

Cercetări privind efectul alunecărilor de teren din zona Municipiului Sighetu Marmăției în urma defrișărilor și ameliorarea acestora

Rezumat

Doctorand **Tiberiu-Mihai KALMAR**

Conducător de doctorat **Prof. Univ. dr. Marcel DÎRJA**



INTRODUCERE

Defrișările și degradarea pădurilor continuă să aibă loc în ritmuri alarmante, astfel că în perioada 1990-2020, se estimează că 420 de milioane de hectare de pădure au fost pierdute prin conversia la alte utilizări ale terenului. Între 2015 și 2020, rata defrișărilor a fost estimată la 10 milioane de hectare pe an, în scădere de la 16 milioane de hectare pe an în anii 1990.(FAO and UNEP, 2020).

Indiferent de cauzele defrișărilor, efectele principale sunt Schimbările climatice și ca efect cumulat Alunecările de teren.

Județul Maramureș se confruntă cu un număr important de riscuri naturale și antropice: inundații, existând un risc semnificativ pe mai multe cursuri de apă din județ, inclusiv, conform hărților de risc în special Tisa cu afluenții acesteia din zona de studiu Rona, Vișeu, Sarasău, Iza, etc., alunecări și prăbușiri de teren (32 de UAT-uri, dintre care foarte multe la poalele Dealului Solovan, zona Sighetu Marmăției), incendii de pădure și vegetație uscată, avalanșe, cutremure, etc.

Am ales ca zonă de studiu privind efectul defrișărilor asupra alunecărilor de teren Municipiul Sighetu Marmăției și o localitate învecinată Sarasău, din următoarele motive:

1. De-a lungul timpului, în zona de studiu s-au produs defrișări, considerate a fi printre cele mai masive din întreaga țară,
2. Zona de studiu este deluroasă, în special prin Dealul Solovan, la poalele căruia s-a dezvoltat localitatea Sighetu Marmăției, fiind supusă natural unor procese de instabilitate a suprafețelor terestre,
3. Având în vedere diversitatea cauzelor alunecărilor de teren studiate și monitorizate în cadrul unui proiect transfrontalier interregional, am decis să particip la toate activitățile proiectului, de la colectarea datelor de teren până la prelucrarea acestora și crearea bazei de date GIS, și apoi, implementarea unui portal WebGIS împreună cu implementarea unei aplicații mobile. Astfel, cercetarea pe care am realizat-o se fundamentează pe evidențe empirice clare, conduse cu scopul investigării mai exacte a impactului defrișărilor asupra alunecărilor de teren.
4. În urma unei atente analize a situației din teren, privind alunecările de teren, s-au ales pentru monitorizare trei locații, toate având cauze diferite. Printre acestea se regăsește o situație care are ca și cauză despădurirea, o alta, prin care alunecările de teren au fost stopate prin reîmpădurire și a treia la care fenomenele menționate se produc în continuare, deoarece, deși taluzul versantului la poalele căruia se află această locație este foarte abrupt, acesta nu a fost consolidat cu niciun procedeu cunoscut.

Atât pentru implementarea proiectului, cât și pentru achiziționarea întregului material pentru documentarea și elaborarea tezei de doctorat a fost foarte importantă stabilirea strategiei de abordare, pe parcursul celor peste doi ani de efectuare a

cercetărilor (martie 2020-mai 2022), respectiv alegerea tehnologiilor, metodelor și a instrumentelor de preluare a datelor de teren, a softurilor de prelucrare și interpretare a datelor, a tehnologiilor de publicare și comunicare.

SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRII

Scopul cercetării este analiza efectului defrișărilor asupra alunecărilor de teren, într-o zonă puternic expusă acestor fenomene de instabilitate, baza dealului Solovan, Municipiul Sighetu Marmației. Obiectivul general al întregii lucrări este stabilirea raportului de cauzalitate dintre acțiunile de despădurire și factorii determinanți ai alunecărilor de teren și identificarea posibilităților de diminuare și stopare a fenomenelor consecință.

Deși alunecările de teren nu apar imediat după golirea de vegetație a unui versant împădurit, la un interval de la cinci la zece ani, după putrezirea rădăcinilor arborilor defrișați, fenomenele de instabilitate se manifestă și se dezvoltă rapid, putând provoca pagube din cele mai grave.

Am pornit cercetările identificând initial peste 100 de cazuri de alunecări de teren în proximitatea Municipiului Sighetu Marmației, poalele dealului Solovan, din care am ales spre studiu trei cazuri, toate având legătură cu pădurea. Primul caz a fost o zonă care după ce s-a constatat alunecarea de teren, zona a fost reîmpădurită, al doilea unde de circa zece ani s-au făcut tăieri de arbori în amonte, cu efecte de instabilitate a terenului și al treilea unde, desi împădurit fiind versantul a alunecat în aval, producând distrugerea în totalitatea a unei gospodării.

Astfel, după etapa de documentare și stabilirea unei baze de date, privind siturile aflate în pericol de instabilitate din zona de operare, am trecut la analiza metodelor de urmărire a evoluției alunecărilor de teren stabilite ca studii de caz, efectuarea celor patru cicluri de monitorizarea, stabilirea evoluției în timp a fenomenelor studiate și nu în ultimul rând la găsirea de soluții de diminuarea a efectelor.

STRUCTURA TEZEI DE DOCTORAT

Teza conține două părți, care cuprind 8 capitole, 143 de pagini, două anexe și 178 de referințe.

PARTEA ÎNTÂI: Stadiul actual al cunoașterii

Capitolul 1. Stadiul actual al cunoașterii în ceea ce privește fenomenul de defrișare a pădurile, influențe și efecte

În primul capitol se analizează atât cauzele cât și efectelor defrișărilor de păduri asupra mediului în general și a vieții în mod special, subliniind raportul dintre aceste acțiuni umane și alunecările de teren. Se subliniază, de asemenea, că efectele încălzirii globale și schimbările climatice asociate asupra alunecărilor de teren rămân dificil de cuantificat și de prezis. În același timp se consideră că defrișările au un efect imediat iar una dintre principalele și vizibilele consecințe sunt alunecările de teren.

Capitolul 2. Tehnologii geomatice de monitorizare a alunecărilor de teren

Alegerea unei tehnici geomatice pentru monitorizarea alunecărilor de teren depinde adesea de cerințele specifice ale proiectului de monitorizare. Pentru a garanta dobândirea de informații precise și pertinente, este necesară integrarea tehnicilor de monitorizare analitică cu alte metode și tehnologii. Aceste resurse suplimentare nu numai că oferă informațiile necesare, ci facilitează și prelucrarea datelor culese de pe teren.

PARTEA A DOUA: Contribuția personală

Această parte, este compusă din cinci capitole privind baza și rezultatele cercetării, concluzii și recomandări care au ca scop atingerea obiectivelor propuse, chiar în cadrul primului capitol al acestei părți.

Capitolul 3. Obiective urmărite și ipoteze de lucru, în cele două subcapitole, prezintă obiectivele propuse ale cercetării, subliniind importanța temei abordate.

Capitolul 4. Particularitățile mediului în care a avut loc experimentarea, conține două subcapitole care analizează particularitățile cadrului natural al zonei în care s-a efectuat cercetarea, subliniind în finalul său că întreaga zonă monitorizată se încadrează, din punct de vedere urbanistic în categoria L3 – Zonă de locuințe de tip rural. Capitolul acoperă, de asemenea, primul obiectiv al cercetării Faza de documentare.

Capitolul 5. Materiale și metode are în componență trei subcapitole, primul prezentând Metodologia cercetării prezentând descriptiv și grafic strategia avută în vedere privind abordarea întregii activități de cercetare. Cel de al doilea subcapitol prezintă pașii parcurși în identificarea tuturor locațiilor supuse unor fenomene de instabilitate (119 locații identificate, dintre care 13 grav afectate) subliniind motivele alegerii celor trei locații ca studii de caz. În ultimul subcapitol al acestei părți a lucrării

sunt prezentate tehnologiile/instrumentele utilizate la monitorizarea zonei de studiu. Sunt acoperite, astfel, următoarele obiective ale cercetării propuse în Capitolul, respectiv Identificarea și selectarea alunecărilor de teren în zona de studiu și Crearea unei baze de date a siturilor periculoase, din punct de vedere al alunecărilor de teren în zona Municipiului Sighetu Marmăției.

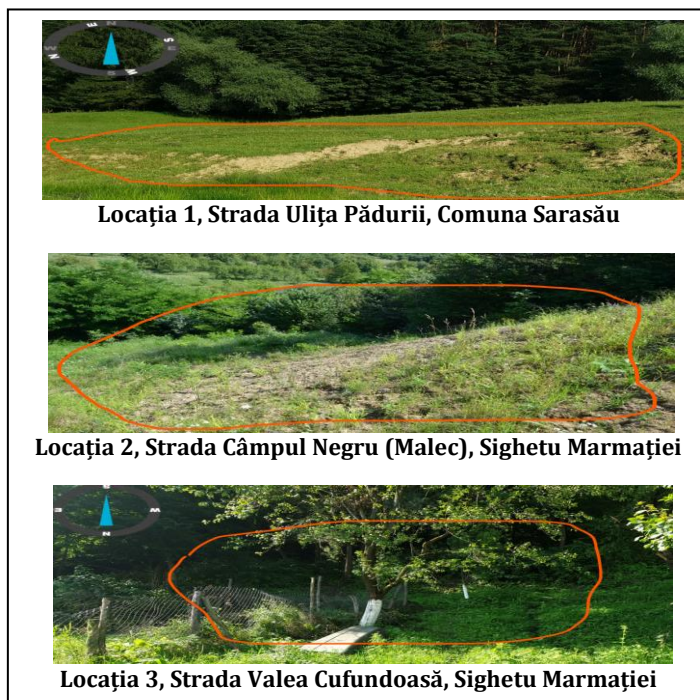


Fig. 5.9. (Extras) Imagini ale celor șase locații monitorizate de alunecare, Imaginile indică zona afectată de alunecări de teren pentru fiecare locație (Sursa/Source: Autorul/Author)

Capitolul 6. Rezultate și discuții, în cele trei subcapitole care-l compun, bazându-se și respectând metodologia cercetării anterior menționată, la capitolul anterior, soluționează toate componentele stabilite, obiective generale și specifice ale cercetării. Astfel, sunt acoperite, în cadrul acestui capitol celelalte obiective propuse ale cercetării, după cum urmează:

Efectuarea studiilor de teren, Efectuarea monitorizării alunecărilor de teren în valea râului Tisa, zona monitorizată, prin efectuarea a 4 cicluri de măsurători geodezice folosind diferite metode Geomatic,

Monitorizarea alunecărilor de teren din zona de studiu s-a realizat prin patru cicluri după cum urmează, Ciclul „0”, 29-30.07.2020; Ciclul „1”, 13-14.04.2021; Ciclul „2”, 22-23.06.2021; Ciclul „3”, 25-26.10.2021. Măsurătorile s-au efectuat prin tehnologiile menționate, de bază fiind Nivelmentul geometric de mijloc, de înaltă precizie, efectuat atât cu nivela clasică cât și cu nivela digitală și tehnologia UAV.

Verificarea stabilității fiecărei din cele trei locații monitorizate pentru cele patru cicluri de măsurare utilizând metoda Nivelmentului geometric de mijloc de înaltă precizie.

Pentru toate cele trei locații monitorizate s-au constatat deplasări în timp a terenului, dar valori semnificative de până la 140 mm s-au înregistrat pentru Locația 2, strada Câmpul Negru, zonă afectată de acțiuni constante de despădurire.

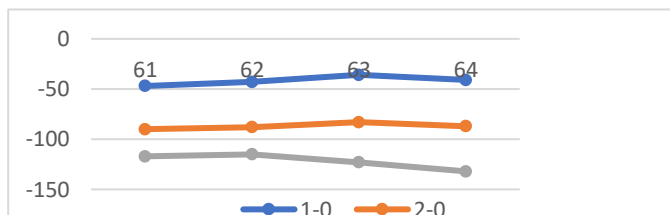


Fig. 6.2. Evoluția poziției în spațiu a reperilor instalați în Locația 2, Strada Câmpul Negru, SM
(Sursa/Source: Autorul/Author)

Stabilirea unui flux de operare în utilizarea tehnologiei UAV, constituie tema celei de a treia etape a strategiei de monitorizare anterior menționate, Fazei C. Prelucrare primară a datelor de teren Fluxul de operare în utilizarea tehnologiei UAV, în scopul monitorizării alunecărilor de teren, prin cele patru cicluri menționate anterior, prin care s-au identificat următoarele, operațiuni pe teren:

1. C 1. Delimitarea zonei de operare, respectiv a zonei monitorizate;
2. C 2. Selectarea punctelor de control GCP (Ground Control Points);
3. C 3. Stabilirea planului de zbor;
4. C 4. Efectuarea zborului;
5. C 5. Procesarea imaginilor cu software-ul Agisoft Photoscan Professional;

Etapă de prelucrare a fotogramelor

S-au precizat în lucrare etapele folosite care au avut ca scop realizarea DEM-ului, Ortomozaic-ului și a Ortofotoplan-ului pentru toate cele trei locații monitorizate prin patru cicluri.

Cel de al doilea subcapitol tratează Generarea hărților privind alunecările de teren din zona de operare prin utilizarea tehnologiei GIS începe cu Studii preliminare de documentare asupra cauzalității fenomenului de instabilitate și trece apoi la *Definirea modelui matematic al fenomenelor monitorizate*. Etapa de cercetare pornește cu Colectarea datelor din teren folosind tehnologia GIS, Import de perechi de date, Ortofotoplane și DEM

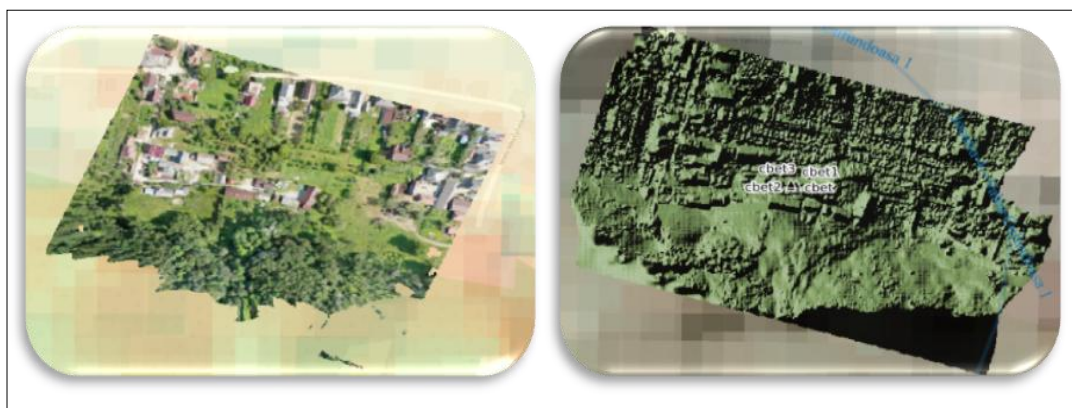


Fig. 6.15.(Selecție) Import de perechi de date, Ortofotoplane (stânga) și DEM (dreapta), ciclul „0”, locația 2 (Sursa Autorul/Author pe baza datelor din cadrul Proiectului GeoSES)

S-a trecut apoi, la *Crearea bazei de date spațiale realizată cu ajutorul programului ArcGIS Pro* și apoi la *Efectuarea unei analize spațiale prin definirea variabilelor modelului în zona monitorizată folosind indicatorii:*

- Hot Spot Analysis, în urma căruia a rezultat, indicatorul statistic Getis-Ord Gi*)

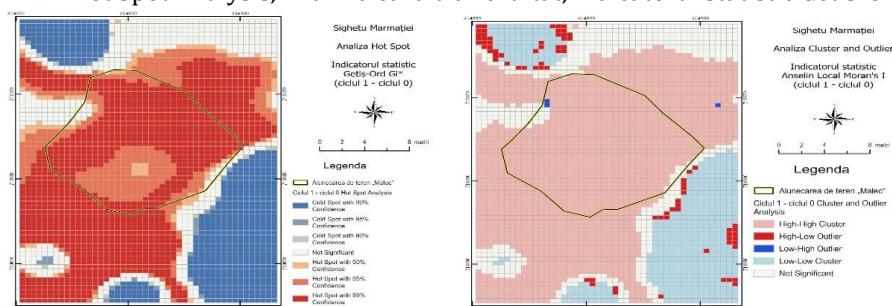


Fig. 6.17. Analiza Hot Spot (indicatorul statistic Getis-Ord Gi*), Fig. 6.19. Analiza Cluster and Outlier (indicatorul statistic Anselin Moran,s I) (Sursa/Source: Autorul/Author)

- Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran,s I) având ca rezultat indicatorul statistic Anselin Moran,s I.

Definirea celor opt variabile generate de geoprocесare, sub forma unei hărți tematice prezentate pentru Municipiul Sighetu Marmăției, zona de studiu a lucrării s-a efectuat în cadrul tematicii *Utilizarea modelului MaxeEnt pentru predicția susceptibilității alunecărilor de teren și dezvoltarea hărții riscului de alunecare de teren.*

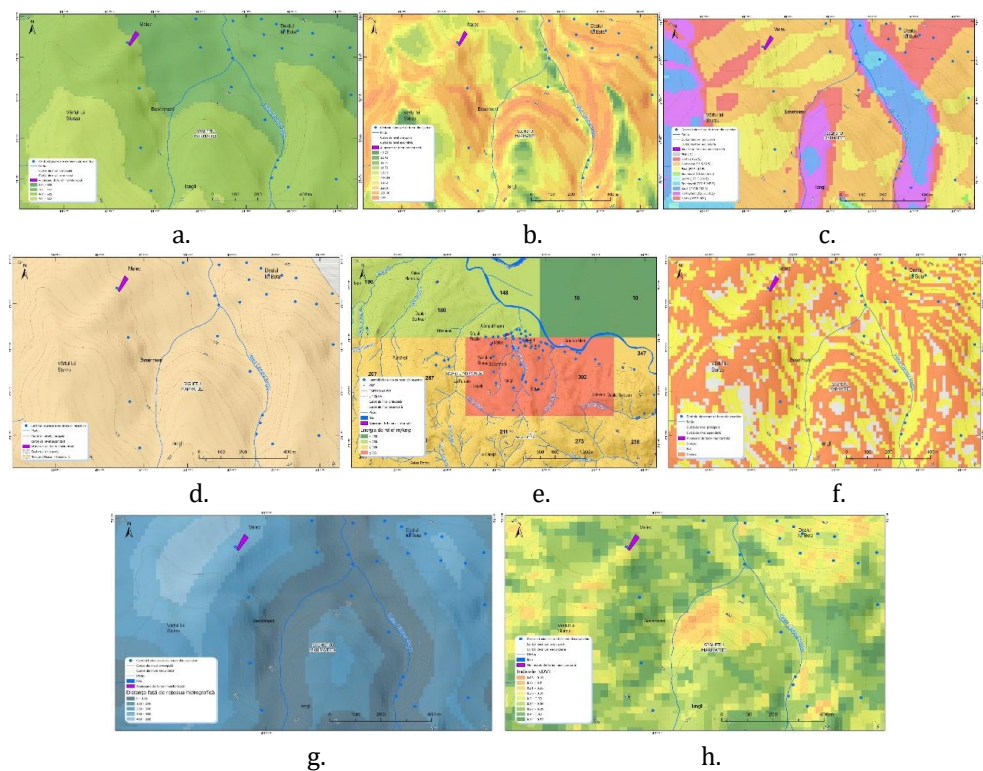


Fig. 6.25. a. Harta în relief, model digital de cotă (Var. 1 - DEM), b. Harta pantelor (Var. 2 – Pantă)), c. Var. 3 - Expunerea versanților, d. Harta litografiei (Var. 4 - Harta geologică), e. Var. 5 – Energie de relief, f. Var. 6 – Curbura versanților, g. Var. 7 – Distanța față de rețeaua hidrografică, h. Var. 8 – NDVI, Hărți în coordonate carteziane cu evidențierea locației monitorizate (Sursa: KALMAR, 2024)

Cele opt variabile/hărți tematice au fost încorporate în software-ul MaxEnt generând hărți a riscului de alunecare de teren în ArcGIS Pro (Figurile 6.35-6.38.). Clasificarea contribuției variabilelor considerate la modelul statistic privind alunecările de teren din zona Sighetu Marmăției este prezentată în tabelul următor care oferă estimări ale contribuțiilor relative ale variabilelor de mediu la modelul Maxent.

Tabelul 6.16. Analiza contribuției variabilelor explicative la model (Sursa: Autorul)

Variable code	Contribuția la model	Poziția
V1	16,2947	3
V2	35,7730	1
V3	6,1782	5
V4	22,7949	2
V5	15,6407	4
V6	0,1910	8
V7	2,8135	6
V8	0,3140	7

Definirea Modelului de performanță pentru predicțiile alunecărilor de teren în zona Sighetu Marmăției este prezentată în Figura 6.33.

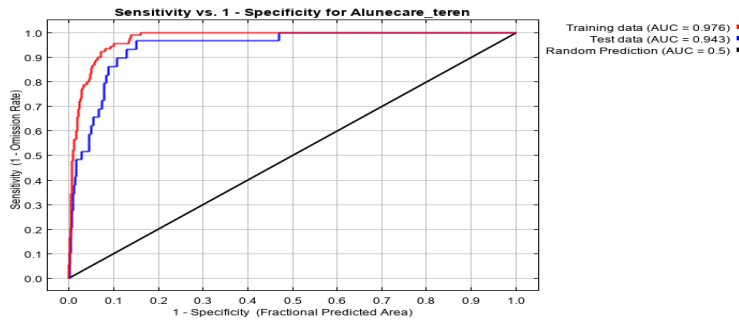


Fig. 6.33. Model de performanță pentru predicțiile alunecărilor de teren în zona Sighetu Marmăției (Sursa: Autorul)

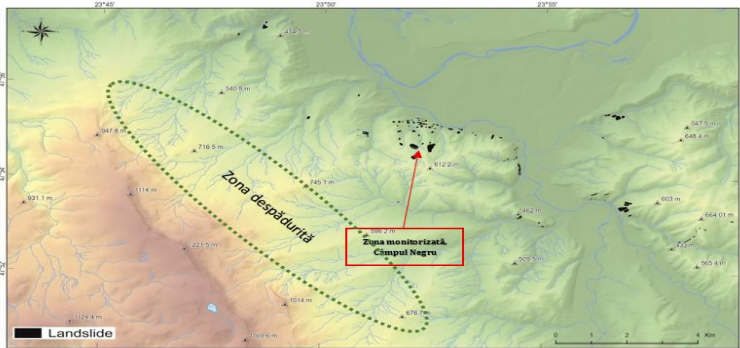


Fig. 6.35. Harta alunecărilor de teren pentru zona de studiu (Locatia 2, Strada Câmpul Negru, Sighetu Marmăției) și împrejurimi (Sursa: KALMAR, 2024)

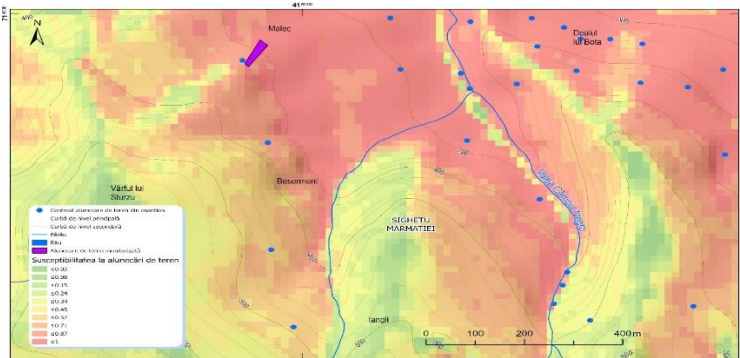


Fig. 6.36. Susceibilitate la alunecări de teren (Sursa: KALMAR, 2024)

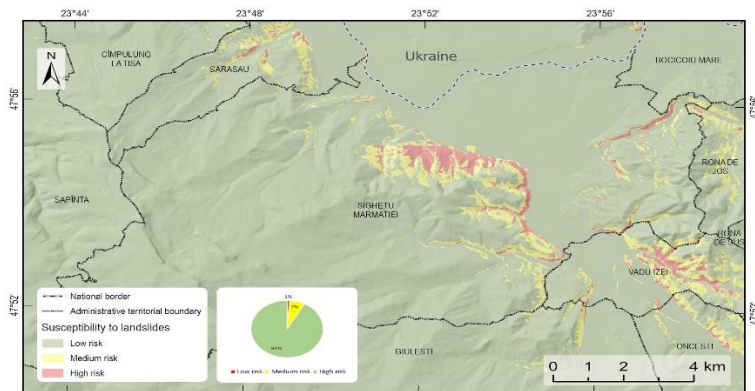


Fig. 6.37. Harta riscului de alunecare de teren (Sursa: KALMAR, 2024)

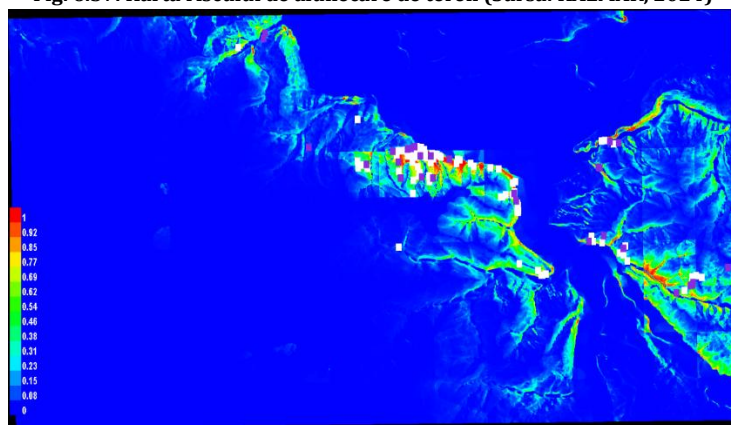


Fig. 6.38. Plot pentru Predicții Alunecări de Teren în Zona Sighetu Marmatiei Aceasta este o reprezentare a modelului Maxent pentru Alunecare_teren. Culorile mai calde arată zone cu condiții mai bine prezise. Punctele albe arată locațiile de prezență utilizate pentru testare, în timp ce punctele violete arată locațiile monitorizate (Sursa: KALMAR, 2024)

Capitolul 7. Concluzii și recomandări

7.1. Concluzii și recomandări privind efectul defrișărilor asupra alunecărilor de teren

Determinarea de măsuri pentru diminuarea efectelor despăduririlor și de soluții pentru prevenirea și diminuarea efectelor alunecărilor de teren, cauzate de defrișări ar trebui analizate din următoarea perspectivă:

1. Soluții pentru prevenirea alunecărilor de teren
2. Soluții pentru diminuarea efectelor alunecărilor de teren
 - a. În faza inițială
 - b. În faza de evoluție
 - c. În faza finală

Factorii care afectează stabilitatea versanților pot fi grupați în cei care tind să crească efortul de forfecare și cei care tind să reducă rezistența la forfecare. Acesta

oferă o baza pentru examinarea influenței probabile a vegetației asupra stabilității alunecărilor de teren, astfel:

1. Armarea rădăcinilor: Rădăcinile întăresc mecanic solul prin transferul efortului de forfecare în rezistența solului la tracțiune datorat ancorării rădăcinilor.
2. Modificarea umidității solului: Vegetația afectează rata de topire a zăpezii, care la rândul său afectează solul regim de umiditate.
3. Consolidarea și arcuirea: tulpinile ancorate și încorporate pot acționa ca un contrafort sau arc consolidate în pantă, contracarând solicitarea de forfecare.
4. Suplimentarea: Greutatea vegetației pe o pantă exercită atât un stres descendent (destabilizator), cât și o componentă a tensiunii perpendiculare pe panta care tinde să crească rezistența la alunecare.
5. Întinderea rădăcinilor: Presupusa tendință a rădăcinilor de a invada fisurile și canalele din sol sau din masă de stâncă.

Stabilitatea crește atunci când apa freatică, aflată sub zonele afectate de alunecări de teren este împiedicată să se ridice în masa versantului și pentru aceasta pot fi luate următoarele măsuri:

- Direcționarea apei de suprafață departe de alunecarea de teren,
- Drenarea apelor subterane departe de alunecarea de teren pentru a reduce potențialul de a creșterea nivelului apei subterane,
- Acoperirea alunecării cu o membrană impermeabilă, pentru a nu permite infiltrarea în pânza freatică a precipitațiilor și (sau)
- Minimizarea irigațiilor de suprafață.

7.2. Concluzii și recomandări privind modalitățile de abordare a soluțiilor de gestionare a efectului defrișărilor asupra alunecărilor de teren, cu particularizare pentru arealul analizat, Municipiul Sighetu Marmăției

În ansamblu întreaga activitate de monitorizare trebuie integrată într-un program managerial de gestionare a situației teritoriale din punctul de vedere al stabilității în timp având în vedere stabilirea următorilor factori caracteristici:

1. Identificarea prezenței evenimentului – alunecare (alunecări) de teren într-o anumită zonă;
2. Evaluarea gravității și potențialului distructiv al evenimentului (evenimentelor) identificate;
3. Studiarea istoricului evenimentului;
4. Stabilirea cauzelor care au condus și au favorizat inițierea și dezvoltarea alunecării(alunecărilor de teren);
5. Identificarea cărei categorii de alunecări de teren se încadrează cazul(cazurile) analizate;
6. Stabilirea programului de monitorizare, indicatori de precizie, densitatea etapelor de monitorizare, densitatea punctelor de monitorizare;

7. Etapa de testare a tehnologiilor, metodelor și a instrumentelor posibil a fi utilizate în procesul de monitorizare pentru a identifica acele tipare instrumentale și tehnologice care pot îndeplini cerințele punctului anterior;
8. Efectuarea ciclului origine, Ciclul "0" de înregistrare a situației inițiale, crearea Modelului 3D a terenului la momentul de referință, a cotelor martorilor mobili plantați în sol/profilelor longitudinale și transversale de referință, etc. ;
9. Efectuarea următoarelor cicluri de monitorizare, "1", "2", "3", "4", etc. în funcție de evoluția fenomenului analizat, până la asigurarea stabilității zonei sau la constatarea unei stabilități naturale create/stingere totală a deplasărilor spațiale.

Aceste etape au fost parcurse și în cazul cercetărilor care au făcut obiectul prezentei teze de doctorat.

- În primă fază este studiat fenomenul și sunt determinate valorile de calcul pentru dimensionarea măsurilor de remediere. Trebuie identificate: geometria masei instabile, existența suprafețelor de alunecare multiple, parametrii rezistenței la forfecare (prin determinări de laborator confirmați de calculul invers), coeficienții de permeabilitate, etc.
- Faza a doua o constituie proiectarea lucrărilor de remediere cu faze tehnologice viabile și care să țină cont de normele de protecția muncii.
- Ultima fază o reprezintă execuția consolidării propriu-zisă.

Este foarte important de menționat faptul că măsurile ce sunt prezentate în lucrare nu se aplică nici în mod singular și nici după scheme fixe. Soluția inginerească este un cumul de măsuri care sunt prescrise atât cantitativ cât și calitativ în urma unor modelări numerice.

7.3. Concluzii și recomandări privind stoparea, limitarea, gestionarea și ameliorarea efectului alunecărilor de teren în urma defrișărilor pentru locațiile monitorizate

Făcând o sinteză a studiilor de caz analizate în cadrul prezentei teze de doctorat se poate constata că pentru primul caz, cel amplasat în satul Sarasău, MM, stadiul alunecării de teren este – stabilizat, replantarea realizată anterior producând în câțiva ani efectele așteptate. Cazul din Strada Valea Cufundoasă este imprevizibil datorită declivității foarte mari a dealului din amonte la proprietății anterior afectate, situația putându-se oricând repeat, mai ales datorită unor infiltrații , ploi abundente, etc. Așa cum se poate observa în Figura 6.41. zona monitorizată la alunecări de teren, Locația 2, Strada Câmpul Negru, Municipiul Sighetu Marmăției are o declivitate foarte mare, fiind susceptibilă la alunecări de teren. Acestea s-au produs mai ales după procesul de despădurire desfășurat de-a lungul mai multor ani, începând de acum 20 de ani. Alunecările de teren sunt de mare amplitudine, dar în imediata proximitate nu există proprietăți locuite.

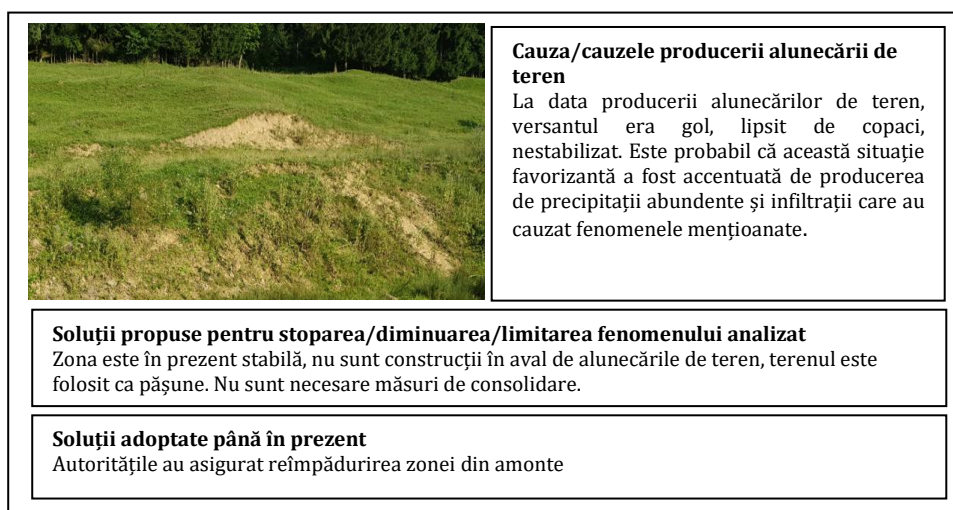


Fig. 6.39. Soluții propuse pentru Alunecare de teren monitorizată, Locația 1, Strada Ulița Pădurii, Sarasău (Sursa: Autorul)

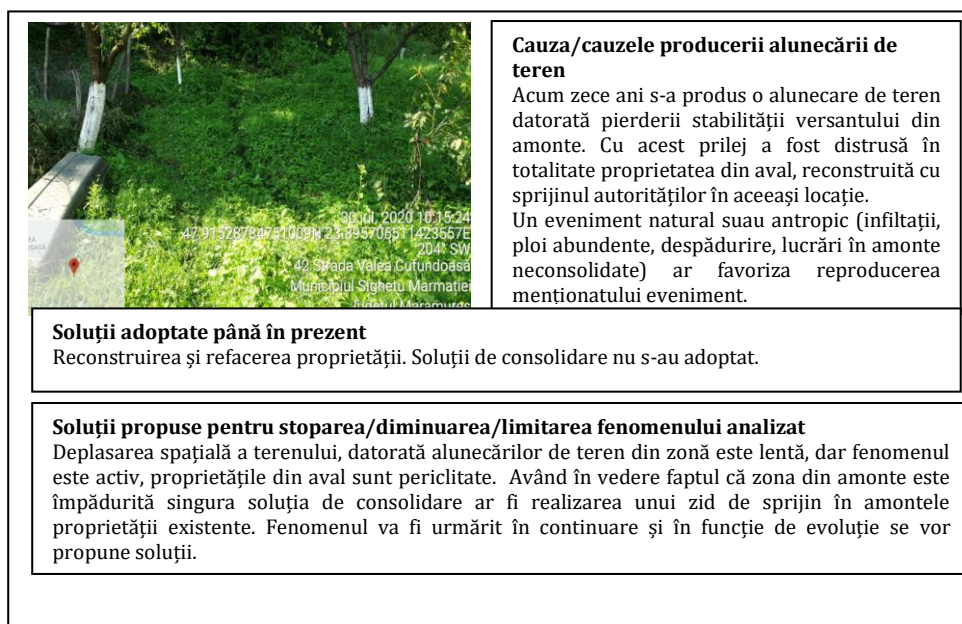


Fig. 6.40. Soluții propuse pentru Alunecare de teren monitorizată, Locația 3, Strada Valea Cufundoasă, Sighetu Marmăției (Sursa: Autorul)



Fig. 6.41. Alunecare de teren monitorizată, Locația 2, Strada Câmpul Negru, , Sighetu Marmației (Sursa: Autorul)

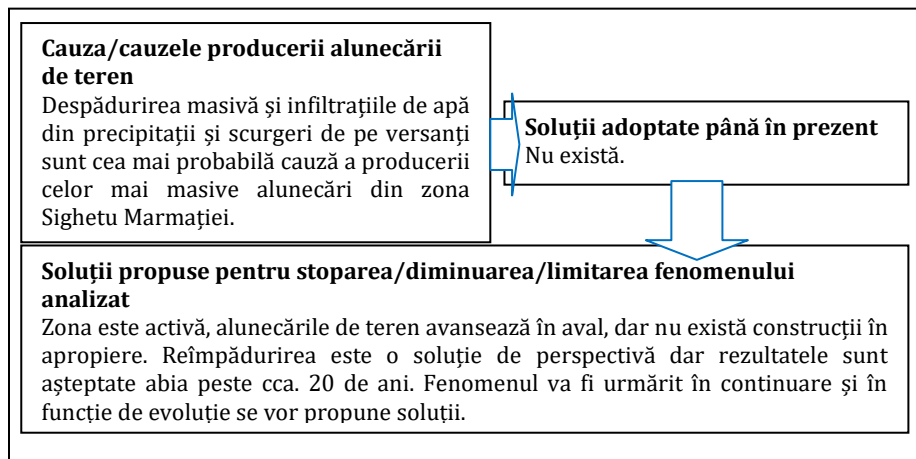


Fig. 6.42. Situația actuală a Alunecării de teren monitorizată, Locația 2, Strada Câmpul Negru, Sighetu Marmației, Sinteză (Sursa: KALMAR, 2024)

- În cadrul prezentei teze de doctorat a fost utilizată o modelare a riscului la alunecările de teren pe baza probabilității de apariție a unor noi alunecări plecând de la un eșantion în care sunt înregistrate alunecările mai vechi, (stabilizate) și alunecările active.

- Prin utilizarea modelării cu programul Maxent a fost realizată harta riscului la alunecările de teren, atingându-se astfel obiectivul cercetării. Ipoteza alternativă a cercetării a fost că apariția alunecărilor de teren are o distribuție spațială specifică, corelată cu o serie de variabile precum: structura geologică, energia de relief, panta, curbura și expoziția versanților, altitudinea, distanța față de rețeaua hidrografică, utilizarea terenului. Ipoteza nulă a presupus că distribuția alunecărilor de teren are o structură spațială aleatorie.
- Așa cum se observă din harta de risc la alunecări de teren generată, în urma prelucrării datelor cu ajutorul softului Maxent, pentru Municipiul Sighetu Marmăției și zonele limitrofe, întregul area de la poalele Dealului Solovan, inclusiv cel studiat în cadrul lucrării, Câmpul Negru, sunt puternic expuse.
- În urma acestor determinări a rezultat că locația 1(Strada Ulița Pădurii, Comuna Sarasău) este cea mai stabilă, rezultând deplasări, în limita de precizie și de acoperire cu vegetație, respective de ordinal a 1-7 mm, în locația 3, s-au produs alunecări și tasări de mica amplitudine de ordinul a 10-70 mm iar pentru locația 2(Strada Câmpul Negru-, Sighetu Marmăției) au fost constatate deplasări în spațiu importante, ajungând până la 140 mm.
- Utilizarea GIS în domeniul prevenirii și atenuării catastrofele naturale s-a dovedit a fi cel mai eficient mod de management al riscului, în domeniul monitorizării mediului, dar este încă împiedicată de factori precum dificultatea de a obține date brute adecvate, complexitatea intrinsecă a predicției de modele, lipsa interfețelor grafice eficiente cu utilizatorul, costul ridicat al digitalizării și persistența a blocajelor în capacitățile hardware.
- Există mai multe tipuri de modele statistice care pot fi utilizate pentru realizarea acestor hărți de risc pentru alunecări de teren, cele mai importante sunt cele care calculează raportul de frecvență, regresia logistică sau calculul probabilității de apariție în funcție de ponderile vechilor alunecări de teren care s-au manifestat în zona de studiu.
- În cadrul tezei a fost elaborată o metodologie de lucru care a permis elaborarea hărții riscurilor geomorfologice din municipiul Sighetu Marmăției. Modelul obținut poate fi ajustat prin utilizarea unor surse de date mai precise (harta geologica la scara 1:100000 in loc de 1:200000) si prin cresterea numarului de alunecari de teren inregistrate in proba. Eșantionul trebuie analizat folosind instrumente de statistică spațială pentru a calcula indicatorii de autocorelare spațială globale și locale. Anumite puncte pot fi eliminate din eșantion dacă sunt identificate grupuri spațiale semnificative statistic. Ipoteza nulă a fost respinsă, fiind acceptată ipoteza alternativă care indică o relație statistică strânsă între variabila dependentă (alunecări de teren) și variabilele explicative.

Demersul științific întreprins în cadrul tezei de doctorat conduce la următoarele recomandări:

- Rezultatele obținute în cadrul tezei vor fi utile și pentru planificarea dezvoltării urbane și transfrontaliere. Ar fi recomandabil să se elaboreze un model alternativ prin utilizarea unei alte metode statistice pentru o mai bună verificare a rezultatelor obținute prin această cercetare.
- Se recomandă ca efectuarea măsurătorilor de alunecări de teren să fie efectuate prin combinarea fotogrammetriei aeriene UAV cu tehnologiile GNSS, ridicări planimetrice de precizie realizate cu stații totale și nivelment geometric de precizie.
- Pentru prelucrarea fotogramelor UAV recomand softul Agisoft Photoscan Professional Metashape.
- Pentru generarea hărților de susceptibilitate și risc la alunecări de teren recomandabil ar fi să se utilizeze softul Maxent combinat cu diferite softuri și tehnologii GIS.
- Principalele măsuri recomandabile de prevenire a alunecărilor de teren sunt:
 - a. Creșterea capacității de legare a solului (consolidare prin rădăcinile copacilor sau prin mijloace artificiale) și
 - b. Scăderea scurgerii de suprafață fie prin adăugarea de bariere, fie prin creșterea capacității de infiltrare a solului.
- Recomand aplicarea măsurilor de stabilizare a alunecărilor de teren, și în replică și pentru alte locații cu situații de destabilizare a terenului, propuse în teză.
- Recomand actualizarea și completarea hărții cu alunecările de teren identificate pe teritoriul Municipiului Sighetu Marmației și în zonele limitrofe, elaborate în cadrul tezei, cu alte locații, astfel încât să fie pusă la dispoziția autorităților o bază de date complete privind acest aspect în scopul obținerii unui management optimizat al informațiilor teritoriale privind fenomenele analizate,
- În acest context, având la dispoziție mai multe zone cu alunecări de teren, acoperind întregul teritoriu menționat, recomand să se reface analiza Maxent-ArcGIS recomand să se elaboreze harta cu susceptibilitatea și riscul la alunecări de teren, cu referire la întregul areal menționat, completă și actuală, care să fie anual actualizată.
- Recomand o analiză completă a autorităților care dau autorizații de construcție și a celor care aprobă planurile de investiții teritoriale a locațiilor identificate cu probleme de alunecări de teren, precizate și de documentele anterior menționate, limitând aprobările doar la acele situri considerate lipsite de probleme de natura celor menționate.
- Aplicarea măsurilor recomandate în prezenta lucrare va permite autorităților să reconsidere întreaga activitate de management al riscului de producere a unor fenomene distructive teritoriale de genul alunecărilor de teren, dar nu numai, cu adaptări punctuale aceste măsuri pot fi aplicabile și în gestionarea inundațiilor, catastrofelor generate de cutremure, etc.

Capitolul 8. Originalitatea și contribuțiile inovative ale tezei

Consider că principala notă de originalitate a tezei este maniera completă și integrată de abordare a problematicei alunecărilor de teren produse într-un anumit areal, cu diferite cauze, dintre care cauza principală abordată în teză comparativ cu ceilalți factori favorizatori ai producerii acestor fenomene este cea a despăduririlor. Astfel, în teză sunt prezentate toate etapele necesare gestionării situațiilor create de aceste fenomene, de la identificarea locațiilor afectate, alegerea acelor zone care necesită includerea în programul de monitorizare, testarea marelui număr de metode, tehnologii și instrumente de monitorizare, proiectarea și managementul activităților de monitorizare, realizarea celor patru cicluri de urmărire a comportării în timp a terenului, prelucrarea fotogramelor și editarea ortofotoplanurilor și modelelor 3D DEM, generarea hărților de susceptibilitate și risc la alunecări de teren, a modelelor matematice comportamentale, incluzând în finalul lucrării un capitol privind diseminarea rezultatelor cercetărilor printr-un portal și aplicații mobile.

În acest context, contribuția personală și originalitatea în elaborarea acestei teze de doctorat s-a concretizat prin următoarele șase direcții de cercetare:

- A. Crearea unei baze de date a siturilor periculoase (alunecări de teren), din regiunea învecinată râului Tisa, din România, cu particularizare pentru aria de studiu Municipiul Sighetu Marmației și localitățile limitrofe;
- B. Efectuarea geomonitorizării proceselor de alunecări de teren periculoase din valea râului Tisa de pe teritoriul României, arealul menționat, prin efectuarea a 4 cicluri de măsurători geodezice folosind metodele: fotogrammetria aeriană UAV, observare GNSS, nivelment de înaltă precizie trigonometric și geometric;
- C. Crearea hărților zonelor de risc din aria teritoriului menționat;
- D. Construirea de modele matematice ale proceselor de alunecări de teren periculoase din zona menționată;
- E. Construirea modelului tridimensional al mișcării suprafeței Pământului pe zone de procese de alunecări de teren periculoase folosind măsurători geodezice în valea râului Tisa și hărți de risc de pe teritoriul României, pentru arealul menționat;

S-a creat astfel, în cadrul prezentei teze de doctorat, un model managerial replicabil de monitorizare a alunecărilor de teren.

Ca o notă de originalitate a-și încadra și maniera de alegere a tehnologiilor și a instrumentelor care au fost utilizate la realizarea celor patru cicluri de monitorizare și cu care, anual/bianual, de la caz la caz, se va continua activitatea. Astfel a existat o sesiune de testare a capacităților de soluționare a problemelor existente pe teren, mai precis necesitatea monitorizării, cu o anumită precizie a unor alunecări de teren. Am realizat scurte operațiuni de monitorizare și s-au comparat rezultatele, alegând în final o soluție mixtă, GNSS-UAV-Total Station, prin care am considerat că problemele pot fi soluționate operativ și cu precizia și detalierea necesară.

De asemenea, am întreprins o analiză a performanțelor softurilor de prelucrare a fotogramelor aeriene UAV, de exemplu DroneDeploy 3D mapping mobile app, Pix4D Mapper photogrammetry, DroneDeploy Enterprise 3D Map, AutoDesk ReCap photogrammetry în urma căreia am ales Agisoft PhotoScan photogrammetry.

Tot ca element de originalitate al tezei a-și puncta și elaborarea în premieră pentru arealul Municipiului Sighetu Marmației de hărți de risc la alunecări de teren și de modele matematice ale fenomenelor studiate, folosind softuri recunoscute ca ArcGIS Pro 2.7.0 – ESRI; QGIS 3.4.5; ArcGIS Online – ESRI; Google Earth – Google; Maxent.

Un element de noutate introdus în lucrare a fost și compararea rezultatelor privind efectul diferitelor cauze provocatoare și favorizante de alunecări de teren asupra modelelor comportamentale, rezultând că o combinație defrișare-infiltrare apă, coroborată cu efectele schimbărilor climatice, cea a locației 2 analizată în cadrul tezei este cea mai probabilă cauză, care poate avea efecte mari și imediate.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. ALBATTAH, A.M.S., AL RAWASHDEH S. G., AL RAWASHDEH B.S., SADOUN, B.: Assessment of geomatics engineering techniques for landslides investigations for traffic safety, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, Volume 24, Issue 3, Part 2, 805-814 (2021) <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.06.007>.
2. ALBATTAH, M., 2013, Landslide monitoring using precise levelling observations, Pages 127-136 | Published online: 19 Jul 2013, <https://doi.org/10.1179/sre.2003.37.266.127>
3. ALCÁNTARA-AYALA, I., SASSA, K.: Landslide risk management: from hazard to disaster risk reduction. Landslides 20, 2031–2037 (2023). <https://doi.org/10.1007/0346-023-02140-5>
4. BORGATTI, L., & SOLDATI, M. 2010. Chapter 6: Landslides and climatic change. In Geomorphological Hazards and Disaster Prevention, 67
5. BRUNETTI, M et all., 2009, Climate variability and change in the Greater Alpine Region over the last two centuries based on multi-variable analysis, International Journal of Climatology, Volume 29, Issue 15, Pages: 2197-2352, December 2009, <https://doi.org/10.1002/joc.1657>,
6. DAI, F.C., LEE, C.F., NGAI, Y.Y.: Landslide risk assessment and management: An overview. Engineering Geology, 64, 65-87 (2002) [http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00093-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00093-X)
7. DÎRJA M., BUDIU V., TRIPON D., PĂCURAR I., OLARU M., RUSU T., 2000 B, Cercetări privind rolul covorului vegetal în combaterea eroziunii solului pe terenuri în pantă din Podișul Transilvaniei, Lucrările Simpozionului științific anual al Facultății de Agricultură USAMV Cluj Napoca "Agricultură și alimentație - prezent și perspectivă", vol. II, Editura Academic Pres, pg. 302-306
8. FLOREA M., Alunecări de teren și taluze, Editura Tehnica, București (1979).
9. IRIMUȘ, I. A., ROȘCA, S., RUS, M. I., MARIAN, F. L., BILAȘCO, Ș., 2017. Landslide Susceptibility Assessment in Almas Basin by Means of the Frequency Rate and GIS Techniques. Geographia Technica, 12(2), 97-109.
10. TIBERIU MIHAI KALMAR, DÎRJA, MARCEL, ADRIAN TRAIAN G.M. RĂDULESCU, PETRU DANIEL MĂRAN, GHEORGHE M.T. RĂDULESCU, MARIYA NYCHVYD, IVAN KALYNYCH, VIRGIL MIHAI G.M. RĂDULESCU, GELU ZAHARIA, GELU DANKU, Geospatial Technologies for Landslide Monitoring, Case Study, Sighetu Marmăției, Romania, Environmental Earth Sciences, 2024, 5 year impact factor 3.1 (2022) (SPRINGER), DOI : 10.1007/s12665-024-11473-w, a4eddbde-5ca5-4d40-8b71-552b1fbd0013
11. MĂRAN, P.D., HERBEI, M.V.: Using Gis Technologies For Spatial Analysis Of Landslides Case Study Sighetu Marmatiei Municipality, Scientific Bulletin Series D : Mining, Mineral Processing, Non-Ferrous Metallurgy, Geology and Environmental Engineering; Baia Mare Vol. 35, Iss. 2, 69-76 (2021)
12. RĂDULESCU, G.M.T., NAȘ, S.M., RĂDULESCU, A.T.G.M., MĂRAN, P.D., RĂDULESCU, V.M.G.M., BONDREA, M., HERBEI, M., KALMAR, T.T., (2021), Geomatic Technologies in Landslide Monitoring, Sarașău Case Study, Maramureș County, Romania, X INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE «NEW TECHNOLOGIES IN GEODESY, LAND PLANNING AND MANAGEMENT OF NATURE», October, 26-30 2021, Uzhhorod, Ukraine, ISBN 976-617-7625-60-6, pg. 69-75
13. TERLIEN, M. T. J., VAN WESTEN, C. J., AND VAN ASCH, TH. W. J.: 1995, The use of deterministic models in landslide hazard assessment, In: A. Carrara and F. Guzzetti (eds), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 57–77.