

Spôsob hodnotenia stability svahov väčších územných celkov

JÁN VLČKO, PETER WAGNER, ZUZANA RYCHLÍKOVÁ

Katedra inžinierskej geológie PFUK, Zadunajská 15, 811 00 Bratislava

(1 obr. v texte)

Doručené 26. 4. 1979

Способ оценки устойчивости склонов больших территориальных единиц

Авторы статьи на территории перспективного развития города Зволена приводят один из возможных способов оценки устойчивости склонов больших территориальных единиц. Анализом данных о движениях склонов в прошлом и известном геологическо-географическом строении и аппликацией логическоматематической последовательности из теории информации авторы пришли к заключению, что делювиальные осадки мощности до 2,5 м залегающие на породах т. н. плиоценовогалечной формации при уклоне склонов более 10° , на данной территории подготовили оптимальные условия для возникновения или же активизацию движений склонов.

Method to slope stability estimation in case of larger territorial units

The paper suggests one of possible procedures for estimation of slope stability of larger territorial units. The urbanistic development area of Zvolen town is presented as a model solution. The backward analysis of slope movement data and of known properties of the geological and geographical environment used-logical mathematic technique of information theory. According to results, delluvial sediments up to 2.5 m thickness over the so called Pliocene gravel formation in places where slope gradients overpass 10° , create favourable conditions for generation and activation of slope movements.

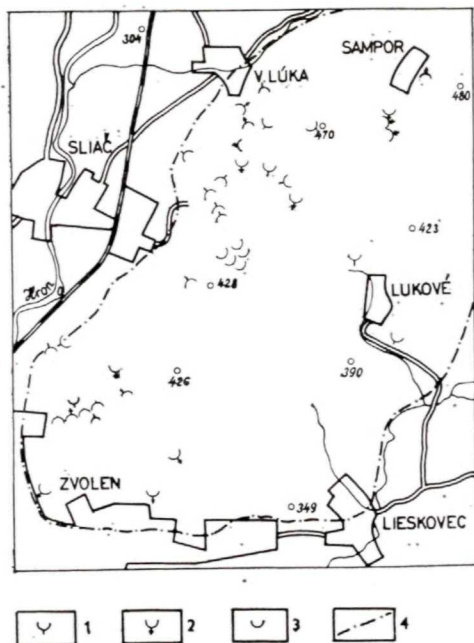
V súvislosti so zvyšujúcimi sa požiadavkami stavebníctva na inžinierskogeologický prieskum vystupujú do popredia aj otázky posudzovania a prognózovania stability územia. S touto problematikou sa možno stretnúť takmer pri všetkých druhoch investičnej činnosti,

pričom v mnohých prípadoch má práve posúdenie stability svahov prvoradá význam a v konečnom dôsledku rozhoduje o technickej realizácii uvažovaného stavebného diela. Vďaka dlhodobému plánovaniu rozvoja vybraných urbanizačných centier sa posudzovanie a prognózy stability územia stali neoddeliteľnou súčasťou každej urbanistickej štúdie.

Tento problém vystupuje do popredia aj pri komplexnom inžinierskogeologickom výskume budúcej pohronskej urbanizačnej oblasti, ktorá sa bude formovať na úrovni metropolitného regiónu so sídelnými jadrami Banská Bystrica—Zvolen.

Tažiskovou zónou rozvoja mesta Zvolen je územie medzi súčasným severným okrajom mesta Zvolen a Sliachom—kúpeľmi (obr. 1). Otázky posudzovania stability tohto územia a jej prognózy majú odôvodnený význam už aj vzhľadom na viacero príkladov porušenia stability svahov v nedávnej minulosti, z ktorých mnohé mali veľké negatívne hospodárske dôsledky. Na ilustráciu spomenieme svahový pohyb, ktorý v októbri 1974 na východnom okraji mesta Zvolen priamo ohrozil objekt novostavby pavilónu nemocnice. Sanácia zosunu a s ňou súvisiace oneskorené odovzdanie objektu si vyžiadali neúmerne zvýšenie finančných nákladov (Š. Kuchár 1976). Svahové pohyby spôsobili komplikácie aj pri výstavbe sídliska Zlatý Potok v severnej časti Zvo-

lena. Nevhodné stavebné zásahy porušili stabilitu územia, čo si vyžiadalo zmenu harmonogramu výstavby sídliska a dvojročné oneskorenie jeho odovzdania. Z toho vyplynuli veľké finčné náklady,



Obr. 1. Rozšírenie svahových deformácií v študovanom území. Vysvetlivky: 1 — zosuny potenciálne, 2 — zosuny aktívne, 3 — plazenie, 4 — ohraničenie študovaneho územia

Fig. 1. Extension of slope deformations in the studied area. Explanations: 1 — potential landslides, 2 — active landslides, 3 — creep, 4 — studied area

nehovoriac o nepriaznivých dôsledkoch pre obyvateľov (J. Húsenica 1974). Finančne by sa dali vyčísliť aj dôsledky ďalších svahových pohybov, ktoré znehodnotili

poľnohospodárske pozemky, pasienky a lesné porasty.

Význam štúdia stability svahov v danom území je teda odôvodnený sumou škôd a zbytočných nákladov spôsobených nedostatočnou pozornosťou, ktorá sa otázkam stability venovala. Súčasne treba zdôrazniť nevyhnutnosť študovať túto problematiku najmä v súvislosti s nadchádzajúcou plánovanou intenzifikáciou stavebných zásahov, ktorá môže v daných prírodných pomeroch vyvolať novú aktivizáciu pohybov.

Metodický postup

Tento metodický postup neumožňuje riešiť otázky stability svahov, ale v kooperácii so základnými prieskumnými a výskumnými metódami dovoľuje lepšie pochopiť skúmaný jav, detailne rozpoznať jeho elementárne časti, ich vzájomné vzťahy a rekonštrukciou podmienok vzniku svahových pohybov umožňuje ich vedecky prognózovať v analogických prírodných pomeroch.

Pri štúdiu svahových pohybov možno uplatniť dva rozdielne prístupy:

a) študovaný jav (svahová deformácia) sa vyčlení ako samostatný individualizovaný systém,

b) svah (prostredie procesu) sa vyčlení ako samostatný systém a svahový pohyb ako jeho súčasť — subsystém.

V prvom prípade ide o dokonalé spoznanie geologického javu, jeho prvkov a štruktúry, v druhom sa skúmajú interakcie bádaného javu s okolitými systémami.

Základné podmienky vzniku svahových pohybov určuje zložitý komplex rozmanitých zložiek systému geologicko-geografického prostredia. Z nich majú rozhodujúci význam geologické, hydrogeologické a geomorfologické pomery, ako aj niektoré zložky nadradeného systému prírodného prostredia (klimatické pomery) a antropogénneho systému.

Tieto zložky, resp. samotné pomery nevyvolávajú svahové pohyby, ale v konkrétnom prostredí „vytvárajú pre ich rozvoj priaznivé alebo menej priaznivé podmienky, čím vlastne formujú ten najzákladnejší rámec pre pôsobenie a uplatňovanie sa rôznych faktorov, spôsobujúcich svahové pohyby“ (M. Matula 1977).

Hybnou silou svahových pohybov sa stávajú tzv. zosuvné faktory, t. j. aktívne zložky systémov, s ktorými je systém svahu v interakcii. Na stabilitu svahu súčasne pôsobí množstvo faktorov iných systémov s rozličnou intenzitou. Niektoré sa časom menia, ba až ustávajú, iné pôsobia epizodicky, nárazovo. Tie, ktoré sa v istom časovom úseku uplatnia najvýraznejšie, sa stávajú bezprostrednou príčinou svahového pohybu.

Zo zamerania regionálneho výskumu vychodí postup analýzy prí-

čin vzniku svahových pohybov. Zatiaľ čo pri štúdiu konkrétneho svahového pohybu sú známe všetky podmienky, faktory a príčiny jeho vzniku, pri regionálnom výskume je známy iba výsledok pôsobenia faktorov (svahová deformácia). Cieľom štúdia je určiť tú zložku prírodného prostredia, ktorá svojimi vlastnosťami vyvoláva vznik, resp. aktivizáciu svahových pohybov a ktorá má pri prognóznom posudzovaní stability určujúci význam.

Zo študovaného územia sú dostatočne známe podkladové materiály o základných zložkách geologicko-geografického prostredia (Mapa inžinierskogeologických pomerov Zvolenskej kotliny 1 : 25 000; M. Matula et al. 1960; Mapa hydrogeologických pomerov Zvolenskej kotliny 1 : 25 000; M. Matula, I. Modlitba 1960; Mapa sklonitosti územia zostavená pre túto prácu) a svahové deformácie ako konečný výsledok pôsobenia rozličných faktorov v už známych prírodných pomeroch (Mapa rozšírenia svahových deformácií vo Zvolenskej kotline a priľahlých územiach; M. Dzuriak 1978, doplnená výsledkami mapovania autorov v r. 1978). Faktory, ktoré jednotlivé svahové pohyby spôsobili, nemožno vyjadriť kvantitatívne ani graficky. Vzhľadom na modelové riešenie (rozsah študovaného územia je okolo 27 km²) budeme intenzitu ich pôsobenia pokladať za približne rovnakú; podstatný rozdiel je iba v rozličnej schopnosti (ná-

chylnosti) prostredia reagovať na ich pôsobenie. Práve túto schopnosť, resp. náchylnosť jednotlivých zložiek prírodného prostredia spôsobovať svahové pohyby, sa usilujeme vyjadriť pomocou logicko-matematického postupu z teórie informácií.

Matematická formulácia postupu analýzy

Vlastnú analýzu sme vykonali podľa postupu G. P. Postojeva (1976) pri zostavovaní mapy prognóz zo vzniku a aktivizácie zosunov v jednom z rajónov južného pobrežia Krymu.

Počet základných zložiek systému prírodného prostredia vytvárajúcich podmienky na vznik svahových pohybov označme symbolom m . V našom prípade vychádzame z hodnoty $m = 3$ (geologické, hydrogeologické a geomorfologické pomery). Každú z nich rozdelíme na s_j tried, kde $j = 1, \dots, n$. Každá trieda predstavuje bližšiu charakteristiku uvažovaných zložiek (litologický charakter hornín, zvodnenosť horninových komplexov a sklonitosť svahov). Pravdepodobnosť vzniku svahových pohybov v rámci jednotlivých tried označme p_{ij} , kde $i = 1, \dots, s_j$ a $j = 1, \dots, n$. Pravdepodobnosť p_{ij} je diskrétného typu a definujeme ju ako pomer plochy svahových deformácií P_{sij} k celkovej ploche príslušnej triedy P_i , teda

$$p_{ij} = \frac{P_{sd}}{P_t} \quad [1]$$

Hustota pravdepodobnosti (p_{ij}) predstavuje pomer pravdepodobnosti vzniku svahových deformácií v istej triede k sume pravdepodobností v rámci celej skúmanej zložky, teda

$$(p_{ij}) = \frac{p_{ij}}{\sum_{i=1}^{s_j} p_{ij}} \quad [2]$$

Už hodnoty p_{ij} , (p_{ij}) majú pre našu analýzu veľký význam, pretože dávajú možnosť porovnávať pravdepodobnosť vzniku svahových deformácií v jednotlivých triedach. Nás zaujíma, ktorá zo zložiek systému prírodného prostredia je najnáchyľnejšia vyvolať svahové pohyby, t. j. má pri prognóznom posudzovaní stability územia najväčšiu dôležitosť. Na určenie stavu prostredia použijeme definíciu entropie, ktorá predstavuje mieru priblíženia k normálnemu rozdeleniu pravdepodobností p_{ij} . Veľké hodnoty entropie vyjadrujú vysoký stupeň priblíženia k normálnemu rozdeleniu (R. C. Rao 1978). Matematicky entropiu vyjadruje vzťah

$$H_j = - \sum_{i=1}^{s_j} (p_{ij}) \log_2 (p_{ij}) \quad [3]$$

pre $j = 1, \dots, n$

Maximálnu hodnotu má entropia pre $p_{ij} = 1$. V našom prípade

$$H_{j \max} = \log_2 s_i \quad [4]$$

pre $j = 1, \dots, n$

Rozdiel $H_{j \max}$ a H_j udáva informáciu o nerovnorodosti prostredia. Čím je tento rozdiel väčší, tým je aj pravdepodobnosť vzniku svahových pohybov väčšia. A. B. Vistelius (1964) definoval pomocou $H_{j \max}$ a H_j tzv. informačný koeficient ako

$$I_j = \frac{H_{j \max} - H_j}{H_{j \max}} \quad [5]$$

pre $j = 1, \dots, n$

I_j nadobúda hodnotu v intervale (0,1). Čím sa hodnota I_j viac blíži k hodnote 1, tým je väčšia spätosť skúmanej zložky s možnosťou porušiť stabilitu daného systému. Súčin informačného koeficientu s priemernou pravdepodobnosťou je hľadaná váha

$$V_j = I_j \cdot p_j \quad [6]$$

pre $j = 1, \dots, n$

Tá vyjadruje náchylnosť skúmaných zložiek systému geologicko-geografického prostredia na vznik svahových pohybov, p_j zo súčinu [6] predstavuje reálne hodnoty pravdepodobností jednotlivých tried.

Príprava vstupných údajov

Uvažovaný postup sme spracovali na programovateľnom kalkulátore WANG 2200 B.

Vstupnými údajmi na výpočet boli spomenuté mapové podklady, od ktorých presnosti v nemalej

miere závisí aj výsledok analýzy. Na jej exaktnosť a objektívnosť vplývajú aj údaje o ploche svahových deformácií, ktoré sme prebrali zo záznamových listov o jednotlivých svahových deformáciách (neboli zamerané geodeticky).

Geologické pomery záujmového územia sme bližšie charakterizovali podľa typu predkvartérneho podkladu a jemu prislúchajúcej mocnosti deluviálneho pokryvu (do 1 m; 1—2,5 m; 2,5—5 m).

Z orografickej stránky patrí územie do juhozápadnej časti Zvolenskej vrchovin. Dosahuje nadmorskú výšku až 480 m n. m. Prevažnú časť územia budujú kvartérne deluviálne sedimenty s mocnosťou 2—5 m, ojedinele s väčšou mocnosťou ako 10 m (severne od Zvolena). Tieto sedimenty v závislosti od charakteru predkvartérneho podkladu vytvárajú pomerne pestrú škálu hornín, a to v rozpätí od ílovitej, resp. ílovito-piesčitej hliny s ojedinelými úlomkami hornín (do 10 %) až po typické svahoviny reprezentované piesčitou hlinou s vysokým obsahom úlomkov (40 %) prechádzajúcich do hlinito-kamenitej sutiny.

Z ostatných sedimentov kvartéru sú v záujmovom území zastúpené fluviálne náplavy horských potokov mocné do 5 m. Malú rozlohu zaberá kompaktný pórovitý až dutinkovitý, veľmi rozpukaný a po puklinách silne zvetraný travertín (vrchný pliocén — spodný holocén).

Z hľadiska študovanej problematiky sú z hornín predkvartérneho podkladu najvýznamnejšie sedimenty tzv. štrkovej pliocénnej formácie (v zmysle A. Nemčoka 1954 in M. Matula et al. 1960), ktorej názov necharakterizuje v plnom rozsahu litologicko-petrografické zloženie sedimentov tohto komplexu. Podľa našich novších výskumov sú tu zastúpené laterálne aj vertikálne mocné polohy súdržných zemín (povahy prachového až piesčitého ílu), ktoré sa striedajú so

štrkom s prachovito-piesčitou výplňou. V území výrazne prevládajú súdržné sedimenty nad nesúdržnými.

Medzi najstaršie horniny možno zaradiť spodnotriasové kremence, kremité pieskovce a paleozoické biotitické granodiority, ktoré zaberajú iba nepatrnú plochu záujmového územia.

Hydrogeologické pomery sme vyjadрили typom zvodnenia jednotlivých geneticko-faciálnych komplexov (účinnosť vody sa zvyčajne chápe ako jeden z rozhodujúcich faktorov pri vzniku svahových pohybov, v našom chápaní posudzujeme hydrogeologické pomery komplexne ako súčasť statického systému geologicko-geografického prostredia).

Geomorfologické pomery sme charakterizovali pomocou sklonitosti územia. Vzhľadom na účel predkladanej práce pokladáme triedy sklonitosti 0—2°, 2—5°, 5—10° a viac ako 10° za vyhovujúce, pretože vychádzajú z potrieb urbanistického plánovania záujmovej oblasti.

Záver

Z výsledkov zhrnutých v tab. 1 vychádza:

- Z troch základných zložiek geologicko-geografického prostredia sú pri prognóznom posudzovaní stability územia najdôležitejšie geologické pomery vyjadrené litologickým charakterom hornín. Veľmi blízke hodnoty V_i všetkých troch základných zložiek poukazujú na ich rovnocennosť

Tab. 1

Zložky prírodného prostredia	Triedy	Celková plocha triedy P_i [km ²]	Plocha svahových deformácií P_{sd} [km ²]	Pravdepodobnosť p_{ij}	Hustota pravdepodobnosti p_{ij}	Funkcia	Entropia H_i	Maximálna entropia $H_{i,max}$	Priemerná pravdepodobnosť p_{ij}	Informačný koeficient I_i	Váha V_i
1. Geologické pomery	Litologický charakter hornín										
	1. miocénne vrstvitité tuhy s polohami tuftov a ilu (mocnosť deluvia do 1 m)	3,631	0,191	0,053	0,208	0,471					
	2. deluviálne sedimenty s mocnosťou do 2,5 m ležiace na miocénnych tufoch a tuftoch	11,031	0,44	0,0399	0,157	0,42					
	3. deluviálne sedimenty s mocnosťou 2,5–5 m ležiace na miocénnych tufoch a tuftoch	5,518	0,096	0,017	0,069	0,266					
	4. sedimenty pliocénnej štrkovej formácie (prevažne ilovito-práhovitité sedimenty) s mocnosťou deluviálneho pokryvu do 1 m	1,168	0,0095	0,008	0,032	0,16					
	5. deluviálne sedimenty s mocnosťou 2,5 m ležiace na pliocénnej štrkovej formácii	1,662	0,1795	0,108	0,428	0,524					
	6. deluviálne sedimenty s mocnosťou 2,5–5 m ležiace na pliocénnej štrkovej formácii	3,437	0,091	0,026	0,104	0,341					
	7. travertín	0,356	0	0	0	0					
	8. naplavy vodných tokov s mocnosťou do 5 m (štrk, piesok a hlina)	0,8	0	0	0	0					
	9. kremenec a kremenité pieskovce (trias)	0,356	0	0	0	0					
	10. biotitický granodiorit (paleozoikum)	0,162	0	0	0	0	2,183	3,322	0,025	0,343	0,0086
2. Hydro-geologické pomery	Podzemné vody										
	1. puklinové v kôre zvetrávania hornin skalného podkladu	15,375	0,427	0,028	0,214	0,476					
	2. v pliocénnej štrkovej formácii (výdatnosť prevažne 0,1–1 l s ⁻¹)	6,562	0,348	0,053	0,408	0,528					
	3. v deluviálnych sedimentoch (výdatnosť prevažne 0,1 l s ⁻¹)	4,718	0,232	0,049	0,378	0,530					
	4. naplavy vodných tokov	1,468	0	0	0	0	1,534	1,999	0,034	0,237	0,0076
3. Geomorfologické pomery	Sklonitosť územia										
	1. 0–2°	6,56	0,018	0,002	0,019	0,112					
	2. 2–5°	3,57	0,069	0,019	0,140	0,397					
	3. 5–10°	12,57	0,509	0,040	0,293	0,615					
	4. nad 10°	5,45	0,411	0,075	0,546	0,476	1,505	1,999	0,034	0,247	0,0085

a nedovoľujú nijakú z nich posudzovať ako menej dôležitú.

- Relatívne najväčšiu späťosť geologických pomerov so vznikom svahových pohybov potvrdzuje aj výrazne najvyššia hodnota informačného koeficientu I_j .
- Z praktického hľadiska sú dôležité hodnoty p_{ij} , ktoré vyjadrujú pravdepodobnosť vzniku svahových pohybov v rámci jednotlivých tried. Najvyššia hodnota p_{ij} charakterizuje triedu deluviálnych sedimentov s mocnosťou do 2,5 m ležiacich na horninách tzv. štrkovej pliocénnej formácie. Aj podľa hydrogeologických pomerov sa najväčšia pravdepodobnosť vzniku svahových pohybov viaže na sedimenty tejto formácie. V rámci geomorfologických pomerov je najväčšia pravdepodobnosť vzniku svahových pohybov v triede so sklonom viac ako 10° . Zaujímavá je skutočnosť, že aj v triede sklonitosti $0-2^\circ$ je pravdepodobnosť vzniku svahových pohybov väčšia ako 0, čo dokazuje možnosť vzniku pohybov typu plazenia v daných prírodných pomeroch.

Kombináciou tried s číselne najväčšou pravdepodobnosťou dochádzame k uzáveru, že deluviálne sedimenty mocné do 2,5 m ležiace na horninách tzv. pliocénnej štrkovej formácie pri sklone svahov viac ako 10° vytvárajú v danom území optimálne podmienky na vznik, resp. aktivizáciu svahových pohybov a

súčasne vyjadrujú zraniteľnosť prostredia pôsobením prírodných aj antropogénnych faktorov.

Na zvýšenie objektívnosti prognózneho hodnotenia môžu mať vplyv aj ďalšie faktory, ktoré sme pri analýze nebrali do úvahy:

- kvantifikácia aspoň jedného z významných zosunutovných faktorov (napr. množstvo zrážok);

- detailnejšie rozlíšenie tried v rámci geologických pomerov (zohľadňujúc fyzikálne a mechanické vlastnosti hornín, úložné pomery a i.);

- bližšia špecifikácia hydrogeologických pomerov pomocou iných kvantifikovateľných charakteristík (hlbka hladiny podzemnej vody, koeficient filtrácie).

Nevyhnutnosť prognózovať stabilitu svahov v rámci komplexných urbanizačných štúdií je podmienená predovšetkým ekonomicky. Tradičný prístup k riešeniu problematiky sa zakladá viac-menej na subjektívnom posudzovaní súčasnej aj prognózne stability. Ak sú východiskovým podkladom výsledky regionálneho výskumu, odporúčame postupovať podľa zásad uvedených v tomto príspevku. Napriek nedostatkom, na ktoré upozorňujeme, poskytuje táto metóda objektívnejšie údaje vychádzajúce z logicko-matematického spracovania vstupných údajov. Číselné vyjadrenie dôležitosti jednotlivých systémov geologicko-geografického prostredia a porovnanie pravdepodobnosti vzniku svahových pohybov v rámci

blížšie charakterizovaných tried týchto zložiek môže byť vhodným podkladom na zostavovanie prognóz-
nych máp stability svahov, resp. zraniteľnosti územia.

Recenzoval J. Malgot

LITERATÚRA

- Dzuriak, M. 1978: Zhodnotenie svahových pohybov vo Zvolenskej kotline a priľahlých územiach. [Diplomová práca.] Manuskript — Kat. inž. geol. PFUK, 67 s.
- Húsenica, J. 1974: Zosuvné územia na strednom Slovensku, negatívny prvok v krajine. Čs. ochr. prír., 14, s. 349—368.
- Kuchár, Š. et al. 1976: Zvolen — Sarvaška. [Realizačná správa z protihavarijných opatrení a sanácie zosunu.] Manuskript — IGHP Žilina.
- Matula, M. 1959: Inžinierskogeologické pomery v oblasti Zvolenskej kotliny. Manuskript — Kat. inž. geol. PFUK, 86 s.
- Matula, M. 1977: Regionálna inžinierska geológia Slovenska. [Vysokoškolské skriptum.] Bratislava, 154 s.
- Postojev, G. P. 1976: Ranžirovanie faktorov pri prognostnom kartirovaní opolzneopasnych teritorij. Vopr. inž. geodinamiki, Moskva, VSEGINGEO, s. 37—41.
- Rao, R. C. 1978: Lineární metody statistické indukce a jejich aplikace. Praha, Academia, 666 s.
- Vistelius, A. B. 1964: Zadači geochimii i informacionnyje mery. Sov. geol., 12, s. 5—26.

Method to slope stability estimation in case of larger territorial units

JÁN VLČKO, PETER WAGNER, ZUZANA RYCHLÍKOVÁ

The necessity to predict slope stabilities within the frame of complex urbanistic development studies is dictated by economic importance of these data. The traditional approach is a subjective judgment on the recent and predicted slope stability.

The paper emphasizes the possibility to objectivize the slope stability estimation starting from results of regional investigations. Quantified data about the extent of slope deformations and on known environmental components (geological, hydrogeological and geomorphological data) permit to predict in what natural conditions is the occurrence of slope movements the most probable and what environmental components play the most important role in slope stability. According to mathematical processing of input data, the method offers ob-

jective final results. A numerical expression of importance of individual components in a given geological and geographical environment and the comparison of probability values that slope movements may occur in terms of precisely characterized classes of probability, creates suitable basis for maps of predicted slope stability.

The urbanistic development area of Zvolen town is presented as a model solution for the suggested method. Results point to the possibility that deluvial sediments surpassing 2.5 m thickness over the Pliocene gravel formation create in case of slope gradients over 10° favourable conditions for activation of slope movements.

Preložil I. Varga