

Monitorizarea alunecărilor de teren prin metode ale Geomaticii. Studiu de caz: alunecarea Burdujeni - Suceava

I. Barnoaiea, O. Iacobescu

Barnoaiea I., Iacobescu O. 2019. Monitoring of landslides through Geomatics methods. Burdujeni - Suceava landslide a case study. Bucov. For. 19(2): 31-41

Abstract. The landslide continuous monitoring becomes increasingly important, for scientific purposes and also for providing tools for risk mitigation and raising awareness on the issue. The landslide case study presented is located in the very proximity of a residential area in Suceava and exhibits continuous and rapid evolution of the land masses. The monitoring was performed using aerial orthophotos, GPS receiver and total station, on a nine years period (2008-2017). The results of the measurements were also compared to the situation recorded in the topographical plans drafted in 1978. The data processing included aerial mapping, Digital Terrain Model construction and computation of land displacement volumes. The extension of the land slide on the previously undisturbed land was continuous throughout the entire period, with a rotation of the landslide mass. The resulted topography of the landslide includes areas with marshes and stagnant water, which decrease the stability of landslide mass. The high slope measured in the lower part of the landslide led to further displacement in the area that is the nearest to the houses. The entire landslides mass is formed by pits and mounds that appear stable on a visual analysis, but have progressed towards the head of the landslide. The combined monitoring methods showed encouraging results, showing that the repeated survey of a landslide could provide feedback on the efficiency of any mitigation measure applied.

Keywords landslide monitoring, aerial mapping, DTM, risk mitigation.

Authors. Ionuț Barnoaiea (ionbarn@gmail.com), Ovidiu Iacobescu - Ștefan cel Mare University of Suceava, Faculty of Forestry, 13 Universității, 720229 Suceava, Romania.

Manuscript received May 15, 2019; revised June 5, 2019; accepted June 15, 2019; online first July 31, 2019.

Introducere

Alunecările de teren, așa cum sunt definite în literatura de specialitate, reprezintă deplasări ale unor mase de roci pe suprafețe înclinate (versanți), în general în direcția liniei de cea mai mare pantă, ca urmare a unor factori na-

turali sau antropici (Szilard 2012). Așa cum indică definiția acestui fenomen, declanșarea și evoluția sa sunt legate de gradul de accidentare a reliefului, de caracteristicile substratului geologic, dar și de modul de utilizare a terenului, toate acestea exprimate într-un context climatic.

În aceste condiții, cercetările privind alunecările de teren prezintă câteva direcții prioritare, respectiv:

- (i) cercetări geomorfologice, care au ca scop identificarea cauzelor de producere a alunecărilor de teren și clasificarea acestora (Traci și Costin 1966; Rădoane et al. 1995; Surdeanu 1998; Brânduș și Cristea 2004; Szilard 2012);
- (ii) studii de caz realizate în zone cu alunecări mai mult sau mai puțin active (Brânduș et al. 2006; Grădinaru 2006; Boboc et al. 2009, 2011; Romanescu et al. 2011);
- (iii) cercetări privind determinarea riscului potențial de alunecare, determinat în funcție de factori geomorfologici, climatici și de utilizare a terenului (Onac et al. 2008; Bejan și Țițu 2013; Mărgărint et al. 2013; Andersson-Sköld et al. 2014);
- (iv) cercetări privind monitorizarea dinamicii alunecărilor de teren existente, în scopul modelării evoluției acestora și a stabilirii celor mai adecvate măsuri de combatere (Cheng 2000; Rădoane et al. 2008).

Monitorizarea practică a alunecărilor de teren, efectuată în situații de urgență, cu alunecări foarte active, se bazează pe urmărirea deplasării corpului de alunecare pe direcția pantei, folosind marcatori verificați periodic (Brânduș et al. 2004). Această metodă oferă o măsură a riscului imediat, fără însă a fi utilă în cazul alunecărilor care se manifestă lent pentru o perioadă, dar care se pot activa la acțiunea unui factor favorizant. Metodele bazate pe tehnici GNSS (Gili et al. 2000; Michoud et al. 2012) reclamă echipamente suficient de precise pentru determinarea deplasărilor în plan orizontal și, mai ales, în plan vertical. În ambele situații, repetarea măsurătorilor se poate face doar pe repere care trebuie să fie așezate în teren stabil pe perioada de monitorizare. De asemenea, rezultatele acestui tip de monitorizare oferă doar informații punctiforme, fără a analiza modelul de deplasare a întregului corp de alunecare sau stabilitatea zonei de desprindere.

Dezvoltarea tehnicilor de modelare a terenului oferă noi modalități de monitorizare a

alunecărilor de teren, care pot lua în studiu întreaga masă alunecătoare, fără a fi nevoie de repere distribuite pe întreaga suprafață. Capacitatea de a înregistra microrelieful de alunecare este dependentă de precizia metodei de întocmire a modelului terenului: metode topografice (Rădoane et al. 2008), metode fotogrammetrice (Cheng 2000) sau metode bazate pe scanarea terestră a terenului (Romanescu et al. 2011). În România, aceste tehnici s-au folosit în special pentru monitorizarea ravenelor, cu dezvoltarea unor modele de evoluție prin analiză statistică (Rădoane et al. 2008).

Studiul de caz face parte din ansamblul alunecărilor de teren din imediata proximitate a orașului Suceava, situate pe ambii versanți ai râului Suceava. Aceste alunecări au fost semnalate și analizate în ultimele decenii, în special datorită vitezei ridicate de evoluție și riscului important, date de apropierea de obiective importante ale orașului Suceava (Brânduș și Cristea 2004; Grădinaru 2006). Aceste studii au vizat cauzele alunecării, substratul geologic din zonă, anumite posibilități de stabilizare a acestor terenuri. Monitorizarea alunecărilor de teren s-a realizat prin construirea unor borne geodezice în zonă, care să permită măsurarea diferențelor de cotă în anumite puncte critice, fără a se realiza determinări pe întreaga suprafață. Dată fiind viteza ridicată de evoluție a alunecării luate în studiu, s-a considerat necesară o monitorizare mai atentă, bazată pe metode care asigure o precizie suficientă pentru determinarea dinamicii maselor de pământ din interiorul alunecării.

Scopul acestui articol este acela de a prezenta aplicabilitatea unor metode ale geomaticii în monitorizarea alunecărilor de teren, în cadrul unei alunecări foarte active. Ca obiective specifice, s-a urmărit determinarea dinamicii conturului exterior al alunecării și variațiilor cotei terenului în interiorul alunecării, prin utilizarea ridicărilor topografice repetate, planuri de bază și imagini aeriene.



Figura 1 Localizarea zonei studiate

Location of the case study

Material și metodă

Localizarea cercetărilor

Studiul a fost realizat în apropierea orașului Suceava, cartierul Burdujeni-sat, zona Dealul Teodorenii. Alunecarea propriu-zisă este situată între 320-370 m altitudine, cu o pantă cuprinsă între 25-50% (valori calculate conform planului de bază la scara 1:5000). Alunecarea de teren nu apare pe planurile de bază întocmite pe baza zborurilor din 1978, fiind înregistrată o evoluție rapidă în ultimele două decenii.

Materiale

Materialele utilizate fac parte din categoria materialelor caracteristice geomaticii, fiind utilizate pentru reconstituirea aspectului alunecării la diferite momente, precum și la monitorizarea propriu-zisă a acesteia. Pentru monitorizarea alunecării s-au utilizat stația totală Leica

TCR 407 Power (precizie unghiulară de $\pm 7''$, precizie de măsurare a distanțelor $\pm 5\text{mm} + 2\text{ppm}$) și receptorul GPS Topcon GMS2 (eroare de poziționare orizontală $\pm 0,5\text{ m}$).

Pentru reconstituirea aspectului alunecării la anumite momente din trecut s-au utilizat planuri de bază la scara 1:5000, cu curbe de nivel (1978), ortofotoplanuri digitale (2004, 2009, 2012).

Ca platforme informatice au fost utilizate programe de calcul topografic (Toposys 4.3.0.6 și Mapsys 4.5.1), ArcGIS 9.3, Leica GeoOffice Tools.

Metodologie

Pentru rezolvarea obiectivelor propuse, metodologia a fost structurată în funcție de modul urmărirea caracteristicilor alunecării în plan orizontal, respectiv vertical, conform unei scheme sintetice de lucru (fig. 2).

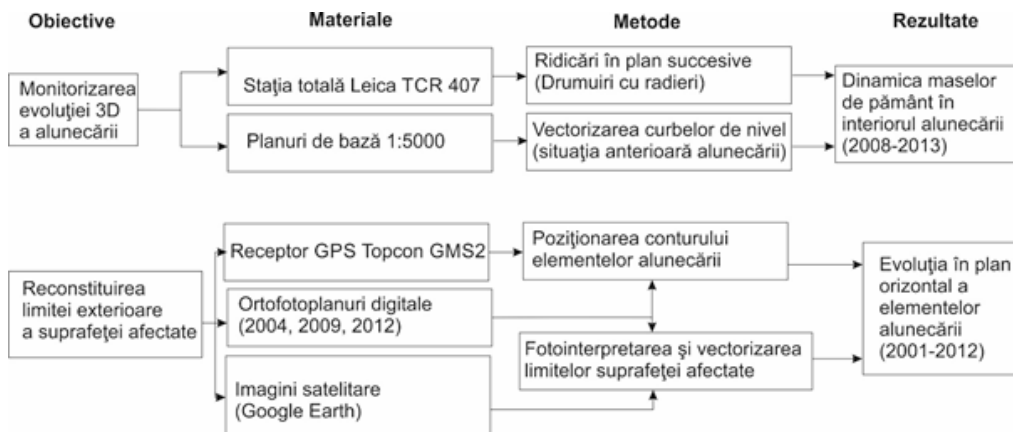


Figura 2 Schema sintetică a fluxului de lucru
Workflow design

Reconstituirea și monitorizarea limitelor alunecării a fost realizată atât terestru, prin delimitarea conturului cu ajutorul receptorului GPS Topcon GMS2, cât și prin cartare pe imaginile aeriene și satelitare disponibile. Punctele poziționate în sistem satelitar au fost suprapuse prin coordonatele determinate în Proiecția Stereografică 70 peste imaginile ortorectificate și georeferențiate avute la dispoziție. În acest fel a fost verificat gradul de suprapunere dintre imagini și realitatea determinată la nivelul solului prin punctele poziționate satelitar, în scopul extinderii observațiilor asupra conturului exterior al suprafeței afectate prin cartarea pe imaginile disponibile din alte momente (2004, 2012). Cartarea terestră GPS a fost realizată în primăvara anului 2008, când s-a observat o tendință de extindere a alunecării în partea de sud. Date fiind rezultatele bune obținute la suprapunerea punctelor poziționate satelitar peste ortofotoplanul rezultat în urma zborului din 2009, s-a trecut la fotointerpretarea conturului elementelor alunecării și pe celelalte imagini (2001 și 2012). Cele trei contururi au fost suprapuse în format vectorial pentru a se observa diferențele și au fost calculate suprafețele ocupate în cele trei momente luate în considerare cu ajutorul funcției Calculate geometry din ArcMAP 9.3.

Pentru monitorizarea detaliată a suprafeței a fost construit modelului 3D al alunecării prin

efectuarea unei serii de două ridicări topografice cu stația totală Leica TCR 407 Power, în anii 2008 și 2013.

Cele două ridicări au avut ca puncte comune borna geodezică 110 Burdujeni, punctele R16 (Rezervor apă Zamca) și R17 (Rezervor apă Burdujeni). Din borna geodezică 110 Burdujeni, aflată în partea superioară a versantului, într-o zonă care nu a fost supusă alunecării, s-a dezvoltat un traseu de drumuire închisă pe punctul de plecare, de unde au fost radiate punctele caracteristice ale versantului alunecat. Pentru un model al terenului cât mai precis, punctele radiate au fost alese în așa fel încât să surprindă fiecare schimbare sesizabilă a pantei terenului, atât în zona de desprindere, cât și în zona corpului de alunecare cu valuri. Densitatea medie a punctelor radiate a fost de aproximativ un punct/25 m², variabilă în cuprinsul alunecării în funcție de gradul de accidentare a terenului. În ambele situații, ridicările topografice au cuprins și o suprafață de teren nederanjat (o zonă tampon cu lățimea de aproximativ 20 m), aleasă în eventualitatea extinderii suprafeței alunecate între momentele de monitorizare.

Modelul numeric al terenului (MNT) a fost construit utilizând extensia 3DAnalyst a platformei informatice ArcGIS 9.3, funcția Topo to Raster, folosind ca fișiere de intrare coordonatele x, y și z ale punctelor radiate, rezultând

modele de variație a cotei cu rezoluția spațială de 1 m. Cele două modele au fost suprapuse și s-a calculat diferența de cotă aferentă fiecărui pixel cu ajutorul aplicației Raster Calculator.

În scop estimativ, MNT-urile obținute prin ridicări topografice au fost comparate cu situația de dinaintea producerii alunecării, relevată de planul de bază al zonei întocmit după zborul din 1978. Comparăția s-a bazat pe vectorizarea curbelor de nivel și a punctelor cotate din zona Dealul Teodorenii, construirea modelului cu funcția Topo to Raster și calculul diferențelor de cotă per pixel. Volumul de pământ deplasat s-a calculat prin identificarea pixelilor corespondenți fiecărei valori a diferenței de nivel și determinarea volumului „coloanei” deplasate cu baza de 1 m² și înălțimea egală cu diferența de nivel. Prin această modalitate, s-au determinat atât diferențele volumetrice negative (zone în care suprafața terenului a coborât prin surpare), cât și zonele în care aceasta ocupă o poziție superioară (în zona corpului de alunecare).

Rezultate

Evoluția în plan orizontal a suprafeței afectate

Alunecarea de teren din Dealul Teodorenii s-a extins în ultima perioadă în partea sudică, cu formarea unor noi suprafețe de desprindere și coborârea maselor alunecate spre baza versantului (fig. 2). S-a observat că extinderea fenomenului apare în direcția vechii linii de desprindere a masei de alunecare, fără să se observe diferențe semnificative pe direcție perpendiculară pe aceasta. De asemenea, se observă și o modificare a formei părții inferioare a corpului de alunecare, acesta înaintând spre malul stâng al pârâului Burdujeni în zona centrală a alunecării. În perioada următoare, tendința de extindere spre aval se manifestă pe toată lungimea frontului de alunecare.

În perioada 2009-2011, s-au observat fenomene de alunecare în partea bazală a corpului de alunecare, fenomene care, deși s-au produs

pe suprafețe mici, au devenit foarte periculoase pentru construcțiile din partea inferioară a versantului (fig. 3).

Dinamica volumelor de pământ dislocate în perioada 1978-2017

Crearea modelului numeric al terenului pentru cele trei momente luate în studiu (1978, 2008, 2013, 2017) a permis determinarea volumelor de pământ care au fost dislocate prin procesul de alunecare sau prin intervenția antropică. Cea mai spectaculoasă evoluție s-a înregistrat prin compararea modelului de elevație în perioada 1978-2008. Situația de la începutul acestei perioade relevă starea versantului înainte de producerea alunecării.

Valorile propriu-zise ale volumelor dislocate prin alunecare pot fi luate în considerare cel mult ca estimări, deoarece precizia celor două modele ale terenului diferă datorită surselor de date diferite – planuri cu curbe de nivel pe de o parte și ridicări topografice pe de altă parte. Aceste diferențe arată însă gravitatea fenomenului și reprezintă singura sursă de informații privind parametrii geomorfologici din perioada dinaintea alunecării.

Diferențele de cotă înregistrate în perioada 2008 - 2013 sunt de maxim 6 m în zona de extindere a fenomenului (partea sudică), dar și în interiorul valurilor din partea centrală a corpului de alunecare. Ridicarea nivelului terenului se observă în partea din aval a corpului de alunecare, cu diferențe față de nivelul din 2008 de până la 5 m. Se observă și anumite modificări ale zonei de desprindere și părților limitrofe acesteia, ceea ce arată o dinamică activă a desprinderii, cu depunerea materialului surpat în zona de desprindere anterioară.

Deloc de neglijat sunt și surpările secundare, apărute pe suprafețe relativ reduse în partea din aval a corpului de alunecare (partea sudică), în care apar diferențe negative de cotă de până la 5 m, surpări care au un grad de risc accentuat din cauza apropierii de construcțiile de la baza versantului (fig. 4, 5, 6).

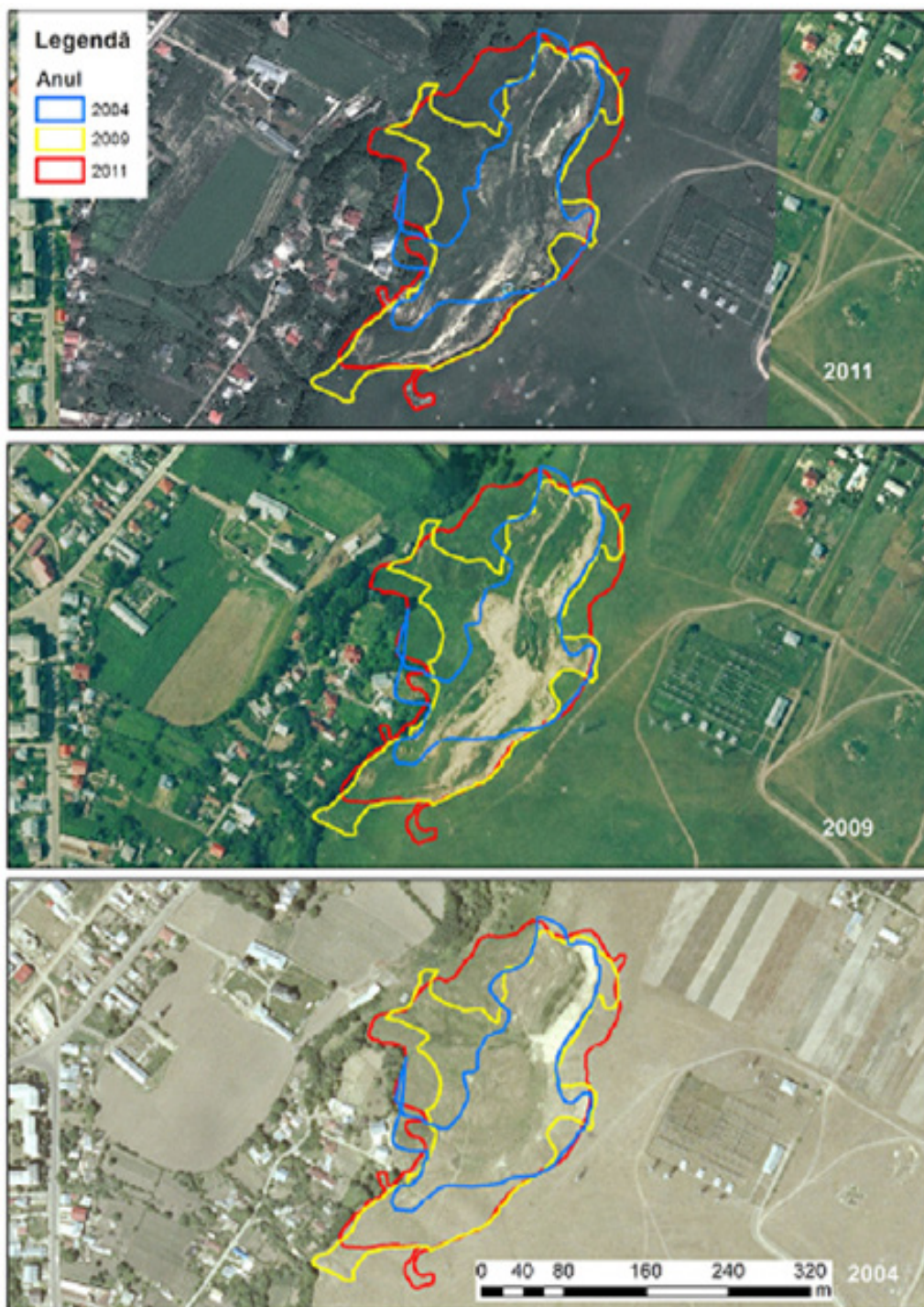


Figura 3 Variația limitei orizontale a alunecării între 2004 și 2011

Variation of the horizontal boundary of the landslide between 2004 and 2011

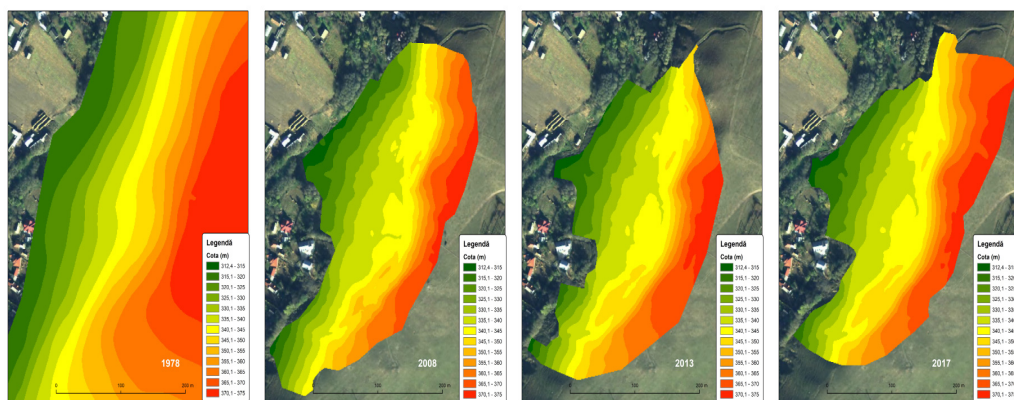


Figura 4 Dinamica Modelului Numeric al Terenului corespunzător anilor 1978, 2008, 2013 și 2017

Dynamics of Digital Terrain Model in 1978, 2008, 2013 and 2017

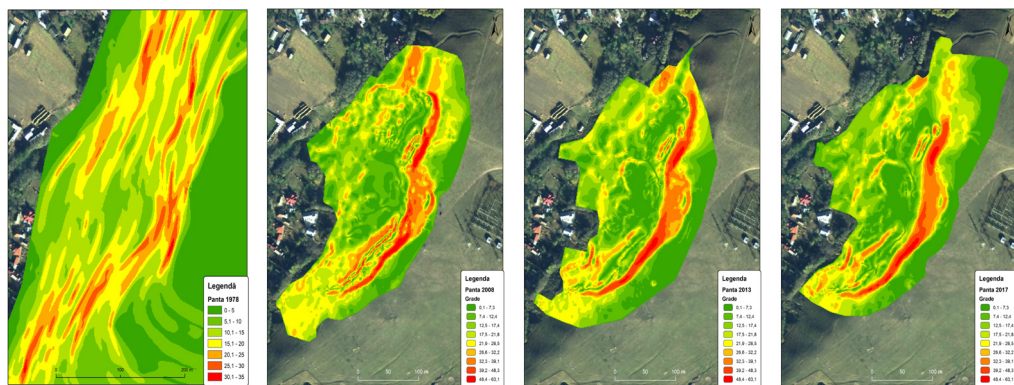


Figura 5 Dinamica modelului pantei terenului corespunzător anilor 1978, 2008, 2013 și 2017

Dynamics of slope model in 1978, 2008, 2013 and 2017

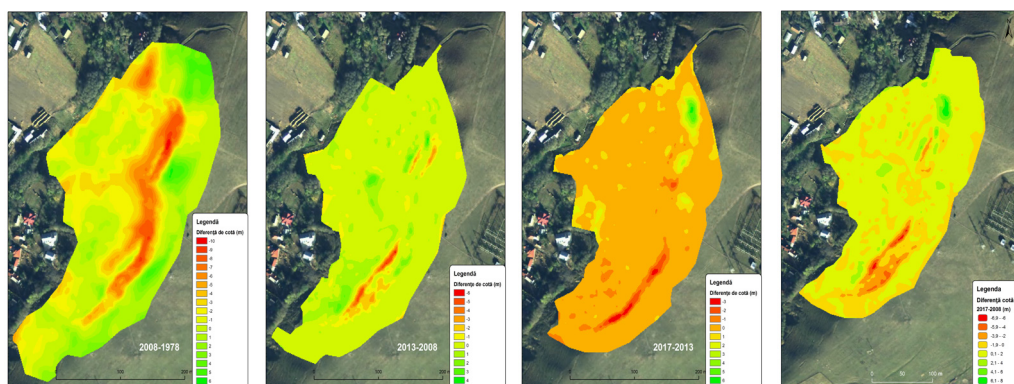


Figura 6 Dinamica diferențelor de cotă înregistrate între anii 1978-2008, 2008-2013, 2013-2017 și 2008-2017

Dynamics of elevation differences recorded between 1978-2008, 2008-2013, 2013-2017 and 2008-2017

Tabel 1 Mișcarea maselor de pământ în perioada 1978-2017
Ground mass displacement between 1978 and 2017

Diferența de cotă (m)	Perioada 1978-2008		Perioada 2008-2013		Perioada 2013-2017	
	Număr de pixeli	Volum deplasat (m ³)	Număr de pixeli	Volum deplasat (m ³)	Număr de pixeli	Volum deplasat (m ³)
-10	62	-620				
-9	201	-1809				
-8	1283	-10264				
-7	1944	-13608				
-6	2913	-17478	5	-30		
-5	2537	-12685	176	-880		
-4	3337	-13348	219	-876		
-3	6553	-19659	438	-1314	241	-723
-2	10273	-20546	1329	-2658	755	-1510
-1	10668	-10668	3422	-3422	2472	-2472
0	19293	0	51004	0	52694	0
1	6519	6519	5845	5845	5357	5357
2	4377	8754	1145	2290	1135	2270
3	2612	7836	250	750	283	849
4	2125	8500	10	40	187	748
5	1009	5045			178	890

În perioada 2013-2017 s-a observat o relativă stabilizare a principalelor zone de surpare. Principalele diferențe negative s-au înregistrat în zona de capăt sudic al alunecării, unde terenul a coborât în perioada menționată cu maxim trei metri. S-au înregistrat însă diferențe pozitive alarmante la baza corpului de alunecare, unde cota terenului a urcat cu până la șase metri, aceasta fiind și zona cea mai apropiată de locuințele din aval.

Discuții

Fenomenele de alunecare a terenului sunt foarte frecvente în zona studiată, în special pe versanții care mărginesc râul Suceava în zona municipiului Suceava (Brânduș și Cristea 2004;

Iacobescu et al. 2012). În general, metodele de studiu a acestor forme de degradare a terenului s-au bazat pe inventarierea lor ca fenomene separate și descrierea factorilor care au stat la baza declanșării sau amplificării lor (Brânduș și Cristea 2004; Grădinaru 2006). Monitorizarea lor se bazează pe măsurarea unor puncte critice din alunecare (Brânduș et al. 2004). Alți autori au utilizat metode ale geomatiei pentru studiul și monitorizarea ravenelor, respectiv ridicări topografice succesive pentru determinarea modelelor de evoluție a ravenelor (Rădoane et al. 1995; Rădoane et al. 2008) sau scanări LASER 3D pentru modelarea unor ravene test (Romanescu et al. 2011). Literatura din străinătate menționează o serie întreagă de metode utilizate în monitorizarea alunecărilor din zone sensibile: metode fotogrammetrice de modela-

re (Cheng 2000), metode bazate pe sisteme de poziționare globală adaptate măsurării precise a cotei (Gili et al. 2000; Savvaidis 2003) respectiv metode bazate pe principiul teledectiei active aeriene sau satelitare – RADAR sau LIDAR (Michoud et al. 2012).

Evoluția în plan orizontal a alunecării arată extinderi importante în ultimele decenii, cu o tipologie a alunecării care o face periculoasă pentru obiectivele din aval. Concret, este vorba de o alunecare de adâncime – conform clasificărilor din literatură (Leah 2017), în care corpul de alunecare suferă o mișcare de translație spre aval, dar și o rotație în partea superioară. Zona imediat limitrofă rupturii a fost suprată din cauza rotației corpului de alunecare. În acest mod, s-au format valuri de alunecare aproximativ paralele cu curbele de nivel, care au obstrucționat curgerea normală a apei pe versanți și au dus la apariția înmlăștinării sau chiar zone cu apă stagnantă, fenomen observat frecvent în cazul alunecărilor de adâncime din Podișul Sucevei (Iacobescu et al. 2012). Aceste zone conduc la o instabilitate sporită a corpului de alunecare datorită cantității mari de apă reținută, instabilitate manifestată prin alunecări de suprafață în partea mediană și surpări suplimentare în partea bazală (fig. 4). De altfel, partea bazală a corpului de alunecare este cea care ridică cele mai mari probleme construcțiilor din aval, datorită pantelor mari din această zonă și tendinței de formare a rupturilor paralele cu curbele de nivel. Deplasările de suprafață sunt accentuate de diverși factori locali, cu acțiune permanentă sau sezonieră (Brânduș et al. 2004).

Dinamica alunecării este diferită de situațiile observate în zonele montane, caz în care diferența litografică existentă pe adâncime duce la alunecarea straterelor neconsolidate de la suprafață foarte rapid, cu formarea în unele cazuri de baraje în albia râurilor (Brânduș et al. 2006; Grădinaru 2006). În cazul studiat, adâncimea aparent mai mare a alunecării și coeziunea mai ridicată din corpul de alunecare duc la o evoluție mai lentă, dar menținută pe perioade mari de timp.

Profunzimea alunecării și instabilitatea corpului de alunecare reduc posibilitățile de intervenție sau le fac costisitoare și fără impact imediat. Practic, împădurirea unor asemenea zone nu este utilă decât după stabilizarea parțială a alunecării, greutatea arborilor la maturitate fiind un factor destabilizator (Traci și Costin 1966). Autoritățile locale au încercat reducerea volumului de pământ din zona de alunecare în perioada 2008-2009 prin excavarea porțiunii adiacente zonei de ruptură (cu urme vizibile pe ortofotoplanul din 2009), fără un efect stabilizator important.

Evoluția pe verticală cea mai importantă a fost înregistrată față de situația din 1978, acesta fiind singurul moment de analiză pre-alunecare disponibil. Compararea datelor din 1978 cu cele din 2008 este cel mult estimativă, datorită diferențelor de precizie de determinare a cotelor prin metode topografice față de trasarea curbilor de nivel pe planuri de bază. Comparatia atestă însă faptul că la momentul respectiv nu erau semne vizibile de alunecare care să fi fost consemnate la întocmirea planului de bază. Construirea modelului pantelor pe baza curbilor de nivel a arătat însă că exista o diversitate ridicată a valorilor pantei pe versant, ceea ce ar putea constitui un semnal de avertizare privind vulnerabilitate versantului la deplasare. Ipoteza ar putea fi testată prin identificarea altor alunecări recente și analiza situației de dinaintea inițierii deplasării.

Monitorizarea continuă și la fel de detaliată ar putea conduce la identificarea pragurilor de stabilizare relativă necesare pentru aplicarea anumitor măsuri de reducere a impactului. Determinarea pixel cu pixel a volumelor de pământ deplasate oferă un model de evoluție a părților componente ale alunecării, model ce poate fi testat și generalizat prin monitorizarea altor cazuri mai mult sau mai puțin similare.

Concluzii

Alunecările de teren sunt forme de degradare a terenului care pot avea o evoluție dezastruoasă

în foarte scurt timp sau se pot menține într-un stadiu latent pentru anumite perioade. Riscul asociat poate fi manifestat asupra obiectivelor social-economice, direct prin masele de pământ dislocate, dar pot asocia și alte repercusiuni, cum ar fi inundațiile sau colmatarea unor lacuri. Instrumentele de analiză din cadrul Sistemelor Informaționale Geografice pot să ofere tendințe de evoluție, o măsură a intensității dar și o modalitate de vizualizare a fenomenului, respectiv un suport grafic pentru creșterea gradului de conștientizare la nivelul factorilor decizionali.

Analiza comparativă a surselor de date adus la obținerea următoarelor concluzii:

(i) instalarea și menținerea unor perimetre de monitorizare a fenomenelor de degradare a terenului oferă importante informații ce pot fi centralizate în modele de evoluție a formelor de degradare a terenului, mai ales în contextul unui grad ridicat de disponibilitate a surselor de date de teledetecție;

(ii) ridicările în plan cu stația totală, deși costisitoare și consumatoare de timp, rămân surse de date importante pentru monitorizarea detaliată a unor fenomene active de degradare;

(iii) compararea modelului terenului realizat în 1978, 2008, 2103 și 2017 a arătat deplasări pe verticală de până la 10 m, care nu s-au stabilizat nici după un deceniu;

(iv) modelul pantei terenului corespundent anului 1978 a arătat o variație ridicată a pantei pe versant, ceea ce poate indica un precursor al alunecării (o deplasare internă a maselor de pământ, fără semne vizibile la exterior);

(v) pe zonele de ruptură și surpare, panta terenului ajunge și la 600, ceea ce reduce considerabil reușita oricăror eforturi de reconstrucție ecologică. Valori mari ale pantei se înregistrează și la baza zonei de alunecare, ceea ce conduce, în timp, la surpări secundare;

(vi) volumele de pământ deplasate, atât prin surpare, cât și prin alunecare și aglomerare sunt de ordinul zecilor de mii de metri cubi.

Bibliografie

- Andersson-sköld Y., Falemo S., Tremblay M., 2014. Development of methodology for quantitative landslide risk assessment — Example Göta river valley. 6:130–143
- Bejan I., Țițu P., 2013. Assessment of the susceptibility degree to landslides within Ciulucurilor Hills by Method of Frequency Rate. Georeview. doi: 10.4316/Georeview.2013.23.2.84
- Boboc N., Bejan I., Sîrodoev I., 2011. Landslide distribution and land use within the Călărași key sector. Analele Univ. „Ștefan cel Mare” Suceava • Ser Geogr • XX:17–23
- Boboc N., Ercanoglu M., Sîrodoev G., et al, 2009. Contribution to spatial landslide assessments in the Băc tableland. Analele Univ. „Ștefan cel Mare” Suceava Ser. Geogr 19–24
- Brânduș C., Cristea I., Grădinaru V., 2004. Factori specifici și dinamica proceselor de deplasare în masă de pe versantul drept al Sucevei - sectorul dintre Pârâul Șcheia și Pârâul Cetății. Rev geomorfolgie 87–93
- Brânduș C., Cristea I.A., 2004. Contribuții la studiul alunecărilor de teren de pe versantul drept al râului Suceava, sectorul dintre pâraiele Șcheia și Cetății. Analele Univ „Ștefan cel Mare” Suceava, s Geogr XI
- Brânduș C., Manolache I., Ciucanu G.H., 2006. Alunecări de teren cu caracter endemic pe teritoriul satului Izvoru Alb – județul Neamț. Rev geomorfolgie 8:115–118
- Cheng, H.H., 2000. Photogrammetric Digital Data Processing of Tsau-Lin Big Landslide. In: ACRS Proceedings
- Gili J.A., Corominas J., Rius J., 2000. Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring. Eng Geol 55:167–192. doi: 10.1016/S0013-7952(99)00127-1
- Grădinaru V., 2006. Studiu geotehnic pentru două alunecări în comuna Sucevița (Dealul Râu și Dealul Furcuiului), județul Suceava
- Iacobescu O., Barnoiea I., Bofu C., 2012. An up-to-date land degradation inventory in Suceava Plateau using digital orthophotographs. Environ Eng Manag J 11:
- Leah T., 2017. Monitoring of degraded soils in the Republic of Moldova: landslides. Sci Pap Ser A Agron LX:113–118
- Mărgărint M.C., Grozavu A., Patriche C.V., 2013. Assessing the spatial variability of coefficients of landslide predictors in different regions of Romania using logistic regression. Nat Hazards Earth Syst Sci 13:3339–3355. doi: 10.5194/nhess-13-3339-2013
- Michoud C., Abellán A., Derron M.H., Jaboyedoff M., 2012. Review of techniques for landslide detection, fast characterization, rapid mapping and long term monitoring. 400
- Onac B., Todică S., Surdeanu V., 2008. The application of GIS for mapping landslide susceptibility in Măhăceni tableland. Analele Univ. „Ștefan cel Mare” Suceava Secțiunea Geogr 59–65
- Radoane M., Ichim I., Radoane N., 1995. Gully distribution and development in Moldavia, Romania. Catena 24:127–146. doi: 10.1016/0341-8162(95)00023-L

- Rădoane M., Rădoane N., Cristea I., et al. 2008. Monitorizarea evoluției ravenelor test din Podișul Moldovei în perioada 1986 - 2008. *Analele Univ "Stefan cel Mare" Suceava, Ser Geogr* 17:12
- Romanescu G., Venedict B., Cotiuga V., Asandulesei A., 2011. Use of the 3-D scanner in mapping and monitoring the dynamic degradation of soils. Case study of the Cucuteni-Baiceni Gully on the Moldavian Plateau (Romania). *Hydrol Earth Syst Sci Discuss* 8:6907–6937. doi: 10.5194/hessd-8-6907-2011
- Savvaidis P.D., 2003. Existing landslide monitoring systems and techniques. *From Stars to Earth Cult Aristotle Univ Thessaloniki, Greece* 242–258
- Surdeanu V., 1998. *Geografia terenurilor degradate. Alunecări de teren*. Presa universitară clujeană
- Szilard P.L., 2012. *Studiu de geomorfologie aplicată în zona Cluj Napoca*. Babes Bolyai Cluj Napoca
- Traci, C., Costin C., 1966. *Terenurile degradate și valorificarea lor pe cale forestieră*. Editura Agro-silvică