

## 1.1 Zonarea hazardului la alunecări de teren

Zonarea hazardului la alunecări de teren se bazează pe parametrii măsurați în rețeaua de monitorizare spatio-temporală și are ca obiective:

- Harta de hazard la alunecare;
- Riscul asociat alunecărilor de teren.

### 1.1.1 Harta de hazard la alunecare

Sinonimă cu harta instabilității la alunecare sau a potențialului de producere a alunecărilor de teren, harta de hazard la alunecare reprezintă un plan de situație, la o scară convenabil aleasă, corespunzător unei suprafețe de teren, împărțită în poligoane caracterizate prin același grad de instabilitate la alunecare.

Harta de hazard la alunecare are valoare calitativă și se întocmește pe baza luării în considerare a interacțiunii mai multor factori care, prin acțiunea lor conjugată, pot influența starea de echilibru a versanților.

În limite acceptabile, starea de echilibru a unui versant poate fi evaluată pe baza estimării **factorului de stabilitate**  $F_s$ , factor a cărui semnificație fizică exprimă raportul dintre rezistența la forfecare a rocilor la nivelul celei mai probabile suprafețe de alunecare și forțele tangențiale care acționează la același nivel:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} \quad (2.1)$$

Factorul de stabilitate poate varia între valoarea critică ( $F_s = 1$ ), valoare minimă care marchează limita de echilibru stabil și valori mari și foarte mari, teoretic infinite ( $F_s = \infty$ ), situații în care versantul este stabil la alunecare.

La întocmirea hărții de hazard s-a folosit relația:

$$K_m = \frac{1}{F_s} \quad (2.2)$$

Semnificația fizică a factorului  $K_m$  este măsura gradului de instabilitate la alunecare sau, în limite acceptabile, măsura potențialului sau probabilității de producere a alunecării.

S-a adoptat această relație pentru a putea limita variația factorului de instabilitate la alunecare  $K_m$  în intervalul cuprins între 0 și 1.

În relația (2.2) se poate observa că la limita de echilibru a versantului, când  $F_s = 1$ , factorul de instabilitate la alunecare este  $K_m = 1$  sau, exprimat procentual,

instabilităţea la alunecare este 100 %. Pentru valori din ce în ce mai mari ale factorului  $F_s$ , gradul de instabilităţea la alunecare scade şi devine zero când factorul de stabilităţea este foarte mare, teoretic  $\infty$ .

Pentru a putea caracteriza posibilitatea de producere a alunecării trebuie să se ţină seama de cât mai mulţi factori naturali şi antropici care acţionează independent sau simultan asupra stării de echilibru a versanţilor.

La evaluarea probabilităţii de producere a alunecării unui versant s-au luat în consideraţie 8 factori de influenţă: a – **litologic**; b – **geomorfologic**; c – **structural**; d – **hidrologic şi climatic**; e – **hidrogeologic**; f – **seismic**; g – **silvic**; h – **antropic**.

Influenţa fiecărui factor asupra stării de echilibru a versantului se exprimă printr-un coeficient  $K_i$  ( $i = a \dots h$ ), a cărui valoare se înscrie între 0 şi 1. Factorii de influenţă luaţi în considerare nu acţionează cu aceeaşi intensitate asupra stabilităţii versanţilor. Dintre aceştia, doi sunt consideraţi ca având un rol determinant: factorul litologic  $K_a$  şi factorul geomorfologic  $K_b$ , ceilalţi 6 factori având o influenţă secundară.

Pentru calculul gradului de instabilităţea la alunecare s-a adoptat formula empirică:

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

sau

$$K_m = 0,408 \sqrt{K_a \cdot K_b \sum_{i=c}^h K_i} \quad (2.3)$$

Evaluarea coeficienţilor  $K_a \dots K_h$ , aferenţi celor 8 factori care influenţează stabilităţea versanţilor, se face pe baza analizei materialelor documentare existente şi a informaţiilor care se obţin prin recunoaşteri pe teren. Criteriile de evaluare a coeficienţilor  $K_a \dots K_h$  sunt prezentate în **Tabelul 1**. Aprecierea cât mai corectă a acestor coeficienţi este esenţială pentru calitatea hărţii de hazard.

În legătură cu măsura instabilităţii la alunecare, exprimată prin coeficientul  $K_m$ , se fac următoarele precizări:

- Factorul de instabilităţea  $K_m$  reprezintă o formă de estimare a potenţialului de producere a alunecării, ale cărui valori nu rezultă dintr-un calcul matematic probabilistic bazat pe prelucrări statistice de date, ci pe baza analizelor calitative şi interpretării acţiunii factorilor naturali şi antropici care influenţează starea de

echilibru a versanților. Acuratețea și gradul de încredere al valorilor care se atribuie coeficienților de influență  $K_a \dots K_h$  sunt dependente de nivelul de pregătire și experiența specialiștilor care elaborează astfel de documentații cartografice.

- Estimarea valorică a factorului de stabilitate  $F_S$  și implicit a factorului de instabilitate  $K_m$  pentru un versant se înscrie într-o plajă de aproximare mult mai largă decât în cazul unui taluz excavat sau al unui taluz aferent unui rambleu. Extinderea alunecărilor de teren pe versanți, măsurată pe linia de cea mai mare pantă, poate ajunge la zeci și sute de metri, uneori chiar kilometri. De regulă, aceste alunecări se extind "pas cu pas" iar evoluția fenomenului de alunecare este în directă legătură cu factorul timp, factor care încă nu este inclus în formulele uzuale pentru calculul stabilității la alunecare a taluzurilor și versanților. În aceste condiții, pentru estimarea factorului de stabilitate la alunecare a versanților, experiența specialiștilor încă mai are o pondere semnificativă.

Pentru redactarea hărților de hazard la alunecare nu se au în vedere lucrări de prospecțiuni geologice executate special în acest scop, ci utilizarea tuturor datelor geologice, geotehnice, geomorfologice, hidrogeologice ș.a. existente și numai recunoașteri geologice pe teren. Investigații geotehnice prin lucrări de teren și laborator se vor efectua numai pentru zonele cu grad ridicat de instabilitate, în scopul evaluării riscului asociat alunecărilor ce s-ar putea declanșa și afecta zone importante din punct de vedere economic și social.

### **1.1.2 Riscul asociat alunecărilor de teren**

Riscul asociat alunecărilor de teren reprezintă evaluarea cantitativă, exprimată valoric în unități monetare, a pierderilor materiale cauzate de producerea alunecărilor sau, numeric, a victimelor omenești înregistrate în urma catastrofelor cauzate de alunecări.

Exprimarea riscului asociat alunecărilor de teren presupune existența hărții de hazard, detaliată prin lucrări de investigații geofizice și geotehnice, din care se pot obține informații cu privire la probabilitatea de alunecare aferentă zonei pentru care se calculează riscul și evaluări cantitative ale tuturor bunurilor materiale și populației care ocupă zona respectivă.

Ca regulă generală, riscul asociat alunecărilor se calculează și se exprimă valoric în unități monetare, pentru pierderile materiale, și numeric pentru pierderile umane, pe zone de egală instabilitate la alunecare. Dacă este necesar, riscul poate

fi exprimat și grafic, sub formă de hărți de risc la alunecare pentru zonele considerate.

**Tabel 2.1** Criterii de evaluare a coeficienților de influență  $K_a \dots K_h$  și a factorului de instabilitate  $K_m$  pentru întocmirea hărților de hazard la alunecare

Nr. crt.	Simbolul	Criteriul	POTENȚIALUL DE PRODUCERE A ALUNECĂRILOR DE TEREN					
			SCĂZUT		MEDIU		RIDICAT	
			VALORILE COEFICIENȚILOR DE INFLUENȚĂ $K_a \dots K_h$ ȘI ALE FACTORULUI DE INSTABILITĂȚE $K_m$					
			< 0,30	0,31 – 0,40	0,41 – 0,50	0,51 – 0,60	0,61 – 0,80	0,81 – 1,00
			VALORILE FACTORULUI DE STABILITĂȚE $F_S$					
			> 3,33	3,33 ... 2,5	2,5 ... 2	2 ... 1,66	1,66 ... 1,25	1,25 ... 1
			CARACTERIZAREA INSTABILITĂȚII LA ALUNECARE A VERSANȚILOR					
			PRACTIC ZERO	REDUSĂ	MEDIE	MEDIE - MARE	MARE	FOARTE MARE
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	$K_a$	LITOLOGIC	Roci stâncoase, masive compacte sau fisurate, slab afectate de procese de dezagregare sau alterare chimică.	Majoritatea rocilor sedimentare care aparțin formațiunii acoperitoare (deluvii, coluvii și depozite proluviale) și rocilor precuaternare, semistâncoase (șisturi argiloase, marne, marno-calcare, cretă, șisturi metamorfice epizonale și mezozonale alterate și exfoliate, unele roci magmatice puternic alterate ș.a.).	Roci sedimentare detritice, slab consolidate sau cimentate (argile și argile grase, saturate, plastic moi – plastic consistente, cu umflări și contracții mari, argile montmorillonitice, puternic expansive, prafuri și nisipuri mici și mijlocii, zone de breicii ș.a.).			
2.	$K_b$	GEOMORFOLOGIC	Relief plan-orizantal sau slab înclinat (zone de luncă, terase de acumulare, terase de eroziune, interfluvii de formă plată ș.a.) afectat de procese de eroziune ne semnificative, văile care alcătuiesc rețeaua hidrografică, fiind într-un avansat stadiu de maturitate.	Relief de tip colinar, caracteristic zonelor piemontane și de podiș, fragmentat de rețele hidrografice cu văi ajunse într-un stadiu de maturitate relativ scăzut, mărginite de versanți cu înălțimi și înclinări medii și mari.	Relief caracteristic zonelor de deal și de munte, puternic afectat de văi tinere, de multe ori de tip torențial, având versanți cu pante relativ mari. Văile subsecvente favorizează alunecările de teren pe suprafețele de strat.			
			Unghiul de înclinare al versantului, $\alpha^\circ$	Unghiul de înclinare al versantului, $\alpha^\circ$	Unghiul de înclinare al versantului, $\alpha^\circ$			
			< 3°	3 – 5°	5 – 8°	8 – 12°	12 – 15°	> 15°

0	1	2	3	4	5	6	7	8
3.	$K_c$	STRUCTURAL	Structuri de roci magmatice, metamorfice sau sedimentare neafectate sau slab afectate de procese de deformării plicative (diverse tipuri de cute) sau disjunctive (falii, fisuri, șariaje ș.a.). Elementele microstructurale (suprafețe de stratificație, clivaj, fisurație, boudinaj etc.) lipsesc sau, dacă există, sunt orizontale sau aproape orizontale.		Majoritatea structurilor geologice cutate și faliat, afectate de fisuri și suprafețe de clivaj, structuri diapire, zone ce marchează fruntea pânzelor de șariaj.		Structuri geologice caracteristice ariilor geosinclinale în facies de fliș și formațiunilor de molasă din depresiunile marginale, structuri geologice stratificate, puternic cutate și dislocate, afectate de rețele dense de suprafețe de stratificație, clivaj și fisurație, orientate paralel cu suprafețele versanților și cu înclinări mai mici decât versanții, roci cu structură glomerulară sau afectate de oglinzi de fricțiune. În această categorie pot fi cuprinse și pachetele de roci din partea superioară a “rocii de bază” în care, datorită decomprimării, suprafețele de rezistență scăzută (stratificație, clivaj, fisurație) au suferit o relativă relaxare, ceea ce duce la reducerea rezistențelor mecanice ale masivului de rocă.	
4.	$K_d$	HIDROLOGIC ȘI CLIMATIC	Zone în general aride și semiaride cu precipitații medii anuale scăzute (sub 300 mm coloană de apă). Coeficienții de scurgere de ordinul 0,05–0,10. Debitele care se scurg pe albiile râurilor, ale căror bazine hidrografice se extind în zonele de dealuri înalte și de munte, în mare parte sunt dependente de precipitațiile căzute în aceste zone. Pe albiile râurilor predomină procesele de sedimentare, eroziunea producându-se numai lateral, în timpul viiturilor.		Cantități moderate de precipitații (300 – 500 mm coloană de apă). Coeficienții de scurgere se încadrează în limitele 0,10 – 0,30. Văile principale din rețeaua hidrografică au atins stadiul de maturitate în timp ce afluenții acestora se află încă în stadiul de tinerețe. În timpul viiturilor se produc eroziuni atât verticale cât și pe orizontală. Importante transporturi și depuneri de aluviuni.		Precipitații medii anuale de peste 500 mm coloană de apă, suprafețele de teren în mare parte sunt lipsite de zone împădurite. În timpul precipitațiilor lente, de lungă durată, există posibilitatea ca o cantitate mare de apă să se infiltreze în roci. La precipitațiile rapide se produc scurgeri pe versanți, favorizând procesele de eroziune și transportul de debite solide. Coeficientul scurgerii mai mare de 0,30.	

0	1	2	3	4	5	6	7	8
5.	$K_e$	HIDRO- GEOLOGIC	Nivelul liber al apei freatice se află la adâncime mare. Gradientii hidraulici ai curgerii apei subterane sunt mici ( $i < 0,1$ ) iar forțele de filtrație sunt neglijabile.	Nivelul apei freatice, în general, se situează la adâncimi mai mici de 5 – 6m. Curgerea apei freatice are loc la gradientii hidraulici moderați ( $i = 0,1 - 0,3$ ). Forțele de filtrație pot influența sensibil starea de echilibru a versanților.	Capetele strzelor acvifere din versanți sunt acoperite de material deluvial slab permeabil. La baza deluviului acționează subpresiuni. Izvoare și emergente de apă pe versanți, îndeosebi la baza acestora. Forțe de filtrație semnificative datorate curgerii apei din interiorul versanților către suprafață. Acumulări de apă în deluvii și zona superficială a rocii de bază datorită infiltrațiilor pe verticală provenite din precipitații. În această zonă (deluviu + partea superficială a rocii de bază) se poate acumula apă sub formă de pungi și lentile care formează o structură acviferă captivă, sub formă de "volbură". Un astfel de acvifer poate avea un rol important în ceea ce privește starea de echilibru a versanților (mărește greutatea volumică și reduce rezistența la forfecare a pământurilor din zona adiacentă suprafeței terenului). Acviferele tip "volbură" au caracter sezonier și joacă un rol destabilizator asupra echilibrului versanților în perioadele care urmează unor precipitații de lungă durată, topirii zăpezilor sau în timpul cutremurelor.			
6.	$K_f$	SEISMIC (scara M.S.K.)	Intensitate seismică mai mică de gradul 6.	Intensitate seismică de gradul 6 – 7.	Intensitate seismică mai mare de gradul 7.			

0	1	2	3	4	5	6	7	8
7.	$K_g$	SILVIC	Pădurea acoperă cel puțin 80 % din suprafața versanților. Majoritatea arborilor, ajunși la maturitate, au densitate optimă și aparțin speciilor de foioase.		Între 20 și 80 % din suprafața versanților este acoperită de pădure. Arborii, cu vârste și densități diferite, aparțin unui număr mare de specii.			Gradul de acoperire a versanților cu păduri este mai mic de 20 %.
8.	$K_h$	ANTROPIC	Pe versanți nu sunt construcții importante. Rețelele de distribuție a apei, de canalizare, de transport auto și feroviar, ca și lacurile de acumulare care ar putea influența versanții, lipsesc.		Pe versanți sunt executate o serie de lucrări (platforme de drumuri și de cale ferată, canale de coastă, cariere ș.a.) cu extindere limitată și pentru care s-au executat lucrări corespunzătoare de consolidare și protejare a versanților la alunecare.			Versanți afectați de o rețea densă de conducte de alimentare cu apă și canalizare, drumuri de trafic greu, căi ferate, canale de coastă, cariere, depozite de haldă, construcții grele ș.a. Existența lacurilor de acumulare care pot umezi versanții în partea inferioară.



Riscul asociat alunecărilor de teren se evaluează cu relația:

$$R_M = K_m \sum VPM \quad (2.4)$$

pentru pierderile materiale și

$$R_U = K_m \sum VPU \quad (2.5)$$

pentru pierderile de vieți omenești, considerând, în limite acceptabile, echivalența factorului de instabilitate  $K_m$  ca măsură a probabilității de alunecare  $p$ .

În relațiile (2.4) și (2.5), simbolurile folosite au următoarele semnificații:

$R_M$  - rata de risc pentru pierderile materiale exprimată în lei;

$R_U$  - rata de risc pentru pierderile umane, exprimată numeric;

$K_m$  - factorul de instabilitate la alunecare determinat de pe harta de hazard la alunecare;

$V$  - vulnerabilitatea elementelor expuse riscului; variază de la 0, dacă alunecarea nu influențează elementul respectiv, la 1 când elementul expus este complet distrus;

$PM$  - valoarea pierderilor materiale (exprimată în lei);

$PU$  - numărul de morți rezultat în urma producerii alunecării.

Riscul asociat alunecărilor se determină în două variante.

În prima variantă, maximală, se admite că alunecarea se produce instantaneu, toate elementele sunt expuse riscului în proporție de 100 % (vulnerabilitatea  $V = 1$ ) iar pierderile materiale și umane sunt maxime.

În a doua variantă, cea mai apropiată de realitate, se ia în considerare faptul că alunecările, în cele mai multe cazuri, se produc lent sau foarte lent. Este foarte importantă aprecierea cât mai realistă a vitezei de alunecare deoarece între vulnerabilitatea elementelor expuse și viteza de alunecare există o legătură directă. Cu cât viteza de alunecare va fi mai mică, cu atât vulnerabilitatea elementelor expuse se va reduce iar riscul asociat alunecării respective se va diminua semnificativ.

Pentru a construi o hartă de risc la alunecare a unei localități, de exemplu, sunt necesare următoarele documentații:

- harta generală de hazard la alunecare a localității respective;







- detalieri ale hărții de hazard prin investigații geofizice și geotehnice;
- estimarea valorică în unități monetare, a tuturor elementelor expuse riscului pe unitate de suprafață (imobile, dotări, valoare de patrimoniu, pierderi colaterale etc.);
- calculul ratei de risc pe unitate de suprafață;
- împărțirea suprafeței localității respective în zone în care pierderile materiale (umane) pe unitate de suprafață sunt de același ordin de mărime.

Astfel de hărți sunt foarte laborioase și extrem de costisitoare și necesită participarea unei game foarte largi de specialiști (geologi și geotehnicieni, proiectanți, constructori, urbanisti, arhitecți, psihologi, juriști, specialiști în domeniul asigurărilor, experți în evaluări imobiliare și de patrimoniu etc.). În plus, valabilitatea acestor hărți este asigurată pe durată de timp limitată, având în vedere dinamica de dezvoltare urbanistică și demografică către care tinde fiecare localitate.

Pentru exemplificare prezentăm harta de hazard pe o zonă de pe valea Buzaului (**Fig.2.1** și **Fig.2.2**).

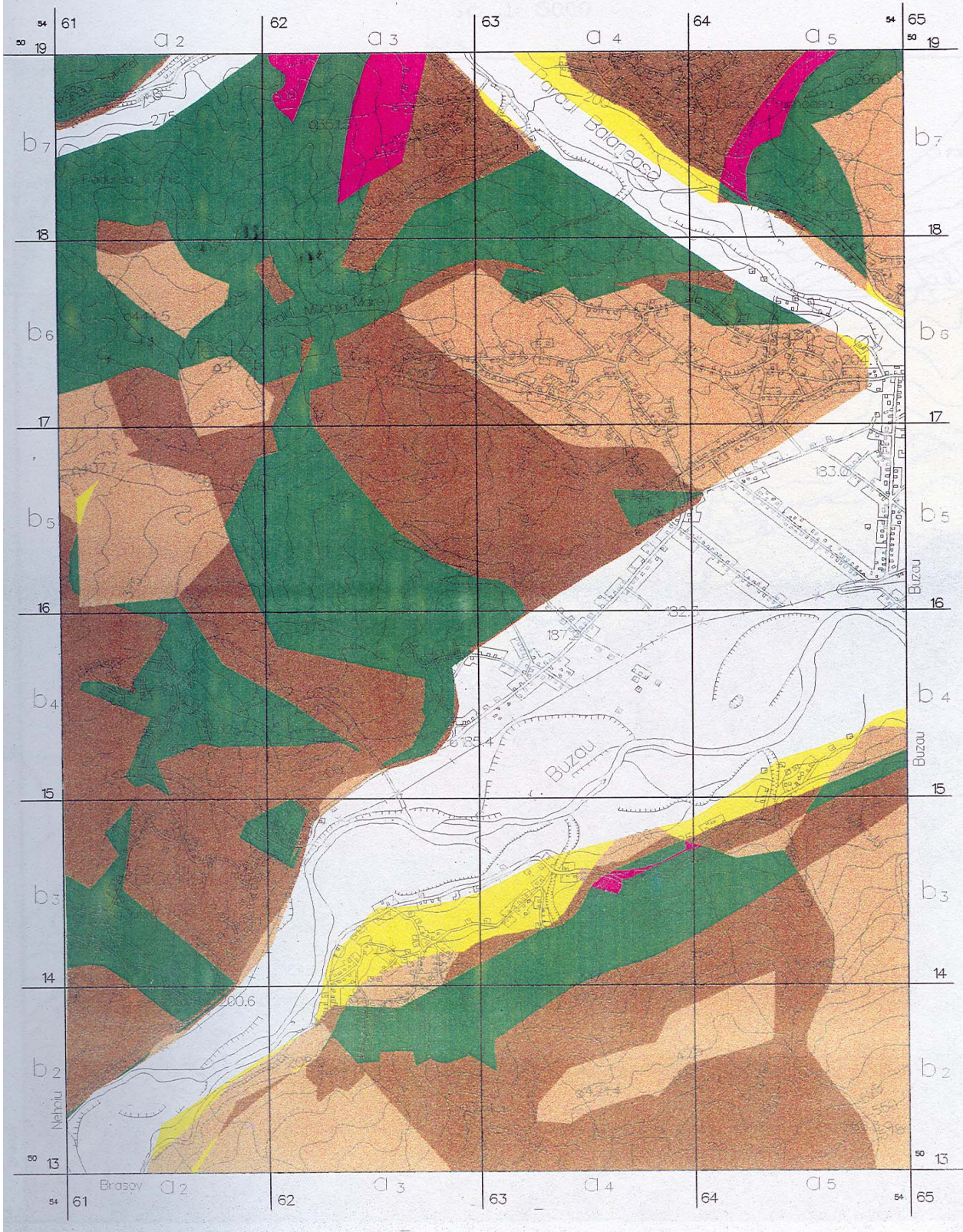
Riscul asociat alunecărilor de teren **trebuie evaluat numai pentru zonele de interes economic, social și strategic deosebite** pentru care harta de hazard indică un grad ridicat de pericolozitate exprimat prin potențialul mare de producere a alunecărilor de teren.

## Legenda hartilor de hazard

Culoare	Coeficientul mediu de instabilitate la alunecare ( Km )		Factorul de stabilitate la alunecare( Fs )
	0, 0 - 0,30	Practic 0	> 3, 33
	0,31 - 0,40	Redus	3,33 - 2,5
	0,41 - 0,50	Mediu	2,5 - 2
	0,51 - 0,60	Mediu - Mare	2 - 1,66
	0,61 - 0,80	Mare	1,66 - 1,25
	0,81 - 1,00	Foarte mare	1,25 - 1

*Fig.2.1..Legenda hărții de hazard*

HARTA DE HAZARD  
Sc. 1 : 25 000



*Fig.2.2.Hartă de hazard (valea Buzăului)*

