



**MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ
DOMENIUL DE DOCTORAT: MINE, PETROL ȘI GAZE**

**TEZĂ DE DOCTORAT
- REZUMAT -**

Conducător științific:

Prof.univ.dr.ing. Nicolae DIMA

Doctorand:

Ing. Cristiana ICHIM(GLONȚ-DINU)

Petroșani

- 2024 -



**MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ
DOMENIUL DE DOCTORAT: MINE, PETROL ȘI GAZE**

**TEZĂ DE DOCTORAT
UTILIZAREA DATELOR SPAȚIALE MULTISURSĂ LA
REALIZAREA HĂRȚILOR DE RISC LA INUNDAȚII**

Conducător științific:

Prof.univ.dr.ing. Nicolae DIMA

Doctorand:

Ing. Cristiana ICHIM(GLONȚ-DINU)

Petroșani

- 2024 -

CUPRINS

I.NOȚIUNI DE BAZĂ

I.1.Prezentare generală

I.1.1.Situația actuală din România

I.2.Prezentarea generala a hărților de hazard și de risc

I.2.1.Generalitati despre notiunile de hazard si risc

I.2.2.Definițiile termenilor de hazard și risc

I.3.Clasificarea, cauzele și modul de producere al inundațiilor

I.4.Implicațiile carierelor de piatră și balastierelor în contextul hărților de risc la inundații

I.4.1.Modificările topografice și hidrologice cauzate de carierele de piatră și balastierele

I.4.2. Baraje, Acumulări de Apă și Securitate

I.5.Evaluarea hazardului natural de producere a inundațiilor

II.TEHNologii DE OBȚINERE A DATELOR NECESARE MODELĂRII 3D A UNUI BAZIN HIDROGRAFIC

II.1.Prezentare generală

II.2.Realizarea modelării 3D utilizând date existente

II.3.Realizarea modelării 3D utilizând date fotogrammetrice

II.3.1.Preluarea datelor LiDAR

II.3.2. Preluarea datelor imagine

II.4.Completarea datelor necesare modelării

II.4.1 Măsuratori topo-batimetrice

II.4.2.Realizarea releveelor pentru structurile ingineresti

II.4.3.Determinarea caracteristicilor constructive ale podurilor

III.1.Definirea obiectivelor geospatiale

III.2.Tehnici de preluare si prelucrare a datelor geospatiale

III.2.1. Date geospațiale de pe hărți analogice

III.2.2. Modele de date vector și raster

III.2.3. Alegerea modelelor raster și vector

III.3. Întocmirea hărților de risc la inundații

III.3.1. Preluarea datelor geospațiale necesare întocmirii hărților de risc la inundații

III.3.2. Modelarea hidraulică în vederea realizării hărților de hazard și risc și a elaborării unor scenarii prestabilite

III.3.3. Elaborarea hărților de risc

**IV. PRELUAREA SI PRELUCRAREA DATELOR GEOSPATIALE IN VEDEREA
GENERARII HĂRȚILOR DE RISC LA INUNDAȚII PENTRU BAZINUL
HIDROGRAFIC AL RÂULUI PRUT**

IV.1 Date generale privind bazinul hidrografic al râului Prut

IV.2 Etape de realizare

IV.2.1 Evaluarea datelor preluate

IV.2.2 Completarea datelor

IV.2.3 Realizarea măsurătorilor topo-batimetrice

IV.2.4 Realizarea profilelor transversal în albia minoră a râului Prut

IV.2.5 Realizarea hărților de inundabilitate

IV.3 Concluzii

Bibliografie

Cuvinte cheie: hazard, hărți de hazard, modelare 3D

Scopul lucrării este înțelegerea importanței acordate reducerii riscului la inundații pe bazinele hidrografice, astfel încât să poată fi asigurat un trai sigur al întregii populații ce își desfășoară activitatea în zonele critice, din acest punct de vedere, din România.

Prezenta lucrare își propune să prezinte metodele de achiziție și procesare de date geospațiale cu scopul de a realiza un Model Digital al Terenului(MDT) complet, precis și uniform pentru un bazin hidrografic pe baza căruia să fie generate o serie de hărți, atât hărți de hazard cât și de risc la inundații cu diverse probabilități de depășire. Pentru a realiza modelarea numerică a propagării undelor de viitură care produc inundațiile este necesară o cartografiere precisă a zonelor de risc având ca suport principal modelul numeric al terenului (MNT) cu rezoluție foarte bună obținut din măsurători LiDAR.

Progresul tehnologic înregistrat în domeniul senzorilor destinați culegerii datelor geospațiale își găsește o aplicabilitate imediată în studiul factorilor care determină apariția hazardurilor naturale. Culegerea și prelucrarea rapidă a unor date geospațiale precise și ușor integrabile în platformele de programe software dedicate sunt elemente esențiale pentru sprijinirea procesului de gestionare a riscurilor și, de asemenea, o componentă esențială pentru elaborarea unor măsurilor de prevenire și protecție a zonelor afectate.

În esență, pe baza informațiilor geospațiale obținute din datele furnizate de senzori, sunt elaborate hărți de hazard și modele numerice în care sunt integrate informații despre istoricul apariției fenomenelor de hazard într-o anumită zonă geografică, având posibilitatea de a crea diverse sisteme virtuale de reprezentare, pe baza cărora se determină probabilitățile și impactul în zonele cu cel mai mare risc de producere. Având o imagine de ansamblu a zonelor afectate, se pot elabora strategii de prevenire, combatere și diminuare a efectelor acestor fenomene.

Lucrarea a fost elaborată având ca punct de plecare Directiva 2000/60/CE a Parlamentului European, adoptată la 23 octombrie 2000, care a pus bazele unor planuri de gestionare a bazinelor hidrografice, având ca scop principal atenuarea efectelor inundațiilor și gestionarea eficientă a riscurilor asociate. Prin intermediul acestei directive, statele membre ale Uniunii Europene au fost obligate să parcurgă un proces riguros de identificare și gestionare a riscului de inundații, conform standardelor și bunelor practici existente la nivel european. Implementarea Directivei 2000/60/CE a implicat o serie de etape esențiale. În primul rând, statele membre au fost obligate să identifice zonele cu potențial ridicat de inundații și să evalueze riscul asociat acestora. Această identificare a inclus analiza istoricului inundațiilor, a tipurilor de terenuri și a modului de utilizare a acestora, a precipitațiilor și a altor factori meteorologici, precum și a factorilor antropici care pot contribui la creșterea riscului de inundații, cum ar fi urbanizarea intensă sau schimbările în utilizarea terenurilor.

După identificarea zonelor cu risc ridicat de inundații, statele membre au fost responsabile de dezvoltarea și implementarea Planurilor de Management al Riscului la Inundații (PMRI). Aceste planuri au avut rolul de a stabili strategii și măsuri concrete pentru prevenirea, pregătirea și gestionarea situațiilor de inundații. Acestea au inclus aspecte precum construirea și întreținerea infrastructurii de apărare împotriva inundațiilor, sisteme de alertă timpurie, planuri de evacuare, gestionarea utilizării terenurilor în zonele cu risc, și cooperarea transfrontalieră cu statele vecine pentru a aborda în mod coordonat riscurile la inundații care depășesc granițele naționale.

În cazul României, țară cu o rețea hidrografică extinsă, Directiva 2000/60/CE a avut o importanță deosebită. România este traversată de 12 bazine hidrografice, inclusiv cele mai importante 11 râuri și fluviul Dunărea. Acest context geografic a expus țara la riscuri semnificative de inundații, mai ales în perioadele de creștere a debitelor râurilor și a ploilor intense. În ceea ce privește Uniunea Europeană, România s-a clasat pe locul patru într-un clasament realizat din perspectiva riscurilor de inundații, fiind precedată de Polonia, Slovacia și Cehia.

Procesul complex de identificare a zonelor cu risc a condus la elaborarea, la nivel de bazin hidrografic, a Planurilor de Management al Riscului la Inundații. Acest proces a presupus colaborarea între autoritățile naționale, regionale și locale, precum și cu alte state riverane ale bazinelor hidrografice comune. S-au luat în considerare măsuri precum dezvoltarea infrastructurii de apărare împotriva inundațiilor, întărirea barierei împotriva inundațiilor existente, creșterea capacității de avertizare timpurie și informarea publicului despre riscurile de inundații. De asemenea, au fost elaborate planuri de evacuare și proceduri pentru gestionarea situațiilor de criză.

Obiectivul fundamental al lucrării îl reprezintă prezentarea echipamentelor și etapelor de obținere a suportului informational necesar elaborării hărților de hazard la inundații, etape care sunt aplicate în studiul de caz realizat pentru bazinul hidrografic al râului Prut.

Lucrarea este structurată în 4 capitole de conținut, la care se adaugă bibliografia parcursă pentru documentarea și redactarea lucrării, după cum urmează:

Capitolul I- Noțiuni de bază, are rolul de a realiza o clasificare a cauzelor și modului de producere al inundațiilor, inclusiv a implicațiilor carierelor de piatră și balastierelor în contextul hărților de risc la inundații și o prezentare a etapelor de evaluare a hazardului natural pentru inundații.

Capitolul II-TEHNOLOGII DE OBȚINERE A DATELOR NECESARE MODELĂRII 3D A UNUI BAZIN HIDROGRAFIC, prezintă tehnologiile și etapele care stau la baza obținerii modelului digital al terenului pe baza căruia pot fi extrase datele topografice necesare efectuării modelării hidrologice și hidraulice în vederea realizării hărților de hazard și risc la inundații.

În cadrul capitolului sunt prezentate majoritatea tehnologiilor moderne folosite la achiziția și prelucrarea datelor necesare modelării 3D a unui bazin hidrografic cum ar fi :utilizarea datelor existente,utilizarea datelor fotogrammetrice,LiDAR,topobatimetrice etc

Capitolul III- PRELUAREA SI PRELUCRAREA DATELOR

GEOSPATIALE,prezintă etapele necesare obținerii datelor vectoriale pe baza cărora se realizează modelarea hidraulică în vederea realizării hărților de hazard și risc și a elaborării unor scenarii prestabilite.

Materialele cartografice rezultate sunt folosite pentru evaluarea riscului la inundații pentru fiecare dintre evenimentele hidrologice cu probabilități de depășire de 10%, 1%, 0,5% și 0,1%, modelate în regim existent de curgere, se vor realiza hărți privind clasarea adâncimii apei.

Capitolul IV- PRELUAREA SI PRELUCRAREA DATELOR GEOSPATIALE IN VEDEREA GENERARII HĂRȚILOR DE RISC LA INUNDAȚII PENTRU BAZINUL HIDROGRAFIC AL RÂULUI PRUT,reprezintă studiul de caz și cuprinde categoriile de lucrări realizate pentru generarea hărților de risc în bazinul hidrografic al râului Prut, respectiv:

- realizarea de măsurători topo-batimetrice pe râul Prut respectiv pe lacul de acumulare Stâncă Costești;
- realizarea unui Model Digital al Terenului integrat pentru lunca Prutului pe ambele maluri prin integrarea datelor topografice-batimetrice realizate în cadrul proiectului în modelele digitale ale terenului disponibile;
- achiziționarea de imagini satelitare /realizarea de ortofotoplanuri și alte tipuri de date geospațiale necesare realizării hărților de hazard și risc la inundații;
- modelare hidrologică și hidraulică în vederea generării hărților de hazard și de risc la inundații în lungul râului Prut.

Principala etapă în producerea hărților o reprezintă colectarea datelor geospațiale pe baza cărora se realizează un model 3D al întregului bazin hidrografic.

Având în vedere că suprafața celui mai mic bazin hidrografic depășește 10.000 km², pentru obținerea datelor necesare modelării (modelul digital al terenului, harta vectorială cu categoriile de folosință a terenurilor) s-au folosit metode fotogrammetrice.

Modelul digital al terenului la nivelul bazinului hidrografic s-a realizat pentru 3 clase de detaliere:

- **nivel A – foarte detaliat**, cu rezoluție de 1- 2 m, cuprinzând suprafețe restrânse de complexitate și importanță deosebită care necesită analize de detaliu;

- **nivel B - detaliat**, cu rezoluție de 4-5 m, cuprinzând cursurile râurilor și afluenții lor principali de lungime suficient de mare, astfel încât rezultatele modelării hidraulice să fie relevante

- **nivel C** - cu rezoluție de 10-15 m pentru restul bazinului hidrografic.

Modelul digital al terenului de nivel A a fost obținut exclusiv prin scanare aeriana laser, realizată astfel încât să fie obținută o densitate de 2-4 puncte /m².

Modelul digital al terenului de nivel B se poate obține fie prin scanare aeriana laser, realizată astfel încât să fie obținută o densitate de 1-2 puncte/m², fie prin extragerea modelului numeric al terenului din imagini.

Modelul digital al terenului de nivel C a fost obținut în general din integrarea și calibrarea unor date existente, respectiv achiziționarea modelului digital al terenului cu rezoluția de 5-10 m de la ANCPI sau vectorizarea curbilor de nivel pe planurile topografice scara 1:5000.

Timpu necesar pentru achiziția datelor necesare generării modelului digital al terenului de nivel A și B prin scanare aeriana laser a fost de aproximativ 20 de ore, incluzând deplasarea aeronavei în zona proiectului.

Pentru o mai bună interpretare a hărților de hazard, acestea sunt suprapuse peste imagini satelitare sau ortofotoplanuri.

În cazul scanării aeriene laser pentru obținerea unei densități de 1-2 puncte /m², se poate utiliza o cameră format mediu cu distanța focală de 70 mm care permite obținerea unei rezoluții de 30-35 cm/pixel.

Din norul de puncte LiDAR s-a obținut prin clasificare Modelul Digital al Terenului (MDT) și Modelul Digital al Suprafețelor (MDS).

Rezoluția Modelului Digital al Terenului a fost de 1 x 1 m.

Pentru generarea Modelului Digital al Terenului s-au parcurs următorii pași:

- din norul de puncte s-a creat un TIN (Triangulated Irregular Network), apoi din TIN s-a creat un raster;

- s-a selectat valoarea înălțimii obținută prin triangularea în centrul celulelor gridului;

-s-a generat un caroiaj uniform cu rezoluția de 1 x 1 m, indiferent de densitatea punctelor norului; Modelul suprafeței a fost generat din toate punctele valide ale suprafeței terestre (punctele sol și non-sol). Punctul cu înălțimea cea mai mare (într-o celulă) a fost folosit la calcularea gridului. Indiferent de densitatea punctelor norului, va fi generat un nou grid.

Pe suprafețele cu goluri mari cum ar fi apele, valorile înălțimii caroiajului s-au determinat prin interpolare prin metoda vecinătăților apropiate (nearest neighbourhood algorithm).

DTM și DSM au fost generate în format GeoTIFF, tăiate pe secțiuni (tile-uri).

Pe lângă Modelul Digital al Terenului (MDT) și Modelul Digital al Suprafețelor în modelarea hidrologică este necesar ca pentru anumite zone să fie extrase informații din norul de puncte neclasificate .

În urma clasificării au fost generate clasele de *puncte ground*, *vegetație joasă*, *vegetație medie*, *vegetație înaltă*, *construcții*, *puncte neclasificate*. Clasa *ground* a inclus și punctele situate pe suprafața apei .

Concomitent cu datele LiDAR au fost achiziționate imagini cu rezoluția de 25cm/pixel. Acoperirea longitudinală a fotogramelor a fost de minim 60%, iar cea transversală de minim 25 %.

Anterior efectuării zborului, a fost realizat premarcajul reperelor fotogrammetrice (GCP) care trebuie să poată fi identificate clar pe fotograme. Premarcajul reperelor fotogrammetrice (GCP) s-a realizat cu materiale specifice (vopsea de culoare albă, polistiren), iar coordonatele s-au determinat prin măsurători GPS, metodă de măsurare statică. Coordonatele punctelor de control au fost determinate în sistem de proiecție Stereografică 1970 și sistem de altitudini Marea Neagră 1975 și au fost amplasate în zone relativ plane. Prelucrarea imaginilor s-a realizat cu programul ULTRAMAP V 3.9.

Măsurătorile topo-batimetrice au fost efectuate pentru refacerea și completarea rețelei de sprijin existente, achiziția datelor topografice necesare generării profilelor transversale și longitudinale, achiziția datelor referitoare la adâncimea apei, realizarea releveelor structurilor ingineresti.

Pentru realizarea modelării a fost necesară determinarea unui număr de 260 profile transversale, distanța între profilele transversale este relativă, variind în funcție de caracteristicile morfologice ale albiei minore, astfel pentru profilele batimetrice s-au executat și măsurători intermediare, pe profile mai scurte, în special în zonele de meandrare a cursului de apă (zonele de inflexiune). De asemenea, au fost realizate profile transversale în zonele schimbărilor bruște de pantă, respectiv în zonele cu pantă inversă, în măsura în care aceste zone se pot identifica în teren.

La fiecare profil transversal, pentru racordarea cotelor rezultate din Modelul Digital al Terenului cu măsurătorile topo-batimetrice s-au determinat puncte comune. Coordonatele au fost determinate prin măsurători GPS, metoda de măsurare RTK, utilizând stațiile de referință ROMPOS, cele mai apropiate de zona proiectului, respectiv sistemul de stații virtuale RO VRS 3.1 GG. Precizia de măsurare a punctelor pe profilul transversal a fost de +/- 5 cm, în plan (Sistem Stereografic 1970), și +/- 10 cm pentru cote normale, referința Marea Neagră 1975. La măsurătorile terestre pe profilele transversale s-au măsurat puncte la maxim 20 m, precum și la schimbări de pantă ale terenului.

Elaborarea hărților de hazard și de risc corespunzătoare pentru probabilitățile de depășire de 10%, 1%, 0,5% și 0,1%, pentru albia râului Prut, s-a realizat pe baza unei modelări hidrologice și hidraulice cuplate. Acesta a permis determinarea aportului afluenților râului Prut corespunzătoare undelor de viitură de pe râul Prut.

Etapele de realizare a modelării sunt următoarele:

- introducerea traseului râului principal și al afluenților importanți sub forma vectorială (arce și noduri);
- introducerea secțiunilor transversale de calcul (profile transversale);
- introducerea coeficienților de rugozitate din albia minoră și majoră;
- modelarea structurilor hidraulice din albie, incluzând aici poduri, traversări conducte, praguri deversoare, baraje, etc;
- introducerea valorilor debitelor maxime și/sau a hidrografelor de debit atât la capătul amonte, cât și a componentelor hidrografelor datorate afluenților;
- definirea setărilor modelului de calcul.

Rezultatele lucrării

Modelarea hidrologică/hidraulică a ținut cont de aportul tuturor afluenților râului Prut, atât de pe teritoriul României cât și de pe teritoriul Ucrainei și Republicii Moldova.

În calcul au fost analizate toate lucrările hidrotehnice executate în albia râului Prut și s-a stabilit în ce măsură fiecare lucrare hidrotehnică influențează regimul hidraulic al râului Prut.

Modelul hidrologic/hidraulic conține toate elementele constructive ale lucrărilor hidrotehnice existente pe râul Prut (longitudinale și transversale), care influențează regimul hidraulic, precum și regulile de exploatare prevăzute în cadrul Regulamentelor de exploatare în vigoare.

Modelarea hidrologică s-a realizat pe sectoare de râu cuprinse între 2 stații hidrometrice succesive pe râul Prut.

Numărul secțiunilor transversale de calcul a fost de 434, dintre care:

- 360 de secțiuni în aval de Acumularea Stânca-Costești;
- 41 de secțiuni în zona Acumularea Stânca-Costești;
- 33 de secțiuni în amonte de Acumularea Stânca-Costești.

Hărțile de inundabilitate au fost generate în format pdf, conținând ortofotoplanul, informațiile despre localități și folosința terenurilor și limitele zonelor de inundabilitate generate pentru diferite probabilități de depășire.

Concluzii

Activitățile legate de organizarea și dezvoltarea teritoriului, precum și de planificarea și administrarea urbană, necesită utilizarea corectă și actualizată a hărților de hazard și risc, elaborate la scări și niveluri de detaliere adecvate. Procedura de creare și utilizare a acestor documente în contextul factorilor de risc natural este reglementată la nivel european prin directive și la nivel național prin acte administrative care stabilesc responsabilitățile la nivel central, regional, județean și local, precum și gestionarea bazelor de date asociate.

Cu toate acestea, în ceea ce privește riscurile generate de activitățile umane, reglementarea este mai puțin dezvoltată. Deși extinderea fenomenelor de instabilitate induse de activitățile antropice este mai limitată în comparație cu cele naturale, impactul lor poate fi semnificativ la nivel local sau regional. De exemplu, subsidența cauzată de exploatarea miniere afectează o proporție semnificativă a teritoriilor din anumite zone. Prin urmare, este crucială elaborarea și adoptarea unor reguli și norme în acest domeniu, precum și introducerea obligației de includere a informațiilor specifice în procesul de dezvoltare a planurilor de amenajare a teritoriului și urbanism.

În contextul dezvoltării durabile și al atenuării impactelor negative ale activităților de extracție, măsurile de mitigare și strategiile de gestiune a riscului sunt esențiale. Crearea de bazine de retenție, reabilitarea ecologică a zonelor exploatate, stabilizarea taluzilor și managementul eficient al apelor pluviale sunt câteva dintre strategiile care pot fi implementate pentru a reduce riscul de inundații. În plus, implicarea comunităților locale și a părților interesate în elaborarea și implementarea planurilor de gestiune a riscului poate contribui la dezvoltarea unor soluții bine adaptate contextului specific al fiecărui sit.

Sănătatea ecologică și siguranța comunităților umane sunt strâns legate de managementul eficient al resurselor naturale și al peisajului. Carierele de piatră și balastierele, în contextul schimbărilor pe

care le induc în mediul înconjurător, necesită o atenție deosebită în modelarea și interpretarea hărților de risc la inundații, garantând astfel o planificare și răspuns eficace în fața evenimentelor extreme.

Extinderea rapidă a mediului urban este una dintre problemele cele mai importante la nivel mondial, în prezent. Pentru a controla cu succes situațiile rezultate din această urbanizare rapidă, este nevoie ca informațiile geospațiale să fie cât mai corecte și mai actuale.

Informațiile geospațiale corecte conduc la realizarea unor calcule corecte, lucru care se reflectă în creșterea eficacității prognozelor și avertizărilor hidrologice în caz de inundații. Crearea unui model 3D la nivelul unui bazin hidrografic reprezintă prima și cea mai importantă etapă în gestionarea riscului de inundații întrucât pe baza datelor geospațiale sunt elaborate hărțile de inundabilitate și se generează un plan de măsuri pentru combaterea și diminuarea efectelor inundațiilor.