inundațiilor. Începând cu partea a doua a secolului al XIX-lea, după apariția Comisiei Europene a Dunării în anul 1856, pe brațul Sulina sunt declanșate lucrările de regularizare a brațului în vederea îmbunătățirii căilor de navigație. În anii 1868 – 1902, meandrele brațului Sulina au fost decupate de 9 canale. În urma acestor lucrări hidrotehnice, debitul de apă pe care brațul Sulina îl lua, se ridică de la o valoare premergătoare de 7 – 9 % din debitul de apă total al fluviului până la 16 – 17 % în anul 1921, iar ulterior în prezent la 18 – 20 % [20].

O parte din amenajările agricole ale Deltei Dunării, au fost realizate înainte de cel de-al 2-lea război mondial prin Ostrovul Tătaru, în anul 1939. Ulterior, construirea amenajărilor agricole s-a realizat după anii 1960 prin intervenții de desecarea și îndiguire a unor suprafețe mari de apă și uscat, ajungând la aproximativ 53.000 de ha în anul 1990. Datorită condițiilor precare pentru agricultură, din această suprafață, au mai rămas în folosință 39.000 de ha în prezent. Dintre amenajările agricole cele mai importante și după mărimea lor, menționăm următoarele: Pardina cu o suprafață de 27.000 ha, Sireasa cu o suprafață de 7.550 ha, Ostrovul Tătaru cu o suprafață de 2.600 ha, Murighiol-Dunăvăț cu o suprafață de 2.540 ha, Tulcea – Nufăru cu o suprafață 2.350 ha, etc. Se subliniază faptul că, în perimetrul acestor amenajări eliminate de sub consecința inundațiilor, există zone importante necultivate, dar care n-au fost ulterior conectate regimului natural deltaic [21]. Amenajările agricole, ca și celelalte amenajări (piscicole și silvice), fac parte din ecosisteme care funcționează, mai mult sau mai puțin, potrivit scopului pentru care au fost realizate. În acest sens, acțiunile de desecare efectuate au dus la eliminarea fostelor ecosisteme naturale și la înființarea ecosistemelor antropice [22].

Eliminarea acestor suprafețe din regim natural, nu a afectat și nu afectează prea mult echilibrul ecologic deltaic și în același timp, ele fiind benefice din punct de vedere agricol. Transformări la un nivel mult mai mare s-au produs, în depresiunea Pardina și în depresiunea Sireasa. Amenajarea agricolă Sireasa are o suprafață de 7.550 ha, fiind două mare unitate agricolă din Delta Dunării, având la bază aceeași concepție de amenajare ca și amenajarea agricolă Pardina. Îndiguirea teritoriilor din Delta Dunării a reprezentat schimbări pe parcursul timpului, în ceea ce privește modul în care acționează fenomenele de inundații în cazul cedării digurilor de protecție construite [23].

1.3.3. Efectul îndiguirilor și al inundațiilor în Delta Dunării

Evenimentele hidrologice pot genera în bazinele hidrografice mici și mari, schimbări deosebit de importante atât asupra sistemelor hidro-geo-morfologice, din punct de vedere fizic, cât și asupra sistemelor socio-economice și ecologice cum ar fi bunurile materiale, dezechilibrele mediului înconjurător și chiar pierderea de vieți omenești. În țara noastră, inundațiile sunt evenimente hidrologice care pot apărea la diferite scări și care se defășoară tot mai des [24]. În Delta Dunării, datorită poziției geografice dar și datorită specificului natural unic, determină apariția frecventă a hazardurilor hidrologice (inundații, temperature mari, averse însemnate însoțite uneori de grindină, furtuni puternice, s.a.). Inundațiile în Delta Dunării, ca sistem hidrologic complex sunt însemnate în dinamica evolutivă a elementelor ce alcătuiesc sistemul natural. Strâns legat de procesul de scurgere a fluviului, gradul de inundabilitate în Delta Dunării susține atât procesele de aluvionare, cât și alimentarea cu apă a complexelor acvatice din interiorul Deltei [25].

Datorită îndigurilor din Deltă, debitele Dunării nu au suferit schimbări semnificative, la fel ca și proporțiile preluate de rețeaua de canale. Se întrevide astfel o curgere mai accelerată a apei prin teritoriul deltaic, cu intensificarea vizibilă a fenomenelor de aluvionare. În unitățile principale ale Deltei Dunării, fenomenul de inundabilitate este distinct [26]. În unitatea Letea (cu spațiul între brațele Chilia și brațul Sulina) din cele 152.000 de ha cât este acoperirea totală a acestei unități, aproximativ 44,10%, adică 67.000 ha, sunt îndiguite, adică scoase de sub impactul inundării. În unitatea Caraorman (cu spațiul între brațele Sulina și brațul Sf. Gheorghe) din acoperirea de 97.000 de ha, aproximativ 12.500 ha (reprezentând 12,90%) sunt îndiguite și deci neinfluențate de inundații. Unitatea Dranov acoperă toată depresiunea Dranovului la care se mai adaugă și teritoriul localizat între uscatul dobrogean și brațul Sf. Gheorghe (acest perimetru cumulează peste 82.000 de ha, din care în prezent 24.250 ha (aproximativ 29,5%) sunt îndiguite și ferite de inundații [27].

În Delta Dunării, există pericolul cedării incintelor îndiguite în perimetrele unde au apărut pe parcursul timpului, fenomene de tasare a digurilor de protecție sau dacă nu, pericolul excepțional de dezlănțuire a fenomenelor de infiltrații, sufozii și grifoane din cauza perioadei foarte intense a viiturilor. Mai există în același timp și riscul neconținut al eroziunilor însoțite câteodată de deplasări ale versanților care pun în pericol case sau bunuri materiale. În acest sens, incintele îndiguire, au avut drept scop valorificarea lor din punct de vedere economic (interesele de valorificare agricolă a zonei) [28].

La momentul proiectării incintelor, nu s-a ținut cont de importanța peisajului și a terenului, de schimbările climatice, de modificările hidromorfologice, de uzura în timp a digurilor de protecție și probabilitatea ridicată ca aceste diguri să cedeze la o viitură puternică, de bilanțul hidrologic etc. În Delta Dunării, localitățile distribuite pe brațele principale sunt cele mai afectate de inundații, atunci când nivelurile Dunării depășesc valorile normale. Fenomenele extreme cum sunt viiturile, reprezintă pericolul major pentru așezările rurale și urbane din Delta Dunării [29].

1.3.4. Impactul inundațiilor în zona de studiu

Un eveniment major de inundații în Delta Dunării a fost identificat în vara anului 2010 și examinat în acest studiu. Debitul rezultat în urma inundațiilor fluviului a fost de 16.060 m³/s, spre deosebire de debitul mediu de 6.658 m³/s (între 1965 – 2015, înregistrat la Ceatal Chilia). Nivelul maxim al inundației a fost înregistrat la 6 iulie 2010 atingând cota maximă de 4,95 metri, măsurată în sistemul de referință Marea Neagră Sulina (r.M.N.S.), opus nivelului mediu de 2,50 m. Amenajarea agricolă Sireasa din Delta Dunării a fost puternic afectată de această inundație, care a produs pagube semnificative asupra localităților aflate în interiorul amenajării dar și asupra terenurilor arabile din zonă. Amenajarea agricolă Sireasa este așezată în partea de nord-vest a Deltei Dunării în județul Tulcea pe marginea frontierei cu Ucraina (Figura 1.3).

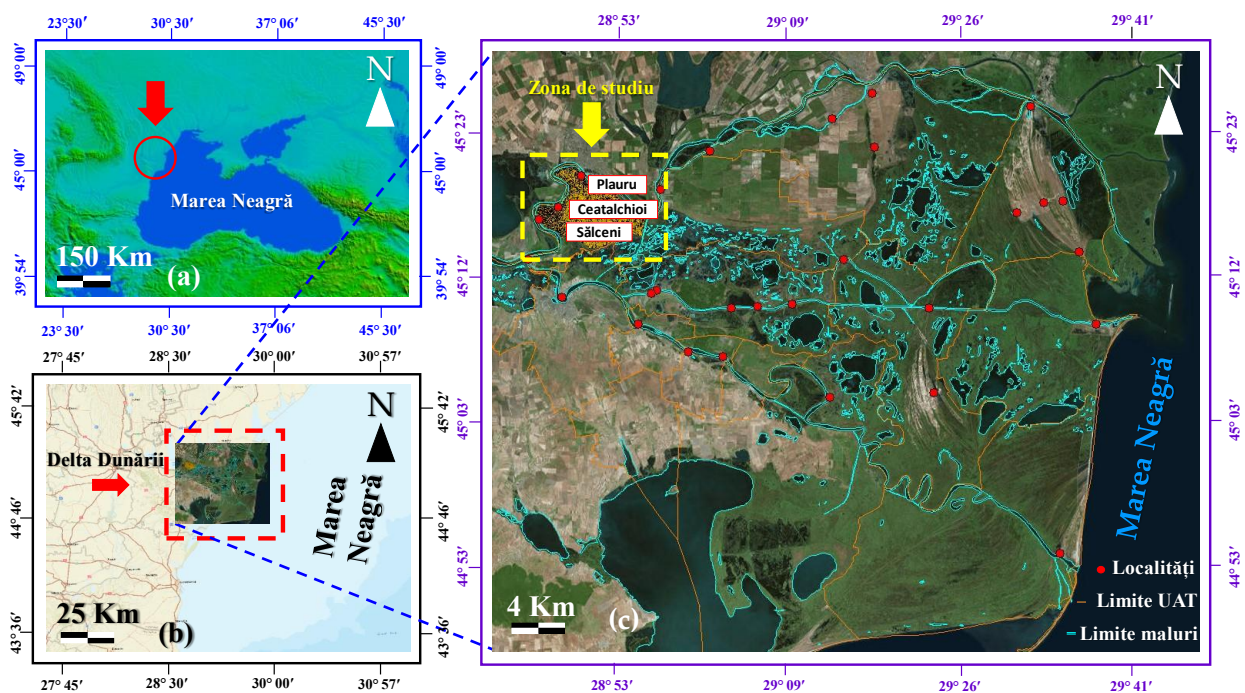


Figura 1.3. Amplasarea geografică a localităților din amenajarea agricolă Sireasa Delta Dunării luate în considerare în acest studiu, (a) zona de studiu suprapusă peste modelul digital al terenului, (b) zona de studiu suprapusă peste harta topografică, (c) poziția geografică a localităților suprapuse peste ortofotoplanul Deltei Dunării [hartă realizată personal cu ajutorul datelor GIS procurate în anul 2020 de la Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare Delta Dunării și de pe <https://geoportal.ancpi.ro/portal/home/>]

Figura 1.3 prezintă amplasarea geografică a localităților din amenajarea agricolă Sireasa Delta Dunării luate în considerare în acest studiu, localitățile distribuite atât pe brațele principale cât și în interiorul deltei, limitele UAT și limitele de maluri suprapuse peste ortofotoplan. Amenajarea agricolă Sireasa găzduiește în interiorul ei, trei localități (Ceatalchioi, Plauru și Sălceni) aflate pe malul drept al brațului Chilia (Figura 1.4). În urma evenimentelor de inundații produse de nivelurile ridicate ale Dunării din vara anului 2010, localitățile din amenajarea agricolă Sireasa, au avut de suferit, înregistrând la momentul respectiv pagube însemnate asupra gospodăriilor și asupra infrastructurii. Conform mai multor rapoarte de sinteză, au fost inundate un număr impresionant de case și un număr impresionant de anexe gospodărești, iar în ceea ce privește infrastructura, au fost afectate drumurile din localități, drumurile comunale și drumul județean. Una dintre cauzele inundației a fost cedarea digului de protecție al amenajării agricole

Sireasa la presiunea viiturii din luna iulie 2010. Amplasamentul digului de protecție este prezentat în Figura 1.4.

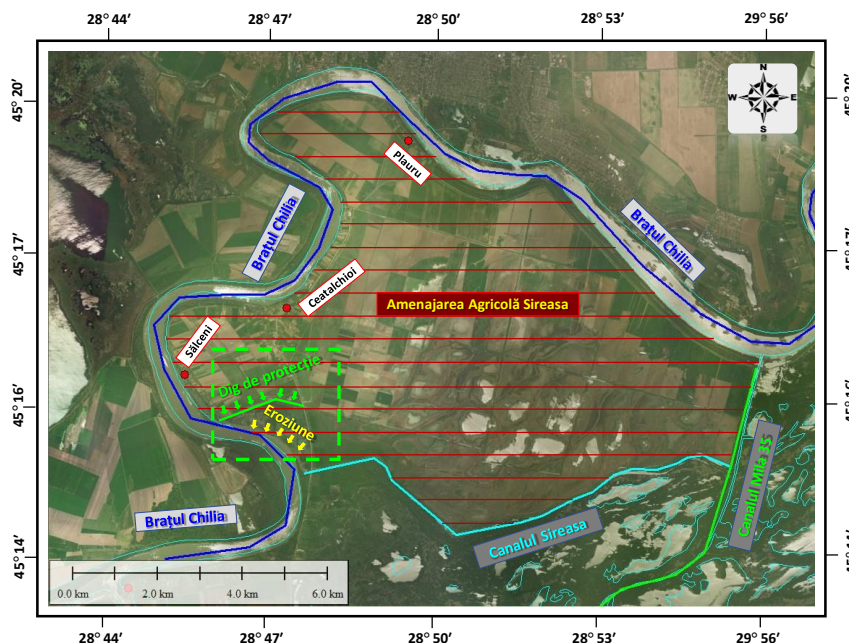


Figura 1.4. Amplasarea geografică a localităților, a digului de protecție și a zonei de eroziune din amenajarea agricolă Sireasa Delta Dunării [hartă realizată personal cu ajutorul datelor GIS procurate în anul 2020 de la Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare Delta Dunării]

Figura 1.4 prezintă amplasarea geografică a localităților analizate în acest studiu, digul de protecție și zona de eroziune din amenajarea agricolă Sireasa suprapusă peste ortofotoplan. Cedarea a fost determinată și de expunerea repetată a digului de protecție la nivelurile mari ale Dunării în perioadele de primăvară-vară în decursul anilor. Expunerea digului de protecție al amenajării agricole Sireasa s-a datorat dispariției treptate în timp a malului drept (digul de pământ ce înconjoară amenajarea agricolă Sireasa) de pe brațul Chilia prin intensificarea repetată a fenomenelor de eroziune (Figura 1.5).

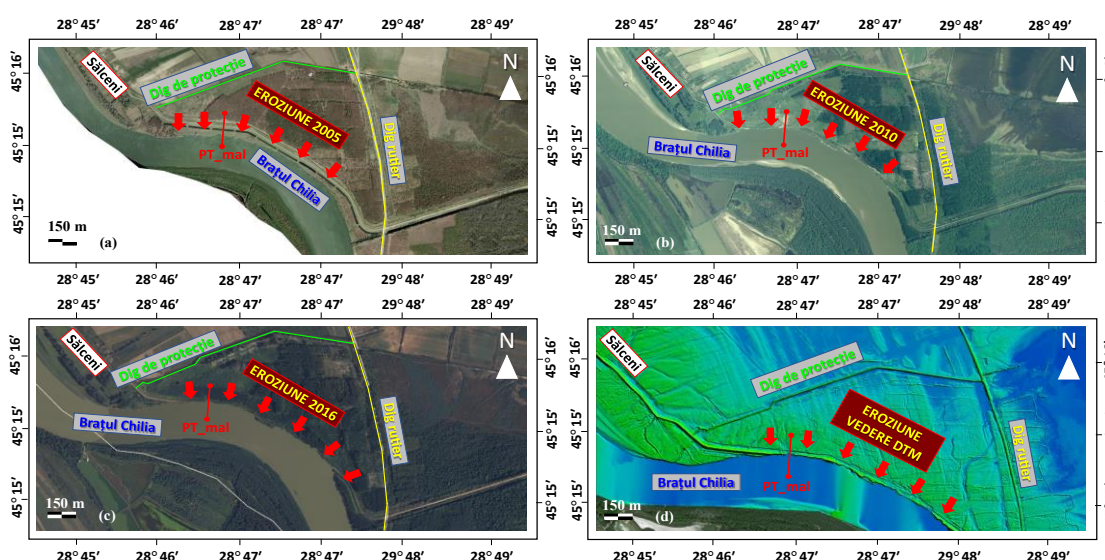


Figura 1.5. Amplasamentul digului de protecție și a zonei de eroziune din amenajarea agricolă Sireasa Delta Dunării, (a) vedere ortofotoplan 2005, (b) vedere ortofotoplan 2010, (c) vedere ortofotoplan 2016, (d) vedere modelul digital al terenului 2011

Figura 1.5 prezintă amplasamentul digului de protecție și a zonei de eroziune din amenajarea agricolă Sireasa. Amplasamentul este suprapus peste ortofotoplanuri din ani diferiți și peste Modelul Digital al Terenului (MDT). Datorită fenomenelor de eroziune parcurse în timp, o importantă parte a malului drept al brațului Chilia a fost spălat de ape, favorizând astfel propagarea apelor în interior, depășind malul către digul de protecție al amenajării agricole Sireasa. Eroziunea verticală produce cursul fluviului în general. În cazul malului drept al brațului Chilia, problema spălării acestuia este dată de eroziunea laterală a Dunării, ea fiind caracteristică cursului mijlociu și inferior al fluviului, determinată atât de lărgirea văii cât și de devierea cursului de apă. Prin urmare, în Figura 1.6 sunt prezentate patru profile transversale (PT_mal) realizate în patru ani diferiți (2005, 2010, 2016 și 2019) distribuite în zona de eroziune în dreptul amenajării agricole Sireasa. Distribuția profilelor (PT_mal) pentru anii 2005, 2010 și 2016 este prezentată în Figura 1.5.

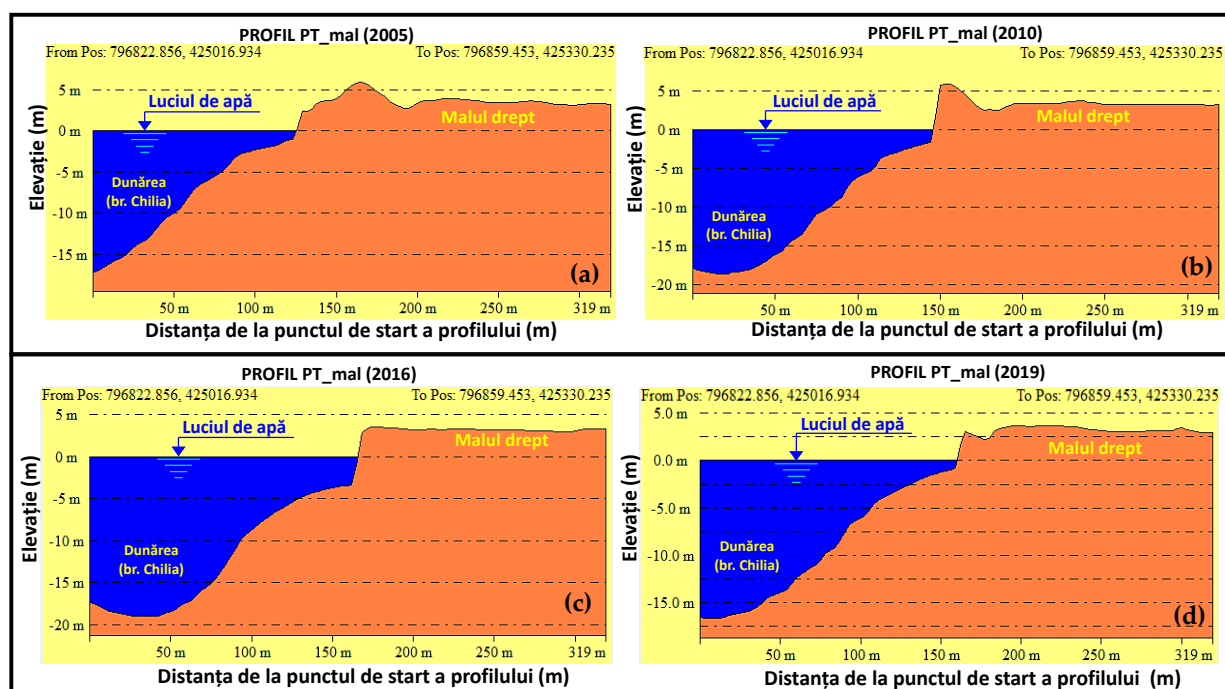


Figura 1.6. Profile transversale în zona de eroziune (malul drept al brațului Chilia) în dreptul amenajării agricole Sireasa, (a) Vedere profil transversal PT_MAL (2005), (b) Vedere profil transversal PT_MAL (2010), (c) Vedere profil transversal PT_MAL (2016), (d) Vedere profil transversal PT_MAL (2019)

Analizând Figura 1.6 putem spune faptul că fenomenele de eroziune au schimbat configurația malului în timp, iar în prezent situația anului 2010 se poate repeta în cazul apariției unei noi viituri puternice pe Dunăre. Cedarea digului de protecție al amenajării agricole Sireasa a însemnat formarea treptată a unei breșe/ruptură în interiorul digului de mari dimensiuni, fapt ce a făcut posibilă trecerea rapidă a unui volum important de apă în interiorul amenajării agricole, inundând progresiv localitățile Sălceni, Ceatalchioi, Plauru și o importantă suprafață arabilă. Ulterior, după retragerea apelor din amenajarea agricolă ca urmare a scăderii nivelurilor Dunării, digul de protecție a fost reparat integral. Studiul de față analizează scenariul în care digul de protecție al amenajării agricole Sireasa cedează din nou la o nouă viitură puternică pe Dunăre, iar localitățile sunt din nou inundate treptat. Această ipoteză este susținută de faptul că în prezent digul de protecție (cu intervențiile pe care le-a avut după marea inundație din anul 2010 și anume repararea lui) este degradat datorită uzurii în timp, reprezentând astfel un risc ca acesta să cedeze din nou la o nouă viitură puternică. Uzura digului de protecție este dată de apariția importantă a fenomenelor de tasare în fundația digului și de dispariția parțială a taluzului.

Capitolul 2. Materiale și metode de cercetare

În cadrul elaborării prezentei cercetări privind analiza riscului la inundații în zona de studiu au fost utilizate o multitudine de metode de cercetare și o serie întregă de date (hidrologice, topo-geografice și hidraulice). Astfel, au fost realizate mai multe studii și cercetări în teren necesare pentru actualizarea modelului digital al terenului și pentru actualizarea modelului albiei minore al brațului Chilia. În urma actualizărilor efectuate a fost obținut MDT Complex. Prelucrarea și procesarea datelor colectate s-a realizat cu ajutorul programelor software de specialitate GIS.

Echipamentele și materialele folosite pentru studiile de teren au fost furnizate de Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare Delta Dunării (INCDDD).

Prezentul studiu cuprinde analiza a două scenarii de inundare pentru localitățile din amenajarea agricolă Sireasa Delta Dunării. Aceste scenarii de inundare se produc în contextul apariției unei breșe/rupturi în digul de protecție a localităților, în condiții de niveluri maxime ale Dunării. Diferența dintre aceste două scenarii o reprezintă timpul în care breșa rămâne deschisă în digul de protecție. Astfel, primul scenariu de analiză a inundațiilor a fost aplicat localităților prin modelarea unui scenariu real de apariție a unei deschideri (breșe) de 20 metri în digul de protecție, care rămâne prezentă timp de 24 de ore la niveluri maxime ale Dunării.

Al doilea scenariu de analiză a inundațiilor, a fost aplicat localităților, printr-o analiză GIS (această analiză este statică din punct de vedere hidraulic), care a constat în suprapunerea informațiilor corespunzătoare nivelului maxim al apei peste MDT. Acest lucru corespunde celui mai defavorabil scenariu, și anume breșa rămâne prezentă în digul de protecție pentru o perioadă mai lungă (mai mult de 24 de ore), concomitent cu nivelurile maxime de apă ale Dunării. Astfel, pentru analiza scenariilor de rupere a digului de protecție, au fost utilizate două metode: metoda dinamică pentru primul scenariu și metoda statică pentru al doilea scenariu. Pașii următori în analiza scenariilor sunt rezumați într-o diagramă de proces, prezentată în Figura 2.1.

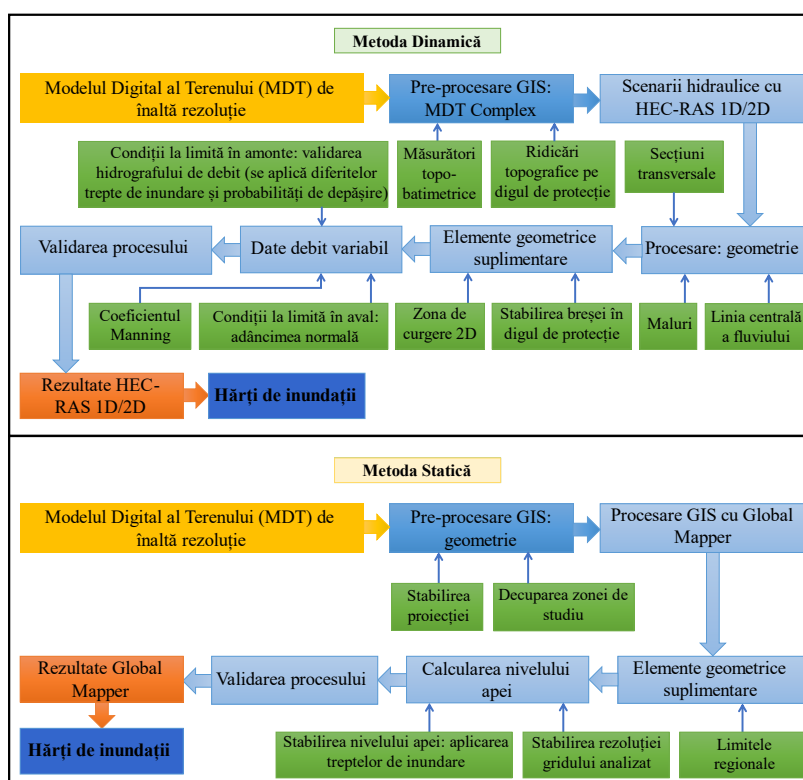


Figura 2.1. Diagrama care indică metodologia și pașii principali luați în considerare în studiul de față

Conform Figurii 2.1, diagrama implică un proces dinamic, continuu și interactiv. Aceste etape nu alcătuiesc un proces liniar, ci se deplasează succesiv de la o etapă la alta și variază în mare măsură de rezultatele fiecărui pas. Din schemă reiese clar că datele de intrare sunt foarte importante în analiza scenariilor de inundații. Procesul de colectare a datelor pornește cu o evaluare la nivel de regiune, o etapă exploratorie sau chiar o investigație, care oferă informații de intrare pentru diagrama propusă. În momentul colectării informațiilor, mai întâi sunt procurate datele brute (în acest caz avem datele topo-batimetrice, datele hidrologice, debitele și nivelurile apei, profilele transversale, hărțile topografice, MDT, imaginile satelitare, ortofotoplanurile, etc.), reprezentând informațiile primare care au nevoie de o prelucrare inițială pentru a putea fi folosite ulterior. Informațiile sunt colectate din surse externe, cum ar fi studiile științifice, informații privind fluxul administrativ, imagini/fotografii la diferite rezoluții, hărți la diferite scări sau surse interne colectate în timpul cercetării folosind o metodologie specifică și corespunzătoare. Această etapă de procesare a datelor colectate presupune o abordare strânsă și poate fi utilizată ulterior pentru a caracteriza în detaliu elementele analizate și în final pentru a determina efectele inundațiilor.

După colectarea și validarea tuturor informațiilor necesare în diagrama prezentată, ulterior în urma procesării datelor urmează etapa de modelare hidraulică (metoda dinamică) și analiză GIS (metoda statică). Modelarea hidraulică și analiza GIS utilizează informațiile colectate din teren sau dobândite de la stații specifice cum sunt stațiile hidrometrice (colectează date privind nivelurile și debitele apei). Așa cum se arată în Figura 2.1, metodologia propusă combină două metode de analiză. Pentru abordarea fiecărei metode, sunt necesare date de intrare, cum ar fi MDT, date hidrologice, date topo-batimetrice și date topo-geografice pentru zona Deltei Dunării.

Capitolul 3. Rezultate și discuții

3.1. Rezultatele modelării hidraulice cu HEC-RAS (metoda dinamică) și analizei GIS (metoda statică) pe brațul Chilia

Calibrarea modelului hidraulic s-a realizat mai întâi în amonte de zona de studiu, mai precis în sectorul de intrare al Dunării în Deltă (Ceatal Chilia), iar ulterior în aval, la gura de vărsare a brațului Chilia în Marea Neagră. Calibrarea modelului în programul software HEC-RAS a fost făcută prin valori alternative ale coeficienților de rugozitate Manning, între 0,025 și 0,03 și prin aplicarea datelor cheii limnimetrice de la stația hidrometrică Tulcea Port. În etapa următoare (modulul unsteady flow din HEC-RAS), pentru a defini condițiile la limită, a fost efectuată o analiză a datelor hidrologice ale Dunării, care a necesitat descrierea istoricului debitului de apă pentru o perioadă de timp.

Nivelul apei pentru secțiunile măsurate în amonte și în aval a fost calculat utilizând poziționarea cinematică în timp real Real Time Kinematic (RTK). Pentru a determina nivelul suprafeței apei, pentru fiecare secțiune transversală a albiei în care au fost efectuate măsurători batimetrice, s-au folosit trei metode. Prima metodă a constat în măsurători cu Global Positioning System (GPS)-ul Global Navigation Satellite System (GNSS) SPECTRA PRECISION SP80, a doua metodă constat în măsurători cu nivela optică LEICA NA 524, iar a treia metodă a constat în citirea valorilor înregistrate la mirele hidrometrice (Patlageanca, Pardina, Chilia Veche și Periprava). Pentru georeferențierea datelor (referențierea spațială / globală) s-au utilizat datele de poziționare geografică a fiecărui punct din profilul albiei și datele privind adâncimea fiecărui punct, adică cota absolută a albiei, cu sistemul de Referință Marea Neagră 75 (r.M.N.75). Datele X, Y, Z au fost astfel date georeferențiate obținute pentru fiecare punct măsurat de Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) în secțiunile topo-batimetrice de pe brațul Dunării. În urma prelucrării GIS a datelor topografice și batimetrice, a fost obținut un nou model digital al albiei minore și un model digital al terenului actualizat. Cuplarea celor două modele a dus la un model digital complex cu date actualizate pe albia minoră și pe digul de protecție.

Următorul pas în analiza riscului la inundații îl reprezintă analiza scenariilor de inundații folosind metoda dinamică. Pentru metoda dinamică, a fost utilizat programul software specializat HEC-RAS 5.0.3. În prima etapă, MDT Complex a fost introdus în program pentru definirea și procesarea datelor geometrice. Datele geometrice utilizate pentru simularea hidrodinamică au fost obținute folosind modelul digital de înaltă precizie, cu o rezoluție spațială de 0,5 m × 0,5 m. Elementele geometrice următoare sunt constituite din linia centrală a brațului, liniile de mal, liniile de curgere de deasupra malurilor și 730 de linii de secțiune transversale, perpendiculare pe direcția de curgere a brațului. Fiecare profil transversal a cuprins cotele albiei brațului până la maluri, cu lungimi variabile, începând de la 800 m până la 1.800 m. Aceste caracteristici geometrice au fost utilizate în continuare în etapa de modelare hidraulică HEC-RAS. Un pas important în modelarea hidraulică îl reprezintă atribuirea valorilor de rugozitate. Valorile coeficienților de rugozitate Manning au fost stabilite luând în considerare natura albiei, relieful și elementele de vegetație din împrejurul brațului. Atributele zonei inundabile au fost furnizate de topografia MDT de înaltă rezoluție. Astfel, prin modelul hidraulic HEC-RAS uni-dimensional (1D) / bi-dimensional (2D), zona de curgere 2D a fost generată în zona de studiu și în amonte, prin proiectarea poligoanelor de-a lungul lungimii brațului, cuprinzând localitățile analizate prin definirea limitelor. Prin definirea acestor limite, programul a reușit să calculeze răspândirea valului de inundații.

După ce au fost îndeplinite condițiile la limită (în amonte: hidrografia debitului și în aval: adâncimea normală), procesul a fost validat. Valoarea de intrare pentru adâncimea normală a fost validată la 0,05. Proiectarea poligoanelor a fost realizată luând în considerare scenariul în care digul de protecție al amenajării agricole Sireasa are o breșă cu o deschidere de 20 m și este menținută pentru o perioadă de o zi. Figura 3.1 prezintă locația breșei în digul de protecție al amenajării agricole Sireasa. Nu au fost disponibile informații istorice fiabile despre poziția breșelor în digul de protecție.

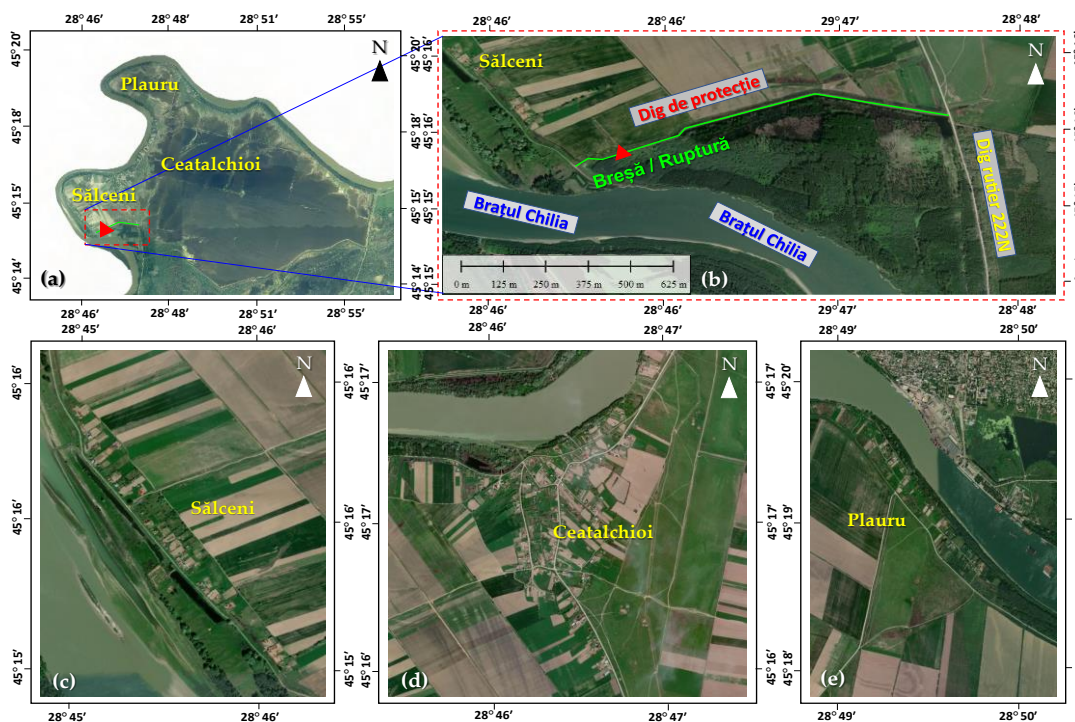


Figura 3.1. (a), (b) Scenariu de rupere în digul de protecție al amenajării agricole Sireasa reprezentat pe ortofotoplan, (c) Vedere localitatea Sălceni pe ortofotoplan, (d) Vedere localitatea Ceatalchioi pe ortofotoplan, (e) Vedere localitatea Plauru pe ortofotoplan [hartă realizată pe baza măsurătorilor topografice efectuate personal în teren și pe baza datelor GIS procurate de la INCDDD]

Din această perspectivă, locația asumată pentru introducerea breșei, a fost stabilită având în vedere cea mai vulnerabilă zonă de pe digul de protecție. În modelarea hidraulică efectuată, pe lângă hidrograful de debit maxim, au fost aplicate mai multe hidrografe de debite corespunzătoare treptelor de inundare și probabilităților de depășire (10%, 1% și 0,1%). În final au fost obținute 21 scenarii de inundații prin metoda dinamică (12 scenarii obținute în urma aplicării treptelor de inundare și 9 scenarii obținute în urma aplicării probabilităților de depășire). Treptele de inundare aplicate localităților sunt prezentate în Tabelul 3.1, iar debitele maxime pentru probabilitățile de depășire sunt prezentate în Tabelul 3.2.

Tabel 3.1. Trepte de inundare aplicate localităților analizate în sistem de r.M.N.75 și r.M.N.S.

Nivelul apei – Brațul Chilia					
Localități	Sistemul de referință	Treapta 1	Treapta 2	Treapta 3	Treapta 4
Sălceni	(m) r.MN75	3,52	3,92	4,32	4,72
	(m) r.MNS	3,74	4,14	4,54	4,94
Ceatalchioi	(m) r.MN75	3,34	3,74	4,14	4,54
	(m) r.MNS	3,56	3,96	4,36	4,76
Plauru	(m) r.MN75	2,98	3,38	3,78	4,18
	(m) r.MNS	3,20	3,60	4,00	4,40

Pentru fiecare localitate, au fost aplicate patru trepte de inundare cu intervale de 40 de cm. Treptele de inundare au fost prezentate în sistemul de r.M.N.S. și Marea Neagră 75. Ele au fost calculate de la cel mai scăzut nivel de inundații la cel mai înalt nivel de inundații pentru fiecare localitate analizată. Astfel, pot fi vizualizate diferite scenarii de inundații ale localităților pentru diferite niveluri de apă.

Tabel 3.2. Scenarii pentru debite maxime cu probabilitate de depășire 10%, 1% și 0,1%

Locația	Probabilitate de depășire 10% (Q10)	Probabilitate de depășire 1% (Q100)	Probabilitate de depășire 0,1% (Q1000)
Ceatal Chilia	13.989 m ³ /s	17.213 m ³ /s	20.213 m ³ /s

După rularea scenariilor cu probabilitate de depășire, au fost obținute hărți de hazard la inundații ale localităților analizate, iar ulterior hărți de risc la inundații. Hărțile de hazard la inundații acoperă localitățile și zonele adiacente care ar putea fi inundate în cazul apariției unei breșe în digul de protecție. Astfel au fost analizate inundațiile cu probabilitate mică de apariție (0,1%) – scenarii de inundații care se produc o dată la 1000 de ani, inundațiile cu probabilitate medie de apariție (1%) – scenarii de inundații care se produc o dată la 100 de ani și inundații cu probabilitate mare de apariție (10%) – scenarii de inundații care se produc o dată la 10 ani. Hărțile de hazard și hărțile de inundații obținute prin aplicarea treptelor de inundare conțin ca elemente specifice, adâncimea sau cota apei, mărimea inundației sau viteza de curgere a inundației în funcție de debit. Pentru obținerea scenariilor de inundații s-a realizat o analiză a datelor și a evenimentelor istorice importante care s-au petrecut în zona de studiu. Debitele maxime prezentate în Tabelul 3.2 au fost puse la dispoziție de INCDDD. Aceste date au stat la baza obținerii scenariilor de inundare. În HEC-RAS, calculele hidraulice au fost efectuate la 06 iulie 2010 ora 09:00, timp de 24 de ore (intervalul de timp în care este menținută breșa de inundare în digul de protecție pentru metoda dinamică). Astfel, scenariile au fost rulate prin executarea simulatorului de debit, a geometriei de pre-procesor și a post-procesorului de ieșire, obținând în cele din urmă rezultatele prin prima metodă (dinamică). Procesul de modelare hidraulică implică introducerea și utilizarea

unui număr mare de date, atât geografice, cât și hidraulice. După ce s-a încheiat procesul privind introducerea datelor și după ce modelul a fost validat (aici este inclusă și rezolvarea erorilor privind inserarea datelor și informațiilor), programul a fost rulat și în final au fost obținute rezultatele modelării hidraulice. Pentru metoda statică au fost necesare mai puține date în comparație cu metoda precedentă. În cadrul metodei statice, au fost decupate individual zonele de interes din MDT, luând în calcul un perimetru suficient de mare pentru a realiza simularea. Programul software de specialitate GIS a fost utilizat pentru a adapta aceste materiale la cerințele programului de modelare hidraulică și la dimensiunea zonei de studiu. Zona de studiu fiind mare, dimensiunea fișierelor utilizate a fost considerabilă, ceea ce a făcut dificilă prelucrarea datelor într-o etapă ulterioară și introducerea datelor geografice în programul specializat. Proiecția utilizată a fost Solar Terrestrial Relations Observatory (STEREO) 70, cu sistemul de r.M.N.75 pentru cote. În cazul modelării hidraulice, suprafața luată în considerare s-a răspândit pe toată lungimea brațului Chilia, iar în cazul analizei GIS, zona a fost limitată la UAT a localităților analizate de pe brațul Chilia.

După rularea ambelor programe de specialitate, au rezultat în final 33 de scenarii de inundații (21 scenarii pentru metoda dinamică și 12 scenarii pentru metoda statică), iar cele mai relevante rezultate au fost extrase pentru cele trei localități din Delta Dunării vizate în lucrarea de față. Rezultatele sunt hărți care identifică zonele potențial inundabile ale localităților analizate din amenajarea agricolă Sireasa (Sălceni, Ceatalchioi și Plauru). Limita inundației reprezintă întinderea apei pentru fiecare caz (scenariu) luat în considerare și adâncimea sau nivelul apei, în funcție de metodă. Hărțile de inundații rezultate din aplicarea metodei dinamice au avut o clasă de adâncime de la 0,1 la 2 m. Hărțile de inundații rezultate din metoda statică au stabilită adâncimea ca diferență între nivelul de apă considerat al suprafeței inundate și nivelul solului (înălțimea terenului pe MDT exprimată în sistemul de r.M.N.75). În abordarea metodei dinamice, setul de scenarii hidraulice a fost dezvoltat folosind modelul hidraulic al brațului Chilia pentru a determina suprafețele inundațiilor pentru fiecare localitate. În ambele metode, s-a luat în considerare, nivelul maxim istoric atins în vara anului 2010 și debitele maxime corespunzătoare perioadelor de depășire.

Rezultatele aplicării nivelului maxim au fost reflectate în treapta de inundare IV. Ulterior, pentru obținerea scenariilor de inundații la niveluri de apă mai scăzute decât în 2010, s-au aplicat trepte de inundare (Tabelul 3.1) (diferențele fiind la zeci de cm sau metri față de vârf), astfel încât au rezultat mai multe hărți de inundații pentru fiecare localitate analizată, așa cum sunt prezentate în Figurile 3.2 și 3.4. Toate acestea în cazul cedării digului de protecție al amenajării agricole Sireasa. Scenariile din treapta de inundare I au corespuns celui mai scăzut nivel de inundații, în timp ce scenariile din treapta de inundare IV au corespuns nivelului maxim de inundații, iar scenariile din treptele de inundare II și III au corespuns nivelurilor intermediare de inundații, între maxim și cel mai mic nivel. Cu ajutorul programului de modelare hidraulică, în prima fază, pot fi extrase limitele de inundații (ca hărți), iar scenariile pot fi vizualizate și ca video). Apoi, cu aceste rezultate, s-au făcut prelucrări sau interpretări suplimentare în GIS și în alte programe specializate.

Rezultatele au fost prezentate în modulul Ras Mapper, utilizând modelul hidraulic 1D / 2D HEC-RAS la rezoluție înaltă (MDT 0,5 m × 0,5 m). Figura 3.2 prezintă tendința de propagare a adâncimii suprafeței inundațiilor peste zona inundată, după 24 de ore de la începutul simulării. Cotele utilizate în procesarea datelor cu metoda dinamică au sistem de r.M.M.75. Rezultatele obținute din aplicarea metodei dinamice au identificat zone de inundații și adâncimi de apă apropiate în localități, în situația menținerii breșei în digul de protecție pentru o perioadă de 24 de ore. În Figura 3.2 se poate observa faptul că apa curge în localități dintr-o zonă în alta, urmând panta topografiei naturale.

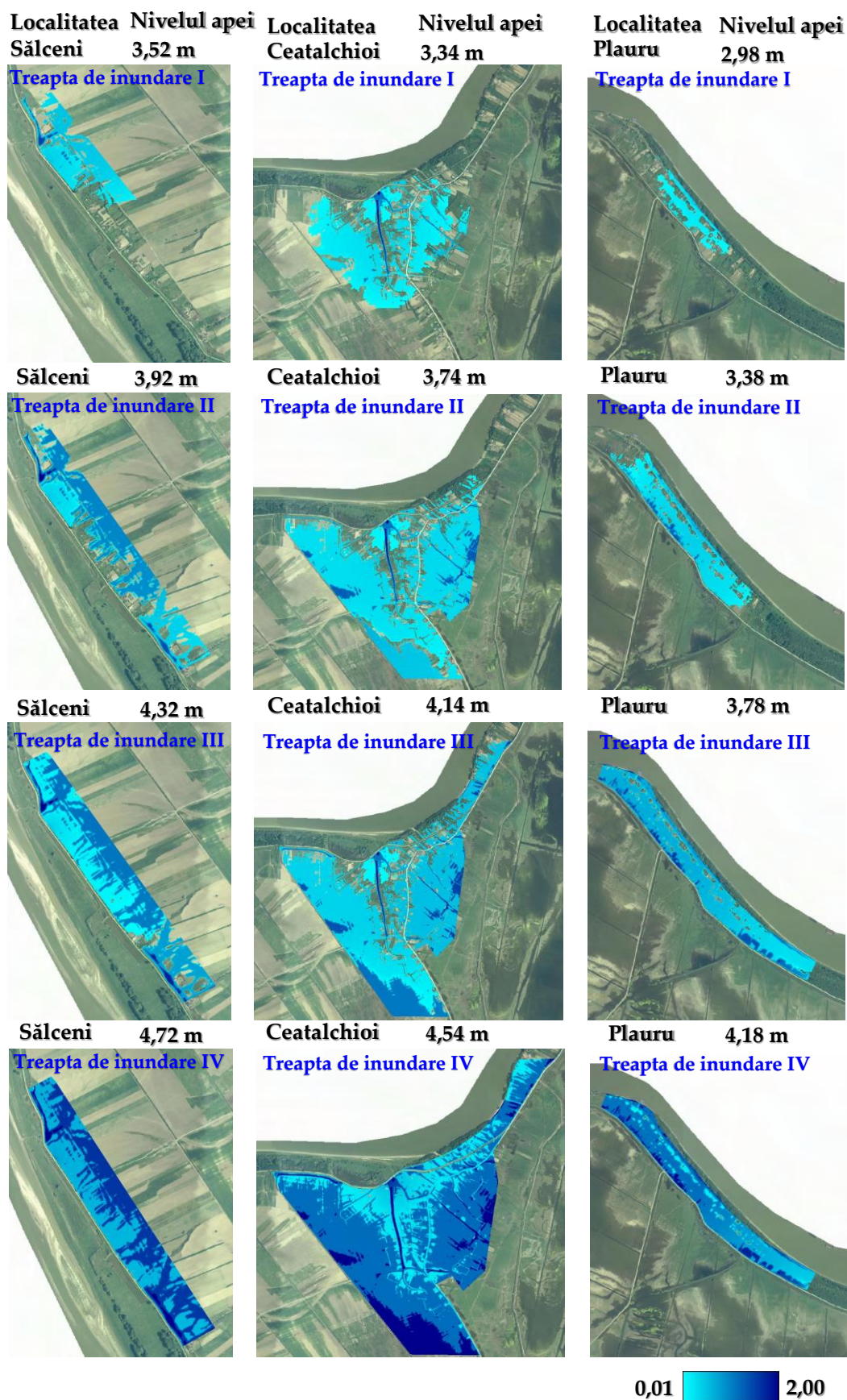


Figura 3.2. Scenarii de inundații pentru localitățile Sălceni (prima coloană de subfiguri), Ceatalchioi (a doua grupă de coloane de subfiguri) și Plauru (a treia grupă de coloane de subfiguri), corespunzătoare condiției din 07 iulie 2010, utilizând Model 1D / 2D HEC-RAS, la MDT Complex, metodă dinamică

Conform Figurii 3.2, au rezultat 12 scenarii de inundabilitate pentru localitățile studiate, utilizând patru trepte de inundare (de la 3,52 – 4,72 m pentru localitatea Sălțeni, de la 3,34 – 4,54 m pentru localitatea Ceatalchioi și de la 2,98 – 4,18m pentru localitatea Plauru). Figura 3.3 prezintă scenarii de inundații ale localităților pentru debite maxime cu probabilitate de depășire (10%, 1% și 0,1%).

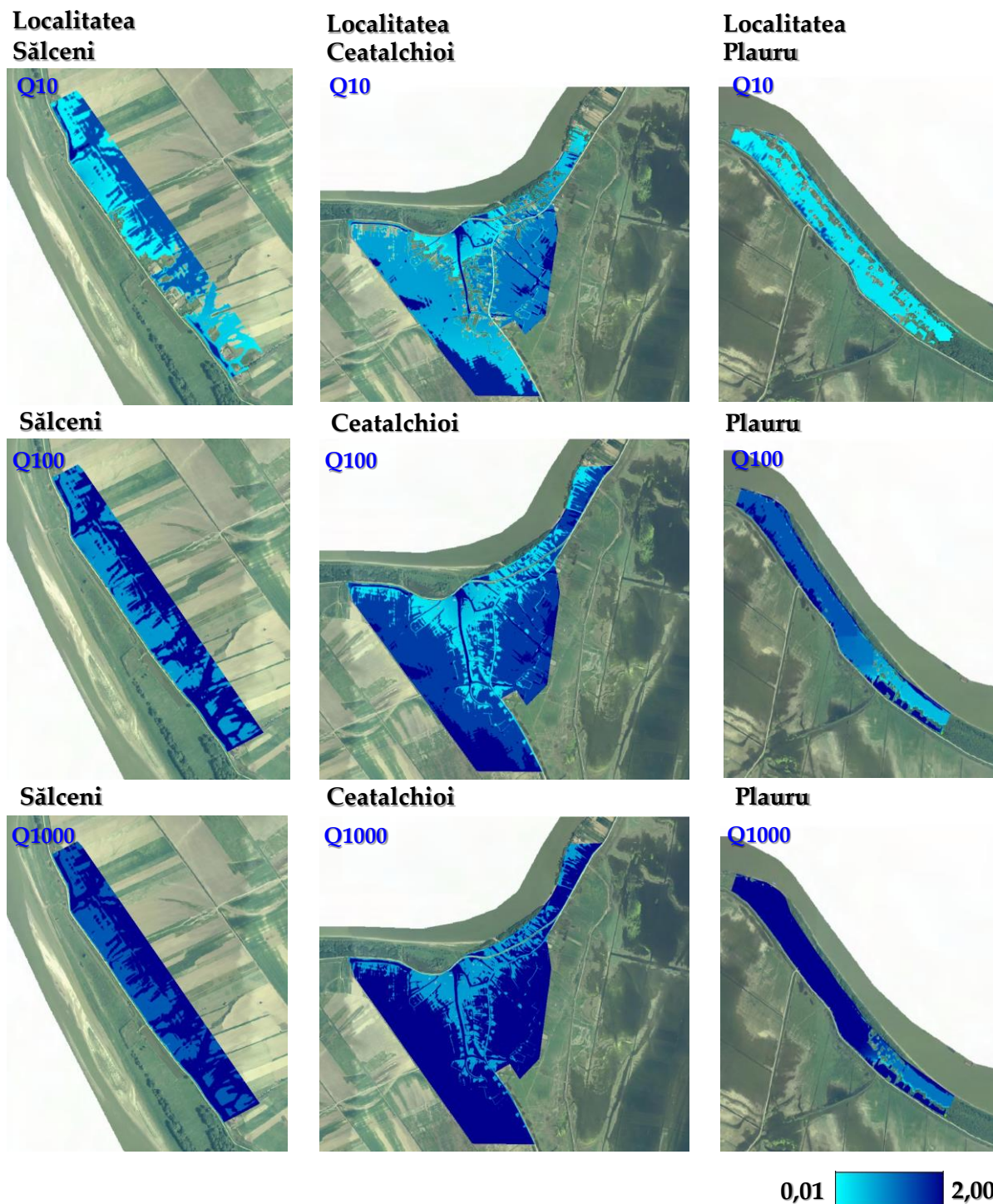


Figura 3.3. Scenarii de inundații pentru debite maxime cu probabilitate de depășire 10% ($Q_{10} = 13.989 \text{ m}^3/\text{s}$), 1% ($Q_{100} = 17.213 \text{ m}^3/\text{s}$), și 0,1% ($Q_{1000} = 20.213 \text{ m}^3/\text{s}$) corespunzătoare localităților Sălțeni (prima coloană de subfiguri), Ceatalchioi (a doua grupă de coloane de subfiguri) și Plauru (a treia grupă de coloane de subfiguri), utilizând Model 1D / 2D HEC-RAS, la MDT Complex, metodă dinamică

Rezultatele din Figura 3.3 prezintă 9 scenarii de inundabilitate pentru localitățile studiate utilizând debite maxime cu probabilitate de apariție. Metoda dinamică este mult mai complexă în comparație cu metoda statică, deoarece necesită o gamă mai largă de date și cunoștințe specifice de la operator. Dacă principala preocupare este de a anticipa comportamentul actual sau viitor, obținerea datelor relevante pe teren este o parte importantă și integrantă a procesului de modelare. Rezultatele bune depind de formularea exactă a problemei și de identificarea corectă a parametrilor principali care influențează fenomenele investigate. Analizând scenariul cel mai defavorabil (treapta de inundare IV – nivelul maxim al apei), au rezultat mai multe suprafețe inundabile în interiorul localităților (Tabelul 3.3).

Pentru metoda dinamică, suprafețele inundate corespunzătoare hărților de inundații (Figura 3.2) au fost determinate folosind programul software Aeronautical reconnaissance coverage Geographic Information System (ArcGIS). Folosind modulul RAS Mapper – Animator din HEC-RAS, au fost determinate suprafețele maxime inundate în treapta de inundare IV, și anume 3,02 km² (pentru toate localitățile), perioada simulată fiind setată între orele 09:00 din 6 iulie 2010 și 09:00 din 7 iulie 2010. Adâncimea inundației a ajuns până la 1,74 m (inundație treapta de inundare IV localitatea Sălceni), 1,52 m (inundație treapta de inundare IV localitatea Ceatalchioi) și 1,68 m (inundație treapta de inundare IV localitatea Plauru). Zonele inundate aplicând cele patru trepte de inundare, au variat între 0,11 km² - 0,42 km² (Sălceni), 0,51 km² – 2,01 km² (Ceatalchioi) și 0,11 km² - 0,59 km² (Plauru).

Din rezultatele simulărilor efectuate cu metoda dinamică, a rezultat faptul că extensia de inundații acoperă gospodăriile, elementele de infrastructură și terenul liber în proporții diferite de la o treaptă de inundare la alta. Utilizarea pe scară largă și rolul modelelor hidraulice s-au schimbat în ultimii ani, în principal datorită progreselor semnificative în modelarea computerizată. Acestea rămân un instrument important de modelare, în special în proiectarea hidraulică, a structurilor fluviale și a aplicațiilor de inginerie costieră, precum și pentru protecția mediului sau în furnizarea de date fizice de intrare pentru modelarea matematică. Figura 3.4 prezintă rezultatele metodei statice. Rezultatele sunt prezentate sub formă de hărți de inundații care reprezintă zonele potențial inundabile ale localităților analizate din amenajarea agricolă Sireasa Delta Dunării în treapta de inundare IV (nivelul maxim al apei), în situația menținerii breșei în digul de protecție mai mult de 24 de ore.

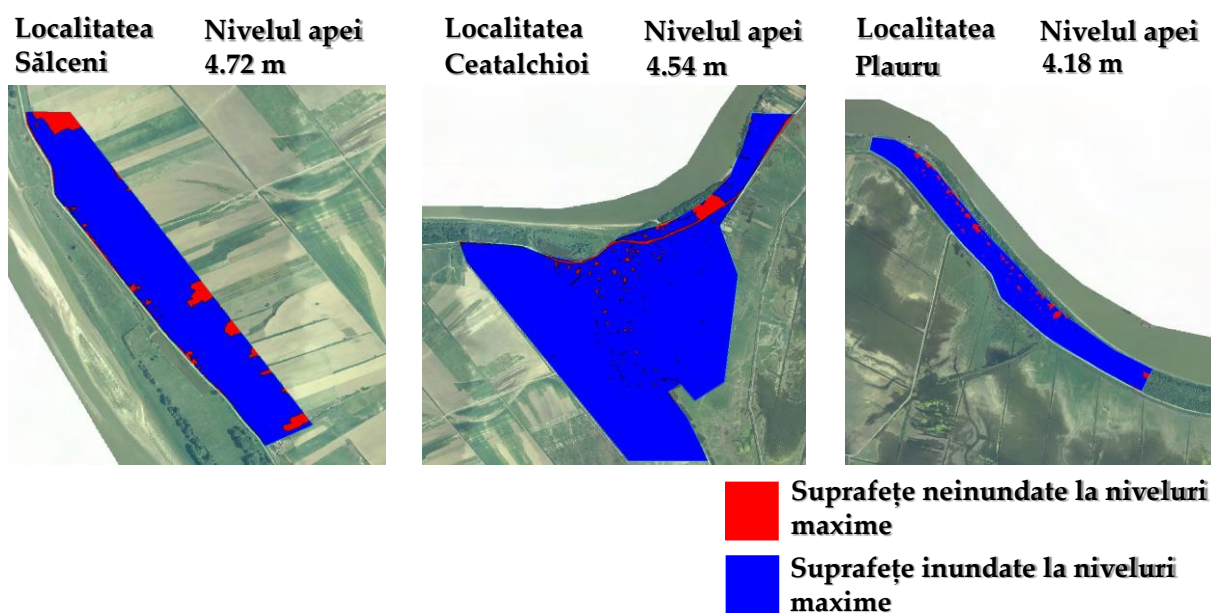


Figura 3.4. Reprezentarea hărților digitale cu zone inundate pentru localitățile: Sălceni, Ceatalchioi și Plauru, prin utilizarea analizei GIS, la MDT Complex, metodă statică

Rezultatele obținute în urma aplicării metodei statice din Figura 3.4 evidențiază suprafețele inundațiilor din localități, corespunzătoare nivelului maxim de apă al Dunării, această situație fiind cea mai defavorabilă (nivelul apei de pe Dunăre fiind același cu nivelul apei din localitățile vizate, prin menținerea breșei în digul de protecție pentru o perioadă mai lungă). Această metodă necesită mai puține date și informații din partea operatorului în comparație cu metoda anterioară. Analizând rezultatele din treapta de inundare IV (cel mai defavorabil scenariu), au rezultat în interiorul localităților suprafețe inundate, prezentate în Tabelul 3.3.

Tabel 3.3. Suprafețe inundate ale localităților analizate în treapta de inundare IV, metoda dinamică și metoda statică

Localitate	Nivelul maxim de apă (r.M.N.75)	Metoda dinamică		Metoda statică		Diferența (%)
		Suprafața inundată (km ²)	Acoperire inundație (%)	Suprafața inundată (km ²)	Acoperire inundație (%)	
Sălceni	4,72 m	0,42	92,25%	0,43	94,45%	-2,20%
Ceatalchioi	4,54 m	2,01	94,73%	2,04	96,14%	-1,41%
Plauru	4,18 m	0,59	93,82%	0,61	97,00%	-3,18%

În Tabelul 3.3 sunt prezentate diferențele în urma aplicării celor două metode. Pentru metoda statică, suprafața inundată a fost determinată utilizând programul software Global Mapper. În urma comparației s-a constatat faptul că suprafața maximă inundată în treapta de inundare IV, a fost de 3,08 km², în urma aplicării metodei statice. Adâncimea suprafeței de inundație a ajuns până la 1,80 m (treapta de inundare IV localitatea Sălceni), 1,92 m (treapta de inundare IV localitatea Ceatalchioi) și 1,73 m (treapta de inundare IV localitatea Plauru). Pentru a analiza, în procente, diferențele în ceea ce privește zonele inundate la toate celelalte trepte de inundare (treapta de inundare I, treapta de inundare II și treapta de inundare III), au fost proiectate câteva grafice, care arată dinamica zonelor inundate ale scenariilor analizate pentru localități (Figura 3.5).

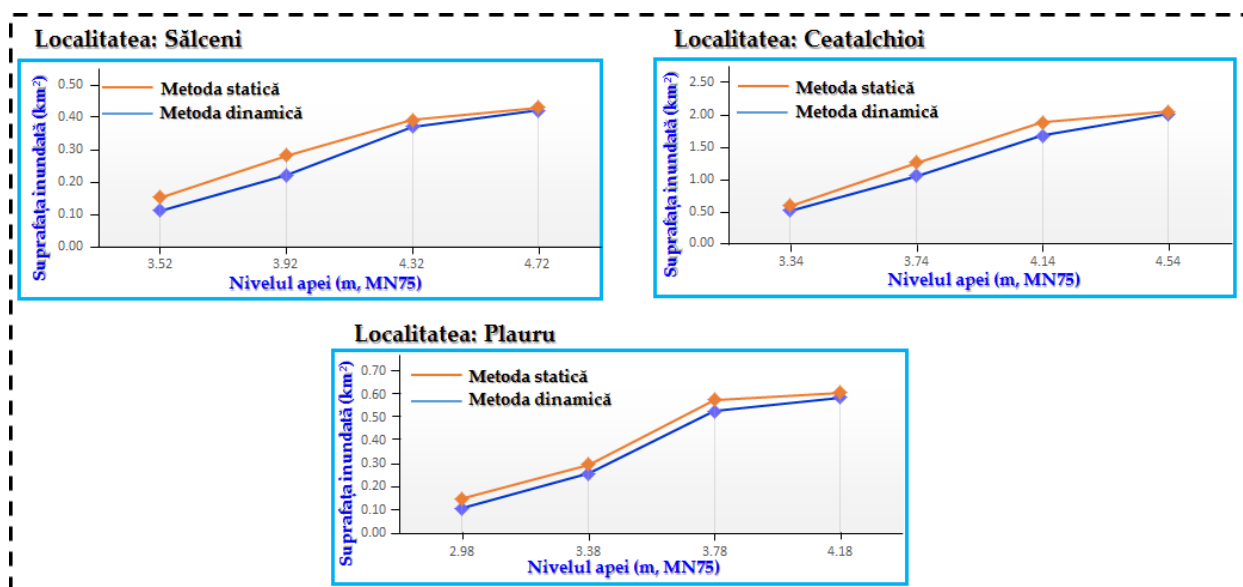


Figura 3.5. Diferențele zonelor inundate pentru scenariile analizate utilizând metoda dinamică și metoda statică pentru localitățile: Sălceni, Ceatalchioi și Plauru

Analizând Figura 3.5, putem afirma faptul că dinamica zonelor inundate pentru localitățile analizate diferă de la o metodă la alta. Din rezultatele afișate, este vizibil faptul că prin aplicarea metodei statice la toate treptele de inundare, suprafețele inundate au fost mai mari comparativ cu

suprafețele inundate obținute prin aplicarea metodei dinamice. Figura 3.5 indică faptul că zonele inundate sub cele patru trepte de inundare în metoda statică, au variat între $0,16 \text{ km}^2$ - $0,43 \text{ km}^2$ (Sălceni), $0,53 \text{ km}^2$ - $2,04 \text{ km}^2$ (Ceatalchioi) și $0,16 \text{ km}^2$ - $0,61 \text{ km}^2$ (Plauru). Referitor la prima treaptă de inundare, cele mai mari diferențe procentuale dintre cele două metode în ceea ce privește zona inundată au fost identificate pentru Sălceni (diferență de 10,98%) și Plauru (diferență de 7,95%). Diferența procentuală cea mai mică în prima treaptă de inundare a fost observată pentru Ceatalchioi (diferență de 0,94%). Pentru a doua treaptă de inundare, cele mai mari procente, în ceea ce privește diferențele privind zona inundată, au apărut în Sălceni (diferență de 13,18%) și Ceatalchioi (diferență de 9,42%), iar cea mai mică diferență a fost identificată în Plauru (diferență de 7,95%). În cea de-a treia treaptă de inundare, cele mai mari diferențe procentuale în ceea ce privește zona inundată s-au înregistrat în localitățile Ceatalchioi (diferență de 9,42%) și Plauru (diferență de 9,54%). În același timp, diferența procentuală cea mai mică au fost regăsită la Sălceni (diferență de 8,52%).

Metoda dinamică redă procentul cel mai scăzut privind zonele inundate pentru cele trei localități. Acest aspect este din cauza faptului că prin metoda dinamică, suprafețele de teren sunt inundate treptat, acest lucru realizându-se pe baza topografiei terenului. Inundațiile produse în localități datorate prezenței breșei în digul de protecție sunt determinate de debitul fluviului. Suprafețele inundate în metoda dinamică rezultate în urma aplicării treptelor de inundare II și III, a fost mai mică comparând suprafața inundată rezultată în urma aplicării metodei statice. În plus față de acest fapt, factorii fizico-geografici au avut o anumită influență asupra procesului de scurgere a inundațiilor în metoda dinamică. Aici relieful influențează dimensiunea, și mai ales distribuția, scurgerii inundațiilor prin gradul său de fragmentare și prin dimensiunea pantei terenului în localitățile luate în considerare. Dacă analizăm evoluția inundației la toate treptele de inundare, în Figura 3.2 putem vedea că zona inundată a crescut brusc în localitățile Sălceni (de la $0,22 \text{ km}^2$ în treapta de inundare II la $0,35 \text{ km}^2$ în treapta de inundare III) și Plauru (de la $0,25 \text{ km}^2$ în stadiul de inundație II la $0,52 \text{ km}^2$ în stadiul de inundație III). În cazul localității Ceatalchioi, zona inundată a înregistrat o creștere mai constantă în toate treptele de inundare.

Acest lucru s-a datorat faptului că suprafața terenului tinde spre o pantă mai lină comparativ cu localitățile Sălceni și Ceatalchioi, unde panta în unele zone devine abruptă. În același timp, există și alți factori care au influențat procesul de scurgere a inundațiilor în metoda dinamică, cum ar fi vegetația, care are un rol important în procesul de scurgere, pe de o parte, influențând formarea solului și pe de altă parte, contribuind la creșterea capacității de infiltrare în sol și la reducerea eroziunii solului. Un alt factor important este utilizarea terenului. Acest lucru influențează esențial și negativ condițiile de scurgere a inundațiilor. În plus, factorul antropic are un rol important în formarea scurgerilor de inundații, în special prin schimbările aduse sistemului natural: schimbarea acoperirii terenului (vegetația naturală a fost înlocuită cu amenajări agricole, cel mai frecvent caz în Delta Dunării – livezi, podgorii și așezări umane), precum și modificări ale albiei Dunării pentru a asigura apa necesară (pentru irigații, necesități de apă, electricitate, materiale de construcție etc.), rețele de drumuri, lucrări de protecție împotriva inundațiilor etc [30].

Ca urmare a intervenției crescânde a omului în sistemele naturale, evoluția lor naturală este perturbată, schimbările fiind semnificative sau fundamentale. În acest din urmă caz, intervenția provoacă pauze în ritmul dezvoltării naturale, dezechilibre care accentuează involuția peisajelor respective. Analiza comparativă a rezultatelor a evidențiat, în primul rând, efectul substanțial al reducerii zonelor inundate, la un nivel de inundație mai scăzut al Dunării, cu diferențe de la o localitate la alta. Hărțile de inundații pentru așezările analizate oferă informații despre întinderea zonelor inundabile și adâncimea apei la mai multe trepte de inundare. Au fost examinate scenariile de inundații în cazul apariției unei breșe în digul de protecție al amenajării agricole Siraesa în timpul unei inundații puternice a fluviului pentru a investiga impactul asupra zonei de studiu în ceea ce privește suprafețele inundate, folosind două metode de analiză. De

asemenea, s-a luat în considerare inundația din anul 2010, bazându-se pe date hidrologice, înregistrări la stația hidrometrică din portul Tulcea care au înregistrat date zilnice și date furnizate de la INCDDD și Administrația Națională Apele Române (ANAR).

Folosind GIS, procesarea acestor date se poate face mult mai rapid și mai ușor și într-o interfață mult mai accesibilă. Utilizarea GIS este esențială în analiza scenariilor de inundații pe tot parcursul procesului, de la inițierea acestuia până la faza de interpretare. Sistemele GIS au fost utilizate pentru a facilita vizualizarea zonei de studiu și pentru a introduce, rafina și prelucra datele hidrologice necesare în analiza scenariilor de inundații, precum și pentru a interpreta rezultatele și pentru a le prezenta cât mai cuprinzător posibil. Pentru a alege cel mai potrivit model de analiză a inundațiilor, este necesar accesul la informații geografice care pot oferi o imagine de ansamblu asupra componentelor sistemului de circulație a apei. MDT de înaltă rezoluție este deciziv pentru aplicarea precisă a treptelor de inundare și a suprafețelor inundate [31].

Hărțile de hazard la inundații sunt importante pentru afișarea informațiilor în ceea ce privește extinderea suprafețelor inundate. Analizând Figura 3.3 se observă că un debit de 20.213 m³/s este un debit relativ mare pentru tronsonul de braț analizat. Suprafața totală acoperită cu apă a localităților în scenariul cu probabilitate de depășire 0,1% este de 0,455 km² (localitatea Sălceni), 2,122 km² (localitatea Ceatalchioi) și 0,629 km² (localitatea Plauru). În cazul în care comparăm rezultatele obținute prin aplicarea debitului $Q = 13.989 \text{ m}^3/\text{s}$ (scenariul cu probabilitate de depășire 10%) putem observa faptul că în unele zone din localități, inundația nu a pătruns, și zone unde inundația măsoară până la 2 metri adâncime. În fiecare scenariu cu probabilitate de depășire, localitățile sunt inundate mai mult sau mai puțin în funcție de topografia terenului., care arată suprafața acoperită cu apă exprimată în km² rezultată în urma debitului simulat. În Figura 3.6 sunt prezentate comparații ale rezultatelor obținute prin simularea debitelor maxime cu probabilitate de depășire.

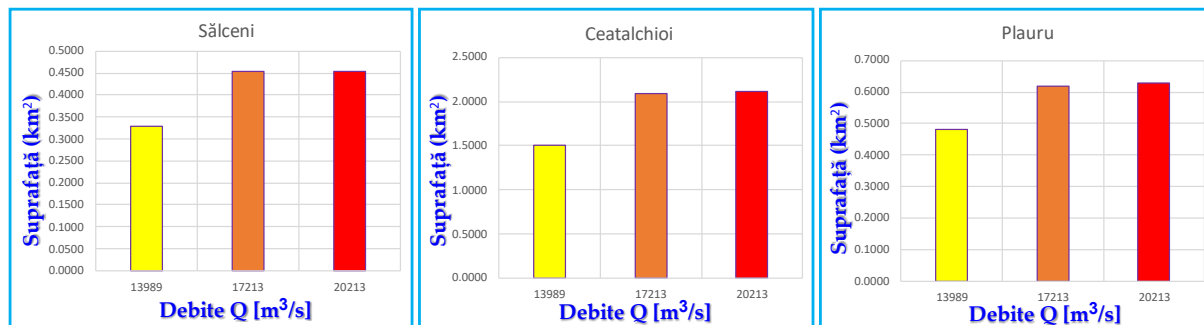


Figura 3.6. Rezultate comparative a suprafețelor inundate în funcție de debitul simulat

Din comparație (Figura 3.6) se poate afirma faptul că debitul simulat în analiza riscului la inundații a localităților, influențează în mod direct suprafețele inundate. Analizând distribuția vitezei de curgere a apei în localitățile studiate, se poate afirma faptul că rezultatele generate sunt diferite pentru fiecare scenariu de inundabilitate. Astfel, analizând toate cele trei scenarii, viteza de curgere a apei maxime este de 0,60 m/s (în localitatea Sălceni), 0,50 m/s (în localitatea Ceatalchioi) și 0,20 m/s (în localitatea Plauru). Viteza medie de curgere a apei pentru scenariul Q10 este de 0,41 m/s (în localitatea Sălceni), 0,42 m/s (în localitatea Ceatalchioi) și 0,06 m/s în localitatea Plauru. Viteza medie de curgere a apei pentru scenariul Q100 este 0,21 m/s (în localitatea Sălceni), 0,27 m/s (în localitatea Ceatalchioi) și 0,09 m/s (în localitatea Plauru). Analizând ultimul scenariu Q1000, viteza medie de curgere a apei este de 0,48 m/s (în localitatea Sălceni), 0,39 (în localitatea Ceatalchioi) și 0,10 m/s (în localitatea Plauru). Luând în considerare faptul că debitul la intrare în breșă crește în funcție de scenariu, rezultatele obținute în urma modelării hidraulice arată că vitezele medii de curgere a apei în localități sunt variabile în funcție de scenariu.

În dezvoltarea studiului, pentru identificarea clădirilor inundate care au categoria de importanță C (construcții de importanță normală), au fost modelate scenariile cu probabilitate de depășire odată la 10 ani (cazul care poate apărea mai frecvent) pentru a obține în final hărțile de risc la inundații ale localităților analizate. Ele au fost obținute pe baza hărților de hazard la inundații și pe baza cercetărilor realizate asupra datelor și informațiile ce țin de elementele expuse în momentul cedării digului de protecție. Pe baza hărților de risc sunt afișate efectele cu potențial negativ ce țin de scenariile de inundații, funcție de defășurarea activităților economice, patrimonial cultural, proprietăți, categoria de importanță a clădirilor și mediul înconjurător. În Figura 3.7 sunt prezentate hărțile de risc la inundații ale localităților analizate cu scenariul de inundabilitate Q10. Pe baza *Directivei 2007/60EC*, scenariul analizat reprezintă o probabilitate mare de apariție.

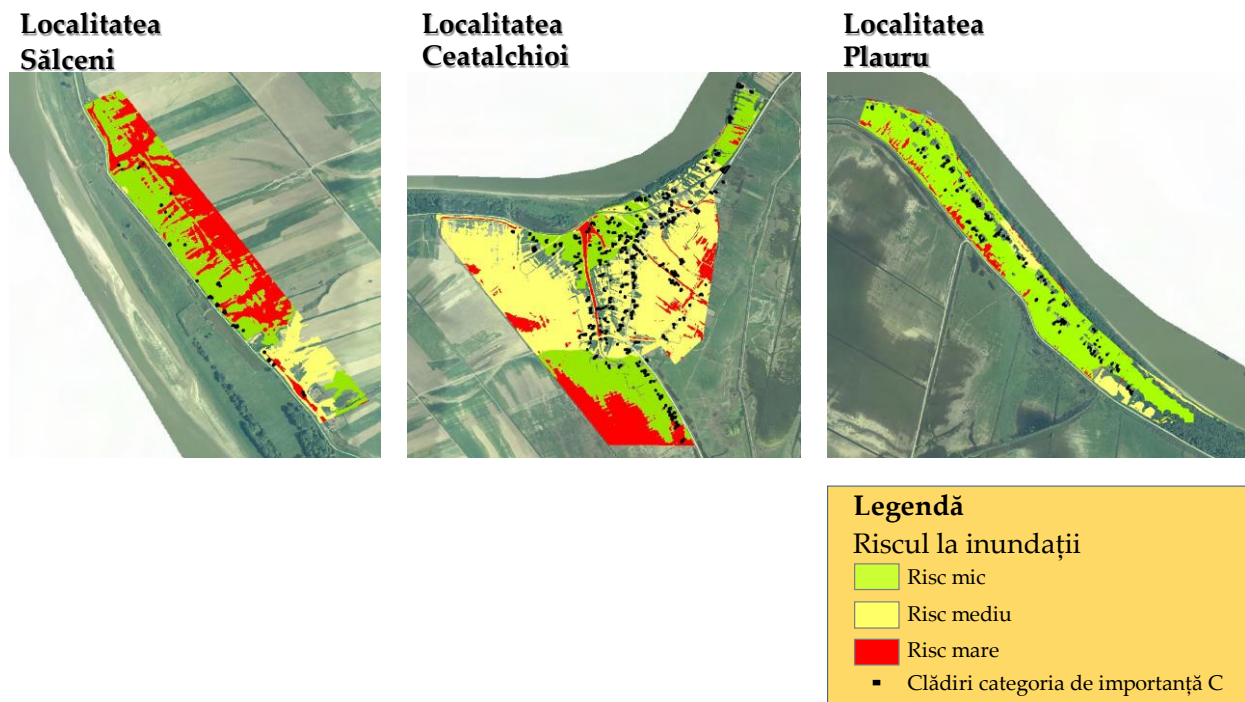


Figura 3.7. Riscul la inundații pentru scenariul cu probabilitate de depășire 10%

Pe baza modelărilor efectuate și în funcție de adâncimile obținute în Figura 3.7 au fost prezentate 3 clase importante: clasa de risc mare (adâncimi mai mari de 1,5 m), clasa de risc mediu (adâncimi cuprinse între 0,5 m și 1,5 m) și clasa de risc mic (adâncimi mai mici de 0,5 m). Pe baza hărților de risc la inundații s-a identificat numărul de clădiri care au categoria de importanță C și populația din localități dispuse în perimetrul cu risc potențial. În localitățile unde a fost realizată cercetarea locuiesc 719 locuitori expuși riscului la inundații (70 de locuitori în localitatea Sălceni, 593 locuitori în localitatea Ceatalchioi și 56 de locuitori în localitatea Plauru). Un alt element important este dat de numărul de clădiri expuse riscului la inundații care au categoria de importanță C (construcții de importanță normală). În total există 805 clădiri care au categoria de importanță C (24 de clădiri în localitatea Sălceni, 664 clădiri în localitatea Ceatalchioi și 117 clădiri în localitatea Plauru).

În zona de studiu au fost identificate 646 de clădiri expuse riscului la inundații (22 de clădiri în localitatea Sălceni, 532 de clădiri în localitatea Ceatalchioi și 92 de clădiri în localitatea Plauru) care pot fi afectate ca urmare a inundației provocate de cedarea digului de protecție cu probabilitate de apariție odată la 10 ani. În dezvoltarea studiului, a fost calculată adâncimea de inundație pentru scenariile cu probabilitate de apariție, generată de programul software HEC-RAS pentru fiecare celulă pe baza terenului subiacent, luând în considerare adâncimea maximă de inundație a celulei de calcul, indiferent de ora când s-au înregistrat valorile maxime.

În ceea ce privește clădirile afectate care au categoria de importanță C, 40,40% (15 clădiri în localitatea Sălceni, 160 de clădiri în localitatea Ceatalchioi și 86 de clădiri în localitatea Plauru), dintre ele pot fi potențial afectate de o adâncime de inundație care nu depășește 0,50 m, iar 57,43% (3 clădiri în localitatea Sălceni, 362 de clădiri în localitatea Ceatalchioi și 6 clădiri în localitatea Plauru), sunt potențial afectate de o adâncime de inundație între 0,50 și 1,50 m. Clădirile potențial afectate de o adâncime de inundație care depășește 1,50 m, au un procent mic de 2,17% (4 clădiri în localitatea Sălceni, 10 clădiri în localitatea Ceatalchioi și 0 clădiri în localitatea Plauru).

Eșecul digului de protecție, în funcție de caracteristicile acestuia (de exemplu, suprafața, lățimea și înălțimea digului, etc) poate genera valuri de inundații care sunt semnificativ mai mari în ceea ce privește eliberarea volumului de apă și viteza apei decât valurile de inundații declanșate de condiții de inundare progresivă cum sunt localitățile care au deschidere directă la fluviu unde nu sunt prevăzute diguri de protecție și, în consecință, pot duce la daune economice mai semnificative și pierderi umane. Cedarea digului de protecție la presiunea viiturii, face ca apa să acopere într-un timp foarte scurt suprafețele din localități cu o viteză mult mai mare. Pe măsură ce tehnicile de teledetecție Remote Sensing (RS) continuă să se îmbunătățească și disponibilitatea datelor crește, mai multe date RS vor fi integrate și utilizate în modelarea inundațiilor.

În acest context, simulările de inundații bazate pe Light Detection And Ranging (LIDAR) MDT oferă cele mai bune rezultate [32]. Modelele de curgere 2D și LIDAR MDT se dovedesc a fi combinația perfectă atunci când vine vorba de delimitarea precisă a inundațiilor. În acest mod putem simula pentru diferitele scopuri ale inundațiilor din trecut, folosind hidrografe înregistrate la stațiile de măsurare, sau ne putem imagina o ipoteză teoretică cum ar fi cedarea digului de protecție și, în acest fel, îmbunătățim hărțile de hazard și risc la inundații. Prezentul studiu s-a concentrat pe un sector de braț care are probleme pe cursul malului drept de curgere din cauza fenomenelor de eroziune. Modelul calibrat a demonstrat rezultate plauzibile în ceea ce privește întinderea inundației și a fost utilizat pentru modelarea inundațiilor folosind hidrografe de debit de 10, 100 și 1000 de ani, respectiv hidrografe de debite în funcție de treapta de inundare aplicată (nivelul de inundare).

Prin urmare, este extrem de important să abordăm aceste evenimente într-un mod care le reduce influența negativă asupra oamenilor și a infrastructurii. Simularea inundațiilor folosind modele hidraulice este unul dintre instrumentele principale aplicate în acest scop. Breșele (indicate de linii de rupere) joacă un rol important în timpul propagării inundațiilor prin digurile de protecție și rezultatele noastre arată că includerea lor poate scurta sau mări timpul de simulare în funcție de timpul menținerii breșei în digul de protecție. În cele din urmă, conducerea simulărilor probabilistice de rupere a digului de protecție are o importanță imensă pentru acțiunile de pregătire de urgență și în mod ideal astfel de studii ar trebui efectuate pentru toate zonele vulnerabile similare. Procedura propusă de analiză a terenului de câmpie inundabilă pentru crearea de modele de inundații 2D cu rezoluție grosieră, care sunt capabile să simuleze în mod constant întinderea inundației la scară largă, poate fi benefică pentru gestionarea riscului la inundații în mai multe moduri. Astfel de informații sunt deosebit de importante pentru autoritățile locale și județene. Prin încorporarea hărților de inundații în planul local de dezvoltare a localităților, ar putea fi prevenită extinderea și densificarea construcțiilor în apropierea cursului de apă sau în zonele cu pericol de inundare cu grad mediu sau mare. Mai mult, rezultatele pot fi utilizate în planificarea peisajului, în procesul de evaluare a impactului asupra mediului sau în industria asigurărilor.

Capitolul 4. Concluzii generale, contribuții proprii și potențiale direcții de cercetare

4.1. Concluzii generale

Scopul prezentei teze de doctorat îl reprezintă elaborarea hărților de extindere ale zonelor potențial inundabile pentru localitățile din Delta Dunării. Acest lucru este posibil prin utilizarea datelor hidrologice privind debitele și nivelurile Dunării, a datelor batimetrice și topografice obținute prin măsurători în teren utilizând echipamente specializate moderne, cât și utilizarea programelor de specialitate GIS, CAD pentru procesarea și prelucrarea datelor colectate.

Studiul a fost realizat utilizând o metodă dinamică de modelare hidraulică și o metodă statică de analiză GIS, pentru a obține hărțile de inundații pentru diferite scenarii. Tot în cadrul studiului au fost realizate hărți de hazard și risc la inundații ale localităților analizate utilizând metoda dinamică de modelare hidraulică.

O concluzie importantă a fost derivată din măsurătorile topo-batimetrice și anume pentru a atinge scopul principal al acestui studiu, a fost necesar să se dezvolte un MDT Complex, prin îmbunătățirea modelului LIDAR cu batimetria albiei brațului.

Modelul digital al albiei minore, împreună cu MDT pentru Delta Dunării a permis simularea mai multor scenarii de inundații pentru localități și luarea în considerare a diverselor teste de inundații. Realizarea MDT Complex pentru zona de studiu obținut prin combinarea modelului digital al albiei minore cu MDT actualizat, reprezintă un MDT nou și unic. Mai mult, se poate menționa că rezultatele modelării hidraulice, în cazul metodei dinamice, sunt direct influențate de coeficientul de rugozitate (coeficientul de rugozitate al lui Manning), care în acest studiu a variat între 0,025 și 0,03.

Rezultatele obținute în urma procesării și prelucrării datelor colectate în teren conduc la concluzia că digul de protecție a suferit modificări structurale în timp prin prezența tasărilor și dispariția taluzului exterior, cu diferențe la coronament de până la 77 de cm între situația din anul 2010 și situația actuală. Rezultatele au arătat că pentru primul scenariu de rupere al digului (metoda dinamică), zonele inundate acopereau o zonă mai mică decât în cazul celui de-al doilea scenariu (metoda statică), când zonele inundate acopereau o zonă considerabil mai mare. Cele mai semnificative diferențe au fost observate pentru localitățile Plauru și Sălceni. Rezultatele obținute au relevat, de asemenea, suprafața inundată în procente și adâncimea preconizată a apei în fiecare localitate studiată. Creșterea nivelurilor Dunării a dus la o creștere treptată a suprafeței inundate în interiorul localităților, în cazul apariției unei breșe în digul de protecție. Precizia simulărilor modelului depinde în mare măsură de precizia MDT, de structura hidrologică și hidraulică a modelului și de caracteristicile solului. Rezultatele obținute depind într-o măsură mare de precizia echipamentelor utilizate pentru măsurătorile din teren, cantitatea de puncte colectate, metodele de măsurare folosite, dar și de metoda de interpolare aleasă. Metodele de interpolare folosite în prezentul studiu pentru obținerea modelului digital al albiei minore și pentru actualizarea MDT au depins într-o mare măsură de volumul de date și informații colectate în teren. Profilele rezultate din metoda Inverse Distance Weighting (IDW) au fost cele mai apropiate de profilele măsurate în situ, această metodă fiind aplicată atât pentru generarea modelului albiei minore cât și pentru actualizarea MDT în zona digului de protecție.

Metoda statică utilizată cu ajutorul software-ului Global Mapper nu necesită atât de multe date și cunoștințe de la operator în comparație cu metoda dinamică. A doua metodă necesită date și informații complexe pentru elaborarea unui model hidraulic în HEC-RAS pentru o simulare 1D / 2D (date de câmp, parametri hidraulici, debite, niveluri, tipuri de reprezentare grafică, rețele, noduri, condiții la limită).

Elementele geometrice principale corespunzătoare modelului hidraulic sunt date de profilele transversale care sunt distribuite la distanțe în medie de 150 m. În ceea ce privește

lungimea profilelor transversale, ca element geometric în cadrul modelului hidraulic al brațului Chilia, ele trebuie să cuprindă lățimea brațului și a perimetrului de inundabilitate. Profilele transversale trebuiesc distribuite perpendicular pe direcția de curgere a brațului, fără ca ele să se intersecteze pe toată lungimea brațului.

Utilizarea metodei statice în efectuarea simulărilor de inundații nu necesită date topografice precum metoda dinamică, ceea ce duce la faptul că metoda statică este scutită de timpul și efortul alocat pentru efectuarea măsurătorilor de câmp. În același timp, dezavantajul metodei statice este că simulările nu pot fi calibrate cu date din teren. Metodologia dinamică are avantajul introducerii unui set de date de intrare mult mai complex, inclusiv date de calibrare, care oferă o încredere mai mare în rezultatele obținute.

Acest studiu a realizat modelarea inundației în cazul cedării digului de protecție utilizând date hidrologice din anul 2010. În acest studiu, modelul HEC-RAS a fost calibrat și validat pentru nivelurile de vârf ale apei la diferite stații de măsurare și extinderea inundației. În plus, analiza riscului la inundație utilizând modelul HEC-RAS a furnizat hărți pentru variațiile spațiale ale adâncimii inundațiilor, vitezei apei, adâncimea ori produsul vitezei, sosirea inundațiilor și durata de păstrare a inundațiilor în localitățile din amenajarea agricolă Sireasa. Acest studiu a arătat că modelul HEC-RAS 1D / 2D este capabil să modeleze nivelurile apei (stadiul) în timpul inundației de vârf. Harta adâncimii de inundații din zona de studiu a arătat adâncimi maxime ale apei în mai multe puncte din câmpia inundabilă. Cu toate acestea, viteza apei inundate a fost maximă în scenariul cu Q1000.

Abordarea tehnicilor de modelare hidraulică 1D / 2D este mai realistă în comparație cu metoda statică, ținând seama de faptul că zonele reale inundate au fost determinate pentru diferite scenarii de rupere a digului cu o durată de 24 de ore (timpul menținerii breșei), care ar putea permite o estimare reală a resurselor materiale și umane necesare pentru a interveni în caz de urgență. Abordarea cu mai multe scenarii a permis testarea capacității de curgere a apei în așezări, determinând în ce măsură suprafețele din interiorul localităților vor fi afectate.

Zona vizată, situată în Delta Dunării, prezintă un pericol ridicat de inundații. În urma studiilor realizate, în prezenta cercetare, am ajuns la concluzia de faptul că localitățile din Delta Dunării sunt vulnerabile în fața inundațiilor ca urmare a cedării digurilor de protecție. Noutatea acestei lucrări se bazează pe prezentarea diferitelor tehnici complexe, ce pot fi utilizate pentru a evalua extinderea inundațiilor prin aplicarea a două metode diferite de simulare a inundațiilor. În același timp, metodele utilizate reprezintă o soluție cu costuri mici sau medii, prin care hărțile inundațiilor pot fi generate în zone neevaluate anterior.

În această lucrare, s-a realizat evaluarea a două metode de simulare pentru a determina gradul de inundație pentru localitățile din Delta Dunării la scara spațială locală utilizând GIS și modelare hidraulică. Totodată, utilizând metoda dinamică au fost elaborate și hărțile de hazard și risc la inundații ale localităților.

Riscul la inundații a fost determinat utilizând modelul hidraulic 1D / 2D HEC-RAS. Riscul la inundație reprezintă astfel sinteza informațiilor privind pericolul și vulnerabilitatea la inundații, care de fapt permite să se definească amploarea zonelor care nu îndeplinesc cerința unui nivel acceptabil de risc. Generarea hărților de hazard și risc la inundații pentru localitățile analizate s-a realizat în conformitate cu Directiva de Inundații.

Hărțile de inundații din simularea hidrografelor de 10, 100 și 1000 de ani au fost clasificate în funcție de clasele de pericol. Hărțile de hazard au indicat locațiile care sunt predispuse la inundații în cele trei scenarii. Zonele de inundații identificate în localități pot fi utilizate de autoritățile locale pentru adoptarea măsurilor structurale și nestructurale în funcție de clasa de pericol atribuită.

Rezultatele lucrării pot fi aplicate în special în domeniile de prevenire, gestionarea riscului la inundații și gestionarea crizelor. Scopul său ar trebui îndeplinit în primul rând prin creșterea

gradului de conștientizare a publicului cu privire la riscul la inundație și furnizarea de informații cu privire la riscul la inundație în scopul planificării și construcției spațiale (rurale / urbane). Prin încorporarea hărților inundabile în planul local de dezvoltare a localităților, ar putea fi prevenită extinderea și densificarea iresponsabilă a construcțiilor în apropierea cursului de apă sau în zonele cu pericol de inundare de grad mediu și mare.

Din punct de vedere metodologic, importanța lucrării poate fi văzută în universalitatea etapelor propuse pentru determinarea riscului la inundație care ar putea fi transferate și în alte zone similare predispuse riscului la inundații la scara spațială locală. Cu toate acestea, ar trebui efectuate studii de caz suplimentare și în alte regiuni pentru a verifica aplicabilitatea lor generală.

4.2. Contribuții proprii

În continuare voi rezuma câteva contribuții proprii:

Analiza istorică a nivelurilor și a debitelor maxime pe o perioadă de 51 de ani reprezintă o contribuție personală în studiul de față. Datele hidrologice analizate sunt deosebit de importante în analiza riscului la inundații prin prisma faptului că ele deservește la calibrarea modelului hidraulic, având drept scop obținerea scenariilor de inundații. Seriile de date hidrologice utilizate pentru calibrarea modelului hidraulic influențează în mod direct rezultatele obținute în prezenta lucrare. Contribuția personală a fost remarcată prin prezentarea variațiilor debitelor medii anuale ale Dunării la intrarea în delta între 1965-2015, unde au fost scoși în evidență anii 2005, 2006 și 2010.

Dezvoltarea unei metodologii proprii pentru două metode de analiză a scenariilor de inundații reprezintă o contribuție personală în lucrarea de față. Diagrama prezentată în Figura 2.1. indică metodologia și pașii principali luați în considerare în studiul de față. Aceasta implică un proces dinamic, continuu și interactiv. Etapele prezentate nu alcătuiesc un proces linear, ci se deplasează succesiv de la o etapă la alta și variază în mare măsură de rezultatele fiecărui pas. Din prezenta schemă reiese clar că datele de intrare sunt foarte importante în analiza scenariilor de inundații. Acest proces de colectare a datelor pornește cu o analiză la nivel de regiune, o etapă exploratorie sau chiar o investigație, care oferă date și informații de intrare pentru diagrama propusă. Prin aplicarea metodologiei s-a obținut în final scopul prezentei cercetări, acesta fiind elaborarea hărților de extindere ale zonelor potențial inundabile, pentru localitățile din Delta Dunării.

Actualizarea MDT prin efectuarea ridicărilor topografice pe digul de protecție a fost realizată în premieră în studiul de față. Actualizarea a constat în decuparea unei porțiuni din MDT și înlocuirea ei cu un nou model digital realizat pe baza măsurătorilor topografice efectuate personal în teren. Perimetrul propus pentru actualizare este reprezentat prin digul de protecție (construit din pământ) ce aparține amenajării agricole Sireasa și o suprafață de teren din vecinătatea digului. Contribuția personală este marcată prin obținerea modelului digital al terenului actualizat obținut în urma aplicării metodei de interpolare IDW suprapus peste ortofotoplan realizat în premieră pentru această zonă și prin prezentarea tri-dimensională (3D) a modelului digital. O altă contribuție personală o reprezintă compararea datelor măsurate pe digul de protecție cu datele din MDT din anul 2011. În urma comparației, a rezultat faptul că corpul digului s-a tasat în timp, iar diferențele de cote sunt semnificative în special la coronamentul digului.

Actualizarea modelul albiei minore al brațului Chilia prin efectuarea măsurătorilor topo-batimetrice reprezintă o contribuție experimentală în studiul de față. Rezoluția modelului pentru albia minoră a fost calculată cu o rezoluție similară cu cea a MDT LIDAR (0,5 m x 0,5 m), dar a fost adusă până la 1 m, ceea ce a permis o introducere mai ușoară a datelor în programele

software de specialitate folosite în această lucrare (HEC-RAS și Global Mapper). Precizia verticală a canalului principal a fost de stabilită la 0,10 m. Pentru actualizarea modelului digital al albiei minore au fost analizate și comparate trei metode de interpolare: IDW, Kriging (KRG) și metoda Topo to Raster. Modelul batimetric al albiei minore utilizat în acest studiu este cel obținut prin metoda de interpolare IDW. În studiul de față, actualizarea albiei minore a fost o condiție necesară pentru a putea realiza ulterior MDT Complex și pentru a realiza modelarea hidraulică 1D/2D utilizând programul de specialitate HEC-RAS.

Crearea modelului digital al terenului complex prin combinarea modelului digital al terenului actualizat cu modelul actualizat al albiei minore reprezintă o contribuție experimentală în acest studiu. Pentru obținerea MDT Complex, zona care cuprinde albia minoră a modelului digital a fost decupată și înlocuită cu modelul albiei minore actualizate prin măsurători topo-batimetrice. Tot în cadrul acestei operațiuni, zona din model ce cuprindea perimetrul cu digul de protecție a fost decupată și înlocuită cu modelul actualizat prin măsurători topografice. Toate informațiile spațiale au fost organizate în aplicațiile GIS (ArcMap și Global Mapper).

Elaborarea scenariilor de inundabilitate pentru localitățile vizate în acest studiu, utilizând programele de specialitate HEC-RAS și Global Mapper reprezintă o contribuție personală în lucrarea de față. Pentru obținerea scenariilor de inundații s-a realizat o analiză a datelor și a evenimentelor istorice importante care s-au petrecut în zona de studiu. Astfel, scenariile au fost rulate prin executarea simulatorului de debit, a geometriei de pre-procesor și a post-procesorului de ieșire, obținând în cele din urmă rezultatele prin prima metodă (dinamică).

Contribuția personală a fost remarcată prin prezentarea a 12 scenarii obținute în urma aplicării treptelor de inundare și 9 scenarii obținute în urma aplicării probabilităților de depășire, rezultând astfel 21 de scenarii de inundații pentru localitățile analizate prin programul software de specialitate HEC-RAS (metoda dinamică).

Contribuția personală a fost evidențiată și prin prezentarea a 12 scenarii obținute prin programul software de specialitate Global Mapper (metoda statică) rezultând astfel cele mai relevante rezultate extrase pentru cele trei localități din Delta Dunării vizate în lucrarea de față. În consecință scenariile de inundabilitate obținute prin aplicarea celor două metode au fost analizate din punct de vedere al suprafețelor inundate și comparate ulterior.

Elaborarea hărților de hazard și risc la inundații pentru localitățile vizate în acest studiu reprezintă o contribuție personală prin prisma faptului că ele oferă informații importante în ceea ce privește suprafața inundată în localități în cazul cedării digului de protecție, adâncimea inundației în localități dar și informații privind clasele de risc în anumite zone din localități, clădirile ce corespund categoriei C de importanță și populația afectată.

Contribuția personală poate fi remarcată prin faptul că hărților rezultate pot fi utile pentru planificatorii urbani care pot să încorporeze pe baza hărților de risc la inundații direct în procesul de creare a planurilor locale de dezvoltare a localităților. Prin încorporarea hărților de inundații în planul local de dezvoltare a localităților, ar putea fi prevenită extinderea și densificarea construcțiilor în apropierea cursului de apă sau în zonele cu pericol de inundare cu grad mediu sau mare.

Urmare a acestei cercetări, am reușit să prezint un studiu al riscului la inundații pentru localitățile din Delta Dunării. Din acest punct de vedere prezenta analiză a riscului la inundații, reprezintă o contribuție proprie și originală în studiile ce privesc inundațiile.

4.3. Potențiale direcții de cercetare viitoare

Această lucrare poate fi elaborată în continuare în ceea ce privește evaluarea riscului la inundații prin prezentarea de analize semnificative sau cantitative ale daunelor. Aceste analize pot fi utilizate pentru a cuantifica și evalua daunele potențiale directe și indirecte în zonele

inundate și de asemenea, evaluarea economică în măsurile de protecție împotriva inundațiilor. Activitatea viitoare de formare profesională va avea aceleași direcții cum ar fi studiul individual, cercetarea fundamentală și aplicată în domeniul riscului la inundații. Toate tehnicile și metodele utilizate în această lucrare pot fi îmbunătățite în continuare prin analize suplimentare asupra metodelor de interpolare cum ar fi Diffusion Interpolation With Barriers, Empirical Bayesian KRG sau Radial Basis Functions, astfel pot fi obținute rezultate importante. Utilizarea diferitelor echipamente de măsurare a batimetriei albiei brațului de tip multi-fascicol combinate cu măsurarea concomitentă a transportului de sedimente. Având în vedere faptul că dezvoltarea economiei se face la foc continuu și rapid, este necesar folosirea de produse noi și tehnologii pentru a fi în pas cu cerințele umane și nevoile acestora legate de riscul și de managementul riscului la inundații. Dezvoltarea tehnologică din ultima perioadă este resimțită din ce în ce mai mult în domeniul riscului la inundații, mai ales în colectarea informațiilor și datelor ce țin de topografia terenului. În acest sens, avioanele ușoare de tip Unmanned Air Vehicle (UAV) au început să fie folosite foarte mult și din ce în ce mai des în ultima vreme, mai ales în domeniul cartografiei, pentru că efectuarea zborului se realizează fără pilot (zbor autonom) și realizează fotografiile automat în zonele vizate. Principalele avantaje pe care le au avioanele de tip UAV sunt costurile mici și fezabilitatea zborului efectuat. În foarte multe cercetări se simte din ce în ce mai mult această tendință de utilizare a tehnologiei UAV în locul platformelor clasice aeriene prin avantajele pe care această tehnologie le are și precizia mare a fotografiei care este comparabilă.

Utilizarea altor programe de specialitate care realizează modelare hidraulică în vederea comparării rezultatelor din prezenta lucrare și realizarea de noi analize a riscului la inundații în alte zone similare.

Elaborarea pentru fiecare localitate rurală și urbană din Delta Dunării expusă riscului la inundații a unui plan conceptual unic pentru colectarea și evacuarea apelor care provin din precipitațiile căzute, pentru a reduce în viitor pagubele create printr-o micșorare sistematică anuală și repartiția mării gradului de impermeabilizare prin acțiuni de mărirea a infiltrației. Un exemplu în acest sens ar fi mărirea spațiilor și a clădirilor verzi. O altă acțiune ar fi realizarea/proiectarea de rezervoare cu deservire temporară care să stocheze viiturile.

Elaborarea de cercetări interdisciplinare în domeniul riscului și managementului riscului la inundații pentru diminuarea efectelor produse de inundații în zonele urbane și rurale din Delta Dunării.

Crearea de parteneriate cu universități și institute naționale de cercetare din țară și din străinătate pentru realizarea propunerilor de proiecte în domeniul riscului la inundații și atragerea fondurilor, fie ele naționale sau din partea UE. Obținerea fondurilor va fi necesară și pentru participarea la conferințe sau publicarea lucrărilor științifice.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Mako, P., Dávid, A., Böhm, P., & Savu, S. (2021). *Sustainable Transport in the Danube Region*. Sustainability, 13(12), 6797;
- [2] Tanase, C. (2019). *Natural Protected Areas of the Danube*. Journal of Danubian Studies and Research, 8(1);
- [3] Stanica, A. (2012). *The Danube Delta. Back to nature through international cooperation. Chapter in Climate of Coastal Cooperation'*, R. Misdorp Editor. Publishers: Coastal & Marine Union-EUCC;
- [4] Bajo, M., Ferrarin, C., Dinu, I., Umgieser, G., Stanica, A. *The water circulation near the Danube Delta and the Romanian coast modelled with finite elements*. Cont. Shelf Res. 2014, 78, 62-74;
- [5] Driga, B., Nichersu, I., Damian, N., Staras, M., Ciupitu, D., Otel, V. *Delta Dunarii Rezervatie a Biosferei*. Editura Dobrogea, 2006; ISBN 973-8044-72-3;
- [6] Artem, E., & Gache, C. *Aspects of the seasonal dynamics of birds in pre-deltaic wetlands from Isaccea area (Romania)*;
- [7] Vespremeanu-Stroe, A., Preoteasa, L., Zăinescu, F., & Tătui, F. (2017). *The evolution of Danube delta after Black Sea reconnection to World Ocean. In Landform Dynamics and Evolution in Romania (pp. 521-549)*. Springer, Cham;
- [8] Driga, B. V. (2008). *The hidrological relationship between Danube arms and lake complexis in the Danube delta*. Lakes reservoirs and ponds, 1(1), 61-71.;
- [9] Beatrice, A. A., IOAN, G., & IOAN, C. (2017). *Differences and similarities in types of wetlands satchinez swamp and Danube Delta reservation*. Agricultural Management/Lucrari Stiintifice Seria I, Management Agricol, 19(1);
- [10] Doroftei, Mihai, and Paulina Anastasiu. "Potential impacts of climate change on habitats and their effects on invasive plant species in Danube delta biosphere reserve, Romania." *Managing Protected Areas in Central and Eastern Europe Under Climate Change*. Springer, Dordrecht, 2014, 267-278;
- [11] Damian, N., & Dumitrescu, B. (2009). *Sustainable development prospects for the Danube Delta rural communities*. Revue Roumaine de Geographie/Romanian Journal of Geography, 53(2), 153-163;
- [12] PMRBDD, 2014. *Planul de Management al Rezervației Biosferei Delta Dunării*. (<http://sgglegis.gov.ro/legislativ/docs/2014/01/w2nphs85kcdr0b1zgj3f.pdf>);
- [13] Tincu, R. *Evaluation of the risk produced by floods on the Trotus river the section afferent to Ghimes Faget locality using Geographic Information Systems (GIS)*. Ph.D. Thesis, Vasile Alecsandri University of Bacau, Romania, 2018;
- [14] Win, K.T., Aye, N., Htun, K.Z. *Vulnerability of Flood Hazard in Selected Ayeyarwady Delta Region, Myanmar*. Int. J. Sci. Eng. Appl. 2014, 3, 44-48;
- [15] Shrestha, A. B., Shah, S. H., & Karim, R. (2008). *Resource manual on flash flood risk management*. Kathmandu: Internat. Centre for Integrated Mountain Development, ICIMOD.;
- [16] Arseni, M., Roșu, A., Bocăneală, C., Constantin, D. E., Georgescu, P.L. *Flood hazard monitoring using GIS and remote sensing observations*. Carpathian J. Earth Environ. Sci. 2017,

- [17] Radulescu, D., Ion, M., Chendes, V., *Preliminary flood risk assessment on the Romanian territory*. J. Rom. Assoc. Hidro Sci., 8, (2013), 14-19;
- [18] Sageata, R., Dumitrescu, B. *Typologies of urban vulnerability to flooding in Romania*. J. Wulfenia 2013, 11, 274-290;
- [19] Niculescu, S., Lardeux, C., Güttler, F., & Rudant, J. P. (2010). *Multisensor systems and flood risk management. Application to the Danube Delta using radar and hyperspectral imagery*, Teledetection, 9(3-4), 271-288;
- [20] Panin, N., Ion, G., & Ion, E. (2003). *The Danube Delta—Chronology of lobes and rates of sediment deposition*, Geo-Eco-Marina 9e10, 1e5;
- [21] 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);
- [22] Gheorghe, S., Cretu, R., & Stefan, P. (2011). *Sustainable use of natural resources in the space of Danube's Delta*. In The Research Institute for Agriculture Economy and Rural Development. International Symposium. Agrarian Economy and Rural Development: Realities and Perspectives for Romania. Proceedings (p. 402);
- [23] Doroftei, M., Mierlă, M., & Lupu, G. (2011). *Approaches to habitat disturbances in the Danube Delta Biosphere Reserve*. SCSB Veg. Biol, 20(1), 45-56;
- [24] Romanescu, G., Stoleriu, C.C. *Anthropogenic interventions and hydrological-risk phenomena in the fluvial-maritime delta of the Danube (Romania)*, Ocean Coast Manag. 2014, 102, 123-130;
- [25] Pleniceanu, V., Ionus, O., Licurici, M. *Extreme hydrological phenomena in the hydrographical basin of the Danube. The floods from the spring of 2006 along the oltenian sector of the river*, Ann. Univ. Craiova Ser. Geogr. 2008, XI, 37-47;
- [26] Romanescu, G. (2013). *Alluvial transport processes and the impact of anthropogenic intervention on the Romanian littoral of the Danube Delta*, Ocean & coastal management, 73, 31-43;
- [27] Rădan, S. C., & Rădan, S. (2010). *The use of magnetic susceptibility to study (hydro) sedimentary environments and processes in Danube Delta*, GeoEcoMarina, 16(1);
- [28] Stănică, A., Dan, S., Jiménez, J. A., & Ungureanu, G. V. (2011). *Dealing with erosion along the Danube Delta coast, The CONSCIENCE experience towards a sustainable coastline management*. Ocean & Coastal Management, 54(12), 898-906;
- [29] Banescu, A., Georgescu, L. P., Iticescu, C., & Rusu, E. (2019). *Analysis of the floods risk agriculturals enclosures from the Danube Delta using 2D modeling. Case study Pardina enclosure*, International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 19(3.1), 33-40,
- [30] Buijse, A. D., Coops, H., Staras, M., Jans, L. H., Van Geest, G. J., Griff, R. E., ... & Roozen, F. C. (2002). *Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe*. Freshwater biology, 47(4), 889-907;
- [31] Perko, R., Raggam, H., Gutjahr, K. H., & Schardt, M. (2015). *ADVANCED DTM GENERATION FROM VERY HIGH RESOLUTION SATELLITE STEREO IMAGES*. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2;
- [32] Keremedchiev, S., & Valchev, N. (2008). *Morphodynamic analysis of the coastal zone in the area of St. George sub-delta (Danube Delta) and the Sakalin Island (NW Black Sea)*, Comptes Rendues de l'Academie Bulgare des Sciences, 61, 1037-1046.

BIBLIOGRAFIE Online

- https://cdr.eionet.europa.eu/ro/eu/n2000/envx_mrhg/
- <https://geoportal.ancpi.ro/portal/home>