

Miloslav KOPECKÝ\*

## MOŽNOSTI PROGNOZOVANIA VZNIKU ZOSUVOV V SR NA ZÁKLADE ANALÝZY KLIMATICKÝCH A HYDROGEOLOGICKÝCH POMEROV

POSSIBILITIES OF PROGNOSIS OF ORIGIN OF LANDSLIDES IN SLOVAKIA BASED ON  
CLIMATIC AND HYDROGEOLOGIC CONDITIONS

### Abstrakt

V práci autor preukazuje, že vhodným zobrazením zrážkových údajov je možné analyzovať a prognózovať vznik zosuvov v určitých oblastiach Slovenska. Pre určovanie vzťahu medzi klimatickými podmienkami a kolísaním hladiny podzemnej vody vo svahoch sa osvedčila metóda súčtovej čiary efektívnych zrážok. Na základe poznania intenzity denných efektívnych zrážok a kolísania hladín podzemných vôd je možné prognózovať vzostup hladín podzemných vôd a ak sú k dispozícii merania aktivity zosuvu, aj predpovedať jeho ďalší vývoj.

### Abstract

By the paper it is demonstrated that by proper graphic representation of rainfall data it is possible to analyse and to predict occurrence of landslides in certain areas of Slovak Republic. For determining of relation between climatic conditions and ground water level in slopes a method of cumulative mass curve of effective precipitation has proved to be competent. Based on knowledge of intensity of daily effective precipitations and of variations of ground water table it is possible to predict ground water level rising and if measuring data on landslide activity are at disposal, it is possible to predict future development of any landslide.

**Key words:** landslide, rainfall, precipitation, climatic conditions, ground water.

### Úvod

Zosuvy predstavujú z národohospodárskeho hľadiska každej krajiny negatívny fenomén, pretože svojim výskytom spôsobujú veľké škody. Podľa údajov ministerstva životného prostredia SR sa na Slovensku len na prieskum a sanáciu zosuvných území vynaložené od roku 1970 cca 1,11 miliardy korún.

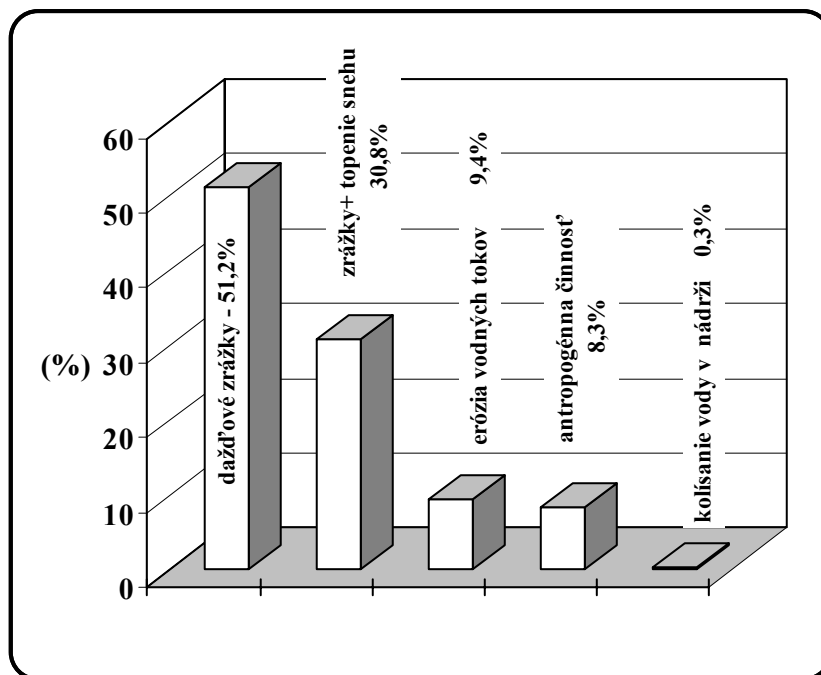
Aby bolo možné prognózovať vznik zosuvov na určitom území, resp. navrhnúť ich účinnú sanáciu je potrebné poznať a analyzovať faktory, ktoré ich vyvolávajú.

Podľa skúsenosti bezpochyby primárnym faktorom, podmieňujúcim vznik zosuvov na Slovensku, sú spravidla geologické pomery (Nemčok, 1982). Hydrogeologické a geomorfologické pomery sú iba odrazom tektonickej a litologickej variability.

Rozhodujúcim momentom pre vznik väčšiny zaznamenaných svahových deformácií na prírodných svahoch je však podzemná a povrchová voda (Marschalko et al. 2001), ktorej výskyt úzko súvisí s klimatickými pomermi danej oblasti. Toto plne potvrdili aj údaje z ankety o výskyte zosuvov a podmienkach ich vzniku, ktoré boli získané od obecných úradov (362 obcí) v SR (obr. 1).

---

\* RNDr., PhD., STU Bratislava, Stavebná fakulta, katedra Geotechniky, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail: kopecky@svf.stuba.sk



Obr. 1: Percentuálny podiel niektorých faktorov na vznik zosuvov na Slovensku (údaje z ankety na obecných úradoch).

Preto sa v predkladanej práci rozoberá predovšetkým analýza vplyvu klimatických a hydrogeologických pomerov na vznik zosuvov na území SR. Nezanedbateľnú úlohu pri vzniku zosuvov hrajú aj antropogénne faktory. Hodnotenie ich vplyvu je však zložité, pretože často vystupujú skryto, alebo v kombinácii s niektorým z uvedených prírodných faktorov (Vlčko et al. 1991).

## Analýza zrážok z hľadiska ich vplyvu na vznik a reaktiváciu zosuvov na Slovensku

Najjednoduchšou a zároveň najekonomickejšou metódou na hodnotenie vzniku alebo reaktivácie zosuvov, prípadne pre prognózy ich výskytu v určitom území, je analýza klimatických údajov. Jedná sa predovšetkým o zrážky, pretože stoja na začiatku uvedených procesov a často iné údaje pred vznikom svahových pohybov ani nie sú k dispozícii.

### Metódy grafického znázornenia zrážkových úhrnov

Najskôr sa hľadalo najvhodnejší spôsob grafického zobrazenia zrážkových úhrnov pre riešenie tejto úlohy.

### Kumulatívne zrážky – modifikované

Veľmi zaujímavé pre pomery Slovenska je použitie **kumulatívnej čiary rozdielov zrážkových úhrnov od ich dlhodobých priemerov**. Použitie tejto metódy uvádzajú vo svojich prácach Novotný (2000) a Goyke (1996). Je vhodná pre zobrazenie dlhodobého trendu zrážok (mesiace, roky). Stúpajúce časti krivky znázorňujú „vlhké“ obdobia a klesajúce „suché“ obdobia.

Určitú modifikáciu kumulatívnych zrážok použili aj Záruba, Mencl (1987). Zistili dobrú závislosť medzi dažd'ovými zrážkami a počtom zosuvov v útvaroch Českej kriedy pri použití 3 ročných postupných priemerov zrážok. Upravenú metódu používa Novotný (2000). Úprava spočíva v tom, že zo zrážkového úhrnu aktuálneho roku sa započítava 100%, z roku minulého 67% a z roku predminulého 33% - čím sa získavajú **3-ročné postupne rozptýlené zrážkové úhrny**.

### Metóda súčtovej čiary denných efektívnych zrážok

Na analýzu medzi kolísaním hladiny podzemných vôd a intenzitou zrážok, resp. množstvom vody uvoľneným z topiaceho sa snehu bola zavedená metóda súčtovej čiary denných efektívnych zrážok.

Pod pojmom efektívne zrážky rozumieme maximálne potenciálne množstvo vody, ktoré môže infiltrovať pod povrch terénu. Zanedbáva sa tak časť zrážok, ktoré odtečie povrchovo, alebo sa zachytí na rastlinstve.

Efektívne zrážky získame, keď od spadnutých zrážok odčítame hodnoty evapotranspirácie:

$$Z_{ef} = Z - ET_{pot} \text{ [mm]}, \quad (1)$$

kde:

$Z_{ef}$  je efektívne zrážky,

$Z$  je spadnuté zrážky,

$ET_{pot}$  je potenciálny výpar.

Denné hodnoty potenciálneho výparu  $ET_{pot}$  boli počítané podľa vzťahu Haudeho (in Hölting, 1996):

$$ET_{pot} = x \cdot P_{14} \left( 1 - \frac{F_{14}}{100} \right), \quad (2)$$

kde:

$ET_{pot}$  je potenciálna evapotranspirácia (mm.deň<sup>-1</sup>),

$x$  je mesačný koeficient - hodnoty od 0,26-0,36 (mm hPa<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>),

$F_{14}$  je relatívna vlhkosť vzduchu o 14:00 hod (%),

$P_{14}$  je tlak pary zodpovedajúci teplote povrchu vody o 14:00 hod (mbar).

$$P_{14} = 4,525 \cdot 10^{\frac{7,4475 \cdot T}{234,67 + T}},$$

kde:

$T$  je teplota vzduchu o 14:00 hod (°C).

Zo vzťahu (1) vyplýva, že efektívne zrážky v bezzrážkových obdobiach majú v dôsledku výparu zápornú hodnotu. V tomto období nedochádza teda k infiltrácii zrážok do horninového prostredia, ale naopak uvoľňuje sa z neho vlhkosť.

Pre znázornenie období, kedy dochádza buď k infiltrácii zrážok do horninového prostredia, alebo k uvoľňovaniu vlhkosti z neho, zaviedol som už spomínanú metódu súčtovej čiary denných efektívnych zrážok (kladných aj záporných hodnôt). Stúpajúce úseky nám vyjadrujú obdobie s infiltráciou zrážok, klesajúce zase uvoľňovanie vlhkosti z prostredia. Vodorovné úseky čiary nám hovoria o vyrovnanej bilancii medzi zrážkami a výparom, efektívne zrážky sú nulové.

Priebeh takto zostavenej kumulatívnej čiary vcelku dobre odráža kolísanie HPV, čo dokazuje obr. 2.

Získať hodnoty efektívnych zrážok v letnom období je možné pomerne jednoducho podľa vzťahu (1). Oveľa komplikovanejšie je to však v zimnom období. V bezzrážkovom studenom období, kedy sa denné teploty vzduchu pohybujú okolo 0°C a menej, môžeme počítať s výparom z povrchu snehu. Podľa Rachnera (1987) denný výpar z dočasnej zimnej snehovej prikrývky sa odhaduje v januári na 0,1 mm a v marci na 0,2 mm. Spadnuté zrážky vo forme snehu sa však nezapočítavajú ako efektívne, ale až ich ekvivalent v čase topenia.

Zistiť aké množstvo vody v mm sa uvoľní z topiaceho sa snehu je možné podľa vzťahu:

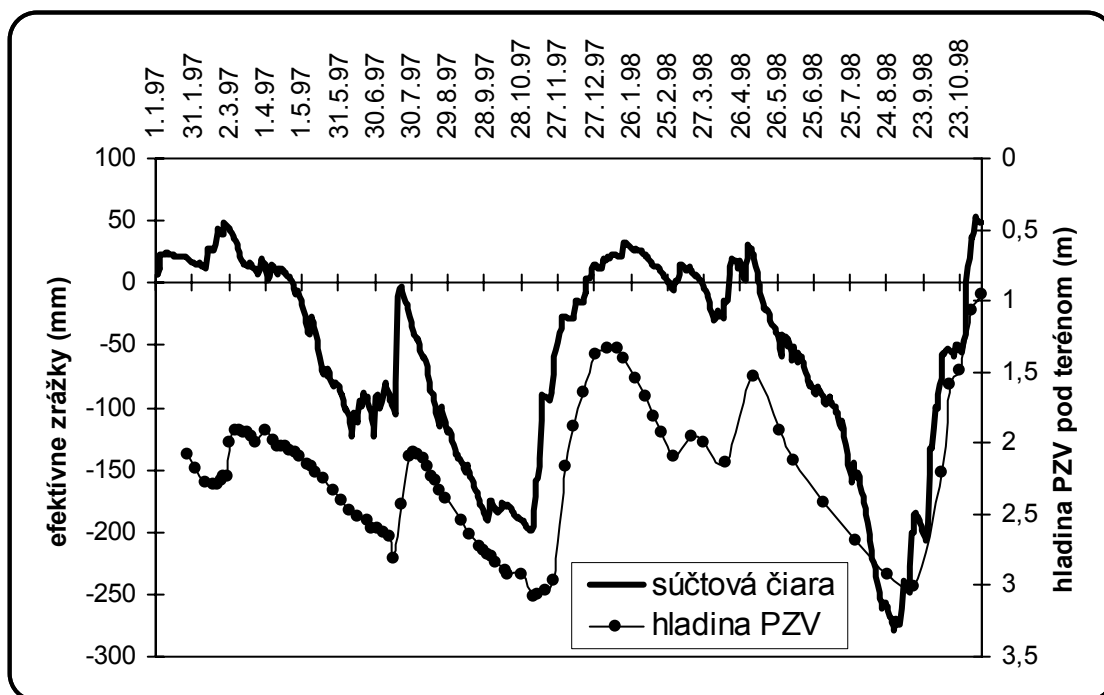
$$h = h_s \times s \text{ [mm]}, \quad (3)$$

kde:

$h_s$  je výška snehovej pokrývky [mm],

$s$  je vodná hodnota snehovej pokrývky – VHSP.

K tomu je však potrebné poznať hrúbku snehovej pokrývky a vodnú hodnotu snehovej pokrývky (VHSP). VHSP sa však na väčšine klimatických staníc nemeria denne, ale iba 1x za týždeň. Preto bolo nutné získané množstvo efektívnych zrážok z topiaceho snehu rovnomerne rozdeliť podľa počtu dní medzi jednotlivými meraniami VHSP. Ešte komplikovanejšie bolo určovanie efektívnych zrážok, kedy dochádzalo k topeniu snehu a súčasne k dažďovým zrážkam a samozrejme bolo potrebné počítať aj s výparom.



Obr. 2: Závislosť medzi kolísaním hladiny podzemnej vody a súčtovou čiarou efektívnych zrážok

Iba s takto komplexne vypočítanými dennými efektívnymi zrážkami je potom možné zostrojiť ich **súčtovú (kumulatívnu) čiaru** využiť ju pri analýze vplyvu klimatických pomerov na kolísanie HPV a následne na stabilitu svahu.

### Možnosti využitia rôznych grafických zobrazení dlhodobých zrážkových úhrnov na analýzu a prognózu vzniku zosuvov na Slovensku

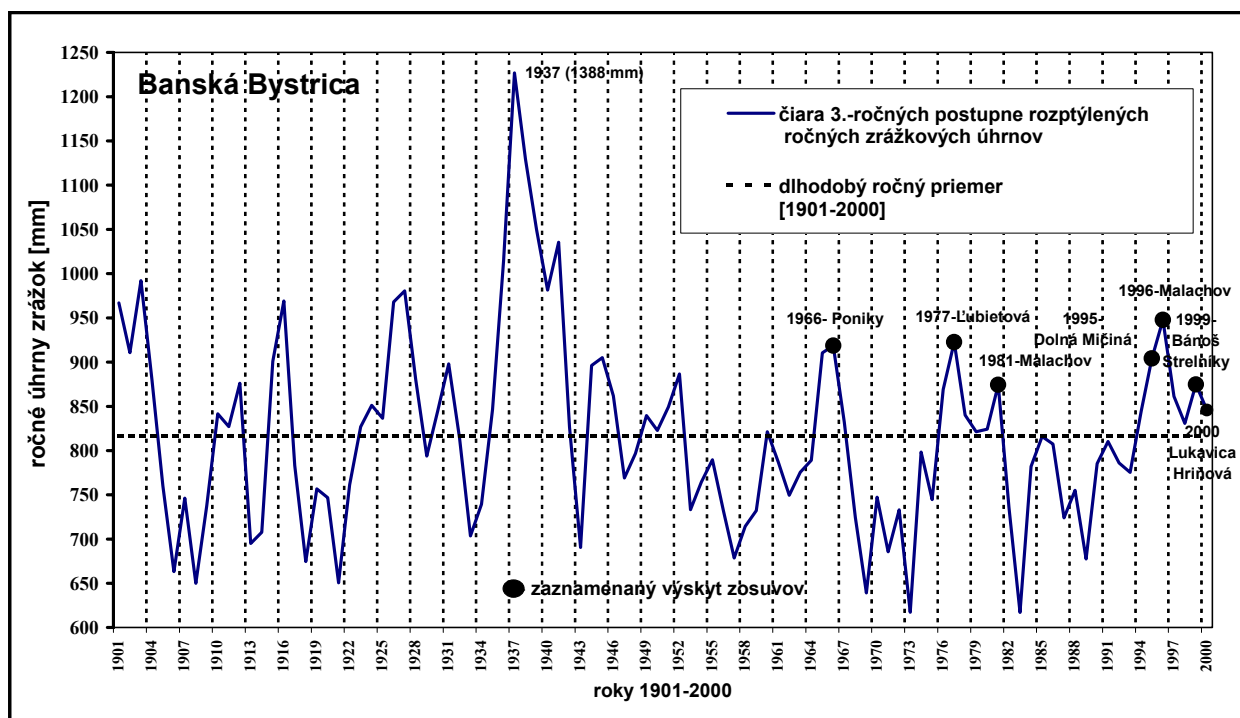
V kapitole „Metódy grafického znázornenia zrážkových úhrnov“ boli opísané metódy grafického znázornenia zrážok v takej forme, aby ich bolo možné priamo použiť na analýzu ich vplyvu na vznik zosuvov. Prvotným podkladom pre takúto analýzu bol časovo zaznamenaný výskyt zosuvov na Slovensku podľa rôznych zdrojov. V tých oblastiach, kde bol najvyšší počet záznamov o vzniknutých svahových pohyboch, sa z údajov vybranej zrážkomernej stanice analyzoval vzťah ich vzniku ku spadnutým zrážkam.

Ako najvhodnejšia forma zobrazenia ročných úhrnov zrážok sa javí buď metóda 3-ročných postupne rozptýlených zrážkových úhrnov alebo kumulatívna (súčtová) čiara rozdielov zrážkových úhrnov od ich dlhodobých priemerov.

#### 3-ročné postupne rozptýlené zrážkové úhrny

Na základe realizovaných analýz, možno konštatovať, že zobrazenie ročných úhrnov zrážok vo forme čiary 3-ročných postupne rozptýlených zrážkových úhrnov pomerne dobre odráža vzťah medzi výskytom zosuvov a úsekmi čiary nad dlhoročným zrážkovým priemerom.

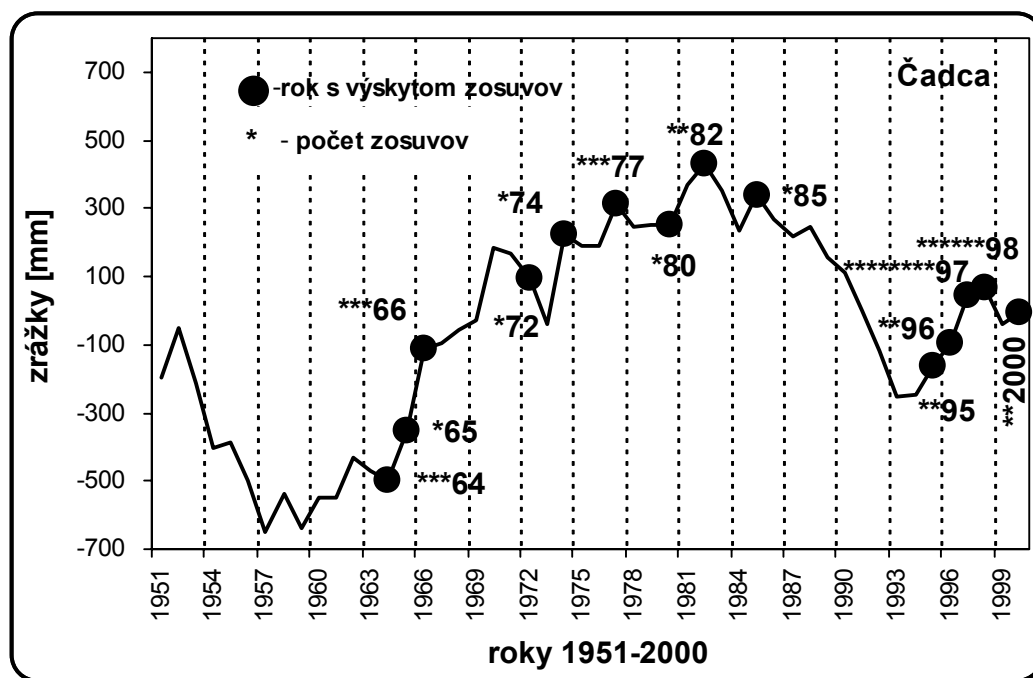
Veľmi vhodné je použitie tejto metódy najmä v územiach s pomerne dlhším nasycovaním horninového prostredia (obr. 3). V územiach, tvorených horninami vo flyšovom vývoji, môže viesť použitie tejto metódy k istým nepresnostiam. Treba však povedať, že táto metóda nám umožňuje vysvetliť vznik zosuvov predovšetkým v minulom období. Len veľmi orientačne je možné na jej základe vypracovať prognózu vývoja územia s ohľadom na výskyt zosuvov.



Obr. 3: 3-ročné postupne rozptýlené úhrny zo stanice Banská Bystrica. Obdobia s výskytom zosuvov sa nachádzajú nad čiarou dlhodobého ročného priemeru zrážok

**Súčtová čiara rozdielov zrážkových úhrnov od ich dlhodobých priemerov**

Lepšie využitie pre uvedenú prognózu poskytuje metóda kumulatívnej čiary rozdielov ročných zrážkových úhrnov od ich dlhodobých priemerov. Úhrny zrážok vyjadrené v takejto podobe vyjadrujú svoj trend v klesajúcich a stúpajúcich úsekoch. Ukázalo sa, že najviac zosuvov sa objavuje práve počas trvania stúpajúcich úsekov (obr. 4).



Obr. 4: Výskyt zosuvov viazaný na stúpajúce časti súčtovej čiary rozdielov ročných zrážkových úhrnov od ich dlhodobých priemerov

Takto získanú kumulatívnu čiaru je možné aproximovať určitou funkciou (napr. polynómom n-stupňa) a matematicky odhadnúť ďalší vývoj čiary.

Je potrebné zdôrazniť, že pri takom hodnotení vplyvu zrážok na vznik zosuvov, pri ktorých máme k dispozícii iba údaje o spadnutých zrážkach za určité obdobie, sa zanedbáva niekoľko významných skutočností a to predovšetkým evapotranspirácia a topenie snehu. Okrem týchto prírodných faktorov má na vzniku zosuvov významný podiel činnosť človeka. Je však veľmi ťažké odfiltrovať z údajov o vzniku zosuvov tie, ktoré zapríčinil človek, pretože často ide o jeho skrytú činnosť, prípadne kombináciu prírodných a antropogénnych faktorov.

Aj napriek tomu je možné uvedené metódy úspešne používať pre hodnotenie vplyvu zrážok na vznik zosuvov pre väčšie regióny a pri použití kumulatívnej čiary ročných rozdielov zrážkových úhrnov od ich dlhodobých priemerov aj pre prognózu ich vzniku.

### Hodnotenie vplyvu krátkodobých intenzívnych zrážkových období na vznik a reaktiváciu zosuvov v SR

Z pozorovaní podmienok pri vzniku zosuvov vyplýva, že veľmi často rozhodujúcim (spúšťacím) faktorom je pomerne krátkodobý proces intenzívnej infiltrácie zrážkových vôd pod povrch terénu. Infiltrovaná voda potom čiastočne doplní vlhkosť v zóne aerácie a po jej nasýtení môže vyvolať vzostup hladiny podzemných vôd. Zdrojom môžu byť spomínané dažďové zrážky, ale veľmi dôležitý je aj proces topenia sa snehu, predovšetkým pri jeho rýchlom priebehu.

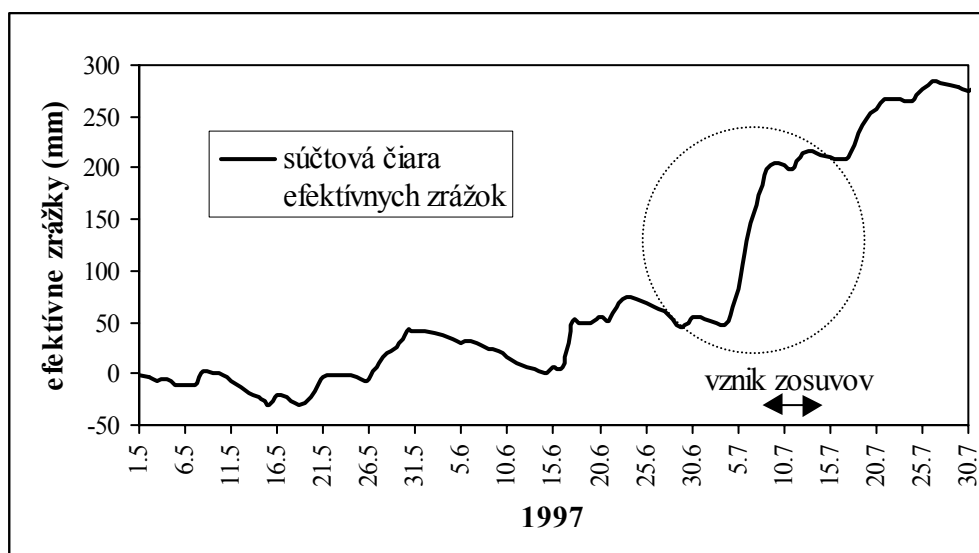
Na základe dostupných údajov (anketa, SHMÚ) bolo poukázané na regionálny vplyv pomerne krátkodobých klimatických javov na vznik zosuvov:

1. intenzívne zrážky v júli 1997, júli 1999 a iných letných obdobiach,
2. topenie snehu a zrážky v marci a apríli 2000.

Pri uvedenej analýze bola použitá **metóda súčtovej čiary denných efektívnych zrážok**.

Letné extrémne zrážky (júl 1997, 1999, 2001) vyvolali vznik plytkých svahových pohybov typu zosúvania a tečenia. Dochádzalo k nasýteniu predovšetkým deluviálnych sedimentov nad hladinou podzemnej vody (zóna aerácie). Iba v prípade už existujúcich trhlín, sa mohla zrážková voda dostávať priamo na šmykové plochy a reaktivovať hlbšie zosuvy. Výpar pri takýchto zrážkach nemá takú významnú úlohu. Väčší význam má stupeň nasýtenia zóny aerácie pred zrážkami (Klementová et al. 1999) a povrchový odtok spadnutých zrážok.

Ak znázorníme denné efektívne zrážky formou súčtovej čiary, na vznik takýchto zosuvov nás môže upozorniť jej tvar so strmým nástupom v podobe písmena „J“ (obr. 5).



Obr. 5: Súčtová čiara efektívnych zrážok zo stanice Čadca

Podrobnou analýzou sa ukázalo, že v oblastiach tvorených flyšovými horninami, vznikajú tieto plytké zosuvy, **ak 5 dní pred efektívnymi zrážkami, ktorých úhrn je vyšší ako 50 mm za deň, je súčet efektívnych zrážok vyšší ako 45 mm.** V obci Beňuš, ktorá sa nenachádza vo flyši, vznikli zosuvy podobného charakteru v júli 1999. Tu spadlo po 5 dňových efektívnych zrážkach (sumárny úhrn – 58,5 mm) za 1 deň 91,2 mm efektívnych zrážok. Zdá sa teda, že ak sumárny úhrn efektívnych zrážok za 5 dní je vyšší ako 50 mm (povrchová zóna je už nasýtená) a nasledujú zrážky, kedy za 1 deň spadne viac ako 50 mm, je veľká pravdepodobnosť vzniku plytkých zosuvov aj v iných oblastiach.

Všeobecne je známe, že topenie snehu a dažďové zrážky v mimovegetačnom období hrajú významnú úlohu pri vzniku zosuvov. Proces topenia snehu sa kvantifikoval tak, že bolo počítané s dennými množstvami uvoľnenej vody (v mm vodného stĺpca – vzťah 3). S týmito hodnotami je potom v čase topenia možné počítať ako so spadnutými efektívnymi zrážkami. To znamená, že na rozdiel od „klasického“ hodnotenia, účinok snehových zrážok je započítavaný nie v čase ich spadnutia, ale v až v čase topenia a to podľa vodnej hodnoty snehovej pokrývky. Vplyv vody z topiacej sa snehovej pokrývky na vznik zosuvov bol preukázaný na viacerých územiach Slovenska. Veľmi veľa zosuvov na jar 2000 (resp. jar 1999) vzniklo na území SR v dôsledku toho, že takmer ihneď po roztopení snehovej pokrývky došlo k intenzívnym dažďovým zrážkam. Podľa dostupných údajov mesačné zrážky v tomto období dosiahli 220 až 300% dlhodobého normálu. Keď však k tomu pripočítame vodu, uvoľnenú z topiaceho sa snehu môže to byť až do 400%. Za takýchto podmienok vzniknuté zosuvy sa líšia od zosuvov vzniknutých počas intenzívnych letných zrážok, majú charakter zosúvania po hlbších šmykových plochách a vznikajú v územiach už porušených zosuvmi.

Z uvedeného vyplýva, že pri hodnotení vzniku zosuvov, ktoré vznikajú počas jarného topenia snehu, nie je možné použiť metódy opísané v kap. „Možnosti využitia rôznych grafických zobrazení dlhodobých zrážkových úhrnov na analýzu a prognózu vzniku zosuvov na Slovensku“, ale je potrebné počítať predovšetkým s dennými efektívnymi zrážkami zahŕňajúcimi vodu z topiaceho snehu.

### **Podrobná analýza klimatických a hydrogeologických pomerov na modelovej zosuvnej lokalite Bánoš**

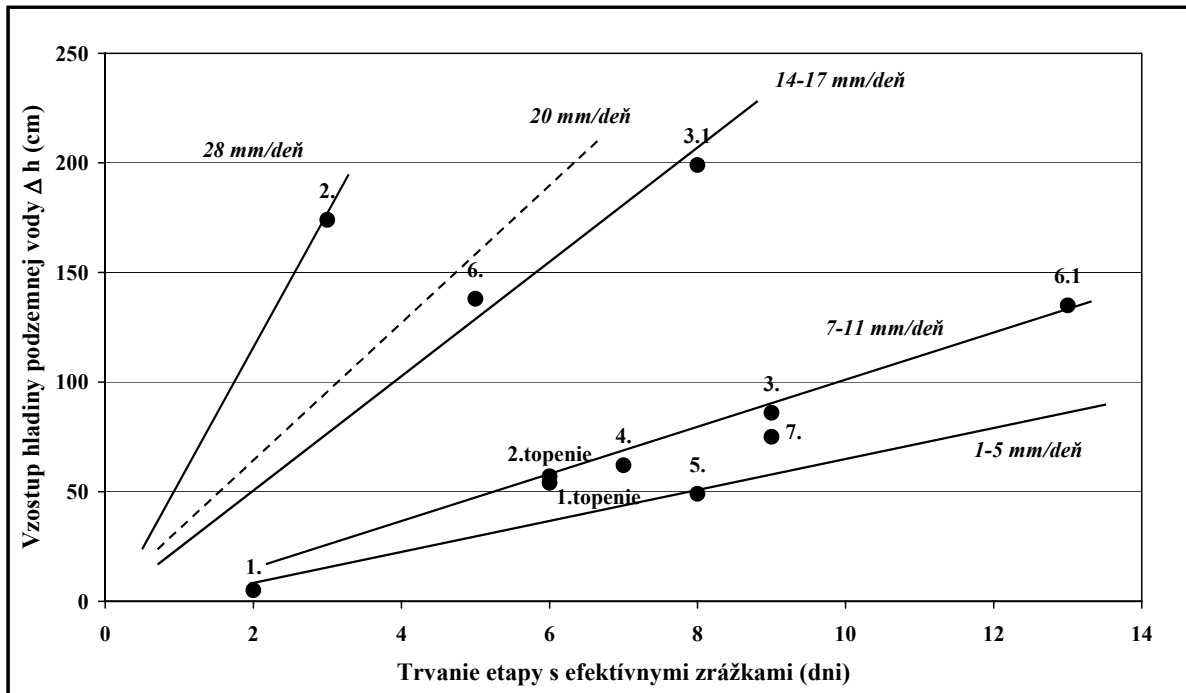
Zosuv vznikol na jar roku 1999 na južných svahoch kóty Bánoš pri Banskej Bystrici na strednom Slovensku v terciérnych sedimentoch. Analyzoval sa tu vplyv tzv. efektívnych dažďových zrážok a vody z topiaceho snehu na kolísanie hladín podzemných vôd. Pre túto analýzu boli využité merania hladín podzemných vôd v neďalekom území, pred vznikom zosuvu.

Preukázalo sa, že navrhnutou metódou súčtovej čiary efektívnych zrážok je možné pomerne dobre korelovať vzťah efektívnych zrážok a kolísania hladiny podzemných vôd (obr. 2). Ak sú z ľubovoľnej lokality k dispozícii merania hladín podzemných vôd, potom je možné na základe získania údajov o vzostupe hladín podzemných vôd a intenzity efektívnych zrážok zostrojiť korelačný graf (obr. 6), z ktorého na základe klimatických údajov môžeme namodelovať priebeh kolísania hladín podzemných vôd. Takto sa dajú potom určiť aj tlakové pomery vo svahu a tak zistiť, za akých podmienok došlo k porušeniu stability svahu.

Výpočtami stability na lokalite Bánoš sa preukázalo, že maximálna hodnota hladiny podzemnej vody, pri ktorej došlo k vzniku zosuvu je takmer zhodná s hladinou podzemnej vody, ktorú sa namodelovala podľa získaných hodnôt efektívnych zrážok.

Treba zdôrazniť, že presnosť korelačných grafov závisí od intervalu získavania potrebných dát. Platí to predovšetkým pri určovaní intenzity efektívnych zrážok.

Ďalej je potrebné uviesť, že využitie metódy súčtovej čiary je možné predovšetkým pre plytkšie horizonty hladín podzemných vôd, kde hladina reaguje s relatívne malým časovým oneskorením na intenzitu efektívnych zrážok. Pri hlbších horizontoch hladín podzemných vôd je potom potrebné zistiť vplyv ďalších činiteľov, ktoré transformujú prichádzajúci impulz z efektívnych zrážok.



Obr. 6: Závislosť vzostupu hladiny podzemnej vody od trvania etapy s efektívnymi zrážkami a od ich intenzity

## Záver

V článku bolo preukázané, že vhodným zobrazením zrážkových údajov je možné analyzovať a prognózovať vznik zosuvov. Metódy využívajúce dlhodobé zrážkové priemery umožňujú vysvetliť vznik zosuvov predovšetkým v minulom období. Len veľmi orientačne je možné na ich základe vypracovať prognózu vývoja územia s ohľadom na výskyt zosuvov.

Ako nová je prezentovaná predovšetkým metóda súčtovej čiary denných efektívnych zrážok, ktorá je vhodná na analýzu možnosti vzniku zosuvov pri intenzívnych zrážkach, prípadne topení snehu. Dôležitý je aj návrh korelačného grafu, z ktorého na základe poznania intenzity efektívnych zrážok je možné určiť vzostup hladín podzemných vôd a ak sú k dispozícii aj merania aktivity zosuvu (inklinometrické, geodetické), je možné predpovedať ďalší vývoj ľubovoľného zosuvu.

## Zoznam literatúry

- [1] Goyke, B.: Die Bedeutung von Niederschlägen für Hangrutschungen mit besonderer Berücksichtigung des Bonner Raumes. *Diplomarbeit. Geographische Institute der RFWU Bonn, 1996, 152 s.*
- [2] Hölting, B.: Hydrogeologie - Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. *Stuttgart (Enke), 1996, 441 s.*
- [3] Klementová, E., Skalová, J.: Dryland analysis according to chosen climatic factors. *In Anniversary scientific conference 50 years Faculty of hydrotechnics. Sofia, Bulgaria, 1999, pp. 41-46.*
- [4] Marschalko, M., Ides, D.: Vliv zvodnění na gravitační pohyby sesuvného typu ve svazích Karpatského flyše. *In Sborník ref. Konference Recyklace odpadů V, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2001.*
- [5] Nemčok, A.: Zosuvy v slovenských Karpatoch. *VEDA - vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied. Bratislava, 1982, 320 s.*
- [6] Novotný, J.: Analýza vlivu vody na stabilitu svahu v jílovitých horninách. *Kandidátska disertační práce. Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR. Praha, 2000, 107 s.*



- [7] Rachner, M.: Verdunstung von der Oberfläche der Schneedecke. Ergebnisse der an der Forschungsstation Harzgerode durchgeführte Messungen. *Z. Meteorol.*, 37, 1987, s. 285-290.
- [8] Vlčko, J., Vojtaško, I.: Engineering geology and urban environment: a contribution to two problems. *Acta geologica et geogr. Univ. Com., Geologica Nr. 46, 1991.*
- [9] Záruba, Q., Mencl, V.: Sesuvy a zabezpečování svahů. *Druhé přepracované a doplněné vydání. Academia. Praha, 1987, 340 s.*

## Summary

Ground water and surface water are decisive factors for development of a majority of recorded landslide deformations of natural slopes. Their occurrence is connected with climatic conditions of the affected area and this connexion was confirmed by data of inquiry into occurrence of landslides and into conditions of their rise, which were obtained from 362 local authorities in Slovakia.

The main part of paper deals with analysis of impact of climatic and hydrogeologic conditions on origin of landslides within territory of Slovakian Republic. Analysing of climatic data is the easiest and the most economical method of assessment of rise or reactivation of landslides, which enables to predict their occurrence in a particular area. Above all rainfalls are to be considered because they are at start of the above-mentioned processes and the other data are not available prior to rise of slope movements

Application of cumulative mass curve of fluctuations of precipitation totals from their long-term average values is very interesting for use in Slovakia conditions. It is suitable for representing of long-term trends of precipitation (months, years). By a rising part of mass curve a "wet" period" is indicated and by a descending part of the curve a "dry" period is indicated. It was proved that a majority of landslides occur just during duration of the rising parts of curve.

For analysis of relation between fluctuation of ground water level and rainfall intensity, or eventually quantity of water released from melting snow, the method of mass curve of daily precipitation was applied. Assessment of effective rainfall is based on subtraction of evapotranspiration value from fallen rainfall value. By such detailed analysing in areas with Flysch rocks the occurrence of shallow landslides can be indicated, if during five (5) days prior to them an effective rainfall with precipitation total exceeding 50 mm per day or rainfall totals exceeding 45 mm occurred. At the Benus municipality which is situated in a Flysch area landslides of similar nature occurred during July of 1999 after five (5) days of effective rainfall (precipitation total was 58.5 mm) and even a 91.2 mm effective rainfall was documented on a single day. It seems that if precipitation total is higher than 50 mm in five days (surface zone is water saturated) and if another precipitation follows with a magnitude or more than 50 mm day, shallow landslides would occur in all probability in other areas too.

It was demonstrated that by means of application of the proposed method of cumulative mass curve of effective rainfall it was possible to co-relate quite significantly an effective rainfall to ground water level fluctuation. Having at disposal the data concerning ground water level from arbitrary locality it is possible to construe a correlation graph based on data of ground water level rise and effective precipitation intensity. Subsequently, based on climatic data a ground water level fluctuation can be modeled. It is equally possible to assess the pressure conditions on the slope and to find out which conditions have contributed to breakdown or slope stability.

Recenzenti: Doc. Ing. Marián Marschalko, Ph.D., VŠB-TU Ostrava,  
Doc. RNDr. František Baliak, Ph.D., Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita, Bratislava.