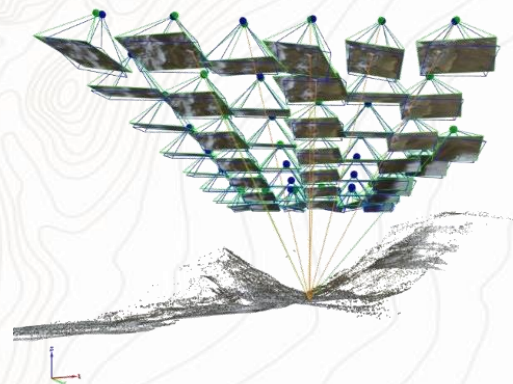




# Aplicații LiDAR pentru diminuarea Multiriscului în orașele transilvănene. Bune practici pentru o dezvoltare urbană sustenabilă



CS III Dr. Ing. Sanda Roșca

Raport 1





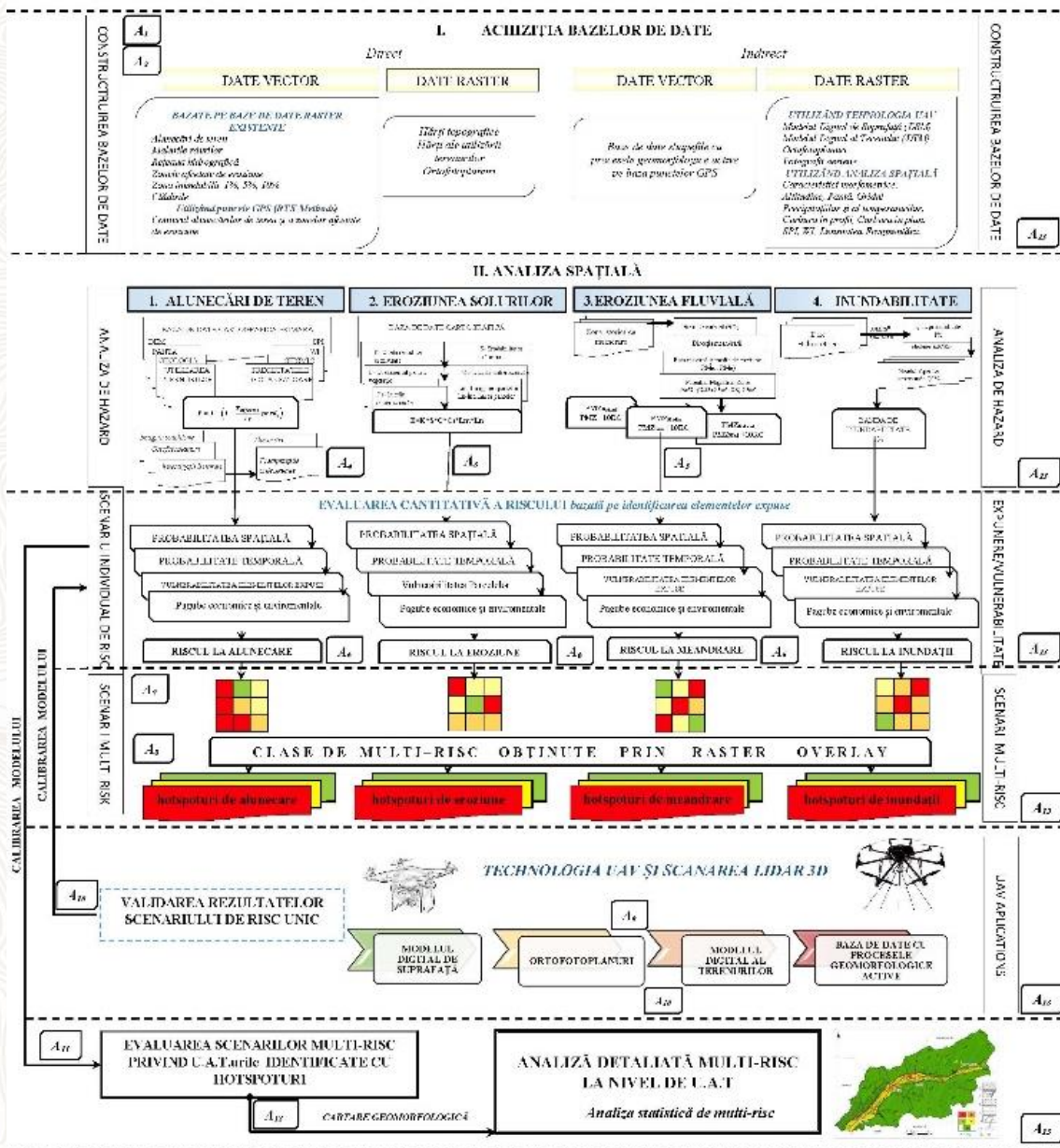
Amploarea spațială a fenomenelor naturale extreme cu efecte negative asociate schimbărilor climatice, și anume amploarea și frecvența evenimentelor de precipitații, implică necesitatea ca teritoriile să fie clasificate în diferite clase de expunere la vulnerabilitate și risc.

Conform recomandărilor Strategiei de securitate internă a UE în acțiune: Cinci pași către o Europă mai sigură, toate statele membre trebuie să își dezvolte propria lor abordare națională cu toate riscurile în ceea ce privește evaluarea riscurilor multiple și efectele cumulative ale acestora.

Evaluarea riscului cumulativ oferă o perspectivă integrativă a potențialului hidrologic, geomorfologic și de eroziune a solului, precum și a fenomenelor generatoare de risc. Directivele europene subliniază necesitatea înființării de centre de intervenție multirisc complet echipate pentru a obține răspunsuri eficiente la nivel local și regional. Aceștia s-ar baza pe studii de specialitate, conducând astfel la creșterea capacității de răspuns în situații de urgență și la o dezvoltare durabilă a orașelor din România.

Recent, dezvoltarea tehnologiei UAV în domeniul riscurilor naturale a înregistrat o îmbunătățire semnificativă a evoluției continue astfel încât dronele să aibă un timp de zbor mai lung și să fie echipate cu diverși senzori și instrumente (RGB, Infraroșu, Camere termice, GPS). Dintre aceste instrumente, senzorii LiDAR se remarcă prin acuratețea modelelor 3D obținute după preluarea norului de puncte și procesarea acestuia.





Unde: T=tașceni - numărul de proști de alunecare de teren pentru fiecare clasă de susceptibilitate (zona de alunecare); T<sub>1</sub> - Numărul de proști din fiecare clasă de probabilitate; R - Ratele de eroziune (Erosion); PwZ - Rata de Manifestare Potențială; ER - Rata de eroziune (m); U.A.T. - Unitate administrativă teritorială, A1. 13 Activități primare pe baza diagramelor Cost.

- Acest studiu vizează următoarele obiective principale:
- **01.** Obținerea unei baze de date digitale pentru realizarea de modele tridimensionale de înaltă dimensiune folosind tehnologia LiDAR;
- **02.** Evaluarea individuală a riscului de alunecare de teren, evaluarea riscului de eroziune fluvială și evaluarea riscului de inundații pe hotspot-urile identificate din orașele transilvănene;
- **03.** Evaluare multi-hazard și multi-risc astfel încât să identifice zonele și elementele teritoriale expuse riscurilor cauzate de hazardele naturale;
- **04.** Desfășurarea scenariilor post-eveniment în caz de alunecări de teren, inundații și eroziune râului pentru a identifica grupul de factori care au dus la apariția și răspândirea lor teritorială;
- **05.** Desfășurarea scenariilor pre-eveniment (luând în considerare rezultatele stocate ca baze de date de scenarii post-eveniment) bazate pe atingerea valorilor prag de precipitații care declanșează alunecări de teren și debite mari, iar apoi conduc la inundații și eroziune fluvială la scară mare.

Fig. 1: Schema conceptuală a proiectului



Pentru atingerea acestor obiective este necesar să se realizeze un inventar al proceselor naturale generatoare de risc cu potențial de reactivare care necesită monitorizare și, de asemenea crearea unei baze de date de înaltă precizie prin utilizarea metodelor și tehnicilor moderne de colectare LiDAR (light detection and ranging) disponibile recent prin transportul cu drone mari, dar pentru a obține rezultate precise, sistemele complexe au nevoie de un sistem de poziționare prin satelit (GNSS) de înaltă precizie, precum și de senzori de înaltă precizie pentru a determina orientarea senzorului LIDAR în spațiu, o unitate de măsură inerțială (IMU). Ne propunem să folosim în acest sens un sistem LiDAR montat pe un UAV ca dispozitiv de cartografiere 3D all-in-one Zenmuse L1 de la DJI.

În ceea ce privește elementele de originalitate și inovație ale studiului propus, considerăm că utilizarea tehnologiei moderne și anume UAV (Unmanned Aerial Vehicle) dotat cu tehnologii LiDAR va oferi rezultate calitative sporite, clasificarea în clase multi-risc și multi-hazard precum și identificarea elementelor expuse proceselor de risc natural poate deveni factori de avertizare pentru factorii de decizie din teritoriu, ajutându-i să ia măsuri de atenuare a potențialelor efecte adverse atât în zonele urbane afectate de hazarde naturale, cât și în zonele nou construite care adesea nu respectă restricțiile naturale (Van Westen, 2004, Kappes și colab., 2012, Meesuk și colab., 2015).



# Componenta echipei de cercetare

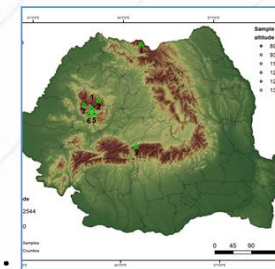
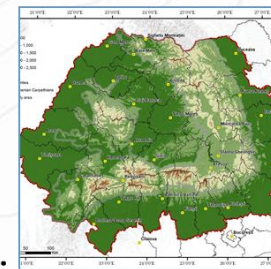
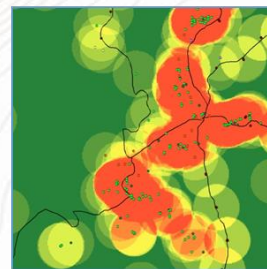
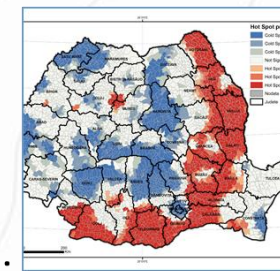
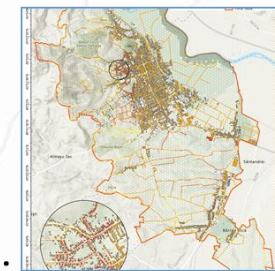
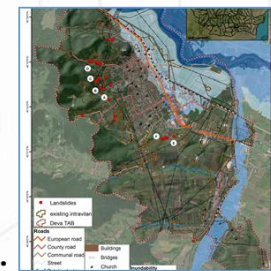
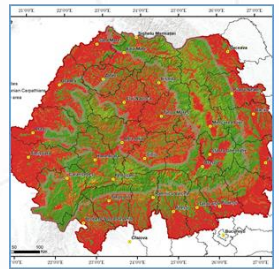
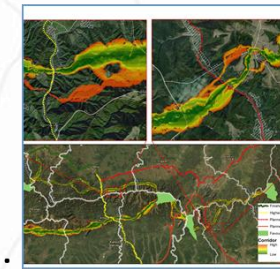
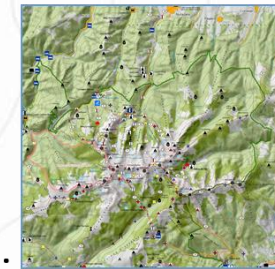
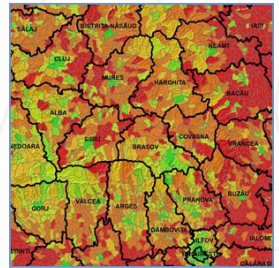
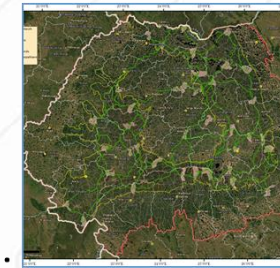
**CS III Dr. Ing. Sanda ROȘCA**  
Facultatea de Geografie,  
Universitatea Babeș Bolyai, Cluj Napoca

**Drd. Fărțală Cioncuț Andrei**  
doctorand la Facultatea de Geografie,  
Universitatea Babeș Bolyai, Cluj Napoca

*"Metode de calculare a indicatorilor de dezvoltare durabilă în zona metropolitană Cluj-Napoca"*

**Drd. Ursu Cosmina Daniela**  
doctorand la Facultatea de Geografie,  
Universitatea Babeș Bolyai, Cluj Napoca

*"Analiza comparativă a zonelor metropolitane din România."*





Membrii echipei dețin cunoștințele necesare pentru a efectua zboruri cu drone de diferite tipuri precum și abilitățile de procesare a noului set de puncte și a datelor preluate cu ajutorul acestora pentru a obține modele digitale de suprafață și modele de teren. De asemenea, am avut ocazia să lucrăm în urmă cu 6 ani cu date obținute folosind tehnologia LiDAR, dar acestea au fost preluate de Administrația Bazinală de Apă din România, dar pentru studiul nostru trebuie să luăm informații de mare acuratețe nu doar în vecinătatea cursurilor de apă, ci și la distanțe mai îndepărtate în zonele cu probabilitate mare de alunecări de teren.

Resurse tehnice necesare: pentru prelevarea punctelor de control la sol sunt GPS RTK Geomat Zenit 35 și stația totală Nikon Model NPL-352. Pentru prelucrarea datelor: software ArcGis 10.8, ArcGis Pro 2.8.1, Global Mapper 21 disponibil sub licență la Facultatea de Geografie. Pentru a identifica stabilitatea versanților și malurilor, există în cadrul Centrului de Riscuri și Riscuri Geografice Ground Penetrating Radar (GPR) Mală Proex cu antena MALĂ Shielded 25, 50 și 500MHz (<https://eeris.eu/ERIF-2000-000E-3617>).

Zona luată în considerare pentru analiză în acest studiu este concentrată pe orașele transilvănene (într-un număr de 34 de orașe cu dimensiuni ale limitei administrativ-teritoriale cuprinse între 2,6-203 km<sup>2</sup> ), această regiune fiind cunoscută și pentru incidența mare a alunecărilor de teren care afectează infrastructura de transport și locuire, un fenomen al cărui potențial de reactivare a crescut semnificativ în trecutul recent (Petrea et al., 2014, RoRisk 2016).

În cazul acestor orașe, s-a identificat o extindere a suprafeței construite în ultimii 20-30 de ani (Suditu et al., 2010), tendință care s-a manifestat la nivelul Uniunii Europene unde o creștere de peste 20% a spațiului urban, deși numărul locuitorilor a crescut cu doar cca 6% (EEA, 2006), această dezvoltare a implicat numeroase repercusiuni negative asupra mediului, dintre care se remarcă creșterea probabilității alunecărilor de teren provocate de om (Bilașco și colab., 2019, Sestraș și colab., 2019).



Monitorizarea continuă a zonelor afectate de alunecări de teren cu potențial de reactivare, a cedării malurilor presupune investigații constante în teren pentru a efectua măsurători de mare precizie. Acestea ne vor permite să detectăm rata de mobilitate a proceselor distructive, potențialul dinamic în spațiu și timp, care depinde de caracteristicile intrinseci și factorii declanșatori, de topografia terenului în care are loc. Baza de date completă rezultată, cuprinzând toate elementele de risc menționate anterior, ne va permite să generăm modele GIS cu probabilitate mare de validare.

Utilizarea UAV-urilor dotate cu tehnologii LiDAR în cazul unor teritorii extinse cu accesibilitate redusă face ca colectarea datelor primare să fie mult mai ușoară. Aceasta înseamnă colectarea indirectă de date referitoare la extinderea zonelor afectate de riscuri și o localizare spațială foarte precisă. În ciuda încercărilor de a rezolva diferențele de terminologie și metodologie utilizate în studiile de risc în Europa și în România, există încă lacune. Așadar, considerăm necesar să realizăm o analiză detaliată a teritoriilor afectate de aceste procese pentru a reduce efectele negative și pentru a propune măsuri apriori care să se bazeze pe o planificare teritorială eficientă în special pentru orașele urbane răspândite pentru a se îndrepta către orașe durabile (OCDE, 2018).



Scopul prezentului proiect este de a realiza o analiză integrată a claselor de riscuri determinate de procesele geomorfologice din teritoriu, respectând astfel standardele naționale de cercetare cu cerințele actuale ale Uniunii Europene. Un impact semnificativ al abordării noastre este dat de utilizarea tehnicilor moderne de achiziție de date prin utilizarea dronelor echipate cu tehnologii LiDAR, permițându-ne astfel obținerea de date cantitative și calitative noi și detaliate, asupra teritoriului și în special asupra proceselor analizate și gradul acestora de mobilitate.

În urma identificării teritoriilor clasificate în clase de risc ridicat, și în urma rulării și validării modelelor multirisc, clasificate drept hotspot-uri, și după reluarea modelelor menționate anterior pentru hotspot-urile identificate prin tehnici UAV, vom obține modele cu un grad ridicat grad de validare în teritoriu pentru zonele analizate, ceea ce ne va ajuta să identificăm cu acuratețe elementele spațiale expuse riscului, reducând astfel la minimum gradul de generalizare a metodelor aplicate în studiul hazardelor naturale. Mai mult, importanța realizării unor studii de pericol și risc bazate pe evaluări multi-hazard și multi-vulnerabilitate este prevăzută în Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management, publicat de Comisia Europeană la 5 ianuarie 2011, care pune accent pe amplificarea efectelor negative datorate interconectării evenimentelor, în condițiile în care, manifestarea unui pericol poate genera creșterea vulnerabilității față de o altă categorie de pericol, rezultând ulterior un nivel de expunere mai mare și o creștere a efectelor adverse.



*Studiul post-eveniment* urmărește identificarea factorilor primari care au condus la apariția unor evenimente extreme care provoacă pierderi materiale și umane și schimbări de mediu. În consecință, accentul trebuie pus pe identificarea interferenței spațiale dintre zonele de manifestare/extindere a fenomenelor analizate și zona cu vulnerabilități în pericol (populație, infrastructură, clădiri). Identificarea cauzelor și a posibilelor consecințe generate de manifestarea fenomenelor geomorfologice de diferite intensități de risc se poate realiza prin rularea unei game de scenarii legate de probabilitățile de apariție a acestora.

Astfel, în prima fază a proiectului (Fig. 1) s-a pus accentul pe achiziția de baze de date necesare în etapele ulterioare. Pe baza analizei imaginilor satelitare recente, a investigațiilor de teren și a rapoartelor Inspectoratelor pentru Situații de Urgență și mass-media, vom identifica spațial și temporal alunecările de teren, care au produs avarii și modificări care au necesitat cartografierea și intervenția autorităților specializate în teren. Concomitent, vom pregăti baze de date vectoriale și raster prin analiza materialelor cartografice existente (hărți geologice, de sol, topografice etc.) care vor fi utilizate ca baze de date de intrare în modelele de analiză spațială pentru identificarea probabilității de apariție a proceselor generatoare de risc (alunecări de teren, meandrare și inundații)



Activitatea	Luna																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A 1																				
A 2																				
A 3																				
A 4																				
A 5																				
A 6																				
A 7																				
A 8																				
A 9																				
A 10																				
A 11																				

**Activitati:**

**A1**– Cercetare bibliografica;

**A2** – Crearea bazei de date privind factorii cauzali și declanșatori ai proceselor generatoare de risc;

**A3** – Modelarea probabilității de apariție a alunecărilor de teren folosind modelul determinist;

**A4** – Modelarea zonelor predispușe la meandrare – în cazul râurilor din orașele studiate;

**A5** – Clasificarea teritoriului în clase de risc individual;

**A6** – Evaluare multi-risc;

**A7** – Executarea scenariilor de pericol de alunecări de teren, inundații, eroziune fluvială prin atingerea valorilor-prag de apariție a acestora în orașele din Depresiunea Transilvaniei;

**A8** – Colectarea datelor în teren folosind tehnici UAV și detecție LiDAR;

**A9** – Prelucrarea datelor colectate în teren folosind tehnologia UAV;

**A10** – Repetați scenariile de pericol și multi-risc la punctele fierbinți pe baza datelor de înaltă precizie obținute prin tehnica UAV;

**A11** – Diseminarea rezultatelor prin participarea la conferințe științifice, publicarea de articole cu rezultate parțiale, pregătirea finală a rezultatelor.



# MANAGEMENTUL RISCULUI

Ansamblul de strategii, procedee metodologice și măsuri practice implementate în condițiile manifestării unor efecte negative asupra sănătății umane, activităților economice și a mediului înconjurător. Acesta include:

1. Evaluarea contextuală a factorilor de risc și documentarea condițiilor de manifestare a acestora;
2. Identificarea tipologică a riscurilor;
3. Analiza calitativă a riscurilor  
*determinarea probabilității de ocurență a riscurilor și a efectelor induse de acestea;*
4. Planificarea răspunsurilor la factorii de risc  
*prioritizarea consecințelor și a pagubelor;*
5. Monitorizarea și controlul factorilor de risc =>  
dezvoltarea strategiilor de reacție.





## Zona de studiu

Zona luată în considerare pentru analiză în acest studiu este reprezentată de teritoriul aparținând orașelor din cadrul Depresiunii Transilvaniei (25297 km<sup>2</sup> / 10,6% din teritoriul României), această regiune fiind cunoscută pentru incidența mare a alunecărilor de teren care afectează infrastructura de transport și locuințe, o frecvență ridicată a inundațiilor și suprafețe extinse afectate de eroziune a solurilor și de eroziune fluvială.

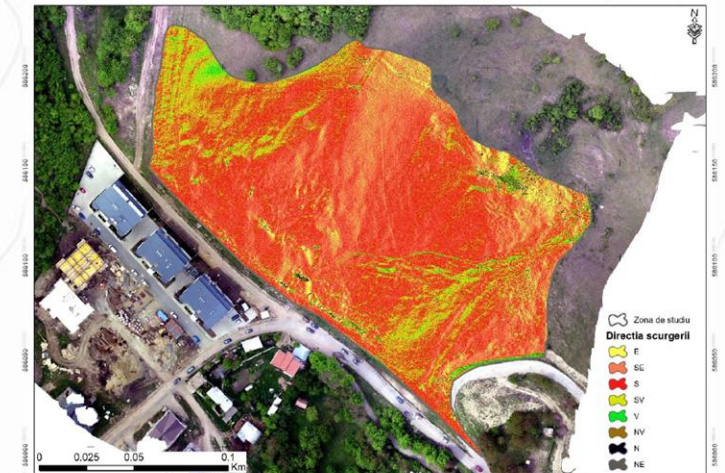


Fig. Inundații pe râul Someș în UAT Dej, 23 Mai 2019





Un impact semnificativ al abordării noastre este dat de utilizarea tehnicilor moderne de achiziție de date pentru factorii cauzali de alunecări de teren ținând cont de metodologia legală de determinare a probabilității de alunecări de teren care implică utilizarea a 8 factori (litologie, factorul seismic, caracteristici geomorfologice și climatice, hidrogeologie, utilizare a terenurilor), a benzilor de inundabilitate de 1 și 10% și puterii de eroziune a râurilor.

Fig. Alunecări de teren ce afectează infrastructura de locuit, UAT Cluj Napoca 2021

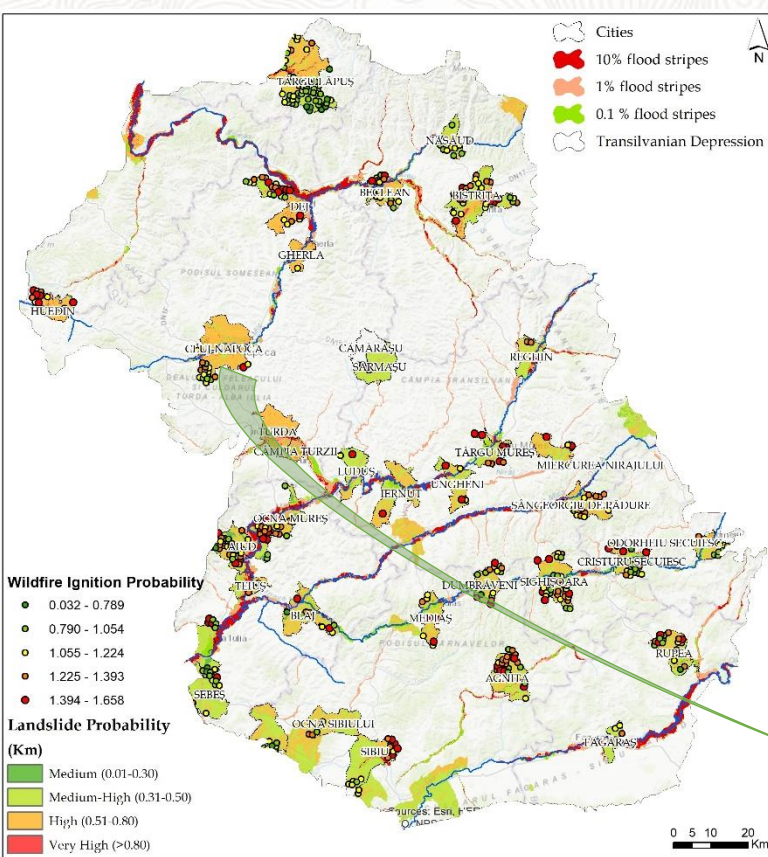


Fig. Impactul inundațiilor în UAT Câmpeni, 16 Iulie 2021



Fig. Alunecări de teren ce afectează infrastructura de locuit, UAT Cluj Napoca , Noiembrie 2020





=> Numărul posibil de pierderi umane, persoane rănite, pagube materiale și întreruperi ale activității economice într-o perioadă de referință într-un spațiu dat ca urmare a manifestării unui fenomen natural periculos.

Zonarea calitativă are ca scop:

- evaluarea riscului relativ,
- identificarea hotspot-urilor,
- prioritizarea acțiunilor.

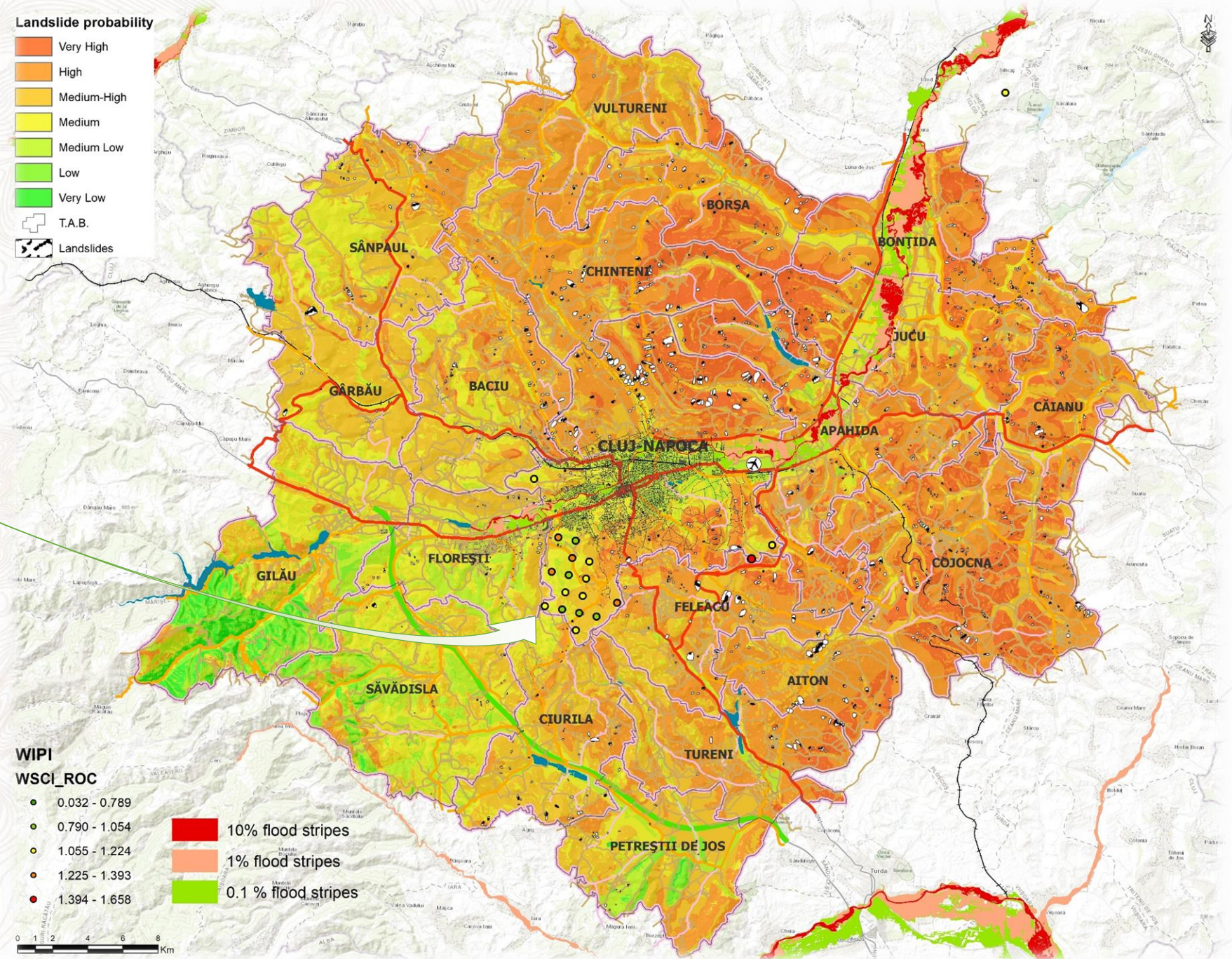
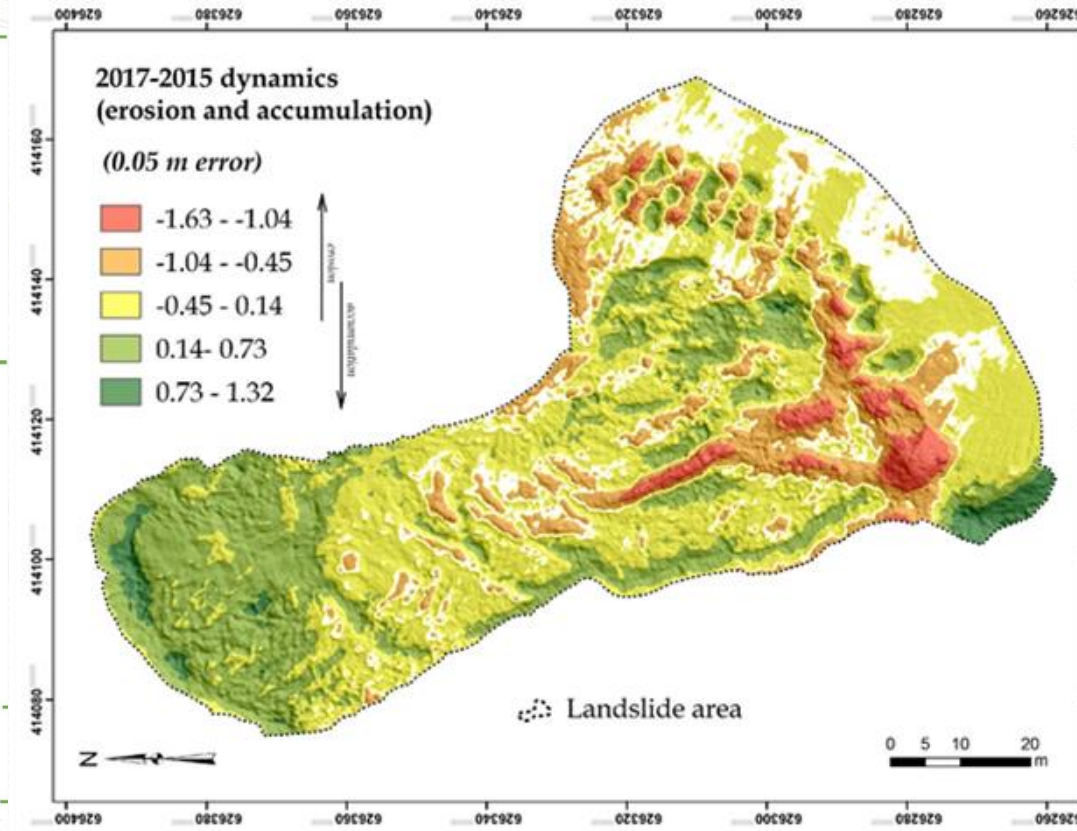
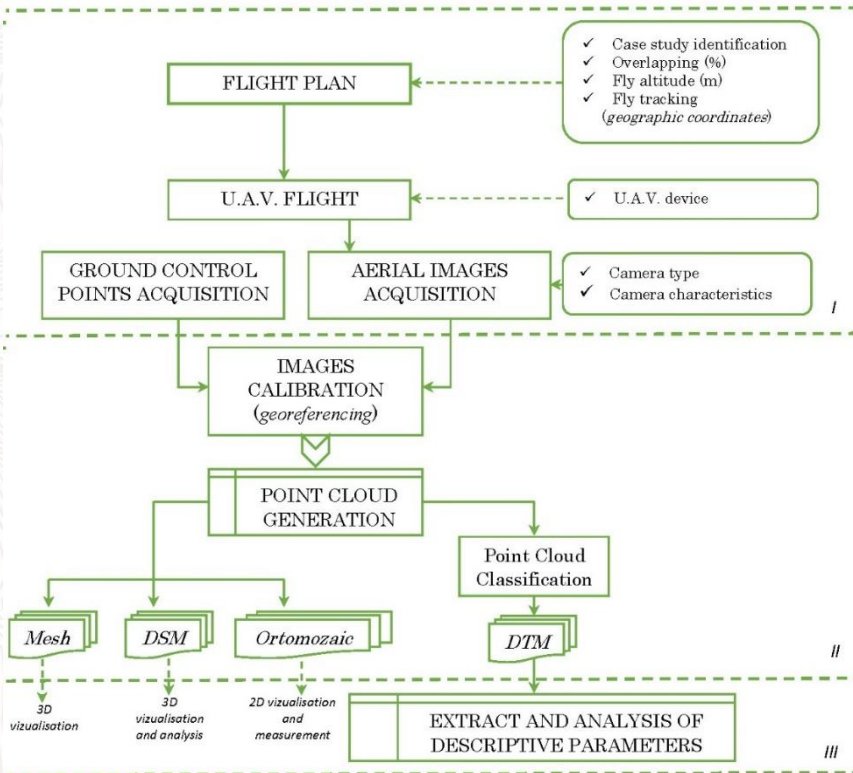
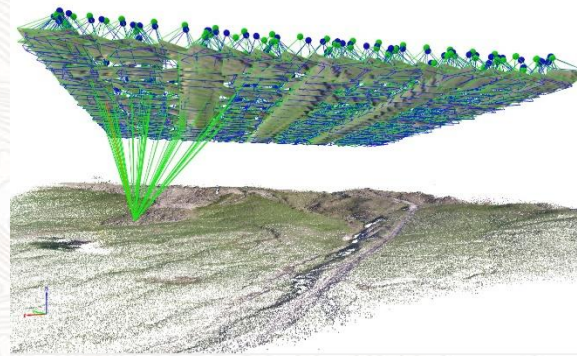


Fig. Harta multirisic pentru zona metropolitană Cluj Napoca





Altitudine  
 Maxima –250,88 m  
 Medie –240,19 m  
 Minima –229,17 m

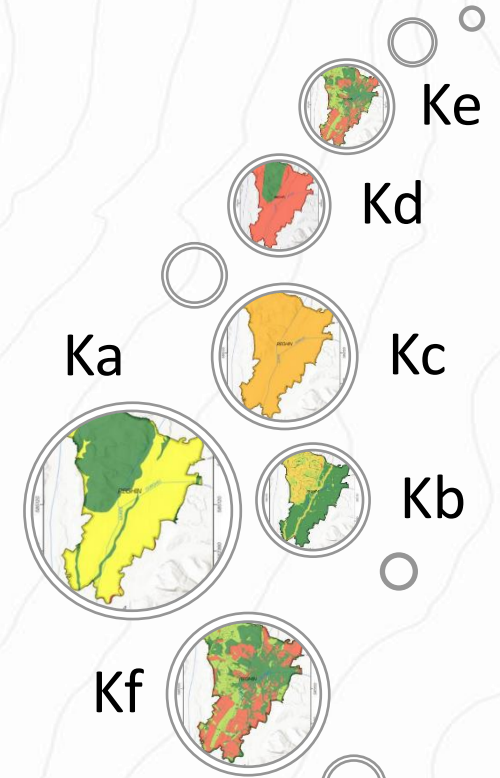
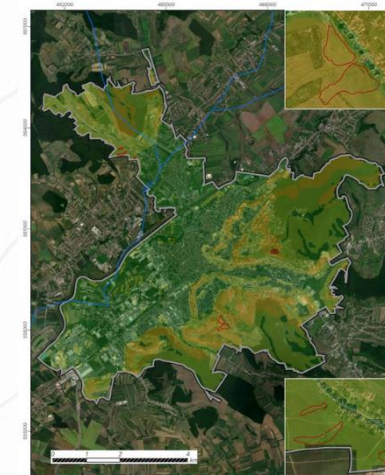
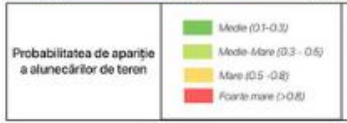
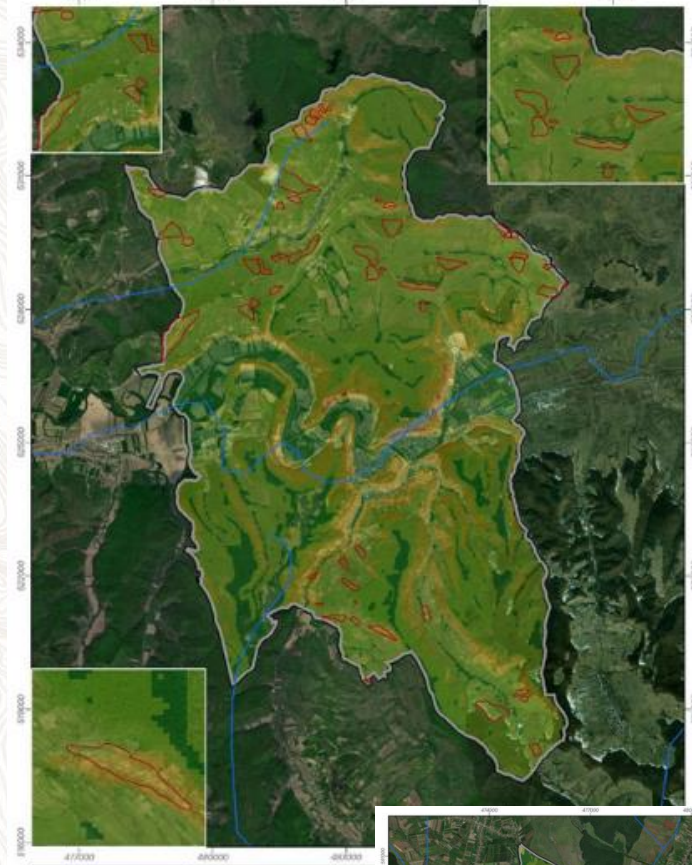
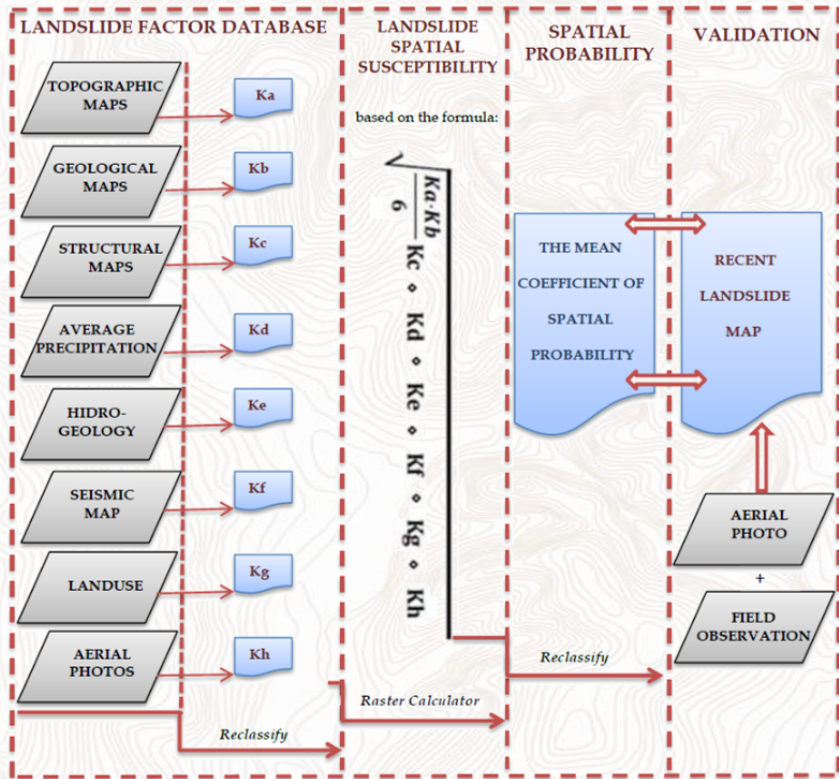
Panta  
 Maxima –49,45 o  
 Medie –17,9 o  
 Minima –0,029 o



# Activitati:

A1– Cercetare bibliografică  
(Luna1 - Luna3);

A2 – Crearea bazei de date privind factorii cauzali și declanșatori ai proceselor generatoare de risc;  
(Luna 1 - Luna 10)





## Determinarea probabilității de apariție a alunecărilor de teren

Riscul la alunecări de teren și propunerile de soluții pentru reducerea probabilității de apariție a acestora se regăsesc la nivelul Secțiunii V a Legii nr. 575 din 22 Octombrie 2001. Pentru încadrarea pe clase de risc geomorfologic se utilizează Hotărârea de Guvern 447/2003 - Norme metodologice privind modul de elaborare și conținutul hărților de risc natural al alunecărilor de teren care prevăd încadrarea pe clase de probabilitate de apariție a alunecărilor de teren prin acordarea scorurilor de influență a factorilor cauzatori și declanșatori a alunecărilor care țin de geologie, caracteristici geomorfologice (în funcție de pantă și altitudine), caracteristici morfostructurale, hidro-climatice, hidrogeologice, seismice, silvice și intervenții antropice.

Pagubele survenite în urma activării ori reactivării alunecărilor de teren pe teritoriul orașelor analizate constau în valoarea pagubelor materiale și a pierderilor umane asociate în mod direct și indirect alunecărilor de teren, unde riscul este definit ca produs între probabilitatea de producere a alunecărilor de teren (exprimat prin coeficientul mediu de hazard (Km)) și valoarea pagubelor materiale (exprimată prin totalitatea elementelor expuse hazardului la alunecare).

Elementele expuse evenimentelor de alunecare sunt reprezentate în principal de locuințe, drumuri, poduri, utilități (gaze naturale, apă, canal, rețea electrică, rețea de telefonie), terenuri agricole, păduri și suprafețe intravilane.



Identificarea și cartarea cât mai în detaliu a factorilor care influențează stabilitatea versanților reprezintă obiective principale în determinarea a priori a cauzelor alunecărilor de teren (Guzzetti și colab., 1999). În general, studiile care au ca obiectiv principal identificarea hazardului la alunecări pleacă de la asumția conform căruia o combinație de factori care au condus la apariția alunecărilor de teren în trecut vor avea aceleași efect în viitor (Varnes, 1984, Carrara și colab., 1995, 1999, Chung și Fabbri, 1999, Petrea și colab., 2014, Bilașco și colab., 2019). În cazul studiilor de susceptibilitate și risc se utilizează tehnologiile GIS pentru identificarea favorabilității la alunecări de teren pe baza clasificării factorilor cauzatori și declanșatori ai acestora în funcție de prezența sau absența fenomenului.

În cazul acestui studiu alunecările de teren care se manifestă la nivelul zonei de studiu sunt alunecări de suprafață (cu o adâncime a suprafeței de alunecare sub 1m), alunecări de adâncime mică (1-5 m), alunecări adânci (5-10 m) și foarte adânci (peste 20 de m). În funcție de viteza de alunecare sunt prezente alunecări de teren cu viteză extrem de rapide (peste 3 m/s), foarte rapide (0.3 m/min– 3 m/s), rapide (0,3 m/min – 1.5 m/zi), moderate (1,5 m/zi – 1.5 m lună), lente (1.5 m/lună – 1.5 m/an), foarte lente (1.5 m – 0.06 m/an), și extrem de lente (sub 0,06 m/an), cauzele de apariție și dinamică ale acestora fiind puse pe seama ploilor torențiale, a mișcărilor tectonice, a prăbușirilor unor grote sau ca urmare a eroziunii puternice manifestate pe versanți, cele mai frecvente alunecări de teren fiind cele care afectează infrastructura de transport.



Conform Art. 2 din H.G. 447/2003 harta de risc natural la alunecări de teren reprezintă: *“sinteza datelor privind prognoza stării de echilibru a versanților, a pagubelor materiale și a pierderilor de vieți omenești ce pot fi cauzate de producerea alunecărilor de teren, pe un anumit areal și într-un interval de timp dat”* constituind parte componentă a documentației de amenajare a teritoriului județean și se detaliază în planurile de urbanism generale și în regulamentele locale de urbanism ale localităților fiecărui județ (Art. 3, H.G. 447/2003).

Această hartă constituie studiu de fundamentare pentru Planurile de Amenajare a Teritoriului Județean (PATJ) și pentru Planurile Urbanistice Generale (PUG) ale unităților administrativ teritoriale pentru a se putea lua măsuri specifice în vederea atenuării și prevenirii efectelor negative ale alunecărilor de teren, în realizarea construcțiilor precum și pentru asigurarea unui bun management al utilizării terenurilor prin aplicarea unor lucrări specifice și a măsurilor de ordin structural și non structural în vederea limitării pagubelor economice și protejarea viitoarelor investiții. Pentru reducerea efectelor negative induse în teritoriu este necesară studierea vulnerabilității teritoriului și identificarea riscului indus de procesele geomorfologice active ce permit identificarea probabilității spațiale de apariție a acestora și permit deasemenea prognoza evoluției viitoare.



Factorul de stabilitate  $K_m$  ajută la estimarea potențialului de producere a alunecărilor de teren utilizând analiza calitativă și realizarea unui model semicantitativ a interacțiunii factorilor pregătitori și declanșatori a alunecărilor. Pentru teritoriile încadrate în categoria ridicată de apariție a alunecărilor de teren este recomandată realizarea investigațiilor geotehnice fapt care generează costuri suplimentare pentru deplasări în teren, realizarea profilelor și interpretarea rezultatelor în urma analizelor de laborator.

Estimarea riscului indus de alunecările de teren are la bază o hartă de hazard dar și o evaluare cantitativă a bunurilor afectate de către aceste procese dar și a populației rezidențiale. Exprimarea riscului poate fi astfel exprimată valoric, cantitativ, în valori monetare ale pierderilor induse de alunecările de teren, desigur acest aspect devine dificil de realizat în lipsa unei baze de date actualizată care să cuprindă atât elementele expuse la risc, estimările valorilor monetare ale acestora cât și extinderea spațială a zonelor susceptibile alunecărilor de teren.



Datele utilizate pentru elaborarea proiectului referitoare la modelul terenului au fost extrase din cadrul bazei de date EU-DEM (Digital Elevation Model-European Space Agency) iar utilizând imagini satelitare disponibile în mod gratuit pentru reactualizarea datelor legate de infrastructură, rețeaua hidrografică etc.

Stratutile legate de litologia zonei analizate au fost extrase de pe Harta Geologică a României 1:00000, 1960.

Layererele legate de distribuția rețelei hidrografice au fost digitizate pe baza hărților din Cadastrul Apelor Române, 1991. Deasemenea Harta Topografică a fost utilizată ca suport pentru realizarea bazei de date a factorilor cauzatori și declanșatori a alunecărilor de teren.

Conform metodologiei de elaborare a hărții de hazard la alunecări de teren a fost utilizată o bază de date ce cuprinde 8 factori:

- Ka – Coeficientul litologic,
- Kb – Coeficientul geomorfologic,
- Kc – Coeficientul structural,
- Kd – Coeficientul hidrologic și climatic,
- Ke – Coeficientul hidrogeologic,
- Kf – Coeficientul seismic,
- Kg – Coeficientul silvic,
- Kh – Coeficientul antropic.



Analiza spațială în ceea ce privește modelarea coeficientului mediu de hazard a fost realizată într-un proiect ArcGIS în care s-au manipulat layer-urile specifice fiecărui coeficient, au fost obținute raster-urile aferente acestora precum și baza de date spațială legată de probabilitatea de apariție a alunecărilor de teren de pe teritoriul fiecărui oraș.

Pentru obținerea coeficientului mediu de hazard ( $K_m$ ) a fost utilizată formula (1):

$$K_m = \sqrt{\frac{K_a * K_b}{6} * K_c + K_d + K_e + K_f + K_g + K_h}$$

Unde:  $K_a$  – Coeficientul litologic,  $K_b$  – Coeficientul geomorfologic,  $K_c$  – Coeficientul structural,  $K_d$  – Coeficientul hidrologic și climatic,  $K_e$  – Coeficientul hidrogeologic,  $K_f$  – Coeficientul seismic,  $K_g$  – Coeficientul silvic,  $K_h$  – Coeficientul antropic,  $K_m$  – Coeficientul mediu de hazard.

În modelarea probabilității de apariție a alunecărilor de teren se ține seama de acțiunea cumulată a factorilor favorizanți alunecărilor de teren și a celor declanșatori în egală măsură. Astfel, caracteristicile geologice care țin de litologie, hidrogeologie și caracteristici structurale și tectonice, alături de caracteristicile morfologice ale reliefului și de caracteristicile rețelei hidrografice (prin densitate, distribuție a constituției factori favorizanți pentru alunecările de teren. Precipitațiile abundente sau cele însemnate din punct de vedere cantitativ dar distribuite de-a lungul mai multor zile conduc la pătrunderea în sol și în straturile de argilă a unor cantități mari de apă. Mișcările seismice de intensitate ridicată sau moderată dar cu evenimente repetitive alături de influența antropică iminentă fie prin modificări directe la nivelul versanților fie prin schimbarea modului de utilizare a terenurilor reprezintă factori declanșatori a alunecărilor de teren.



Tabelul. Încadrarea procentuală a spațiului construit al UAT-urilor urbane pe clase de probabilitate de alunecare de teren

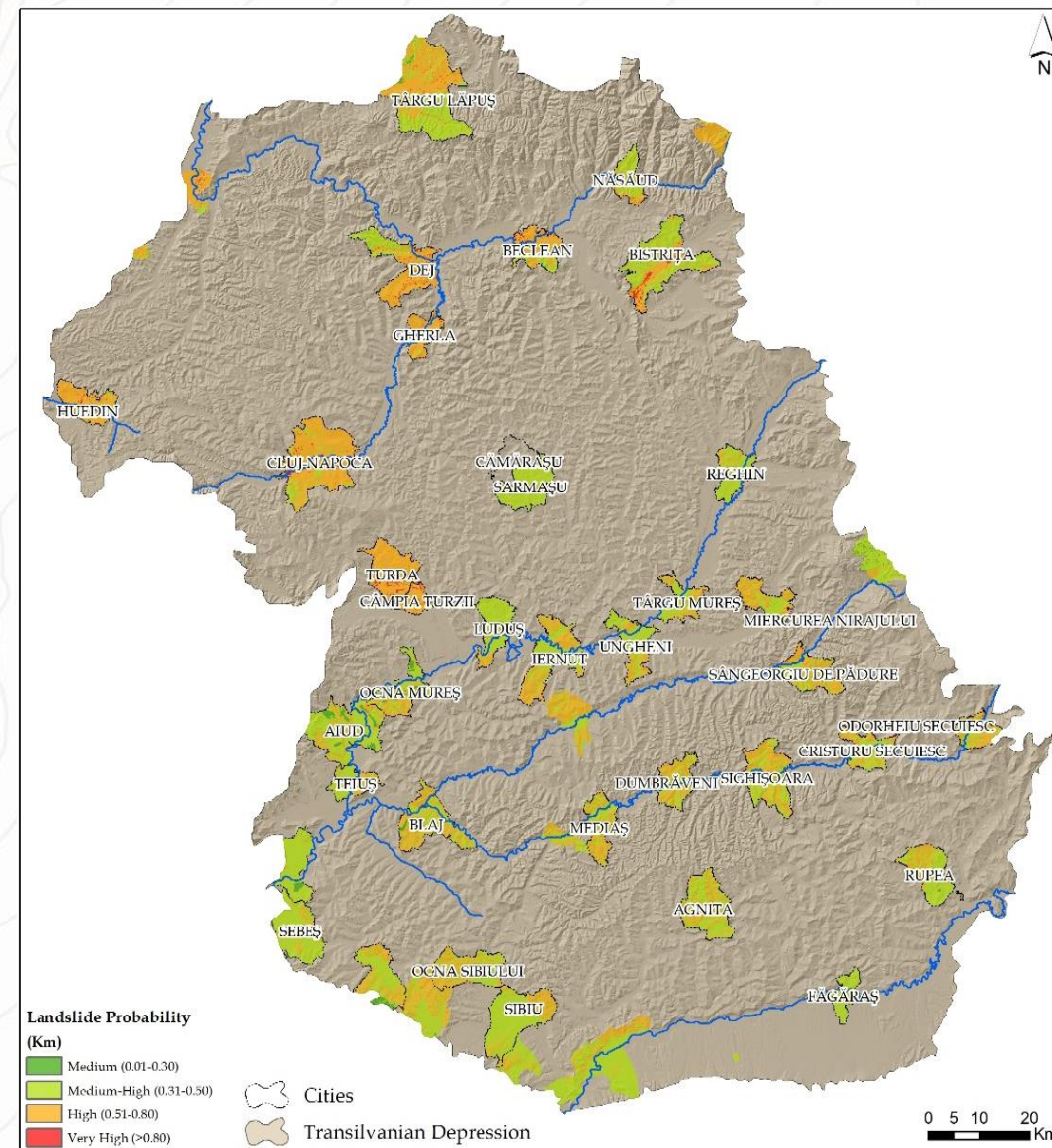
City	Probabilitatea de apariție a alunecărilor de teren			
	Medie	Medie-mare	Mare	Foarte mare
AGNITA	0.00	4.08	0.27	0.00
AIUD	0.54	14.21	2.52	0.00
ALBA IULIA	0.62	29.13	0.33	0.00
BECLEAN	0.00	0.09	15.14	2.51
BISTRIȚA	0.00	12.60	19.39	6.11
BLAJ	0.00	8.30	2.16	0.00
CÂMPIA TURZII	0.00	0.00	5.87	1.16
CLUJ-NAPOCA	0.00	3.81	58.91	4.45
CRISTURU SECUIESC	0.00	9.14	0.40	0.00
DEJ	0.60	18.90	2.09	0.00
DUMBRĂVENI	0.00	3.56	0.20	0.00
FĂGĂRAȘ	0.00	13.90	0.01	0.00
GHERLA	0.00	0.00	6.23	0.44
IERNUT	0.00	9.95	0.56	0.00
LUDUȘ	0.00	8.52	0.19	0.00
MEDIAȘ	0.00	17.01	3.74	0.00
MIERCUREA NIRAJULUI	0.00	5.94	0.95	0.00
MIERCUREA SIBIULUI	0.00	4.65	0.14	0.00
NĂSĂUD	0.00	1.40	4.71	0.35
OCNA MUREȘ	0.42	7.00	1.34	0.00
OCNA SIBIULUI	0.00	3.59	0.63	0.00
ODORHEIU SECUIESC	0.19	9.14	1.79	0.00
REGHIN	0.00	14.08	1.30	0.00
RUPEA	0.21	4.83	0.29	0.00
SÂNGEORGIU DE PĂDURE	0.00	4.07	1.16	0.00
SARMAȘU	0.00	8.42	0.01	0.00
SEBEȘ	0.00	20.52	0.08	0.00
SIBIU	0.36	30.61	0.56	0.00
SIGHIȘOARA	0.00	10.62	3.90	0.00
TÂRGU LĂPUȘ	0.05	2.75	14.93	0.62
TÂRGU MUREȘ	0.00	23.97	2.74	0.00
TEIUȘ	0.00	5.31	0.40	0.00
TURDA	0.00	0.01	12.84	4.26
UNGHENI	0.00	8.62	0.05	0.00

Tabelul. Încadrarea procentuală a drumurilor din UAT-urile urbane pe clase de probabilitate de alunecare de teren

	Scazuta	Medie	Medie-mare	Mare	Total (Km)
AGNITA		23.18	24.80		47.98
AIUD	15.67	4.86	81.72		102.26
ALBA IULIA		24.89	47.04		71.93
BECLEAN		6.89	9.32	14.73	30.95
BISTRIȚA		37.93	87.12	41.04	166.08
BLAJ		54.36	9.52		63.89
CÂMPIA TURZII			5.93	8.36	14.29
CLUJ-NAPOCA		78.53	36.19	19.67	134.38
CRISTURU SECUIESC		7.63	18.87		26.50
DEJ	16.13	20.43	2.33	22.42	61.31
DUMBRĂVENI		29.21	4.08		33.29
FĂGĂRAȘ		40.65			40.65
GHERLA		16.08	2.02	8.14	26.25
IERNUT		79.23			79.23
LUDUȘ		47.99	10.41		58.41
MEDIAȘ		39.55	5.31		44.85
MIERCUREA NIRAJULUI		24.69	18.50		43.18
MIERCUREA SIBIULUI		59.36	1.84		61.20
NĂSĂUD			9.62		9.62
OCNA MUREȘ	2.83		29.45		32.27
OCNA SIBIULUI		23.17	19.25		42.42
ODORHEIU SECUIESC		4.82	13.49		18.31
REGHIN		12.89	39.82		52.71
RUPEA		0.15	30.44		30.59
SÂNGEORGIU DE PĂDURE		6.02	26.17		32.19
SARMAȘU		16.77	30.18		46.95
SEBEȘ		49.19	35.99		85.18
SIBIU	60.23	407.41	182.88		650.52
SIGHIȘOARA		44.41	3.70		48.12
TÂRGU LĂPUȘ		83.83		25.84	109.67
TÂRGU MUREȘ		48.35			48.35
TEIUȘ		19.01	9.77		28.79
TURDA			14.57	49.17	63.74
UNGHENI		18.58	22.44		41.02

A3 – Modelarea probabilității de apariție a alunecărilor de teren folosind modelul determinist; (Luna 1-Luna3).

A5 – Clasificarea teritoriului în clase de risc individual; (Luna 3 - Luna 6).





# A11 – Diseminarea rezultatelor prin participarea la conferințe științifice, publicarea de articole cu rezultate parțiale, pregătirea finală a rezultatelor (Luna 1-Luna 20)

## The 38th Romanian Symposium on Geomorphology: *Geomorphology in the Anthropocene, May 25-28, 2023*

The 38<sup>th</sup> Romanian Symposium on Geomorphology: *Geomorphology in the Anthropocene*  
25-28 May, 2023, Cluj-Napoca, Romania

### MULTI-RISK DECISION-SUPPORT TOOLS FOR SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT

Sanda ROȘCA<sup>1,2</sup>, Ștefan BILAȘCO<sup>1,3</sup>, Iuliu VESCAN<sup>1</sup>, Ioan FODOREAN,  
Paul SESTRAS<sup>4</sup>, Cosmina URȘU<sup>1</sup>, Andrei FÎRTALĂ<sup>1</sup>

The 38<sup>th</sup> Romanian Symposium on Geomorphology: *Geomorphology in the Anthropocene*  
25-28 May, 2023, Cluj-Napoca, Romania

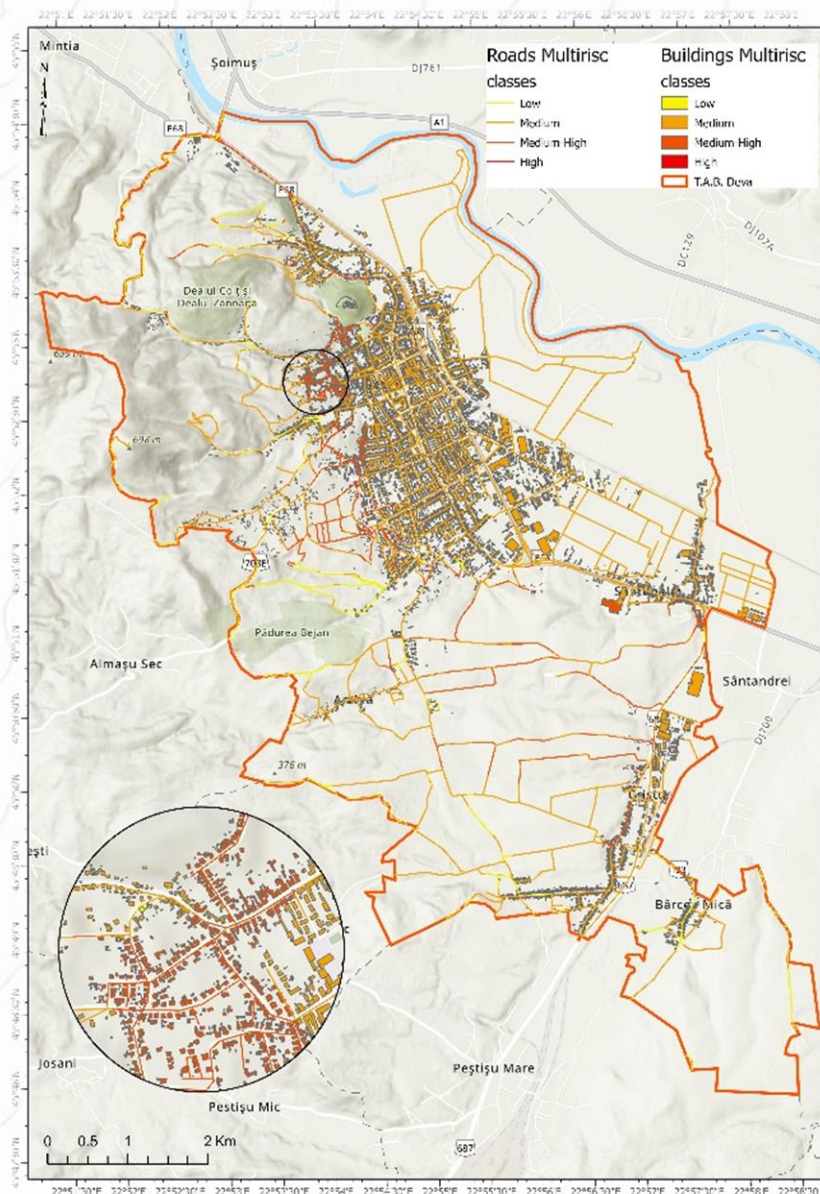
### TOWARDS AUTOMATIC SEGMENTATION OF LANDSLIDES. PRELIMINARY RESULTS FOR SIBIU COUNTY

Csongor VARADY<sup>1</sup>, Riccardo VOLPI<sup>1,2</sup>,  
Luigi MALAGÒ<sup>1,2</sup>, Sanda ROȘCA<sup>3,4</sup>

The 38<sup>th</sup> Romanian Symposium on Geomorphology: *Geomorphology in the Anthropocene*  
25-28 May, 2023, Cluj-Napoca, Romania

### ASSESSMENT OF TERRITORY'S SUSCEPTIBILITY TO LANDSLIDES AND SOIL EROSION IN SIBIU COUNTY BASED ON GIS SPATIAL ANALYSIS MODELS

Sandu-Ciprian MOLDOVAN<sup>1</sup>, Sanda-Maria ROȘCA<sup>1</sup>,  
Cosmina-Daniela URȘU, Bogdan-Eugen DOLEAN<sup>1</sup>

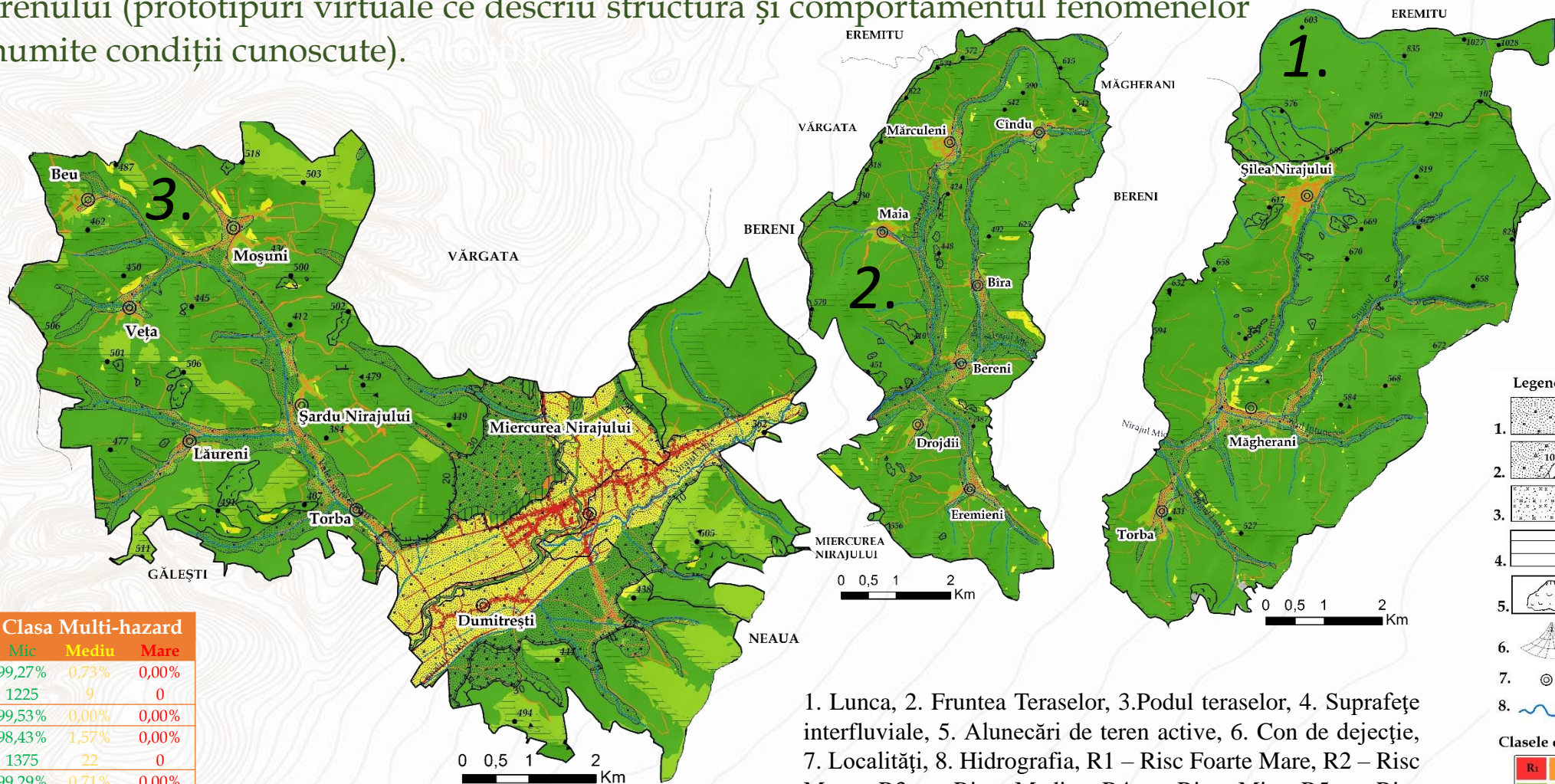




# Utilizarea tehnologiei GIS pentru identificarea multiriscului

➔ *Importanța cartării geomorfologice orientată spre hazard*

Cartografierea multihazard generează hărți cu valențe analitice și aplicative care pe lângă importanța științifică posedă o certă utilitate socială, implicit practică având la bază adevărate modele ale terenului (prototipuri virtuale ce descriu structura și comportamentul fenomenelor naturale în anumite condiții cunoscute).



U.A.T.	Infrastructura	Clasa Multi-hazard		
		Mic	Mediu	Mare
1. Bereni	de locuit (%) / nr. claselor	99,27% / 1225	0,73% / 9	0,00% / 0
	de transport (%)	99,53%	0,00%	0,00%
2. Măgherani	de locuit (%) / nr. claselor	98,43% / 1375	1,57% / 22	0,00% / 0
	de transport (%)	99,29%	0,71%	0,00%
3. Miercurea Nirajului	de locuit (%) / nr. claselor	46,70% / 1366	52,48% / 1535	0,82% / 24
	de transport (%)	69,20%	30,56%	0,24%

1. Lunca, 2. Fruntea Teraselor, 3. Podul teraselor, 4. Suprafețe interfluviale, 5. Alunecări de teren active, 6. Con de dejecție, 7. Localități, 8. Hidrografia, R1 – Risc Foarte Mare, R2 – Risc Mare, R3 – Risc Mediu, R4 – Risc Mic, R5 – Risc Nesemnificativ



Această fază face parte din evaluarea riscului, permițând identificarea spațială a riscului prin utilizarea tehnicilor de analiză spațială GIS, permițând astfel spațializarea numerică bazată pe corelare și analize statistice sau funcții geo-statistice ale elementelor aflate în risc: numărul de persoane, numărul de clădirilor și valoarea economică a locuințelor și infrastructurii de transport. Desigur, fiecare tip de pericol este caracterizat de o amploare specifică, cu efecte diferite asupra mediului, ceea ce necesită o analiză individuală a vulnerabilității și expunerii la risc a elementelor (ceea ce se va realiza în faza 3 a proiectului).

În cazul hotspot-urilor identificate, se vor efectua analize detaliate, folosind UAV dotat cu tehnologii LiDAR. Prin utilizarea acestor tehnologii vom crea o bază de date care va conține imagini aeriene de înaltă precizie și acuratețe obținute prin fotogrammetrie UAV și detecție LiDAR. Ne vom concentra în primul rând pe acele zone clasificate ca fiind cu cel mai mare risc și cu potențial de reactivare a fenomenelor generatoare de risc (dispersiune, model digital de suprafață și rețeaua regiunilor analizate).



# A8 – Colectarea datelor în teren folosind tehnici UAV și detecție LiDAR; (Luna 3-Luna 18)

Tehnologia U.A.V. permite monitorizarea expeditivă și precisă a unor suprafețe vaste cu un castig de timp și resurse implicate în procesul de monitorizare a teritoriilor afectate de alunecari de teren.

Aceasta înseamnă *colectarea indirectă de date* referitoare la extinderea zonelor afectate de riscuri și o *localizare spațială foarte precisă*.

## Drone cu senzori LiDAR

DJI Matrice 300 RTK + DJI Zenmuse L1

M300 RTK, L1 permite acoperirea a 2 km<sup>2</sup> într-un singur zbor și obținerea rezultatelor precise de 5 cm pe orizontala / 10 cm pe verticala fara GCP.

DJI Zenmuse L1 are un modul Livox LiDAR, un IMU de înaltă precizie și o cameră cu un CMOS de 1 inch pe un cardan stabilizat cu 3 axe, oferind o soluție de topografie cuprinzătoare care oferă date 3D, detalii ale structurilor complexe și reconstrucții vizuale precise.





# Monitorizarea alunecărilor de teren utilizând tehnologia UAV



Light Detection And Ranging

Parc balnear Torok, Dej (Mai 2023)



Achiziționarea unei baze de date digitale cu ajutorul dronelor și utilizarea tehnicilor de analiză spațială fac posibilă realizarea de modele de evoluție de-a lungul timpului alunecărilor de teren și obținerea principalilor parametri descriptivi ai acestora.



Bilasco, S.; Roșca, S.; Petrea, D.; Vescan, I.; Fodorean, I.; Filip, S. 3D Reconstruction of Landslides for the Acquisition of Digital Databases and Monitoring Spatio temporal Dynamics of Landslides Based on GIS Spatial Analysis and UAV Techniques. In Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences; Elsevier, Hamid Reza Pourghasemi, Candan Gokceoglu: Amsterdam, The Netherlands, 2019; pp. 451–465.9.

European Environment Agency 2006, 'Urban sprawl in Europe. The ignored challenge', in EEA Report, no.10 [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)

Kappes, M.S., Keiler, M., von Elverfeldt, K. et al. Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review. *Nat Hazards* 64, 1925–1958, 2012, <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0294-2>

Meesuk, V., Vojinovic, Z., Mynett, A. E., Abdullah, A. F., 2015, Urban flood modelling ombining top-view LiDAR data with ground-view SfM observations, *Advances in Water Resources*, 75: 105-117, <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2014.11.008>.

OCDE, 2018, Policy Handbook on Natural Hazard Awareness and Disaster Risk Reduction Education, International network on the financial management of large-scale catastrophes.

Petrea, D., Bilașco, St., Roșca, S., Vescan, I., Fodorean, I., 2014, The Determination Of The Landslide Occurrence Probability By GIS Spatial Analysis Of The Land Morphometric Characteristics (Case Study: The Transylvanian Plateau), în *Carpathian Journal of Earth and Environment Science*, 9 (2), 91-102.

RoRisk 2016, Evaluarea riscurilor de dezastre la nivel național (RO-RISK), 2016, available online at: <https://gis.ro-risk.ro/site/documente/RezultateRO-RISK/Alunecari.pdf>

Sestras, P.; Bilasco, S.; Roșca, S.; Nas,, S.; Bondrea, M.; Gâlgău, R.; Vereș, I.; Salagean, T.; Spalevic, V.; Cimpeanu, S. Landslides Susceptibility Assessment Based on GIS Statistical Bivariate Analysis in the Hills Surrounding a Metropolitan Area.*Sustainability* 2019,11, 1362.

Suditu B., Ginavar A., Muică A, Iordăchescuc C., Vârdolc, A., Ghineac B., 2010, Urban sprawl characteristics and typologies in Romania, *HUMAN GEOGRAPHIES – Journal of Studies and Research in Human Geography*, 4.2, 79-87.

Van Westen, C., Van Asch, T. & Soeters, R., 2006, Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult?. *Bull Eng Geol Environ* 65, 167–184 <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0023-0>