

# REZUMAT

## TEZĂ DE DOCTORAT

### **Metode geodezo-topografice, tehnologia GIS și scanări UAV utilizate pentru evaluarea alunecărilor de teren în Dealurile Clujului și Dealul Feleacului**

Doctorand: **Paul SESTRĂȘ**

Conducător științific: **Prof. univ. dr. h.c. mult. Sorin Mihai CÎMPEANU**

București, 2019

Cuvinte cheie: alunecări de teren; analiză spațială; hărți de risc; măsurători terestre; UAV

Scopul propus în cadrul cercetărilor aferente tezei de doctorat a fost acela de a obține informații relevante privind stadiul actual și situația referitoare la alunecările de teren, analiza lor și a riscului de-a se produce, a proceselor de eroziune și degradare a terenurilor datorită unor factori ecologici și antropici în zona Dealurilor Clujului și Dealul Feleacului.

Complexitatea problematicilor propuse în cadrul cercetărilor a impus o atenție deosebită în vederea conceperii unui algoritm experimental bine fundamentat științific și practic, pe baza unor metodologii adecvate și adaptate la spațiul colinar din zona propusă și la cunoștințele referitoare la hazardele naturale reprezentate de alunecările de teren și specificul acestora în zonă.

Printr-o analiză și documentare laborioasă și riguroasă, au fost stabilite cinci experiențe, prima fiind una de ansamblu, iar următoarele reprezentând experiențe distincte, desfășurate sub forma studiului de caz. Problematicile urmărite în cadrul acestor experiențe, au constituit și obiectivele cercetărilor, în funcție de particularitățile experiențelor, obiectivele având un caracter general sau specific.

*1. Experiența I – Studiu general (experiență de ansamblu).* Problematika cercetată: evaluarea susceptibilității la alunecări de teren în zona Dealurile Clujului și Dealul Feleacului pe baza analizei statistice bivariate și a hărților GIS. Această primă experiență a fost considerată 'de ansamblu', deoarece a cuprins un areal amplu, următoarele patru experiențe desfășurându-se sub forma unor studii de caz, pe suprafețe mai mici, situate în interiorul acestui areal, cu o suprafață de 1041 km<sup>2</sup>.

Identificarea susceptibilității arealului investigat la alunecări de teren prin intermediul metodei BSA (*'Bivariate statistical analysis'*) a permis compararea hărții inventarului de alunecare cu hărți de parametri de influențare a alunecărilor de teren și ierarhizarea claselor corespunzătoare în funcție de rolul lor în formarea alunecărilor de teren pe teritoriul analizat, situat în sectorul estic al Depresiunii Transilvaniei, în județul Cluj, pe o suprafață de 1041 km<sup>2</sup>, incluzând Dealurile Clujului și Dealul Feleacului.

Modelul a asigurat elaborarea hărților de vulnerabilitate la alunecări de teren în funcție de factorii analizați care pot influența procesele de mișcare a maselor pe pantă: altitudini, pante, densitatea fragmentării, adâncimea fragmentării reliefului, orientarea versanților indicatorii WI (*Wetness Index*) și SPI (*Stream Power Index*), distanța față de rețeaua hidrografică, distanța față de așezările omenești și față de drumuri. Astfel, au fost create hărți specifice fiecărui factor implicat în posibile alunecări de teren sau în declanșarea, respectiv favorizarea acestora, pe cinci clase de vulnerabilitate: mică, medie, medie-mare, mare, foarte mare.

Analiza individuală a factorilor luați în calcul pentru definitivarea modelului de vulnerabilitate la alunecări de teren pe baza implementării ecuației BSA, a furnizat informații relevante și utile referitoare la influența diferită și diferențiată asupra claselor de vulnerabilitate ilustrate sugestiv de hărțile create pentru fiecare factor.

Rezultatele obținute prin aplicarea ecuației de analiză spațială pe baza softului geoinformațional ArcGIS și crearea bazei de date raster cu reprezentarea spațială a vulnerabilității cumulate pentru întreg teritoriul analizat au fost extrem de concludente. Aceasta, întrucât metoda de clasificare *'Natural Breaks (Jenks)'* cu identificarea spațială a cinci clase de vulnerabilitate a evidențiat fidel caracteristicile teritoriului analizat, în comparație cu celelalte metode de clasificare disponibile în cadrul softurilor geoinformaționale.

Harta finală de vulnerabilitate a teritoriului relevă clasa de probabilitate foarte mare, indicată de densitatea ridicată a alunecărilor de teren active, care se regăsesc teritorial la nivelul Dealurilor Clujului situate la contact cu lunca Someșului, precum și la nivelul Dealurilor Feleacului, în zonele versanților cu pantă ridicată.

Rezultatul final al modelării a evidențiat câteva 'hotspoturi' (puncte 'fierbinți' sau zone critice pe hartă) cu importanță majoră inclusiv pentru municipiul Cluj-Napoca. Un exemplu l-a reprezentat suprafața suprapusă spațial dealului Cetățuia din Cluj-Napoca, încadrată în categoria vulnerabilitate foarte mare, cu risc mare indus asupra infrastructurilor teritoriale de locuit și servicii (structuri de locuit, rețele edilitare, amenajamente turistice etc.), dar și asupra rețelelor de căi de comunicație dezvoltate în zona respectivă. Printre alte hotspoturi identificate și încadrate în categoria de risc foarte mare, în funcție de vulnerabilitatea aferentă alunecărilor de teren, s-a situat zona din partea sud-estică a orașului Cluj-Napoca, suprapusă teritorial versantului abrupt al

Dealului Feleac, zonă cu o dezvoltare spectaculoasă în privința extinderii ansamblurilor rezidențiale.

Pentru toate hotspoturile identificate, precum și pentru restul teritoriului încadrat în clasa mare și foarte mare de vulnerabilitate (cu impact major asupra componentei umane), se recomandă realizarea lucrărilor ameliorative și de stabilizare a terenului, pentru a diminua riscurile la care sunt expuse. În acest sens, se impun măsuri și acțiuni concrete, pe baza cărora aceste zone să nu mai aparțină categoriilor de risc foarte mare. Prezenta lucrare poate constitui și un suport util pentru factorii de administrație locali, în vederea elaborării unor planuri și măsuri concrete în acest scop.

Validarea foarte bună a modelului pe baza curbei AUROC ( $AUC=0,854$ ) a evidențiat buna realizare a modelului, atât din punct de vedere metodologic, cât și practic, recomandând un astfel de model pentru derivare și utilizare în cadrul cercetărilor pe suprafețe asemănătoare din punct de vedere a caracteristicilor morfometrice și geologice.

2. *Experiența II – Studiu de caz: Pădurea Făget, Cluj-Napoca.* Problematika cercetată: rolul ameliorativ, ecologic și peisagistic al Pădurii Făget, și posibilitățile de evitare a riscurilor pe baza hărților GIS de susceptibilitate la alunecări de teren.

Evaluarea ecosistemelor forestiere din zona Pădurii Făget, Cluj-Napoca, precum și caracterizarea arboretelor prin indici de biodiversitate au permis obținerea unor informații utile pentru asigurarea condițiilor necesare pentru conservarea diversității speciilor de plante reprezentate de cele mai importante specii de arbori din zonă.

Prin măsurători topografice s-au obținut localizări precise ale suprafețelor de probă utilizate (14), iar prin încorporarea lor într-o aplicație GIS, s-a realizat un model care asigură acuratețea și eficiența inventarierii și evaluării biodiversității pădurii. Modelul s-a propus și pentru extindere și utilizare atât pentru crearea de baze de date, cât și pentru o bună gestionare a fondului forestier și luarea deciziilor pe plan local sau național.

Utilizând analiza statistică bivariată (BSA – ‘*Bivariate Statistical Analysis*’) s-a determinat potențialul dinamic al arealului studiat, ținând seama de relația statistică dintre variabilele independente reprezentate de factorii de cauzalitate și de declanșarea alunecărilor de teren (panta, geologia, utilizarea terenurilor etc.), realizându-se hărți de susceptibilitate. Printre coeficienții incluși în analiza spațială, în diferite straturi, în această experiență arboretul a reprezentat unul dintre cei mai importanți factori. Pentru a evidenția și a ilustra importanța pădurilor în terenurile deluroase cu geomorfologie susceptibilă la pericole și alunecări de teren (cum este și zona investigată din Pădurea Făget), a fost creată o a doua hartă de susceptibilitate la alunecările de teren, cu excluderea deliberată a stratului de date care reprezintă utilizarea arealului ca pădure (respectiv arbori), din modelul de analiză spațială. Prin compararea celor

două figuri, s-a constatat că în cazul defrișării ipotetice a suprafețelor investigate, vulnerabilitatea terenului la alunecări crește considerabil, în special în partea de nord și vest a zonei studiate.

În urma studiului referitor la biodiversitatea pădurii și a calculării indicilor de diversitate, s-a formulat recomandarea la nivelul autorităților locale pentru asigurarea unor măsuri eficiente pentru conservarea biodiversității din Făget, precum și a tuturor funcțiilor pădurii, incluzând cele economice, de protecție și ecologice, culturale, peisagistice, de recreere etc.

Interpretarea rezultatelor a furnizat informații utile privind structura și caracteristicile arboretelor și arborilor din arealul investigat, precum și o bună înțelegere a importanței pădurii pentru prevenirea hazardelor reprezentate de alunecările de teren. Pe baza acestor informații, se pot lua măsurile necesare pentru asigurarea funcțiilor pădurii la parametri superiori, precum și perpetuarea speciilor de arbori și a asociațiilor vegetale consolidate de-a lungul timpului. Pe baza cercetărilor s-a recomandat asigurarea unei coexistențe echilibrate a factorului antropic și a pădurii, astfel încât resursele forestiere din vecinătatea orașului Cluj-Napoca să nu fie expuse la riscuri, modificări inevitabile sau chiar pierderi.

Reprezentările grafice extrem de relevante ale rezultatelor obținute, utilizând modelul GIS, au demonstrat că aplicația propusă poate fi implementată cu succes în silvicultură, oferind multiple posibilități de stocare, interpretare și valorificare a datelor. În plus, asemenea aplicații fac posibile și diferite extrapolări ale datelor, estimând relativ corect informații și interacțiuni referitoare la arborete și arbori în situri de inventariere apropiate a pădurilor. Sistemul poate fi deosebit de util în administrarea fondului forestier, gestionarea acestuia și luarea deciziilor, inclusiv de către autoritățile locale și Regia Națională a Pădurilor Romsilva. Prin încorporarea unor factori geomorfologici specifici unor suprafețe de interes în aplicația GIS creată, se poate crea o hartă de susceptibilitate a alunecărilor de teren care să permită identificarea zonelor cu cele mai mari riscuri, iar informațiile obținute pot fi utilizate ulterior pentru a atenua riscul producerii sau consecințelor unor alunecări de teren.

3. *Experiența III – Studiu de caz: Stațiunea de Cercetare Horticolă Cluj-Napoca.* Problematika cercetată: posibilități de valorificare a terenurilor în pantă supuse riscului alunecărilor de teren, prin plantații pomicole, în zona Dealurile Clujului.

Rezultatele obținute în cadrul acestei experiențe au fost în concordanță cu dezideratele stabilite, respectiv utilizarea analizei spațiale și elaborarea unei baze de date GIS într-o unitate de producție horticolă reprezentată de Stațiunea de Cercetare Horticolă Cluj-Napoca (SCH), având ca scop: i) creșterea eficienței utilizării și gestionării terenurilor; ii) eficientizarea bazei tehnico-materiale, a clădirilor și facilităților aferente; iii) amplasarea livezilor și stabilirea culturilor pomicole în funcție de eficiența economică a speciilor cultivate.

În experiență, analiza spațială și studiul de caz au demonstrat posibilitatea elaborării unui model util pentru determinarea celei mai profitabile parcele de teren. Caracteristicile de bază ale parcelelor de teren și limitele acestora au fost înregistrate, iar valorile parametrilor de interes și informațiile au fost adăugate în tabelul de atribute. Modelul propus poate grupa datele de bază necesare managementului terenurilor și administrării suprafețelor, creându-se o bază de date geospațială. Aceasta ar fi utilă și pentru identificarea parcelelor în funcție de specie și cultivar, productivitatea pomilor fructiferi și calcularea producției în tone pe hectar (t/ha), prețul aproximativ al fructelor pe kilogram (prețul producătorului), calcularea profitului pe fiecare parcelă individuală în funcție de specie, sau chiar soi, producție, cost pe kilogram etc.

Aplicarea modelului pe unele particularități și date funciare și economice din unitate, a evidențiat faptul că modelul 3D poate fi aplicat pentru crearea unei baze de date spațială și a atributelor necesare pentru o amplasare eficientă a speciilor și chiar soiurilor în anumite zone ale terenului, în funcție de cerințele lor și condițiile de mediu, inclusiv pantă, expoziție, condițiile de micro-climat etc.

În urma studiului de caz efectuat la Stațiunea de Cercetare Horticolă Cluj-Napoca și a rezultatelor obținute în cadrul cercetărilor întreprinse, s-au formulat ipoteze argumentate judicios privind posibilitatea elaborării (și facilitării) unui plan de management pe termen lung, utilizând informații și date integrate într-un sistem informațional al terenurilor, care să includă și aspecte generale, referitoare la evitarea riscurilor de mediu, crearea unui peisaj estetic și asigurarea unui mediu sănătos în apropierea orașului. Sistemele informatice pot conecta o multitudine de variante și combinații de variante, astfel încât să se asigure un management eficient al terenurilor în pantă, destinate plantațiilor pomicole, atât din punct de vedere economic, cât și în privința prevenirii alunecărilor de teren și asigurării unei agriculturi ecologice, durabile, sustenabile.

*4. Experiența IV – Studiu de caz: măsurători topo-geodezice și scanări UAV, pentru monitorizarea alunecărilor de teren din zona Donath vest a orașului Cluj-Napoca, limită UAT Cluj-Napoca/Florești.* Problematika cercetată: monitorizarea alunecărilor de teren din apropierea cartierului rezidențial Donath Park, partea de vest a cartierului Grigorescu.

Rezultatele obținute în urma cercetărilor referitoare la monitorizarea alunecărilor de teren din apropierea cartierului rezidențial Donath Park, din vestul cartierului Grigorescu, Cluj-Napoca, au fost extrem de consistente din punct de vedere științific. În plus, acestea au și o importanță practică deosebită determinată de modificările substanțiale suferite de zona de studiu în ultimii ani și condițiile socio-economice concrete din zonă, odată cu apariția noului cartier și a centurii ocolitoare intens circulate, Florești – Cluj-Napoca.

Amplasarea bornelor topografice ancorabile și crearea rețelei de sprijin locală, care a constat în opt aliniamente direcționale, a câte opt puncte fiecare, reprezentate de reperi

monitorizați în două etape, la o diferență de doi ani (între septembrie 2016 și octombrie 2018), a permis analiza minuțioasă a proceselor de mișcări de masă care au avut loc pe un versant situat în imediata vecinătate a noului cartier rezidențial și centurii ocolitoare. Prelucrarea măsurătorilor, obținerea rezultatelor și interpretarea și discutarea acestora au oferit informații exhaustive de interes științific și practic valabile pentru zona investigată, dar și unele cu caracter general.

Deplasările în spațiu pe unele aliniamente direcționale au înregistrat valorile maxime în partea superioară a versantului, după care aceste valori au scăzut, dar în unele cazuri, spre partea inferioară, au înregistrat o ușoară creștere, explicată prin tendința de ridicare a masei alunecate, prin procesul de depozitare.

Rezultatele obținute au demonstrat că modelul de regresie a explicat relativ fidel variația variabilei dependente (pentru unii factori, de exemplu viteza de deplasare, foarte bine, într-o proporție de 93,6%), astfel că modelul s-a validat, întrucât variabila considerată independentă (de exemplu panta) a avut o influență semnificativă asupra variabilei dependente (ex. masa de deplasare). Pe ansamblul celor opt aliniamente, rezultatele obținute au indicat faptul că versantul investigat este supus unei alunecări superficiale extrem de lente, de sub 6 cm/an. Deplasarea de ordinul a câțiva centimetri până spre 10 cm a reperilor, corespunde fenomenului alunecării de suprafață, cel mai probabil de mică adâncime, cu tendință de curgere.

Pe baza rezultatelor obținute, s-a considerat că factorii declanșatori în cazul acestui studiu, într-o perspectivă de ansamblu, sunt înclinarea terenului, cu o pantă de peste 30°, vegetația relativ săracă, precum și alți factori, dintre care intervenția antropică a devenit în mod evident unul tot mai accentuat în ultimul timp. Interesul imobiliar tot mai mare în zonă și dezvoltarea noului cartier, centura ocolitoare care în ultimii ani este intens circulată, vibrațiile locale aproape continue datorită traficului, utilajele grele folosite în dezvoltarea locală a construcțiilor etc. sunt elementele principale ale intervenției antropice cu consecințe nefavorabile asupra stabilității terenului. La aceștia se pot adăuga și factori referitori la exploatarea terenului din punct de vedere agricol, pășunatul oilor contribuind la restrângerea drastică a vegetației arbustive și chiar ierboase, creșterea riscului de eroziune a solului etc.

Zborurile cu aparatură UAV efectuate în două misiuni din ani diferiți, 2016 și 2018 au permis evaluarea ratei de schimb a configurației suprafeței corpului de alunecare în ceea ce privește analiza integrată a mișcării versantului susceptibil la alunecare. Acesta s-a analizat pe baza identificării suprafețelor cu deformări pozitive și negative, ca urmare a analizei bazelor de date raster, respectiv a modelelor digitale de elevație.

Modelarea 3D UAV a confirmat faptul că alunecările de teren ale versantului analizat reprezintă un factor generator de risc indus asupra rețelelor de căi de comunicație, centurii ocolitoare Florești – Cluj-Napoca, precum și asupra infrastructurii principale de locuire,

numeroase imobile și clădiri aflate în construcție, risc indus asupra infrastructurilor conexe locuirii - conducte de alimentare cu gaze naturale și rețeaua de evacuare a apelor uzate menajere precum și rețeaua de alimentare cu apă.

5. *Experiența V – Studiu de caz: măsurători topo-geodezice, scanări UAV și investigații geofizice utilizând georadarul, pentru evaluarea susceptibilității la alunecări de teren a zonei mixte industrial-rezidențială din Bulevardul Muncii, estul orașului Cluj-Napoca.* Problematika cercetată: investigarea alunecărilor produse, monitorizarea alunecărilor de teren, verificarea eficienței lucrărilor de îmbunătățiri funciare efectuate în zonă.

Rezultatele obținute în urma investigațiilor efectuate pe un teren cu o pantă accentuată și expoziție sudică, situat pe Bulevardul Muncii, Cluj-Napoca, într-o zonă în care s-a produs o alunecare de teren, au fost deosebit de detaliate și concludente din puncte de vedere științific și practic. Cercetarea efectuată sub forma studiului de caz, prin combinarea metodelor și tehnicilor clasice și moderne de investigare a urmărit analiza în detaliu a situației din zona în care a avut loc hazardul reprezentat de alunecarea de teren, consecințele acesteia și eficiența măsurilor și tehnicilor propuse pentru remedierea daunelor și ameliorarea zonei în privința stabilității ei.

Monitorizarea zonei prin tehnologia UAV a asigurat obținerea unor informații concludente privind morfologia alunecării de teren care s-a produs în zonă, folosind bazele de date derivate obținute prin procesarea imaginilor aeriene (Digital Surface Model și Digital Elevation Model).

Investigațiile efectuate cu georadarul și scanările adâncimii și extinderii teritoriale a zonelor cu diferite structuri și grade de duritate au furnizat date relevante pentru patul de alunecare, precum și forma și adâncimea alunecării în profil longitudinal, utilizându-se în acest scop un transect pe direcția generală a alunecării.

Măsurătorile geodezo-topografice au furnizat cu exactitate mărimile și direcțiile de deplasare în urma observațiilor efectuate pe perioada mai multor intervale, la amplasarea în teren a stațiilor de observație (rețelei de sprijin) avându-se în vedere atât precizia determinării deplasării mărcilor de vizare, cât și asigurarea stabilității stațiilor. Valorile obținute au fost relativ mici, de ordinul unor milimetri, fapt care a indicat o stabilitate bună a terenului și în consecință eficiența măsurilor tehnice aplicate, reprezentate de trei puțuri de captare, drenuri, zid de sprijin, terasamente, plasă peste terasament.

Cercetarea și exemplul prezentat în acest studiu de caz s-au considerat reprezentative pentru arealul investigat în privința modului în care se poate realiza o analiză pertinentă a cauzelor și mecanismelor de producere a alunecărilor de teren, ca hazarde naturale, precum și a luării unor măsuri de protecție sau atenuare a efectelor și consecințelor acestora.

*Considerente finale.* Rezultatele obținute și analizele exhaustive ale proceselor complexe care contribuie la mecanismele care pot favoriza sau declanșa mișcările de alunecare pe versanți în zonele cercetate, permit conceperea și elaborarea unor măsuri eficiente de protecție. Acestea trebuie să aibă în vedere situația de ansamblu și particulară a fiecărei zone, precum și a riscurilor noi apărute prin schimbările profunde care au loc la nivel de intervenție antropică. Printre intervențiile care pot fi propuse în cadrul acestor măsuri se pot număra unele relativ facil de transpus în practică, sau unele care presupun intervenții și eventual costuri considerabile. Sunt importante și măsurile de prevenție, inclusiv cele referitoare la interdicția de-a se executa în zonele cu risc de alunecare de teren a unor lucrări de amploare, fără consolidarea și amenajarea teritoriului (drenuri, puțuri, terasamente etc.), care însă trebuie completate de acțiuni concrete și lucrări propriu-zise în acest sens.

Analizele efectuate și baza de date obținută în cadrul cercetărilor (reprezentată de măsurători, analize, modele conceptuale, prelucrări și interpretări de date, scanări UAV și date stocate, toate putând fi puse la dispoziția organelor de administrație locală) pot fi utile pentru elaborarea unor măsuri adecvate de protecție și transpunerea lor în practică. În acest sens, informațiile detaliate obținute pot fi valorificate în procesele de concepere a unor planuri de măsuri tehnice în funcție de particularitățile fiecărei zone (canale de ape colectoare, drenuri, ziduri de sprijin etc.), precum și biologice, care se referă la modul de utilizare a terenurilor (instalarea unor specii lemnoase, sau chiar a unor ierboase, dar cu potențial ameliorativ pentru sol și de sporire a rezistenței terenului la alunecare și eroziune etc.).

Investigațiile științifice efectuate, documentarea și informațiile pertinente și exhaustive pe anumite problematici studiate în cadrul experiențelor aferente prezentei cercetări, se constituie și într-o bază de date de actualitate, cu mare potențial de utilizare în continuare, care completează cercetarea în ansamblul său, precum și caracterul acesteia de cercetare fundamentală. Specific unei abordări fundamentale, această bază de date poate constitui punctul de pornire spre noi direcții de cercetare în domeniu.