

## 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/vulnerabilitate 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 ( $\tau_f$ ) și **forțele tangențiale** ( $\tau$ ) care acționează la același nivel:

$$F_S = \frac{\tau_f}{\tau}$$

**Factorul de stabilitate** ( $F_S$ ) 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** se utilizează **factorul de instabilitate la alunecare** ( $K_m$ ) definit cu relația:

$$K_m = \frac{1}{F_S}$$

Semnificația fizică a factorului de instabilitate la alunecare 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 în intervalul cuprins între 0 și 1:

- la limita de echilibru a versantului, când  $F_S = 1$  rezultă  $K_m = 1$  (instabilitatea la alunecare este 100 %)
- când gradul de stabilitate crește, când  $F_S = \infty$  rezultă  $K_m = 0$  (instabilitatea la alunecare este 0 %)

Pentru a putea caracteriza posibilitatea de producere a alunecării trebuie să se țină seama de cât mai mulți **factori naturali și antropici** care acționează independent sau simultan asupra stării de echilibru a versanților. La evaluarea probabilității de producere a alunecării unui versant, în metodologia oficială actuală în România, se iau în considerație opt factori de influență:

1. Ka – litologic;
2. Kb – geomorfologic;
3. Kc – structural;
4. Kd – hidrologic și climatic;
5. Ke – hidrogeologic;
6. Kf – seismic;
7. Kg – silvic;
8. Kh – antropic.

Influența 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 și 1. Factorii de influență luați în considerare nu acționează cu aceeași intensitate asupra stabilității versanților. Dintre aceștia, doi sunt considerați ca având un rol determinant:

- factorul litologic  $K_a$  și
- factorul geomorfologic  $K_b$ ,

ceilalți 6 factori având o influență secundară.

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

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

Evaluarea coeficienților  $K_i (i = a, \dots, h)$  se face pe baza analizei materialelor documentare existente și a informațiilor care se obțin prin cartarea terenului din zona studiată. Criteriile de evaluare a coeficienților sunt formalizate (**Tabelul 1**).

$K_m$  reprezintă o formă de estimare a potențialului 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 și interpretării acțiunii factorilor naturali și antropici care influențează starea de echilibru a versanților. 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.

### 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. Dacă este necesar, riscul poate fi exprimat și grafic, sub formă de **hărți de risc** la alunecare pentru zonele considerate.

**Riscul** asociat alunecărilor de teren se evaluează cu relația:

$$R_M = K_m \cdot \sum V \cdot PM \text{ sau } R_U = K_m \cdot \sum V \cdot PU$$

în care:

$V$  -vulnerabilitatea elementelor expuse riscului (valori de la **ZERO**: dacă alunecarea nu influențează elemental respectiv, la **UNU**: dacă elementul respectiv este complet distrus).

$PM$  - valoarea elementului expus riscului (exprimată în unități monetare)

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

**Tabel 2.1** Criterii de evaluare a coeficienților de influență  $K_a$   $KK_h$  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 $K_a$ $KK_h$ 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 breccii 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 nesemnificative, 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 înclinații 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 deformății 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). Coeficienți 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 stratelor 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 punji 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.	