

RELIÉF A VARIABILITA HLADINY PODZEMNEJ VODY V ZOSUVNOM ÚZEMÍ (PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA ĽUBIETOVÁ)

ALŽBETA MEDVEĎOVÁ, * ROBERTA PROKEŠOVÁ**, ZORA SNOPKOVÁ***,
SAMUEL KORÓNY**

Alžbeta Medved'ová, Roberta Prokešová, Zora Snopková, Samuel Koróny: The relief and a groundwater level variability. Case study of Lubietová landslide. Geomorphologia Slovaca et Bohemica, 8, 2008, 2, 5 figs., 3 tab., 15 refs.

The paper deals with geomorphologic and hydrogeological investigations of the Lubietová landslide with focusing on present landforms and their influence on hill slope-processes, particularly the surface run-off. The groundwater levels in 7 piezometric drills were measured during one and half year twice per month (from March 2007 to August 2008). Relief parameters were collected using a contour map constructed by methods of aerial photogrammetry. The basin boundary, the length of slope upward the borehole and the catchment area were mainly considered. In order to verify geomorphologic boundaries of drill catchments acquired by the contour map a detailed geomorphologic mapping in the scale of 1:5 000 was performed.

Analysis of the rainfall being the most important factor affecting the groundwater level in piezometric drills was performed. Relationship between the groundwater level in the piezometric drill and temperature, evapotranspiration, effective rainfall and water stage of the Hutná stream is discussed. Standard GIS tools were used for computing the relief parameters and for constructing the digital elevation model.

Key words: relief, groundwater level, piezometric drill, rainfall, effective rainfall, landslide, digital elevation model

ÚVOD

Seizmická aktivita a zrážkové udalosti sú vo všeobecnosti najčastejšími spúšťacími faktormi svahových pohybov, pričom v podmienkach Západných Karpát práve výdatné zrážky sú tým najvýznamnejším. Zmeny stavu hladiny podzemnej vody v čase spôsobujú zmenu fyzikálnych vlastností horninového prostredia a môžu viesť k narušeniu krehkej stability svahu. Zrážky, geologická stavba a reliéf sú najvýznamnejšími činiteľmi ovplyvňujúcimi hydrogeologické pomery na svahoch náchylných na zosúvanie. Povrchová a podpovrchová stavba zosuvov s relatívne hlboko založenou šmykovou plochou je zväčša zložitá, čo sa odráža na komplexnom režime podzemnej vody (CORNFORTH 2005). Pri modelovaní režimu podzemnej vody v zosuvnom území preto treba brať do úvahy aj samotnú lokalizáciu priamych monitorovacích zariadení – piezometrických

vrto — z hľadiska morfológie sledovaného územia.

V príspevku prezentujeme prvé výsledky štúdia vzájomného vzťahu medzi reliéfom, zrážkovými úhrnmi a hladinou podzemnej vody na piezometrických vrtoch, lokalizovaných na území ľubietovského zosuvu.

METÓDY

Pri riešení problematiky kolísania hladiny podzemnej vody sme vychádzali z troch typov údajov: špecifických charakteristík reliéfu (terénny výskum, prevzaté analógové vrstevnicové mapy, digitálny model reliéfu - DMR), hĺbky hladiny podzemnej vody (manuálne merania) a zrážkových úhrnov spolu s klimatickými charakteristikami.

Charakteristiky reliéfu sme získavali podrobným terénnym prieskumom (geomorfologické mapovanie v mierke 1:5 000) a konštruovaním precízneho digitálneho modelu re-

* Katedra geografie a krajinnej ekológie, Fakulta prírodných vied, Univerzity Mateja Bela, Tajovského 40, Banská Bystrica; Slovenská republika; medvedov@fpv.umb.sk

** Ústav vedy a výskumu Univerzity Mateja Bela, Cesta na Amfiteáter 1, Banská Bystrica, Slovenská republika; roberta.prokesova@umb.sk; samuel.korony@umb.sk

*** Slovenský hydrometeorologický ústav, regionálne stredisko Banská Bystrica; Zelená 5, Banská Bystrica, Slovenská republika; snopkova@shmu.sk

liéfu (DMR) z roku 1989 (po zosuvnej udalosti, pozri PROKEŠOVÁ et al. 2008). Pri dokumentácii podrobného polohopisu a výškopisu modelového územia vychádzame z analógovej mapy zosuvného telesa vytvorenej metódou univerzálnej leteckej fotogrametrie. Výškopisnú mapu v mierke 1:2 000 sme následne vektorizovali. Využili sme pritom moduly SW prostredí Microstation v. 95 a ArcView GIS v. 3.2.

Z relevantných charakteristík reliéfu sme sledovali dĺžku svahu po spádnici nad príslušným piezometrickým vrtom, rozlohu mikropovodia pre príslušný piezometrický vrt, nadmorskú výšku vrtu, relatívnu výšku vrtu nad úrovňou hladiny v blízkom povrchovom toku (Hutná na úpätí zosuvného monitorovaného svahu) a formy reliéfu v okolí každého vrtu. Hranice geomorfologických a hydrologických mikropovodií sa v prípade telesa zosuvu nezodujú. V rámci sanačných opatrení pri stabilizácii svahu bola vybudovaná sieť povrchových odvodňovacích kanálov (sumárnej dĺžky 3980 m) aj sieť podpovrchových subhorizontálnych (sklon cca 3°) odvodňovacích vrtov (s celkovou dĺžkou cca 1580 m). Pri vyhraničovaní geomorfologických mikropovodií sme uvažovali s povrchovou odvodňovacou sieťou, ktorú (chápanú ako súčasť riečnej siete) sme zahrnuli medzi formy reliéfu ovplyvňujúce rozhodovanie v procese vytyčovania ich hraníc. Podpovrchovú subhorizontálnu odvodňovaciu sieť sme pri vymedzovaní geomorfologických mikropovodií nebrali do úvahy. V konečnom hodnotení režimu hladiny podzemnej vody v piezometrických vrtoch však uvažujeme aj s jej vplyvom.

Dĺžky svahov po spádnici a rozlohu geomorfologických mikropovodií pre jednotlivé piezometrické vrty sme odvodili z pripravenej digitálnej mapy. Nakoľko mikropovodia niektorých piezometrických vrtov presahovali územie zobrazené na mapách zhotovených univerzálnou fotogrametrickou metódou, využili sme pri vyhraničovaní mikropovodií aj základnú mapu SR mierky 1:10 000 (listy č. 36-23-11 a 36-23-16), a to v upravenej vektorovej podobe.

Merania hĺbky hladiny podzemnej vody (h_{pv}) v 7 vertikálnych piezometrických vrtoch inštalovaných na zosuvnom území, sme realizovali manuálne pomocou Rangovej píšťaly s časovým odstupom cca 14 dní. Režimové merania prebiehajúce od marca 2007 vyhodnocujeme v našom príspevku až do konca augusta 2008.

Pri spracovaní klimatických dát sme vychádzali z predpokladu, že podzemná voda v zosuvných územiach má hlavne zrážkový pôvod. Preto bolo nevyhnutné v prvom rade spracovať dáta o množstve spadnutých zrážok za sledova-

né obdobie. Údaje o denných zrážkových úhrnoch boli spracované na základe záznamov zrážkomernej stanice SHMÚ v Ľubietovej, vzdialenej od telesa zosuvu cca 200 m. Samotné hodnoty zrážkových úhrnov ($ZÚ$) však nie sú jediným klimatickým faktorom, ktorý do režimu podzemnej vody na zosuvoch vstupuje. Svedčí o tom fakt, že väčšina zosuvov v našich podmienkach, vrátane tých najničivejších, bola destabilizovaná v čase extrémnych zrážkových úhrnov pri nízkom výpare, teda v mesiacoch november až február (SCHERER 1999). Naopak, v letných mesiacoch sa ako významné zdroje infiltrovaných zrážkových vôd javia len výrazné zrážkové extrémny. Pri modelovaní vzťahu zrážky – úroveň hladiny podzemnej vody sme preto vychádzali z hodnôt tzv. efektívnych denných zrážkových úhrnov ($ZÚ_{ef}$), t.j. modifikovaných denných zrážkových úhrnov. K ich vyčísleniu je potrebné určiť hodnoty potenciálnej evapotranspirácie (ET_{pot}). Z množstva metód a prístupov na výpočet ET_{pot} (napr. HAUDE 1955, HAMON 1961, MONTEITH 1981, BENETIN et al. 1982, MATEJKA 1995) sme využili jednoduchý empirický vzťah na výpočet mesačných hodnôt ET_{pot} (NOVÁK 1995):

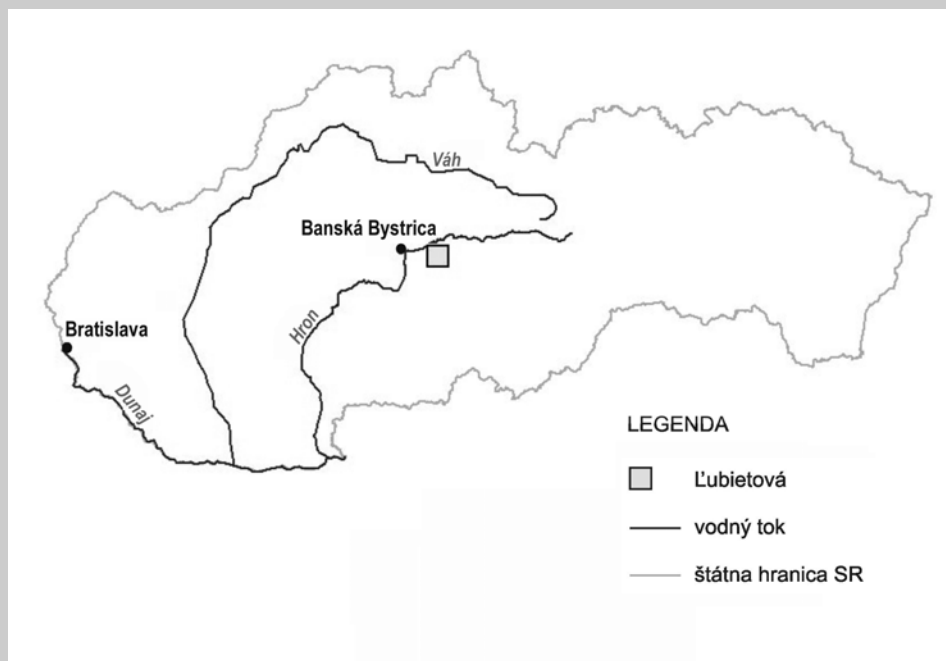
$$ET_{pot} = 0,0018 (25 + T_m)^2 (100 - r) \text{ [mm]},$$

kde ET_{pot} – úhrn potenciálnej evapotranspirácie za mesiac [mm], T_m – priemerná mesačná teplota vzduchu [°C], r – priemerná relatívna vlhkosť vzduchu v mesiaci [%].

Mesačné hodnoty sme následne rozpočítali na priemerné denné hodnoty. Pri výpočte sme použili hodnoty „ T_m “ a „ r “ z meteorologickej stanice SHMÚ v Brezne, ktorá je od skúmanej lokality vzdialená cca 20 km, pričom jej nadmorská výška (487 m n.m.) koreluje s nadmorskou výškou lokality (444 - 650 m n. m.). Efektívne denné zrážkové úhrny sme získali odčítaním hodnôt potenciálnej evapotranspirácie od denných zrážkových úhrnov:

$$ZÚ_{ef} = ZÚ - ET_{pot} \text{ [mm]}.$$

Naopak, v zimných, resp. skorých jarných mesiacoch bolo potrebné k „normálnym“ zrážkovým úhrnom započítať aj množstvo zrážok viazaných vo forme snehu. Pri výpočte objemu vody, ktorý sa z topiaceho snehu uvoľnil, sme vychádzali z údajov o vodnej hodnote snehovej pokrývky meranej na zrážkomerných staniaciach raz týždenne. Vypočítaný objem vody sme pripočítali k hodnotám efektívnych zrážok v obdobiach topenia sa snehu.



Obr. 1 Poloha lokality Lubietová v rámci Slovenska

Získané hodnoty – denné zrážkové úhrny, denné efektívne zrážkové úhrny, ich sumárne súčty za zvolené časové obdobie (7, 14, 30, 60 a 90 dní) a namerané hĺbky hpv za sledované obdobie sme vyhodnotili graficky v programe MS Excel. Základné štatistické vyhodnotenie dát sme realizovali pomocou programu Statistica v.6. Zisťovali sme najmä charakter a štatistické parametre nameraných hodnôt hpv v jednotlivých vrtoch, ako aj závislosť medzi premenlivosťou hladín a sledovanými faktormi (normálne zrážky, efektívne zrážky, vybrané charakteristiky reliéfu). Vzhľadom na charakter dát hpv (pri testovaní rozdelenia hodnôt hpv bola zamietnutá normalita hodnôt hpv u niektorých vrtoch, viď kap. „Výsledky“) sme pri testovaní korelačných závislostí použili Spearmanov koeficient pre robustný odhad korelácie.

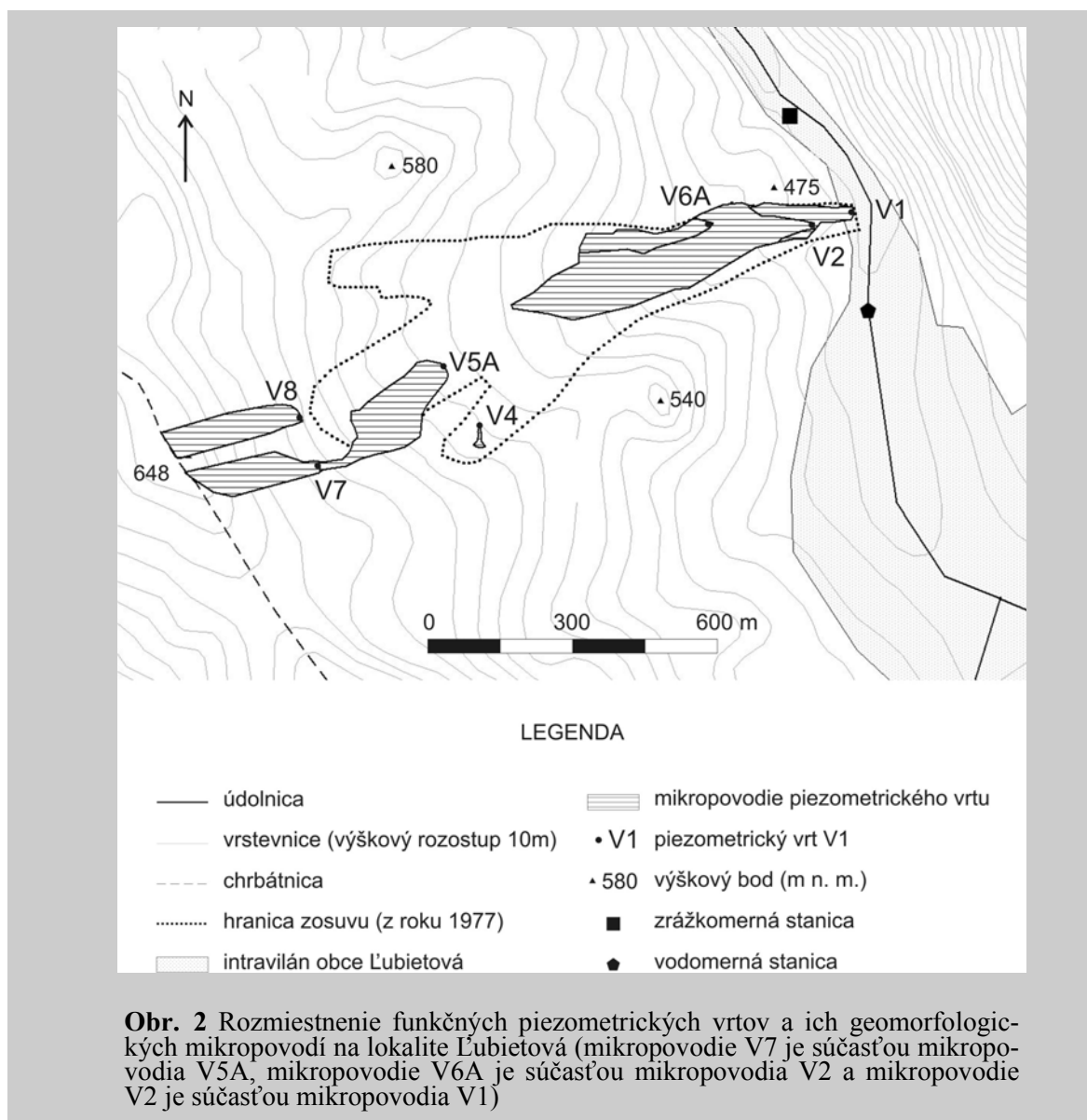
Pre určenie vzťahu medzi kolísaním hpv vrtoch a vodným stavom povrchového toku Hutná sme využili priemerné denné hodnoty z automatickej vodomernej stanice SHMÚ lokalizovanej 150 m nad čelom zosuvného telesa v smere proti prúdu toku.

MODELOVÉ ÚZEMIE

Výskum sme realizovali na území známeho „katastrofálneho“ zosuvu pri obci Lubietová (**obr. 1**). Zosuv s rozlohou 32 ha sa aktivizoval v skorých jarných mesiacoch roku 1977 po predchádzajúcom dlhodobom období výdatných zrážok. Zosuvný prúd, vo vrchnej časti

rozdelený do troch samostatných lalokov sa smerom nadol spojil do jedného prúdu, ktorý dosahuje v čelnej časti šírku cca 80 – 100 m (**obr. 2**). Takýto charakter zosuvu podmienila existencia rigidných blokov po oboch stranách depresnej morfolologickej štruktúry zosuvného územia – bloku triasových kremencov naľavo od čela zosuvu (kóta 475 m n. m.) a blokov aglomerátových tufov napravo (Šibenica, 540 m n. m.) a naľavo (kóta 580 m n. m.) od zosuvného prúdu (**obr. 2**). Maximálna dĺžka zosuvu (meraná v oblasti stredného prúdu) dosahuje cca 1200 m, maximálna šírka (v oblasti spojenia sa troch ramien) cca 500 m. Priemerný sklon svahu je 6-7 °, prevýšenie vrcholu odlučnej steny nad päťou zosuvu je 170 m. Objem zosuvného materiálu bol pri predpokladanej hĺbke šmykovej plochy 6 – 30 m odhadnutý na 4 mil. m³. Zosuv je stabilizovaný drenážnymi sanačnými opatreniami vybudovanými v čase jeho aktivizácie. Zlý technický stav týchto odvodňovacích zariadení spôsobuje postupnú stratu ich funkčnosti. Detailnejšie informácie o zosuve možno nájsť v publikovaných prácach, resp. archívnych materiáloch (napr. FUSGÄNGER et al. 1978, NEMČOK 1982, JELÍNEK 2005).

Teleso zosuvu tvorí v reliéfe výraznú depresiú, mierne uklonenú v smere sklonu svahu na východ. Teleso je na západe ohraničené rozvodným chrbtom medzi Skalolamom (699 m n. m.) a kótou 648 m n. m., na východe dnom doliny s tokom Hutná. Odlučná stena je situovaná 200 m východne od rozvodnice, čelo zasahuje na nivu Hutnej až po koryto toku. Severné



a južné okraje telesa sú priestorovo limitované vyvýšenými formami vyššie spomenutých blokov.

Na telese zosuvu je rozmiestnených 5 funkčných piezometrických vrtov V1, V2, V5A, V4 a V6A, ďalšie dva sa nachádzajú v bezprostrednej blízkosti odľučnej steny (V7, V8).

Rozmiestnenie piezometrických vrtov je nepravidelné. Pokým vo vrchnej časti zosuvu sú štyri a v spodnej akumuláčnej tri, v centrálnej transportačnej časti defacto chýbajú funkčné piezometrické vrtý (obr. 2), keďže vrtý V3 a V3A sú nefunkčné.

Z hľadiska reliéfu možno jednotlivé piezometrické vrtý na zosuve a jeho okolí vyhodnotiť nasledovne:

V1 je situovaný na miernej vyvýšenine (konvexnej forme) čela zosuvu v bezprostrednej blízkosti údolnice s povrchovým tokom

Hutná. V širších súvislostiach možno jeho polohu označiť ako depresnú. V detailnom pohľade (väčšia mierka) leží V1 na konvexnej mikroforme (čelo prúdu) vložená v konkávnej mezoforme (okolie prúdu tvoria vyvýšené bloky, (obr. 2). V2 je umiestnený na okraji depresie nad čelom zosuvu. V4 leží na vyvýšenine (blok?) vložená v depresii pravostranného bočného prúdu v hornej tretine zosuvu (konvexná mikroforma v konkávnej mezoforme). V5A sa nachádza v rozľahlej značne zvlnenej depresii hlavného zosuvného prúdu cca 220 m pod odľučnou stenou. V6A je situovaný na rozsiahlej zvlnenej rovinke pod úpäťím svahu v transportačnej časti zosuvu. Zo širšieho hľadiska možno jeho polohu hodnotiť ako depresnú. V7 leží na okraji mierne uklonenej plošiny nad telesom zosuvu. V8 je umiestnený na malej horizontálnej plošinke bezprostredne nad odľučnou stenou a súčasne pod nevysokým str-

vrť	nm.v. [m]	relatívna výška nad tokom [m]	priemerná hpv [m]	maximálna hpv	minimálna hpv	dĺžka svahu (po spádnici) [m]	plocha mikropovodí [m ²] (r.1989)
V1	453	10	8,05	8,29	7,70	1574	60952,1
V2	464	21	1,77	2,86	1,00	1499	55131,5
V4	555	112	7,96	8,63	7,35	723	350,6
V5A	546	103	1,60	2,59	0,30	671	32137,2
V6A	484	41	1,56	2,87	1,10	1138	7868,8
V7	600	157	21,47	21,64	21,00	340	12195,7
V8	595	152	16,87	17,10	16,45	302	13685,1

Tab.1 Vybrané morfografické charakteristiky funkčných piezometrických vrťov

mým svahom (pravdepodobne) staršej odlučnej steny.

Morfografické charakteristiky jednotlivých piezometrických vrťov kvôli prehľadnosti uvádzame v **tab. 1**.

VÝSLEDKY

CHARAKTER HPV NA SLEDOVANÝCH PIEZOMETRICKÝCH VRTOCH

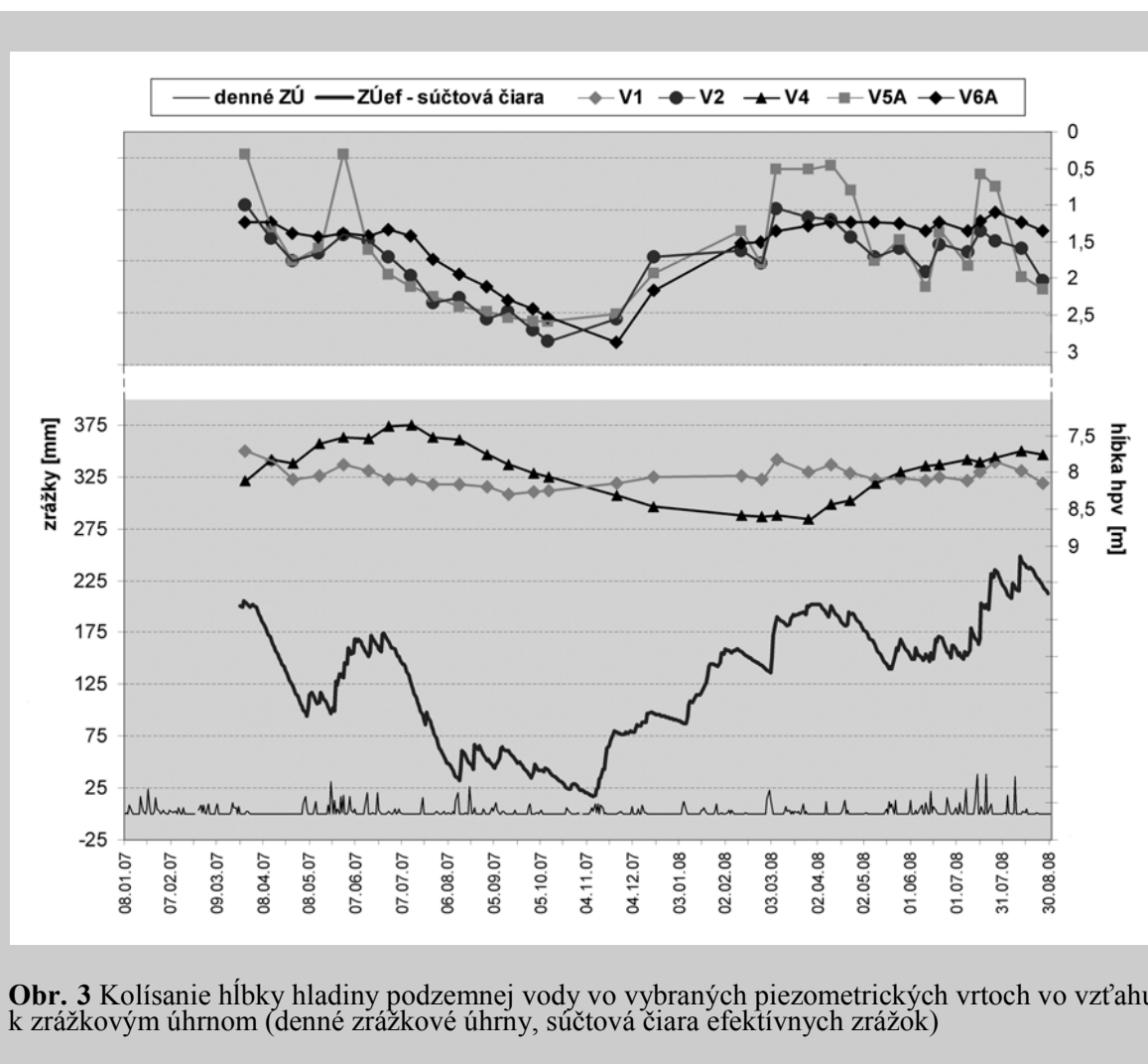
Základné spracovania hodnôt hpv v jednotlivých vrťoch za uvedené obdobie (marec 2007 – august 2008) potvrdilo predpoklad, že existujú značné rozdiely medzi jednotlivými vrťmi. Na základe štatistického spracovania údajov je možné rozdeliť piezometrické vrty do niekoľkých skupín. Jednu samostatnú skupinu tvoria vrty V2, V5A a V6A s priemernou hĺbkou hpv 1,5 – 1,8 m. Všetky tri vrty vykazujú značný rozkyv medzi maximálnou a minimálnou hĺbkou hpv, pričom najvariabilnejšie hodnoty dosahuje vrť V5A s rozkyvom 2,3 m za sledované obdobie. Vrty V1 a V4 majú podobné hodnoty priemernej hĺbky hpv počas sledovaného obdobia, cca 8,0 m, avšak výrazne sa líšia svojou polohou (pozri kap. „Modelové

územie“, **obr. 2**), priebehom zmien hĺbky hpv aj rozkyvom hladín. Menšie kolísanie hladiny vykazuje vrť V1, len 0,6 m, kým vo vrte V4 je to 1,3 m. Vzhľadom k podobným hodnotám priemernej hĺbky hpv oba vrty v grafoch zobrazujeme spoločne aj keď z hľadiska viacerých charakteristík ich možno považovať za odlišné kategórie. Vrty V7 a V8 sme vyčlenili ako 2 samostatné kategórie, keďže sa výrazne líšia priemernou hĺbkou hpv (21,5 m resp. 16,9 m). Rozkyv medzi minimálnou a maximálnou úrovnou hpv v sledovanom období bol pri oboch vrťoch prakticky rovnaký, a to 0,65 m, avšak priebeh kolísania hpv je vo vrte V8 dynamickejší než vo vrte V7. Konkrétne hodnoty štatistických parametrov pre jednotlivé vrty uvádzame v **tab. 2**.

Vzhľadom k možnostiam použitia ďalších štatistických testov sme hodnoty hpv otestovali aj na normalitu rozdelenia nameraných hodnôt použitím jednovýberového K-S testu. Normalita nebola zamietnutá len pri vrťoch V1 a V5A, pri vrťoch V4 a V7 sa hodnoty parametra K-S d pohybovali na hranici signifikantnosti a pri vrťoch V2, V6A a V8 bola normalita zamietnutá. Z tohto dôvodu boli pri ďalšom štatistickom spracovaní použité neparametrické varianty štatistických testov.

Piezometrický vrť	Počet meraní	Priemer	Minimum	Maximum	Variačné rozpätie	Štandardná odchýlka	Rozptyl
V1	31	8,05	7,70	8,29	0,59	0,13	0,02
V2	31	1,77	1,00	2,86	1,86	0,49	0,24
V4	31	7,96	7,35	8,63	1,28	0,38	0,14
V5A	31	1,60	0,30	2,59	2,29	0,74	0,55
V6A	31	1,56	1,10	2,87	1,77	0,46	0,21
V7	31	21,47	21,00	21,64	0,64	0,14	0,02
V8	31	16,87	16,45	17,10	0,65	0,12	0,01

Tab.2 Vybrané štatistické parametre funkčných piezometrických vrťov

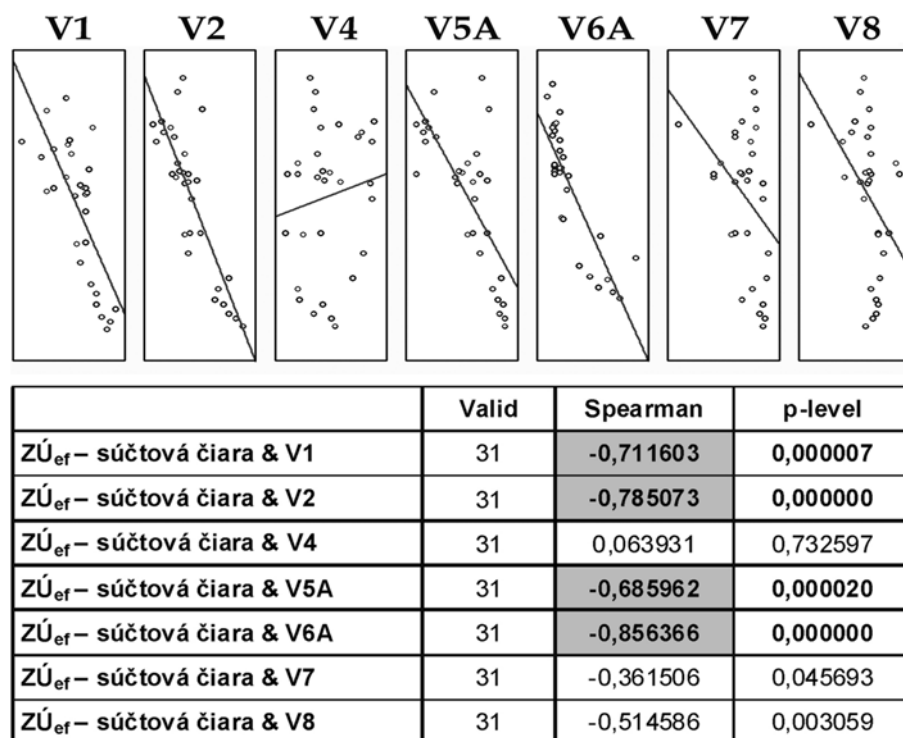


Obr. 3 Kolísanie hĺbky hladiny podzemnej vody vo vybraných piezometrických vrtoch vo vzťahu k zrážkovým úhrnom (denné zrážkové úhrny, súčtová čiara efektívnych zrážok)

ZRÁŽKOVÉ ÚHRNY, EFEKTÍVNE ZRÁŽKY A HPV

Ak vychádzame z predpokladu, že klimatické faktory (množstvo spadnutých zrážok, teplota, vlhkosť vzduchu, ...) sú primárnymi faktormi vplývajúcimi na kolísanie hpv v piezometrických vrtoch, ku ktorým sa pripája pôsobenie ostatných faktorov, najmä geologických a geomorfologických, je v prvom rade potrebné vyhodnotiť reakciu hpv v jednotlivých vrtoch na klimatické faktory. Pri skúmaní vzťahu medzi kolísaním hĺbky hpv a „normálnymi“ zrážkovými úhrnmi bolo zistené, že hydrologická odozva piezometrických vrtoch na zrážkové udalosti je komplikovaná, čo je typické pre svahy s dlhodobou históriou svahových pohybov (WASOWSKI 1998). Keďže sme zaznamenali v prvom rade výrazne rozdielnu reakciu hladín na zrážkové udalosti v jednotlivých ročných obdobiach, pristúpili sme k výpočtu tzv. efektívnych zrážkových úhrnov (pozri kap. „Metódy“). Ako najvýpovednejšia metóda grafického znázornenia efektívnych zrážkových úhrnov sa ukázala metóda vynesenia tzv. súčtovej čiary

efektívnych zrážok (KOPECKÝ 2004), ktorá obsahuje aj informáciu o trende zrážkovej bilancie v čase. Hodnoty hpv v piezometrických vrtoch V2, V5A a V6A, ale aj V1 pekne kopírujú krivku súčtovej čiary (**obr. 3**). Pri štatistickom testovaní korelačnej závislosti medzi hodnotami hpv a zodpovedajúcimi hodnotami súčtovej čiary efektívnych zrážok, hodnoty korelačných koeficientov túto závislosť indikujú (**obr. 4**). Najtesnejšiu koreláciu sme zistili pri vrte V6A. Spermanov korelačný koeficient pri tomto vrte dosahuje hodnotu $-0,85$ (pre $p < 0,001$). Záporná hodnota koeficientu vyjadruje negatívnu koreláciu, čo znamená, že väčšiemu objemu efektívnych zrážok zodpovedá menšia hĺbka hpv pod povrchom. Pri vrtoch V7 a V8 je korelácia slabšia. Naopak, žiadna korelácia nebola indikovaná v prípade vrty V4. Reakcia hpv na zrážkové úhrny v tomto piezometrickom vrte je výrazne odlišná od ostatných vrtoch, vyznačuje sa oneskoreným nástupom reakcie a jej stabilnejším trendom (či už ide o vzostup hladiny v jarno–letnom období alebo jej pokles v jesenno–zimnom období) s minimálnou reakciou na krátkodobé výkyvy v zrážkových bilanciách (**obr. 3**).



Obr. 4 Hodnoty spearmanovho korelačného koeficientu indikujúce tesnosť korelácie medzi hĺbkou hladiny podzemnej vody a hodnotami súčtovej čiary efektívnych zrážok, vzťahujúcimi sa k dátumom merania hpv

RELIÉF A HPV

Geometrické formy reliéfu ovplyvňujú charakter procesov v krajine. Sklon georeliéfu na danom mieste určuje množstvo gravitačnej energie, využiteľnej geomorfologickým procesom (v našom prípade zosúvaním). Formy vypuklé v smere vrstevnice rozptyľujú tok hmoty, formy vydaté ho sústreďujú. Pokým formy vypuklé v smere spádnice zrýchľujú tok hmoty, formy vydaté ho spomaľujú. Objem vody infiltrovanej do telesa zosuvu ovplyvňuje okrem tvaru reliéfu aj dĺžka svahu a rozloha „zberného“ územia (energo-materiálového zázemia). Pohyby hpv ovplyvňuje najmä zrážkový režim a režim hladín vodných tokov a nádrží, mieru tohto pohybu na obsah vody v pripovrchových častiach geosystémov však ovplyvňuje detailný priebeh georeliéfu (MINÁR a TRIZNA 2001).

V prípade vrtu V1 možno vysloviť hypotézu o malom vplyve veľkosti povodia a dĺžky svahu na hpv, keďže zo všetkých sledovaných vrtov má najväčšiu rozlohu prislúchajúceho geomorfologického mikropovodia a najväčšiu dĺžku svahu po spádnici. Z povrchových morfografických parametrov hrá najvýznamnejšiu úlohu tvar reliéfu. Povrchový odtok v okolí vr-

tu je výrazne usmerňovaný konvexnou formou čela zosuvu. Voda povrchovo odtekajúca zo svahu nad vrtom je zrýchlená a rozptyľovaná smerom od vrtu do plytkých suchých korýt po oboch okrajoch čela zosuvu. Hydrologické povodie je značne deformované a zmenšené funkciou subhorizontálnych vrtov HV1, HV2 a HV3 podpovrchovo odvodňujúcich akumuláciu čast' zosuvu. Hladina blízkeho stáleho vodného toku pravdepodobne najsilnejšie ovplyvňuje výšku hpv a jej výkyvy vo vrte. Potvrzuje to fakt, že okrem vrtov umiestnených mimo telesa zosuvu (V7, V8) má práve V1 najmenšie výkyvy hladiny počas celého roka, a to 59 cm ako aj jeho relatívna výška nad tokom (10 m, pozri **tab. 1**).

Hoci podľa veľkosti geomorfologického mikropovodia je V2 z vrtov druhý najväčší, rovnako ako v prípade V1 možno predpokladať výrazný vplyv okolitých foriem reliéfu a menší podiel veľkosti povodia a dĺžky svahu na režim hpv. Povrchový odtok v okolí vrtu je výrazne usmerňovaný konkávnou formou miernej depresie nad čelom zosuvu. Voda povrchovo odtekajúca zo svahu nad vrtom je sústreďovaná smerom k vrtu ležiacemu na vyvýšenom okraji často zamokrenej depresie. Hydrologické po-

vodie je deformované funkciou podpovrchového subhorizontálneho vrtu HV3, čiastočne odvodňujúceho svah nad vrtom. V2 má po vrte V5A najvýraznejšie výkyvy hladiny počas roka. Značný rozkyv s amplitúdou 186 cm pripisujeme práve depresnej polohe vrtu.

V4 má zo všetkých vrtov najmenšie mikropovodie. Spôsobuje to odvodnenie svahu nad ním povrchovým zberným kanálom s funkciou podobnou korytu. Napriek tomu dosahuje rozkyv hladiny 128 cm. Z hľadiska okolitých foriem reliéfu je vrt umiestnený na vyvýšenom bloku v rámci depresnej formy bočného prúdu zosuvu. Vzhľadom na špecifickú mikropolohu vrtu a malú rozlohu geomorfologického povodia možno pripísať správanie sa hpv zložitej cirkulácii vody v nehomogénnom telese s viacerými zvodňami.

Zaujímavé je porovnanie vrtov V4 a V1. Oba vrty majú veľmi podobnú geomorfologickú polohu aj priemernú hpv. Značný rozdiel vo výkyvoch hpv spôsobuje však kvantitatívne odlišná relatívna výška vrtov nad Hutnou a rozdielnosť vnútornej stavby telesa, v ktorom sa vrt nachádza. Kým pri V1 predpokladáme relatívne homogénnu hmotu, okolie V4 má vnútornú štruktúru pravdepodobne komplikovanejšiu. Zaujímavá je reakcia hpv v tomto vrte na zrážkové eventy, ktorá je v porovnaní s ostatnými sledovanými piezometrickými vrtmi značne oneskorená (podľa predbežných zistení cca o 2 mesiace). Príčiny tohto javu budú predmetom ďalšieho bádania.

Aj keď je V5A rozlohou mikropovodia až na 3. mieste (za V1 a V2), reálnou rozlohou „aktívneho“ geomorfologického povodia ho možno označiť za vrt s najväčším zberným územím. Povrchový odtok nad vrtom sa sústreďuje do depresnej formy najrozľahlejšieho stredného prúdu zosuvu. Vrt je lokalizovaný práve v spodnej časti tejto výraznej konkávnej formy, do ktorej povrchový odtok smeruje. Tento fakt je pravdepodobne príčinou najrýchlejšej reakcie vrtu na chod zrážok a najvýraznejšieho rozkyvu hpv, ktorý dosahuje až 229 cm. Ďalšou okolnosťou je aj skutočnosť, že príslušné „zberné“ územie neodrúnuje žiadny funkčný subhorizontálny vrt, a navyše, je dotované presakujúcimi vodami z vyššie položeného jazierka pod odlučnou stenou zosuvu, ktoré je v súčasnosti neodvodnené. (Z mapovej dokumentácie vyplýva, že jazierko odvodňuje povrchové rigoly, avšak podrobným terénnym prieskumom sme zistili stratu ich drenážnej funkčnosti.)

Rozlohou svojho mikropovodia patrí vrt V6A k menším. Je to spôsobené odvodnením územia nad ním povrchovými zbernými rigolmi. Napriek tomu geomorfologická poloha na rozsiahlej rovine pod úpäťm strmého svahu

zapríčiňuje sústreďovanie povrchového odtoku zo svahu na úpäť a stagnáciu, resp. presakovanie zrážkovej vody na zvlnenej rovine vrtu. Tento fakt spolu s predpokladanou dotáciou vody z podzemnej cirkulácie v zosuvnom telese môže byť príčinou úzkej korelácie hpv vrtu s efektívnymi zrážkami (0,85) a amplitúdy rozkyvu hpv na úrovni 177 cm. Príslušné „zberné“ územie vrtu, podobne ako v prípade V5A neodvodňuje žiadny funkčný subhorizontálny vrt.

Vrty V7 a V8 majú veľmi podobné morfológické charakteristiky (plochu mikropovodia, dĺžku svahu po spádnicu). Oba ležia mimo aktívny zosuv – V8 bezprostredne nad aktívnou odlučnou stenou a pod identifikovanými odlučnými stenami starších zosuvov a V7 na okraji mierne uklonenej rovinky mimo (ale v blízkom susedstve) oboch generácií odlučných stien. Domnievame sa, že flexibilnejšia odozva vrtu V8 na priebeh efektívnych zrážok a stabilne vyššia hladina vo vrte V8 sú zapríčinené polohou vrtu medzi staršou a aktívnou odlučnou stenou. Pokým z okolia vrtu V7 je povrchová voda pomaly odvádzaná v smere sklonu svahu, v okolí V8 dochádza vďaka rovinnatému reliéfu k akumulácii a vsakovaniu zrážkových vôd na úpäť svahu.

DISKUSIA A ZÁVER

Podľa režimu hpv možno vyčleniť na Ľubietovskom zosuve 3 skupiny piezometrických vrtov:

- a) vrty s plytkou hpv (V2, V5A, V6A) s priemernou hĺbkou 1,56-1,77 m.

Majú podobné hydrogeologické charakteristiky a podobnú mikropolohu v depresii. Reliéf sa javí ako významný faktor ovplyvňujúci režim hpv prostredníctvom konkávnych foriem zberných území, ktoré koncentrujú povrchový odtok do blízkosti vrtov. Typickým predstaviteľom je V5A s najväčším rozkyvom, rýchlou reakciou. (Vo vrtoch V2, V5A a V6A sú zachytené vrchné horizonty, ktoré odzrkadľujú reliéf lepšie ako ostatné vrty, v ktorých je hladina hlbšie.)

- b) vrty s hlbokou hpv (V7, V8) s priemernou hĺbkou viac ako 16 m.

Ležia mimo, resp. nad telesom aktívneho zosuvu, pri ktorých reliéf ovplyvňuje režim hpv len veľmi málo, nakoľko dĺžka svahu nad vrtom ako aj „zberné“ geomorfologické mikropovodie sú malé a hpv len nevýrazne kolíše v značnej hĺbke.

- c) vrty so špecifickou polohou (V1, V4) a priemernou hĺbkou hpv cca 8 m.

Majú podobné hydrogeologické vlastnosti a čiastočne aj polohu (vyvýšená poloha na kon-

	Valid	Spearman	p-level
Hutná & V1	31	-0,852648	0,000000
Hutná & V2	31	-0,893279	0,000000
Hutná & V4	31	0,230647	0,211910
Hutná & V5A	31	-0,853358	0,000000
Hutná & V6A	31	-0,670156	0,000037
Hutná & V7	31	-0,495175	0,004622
Hutná & V8	31	-0,438023	0,013718

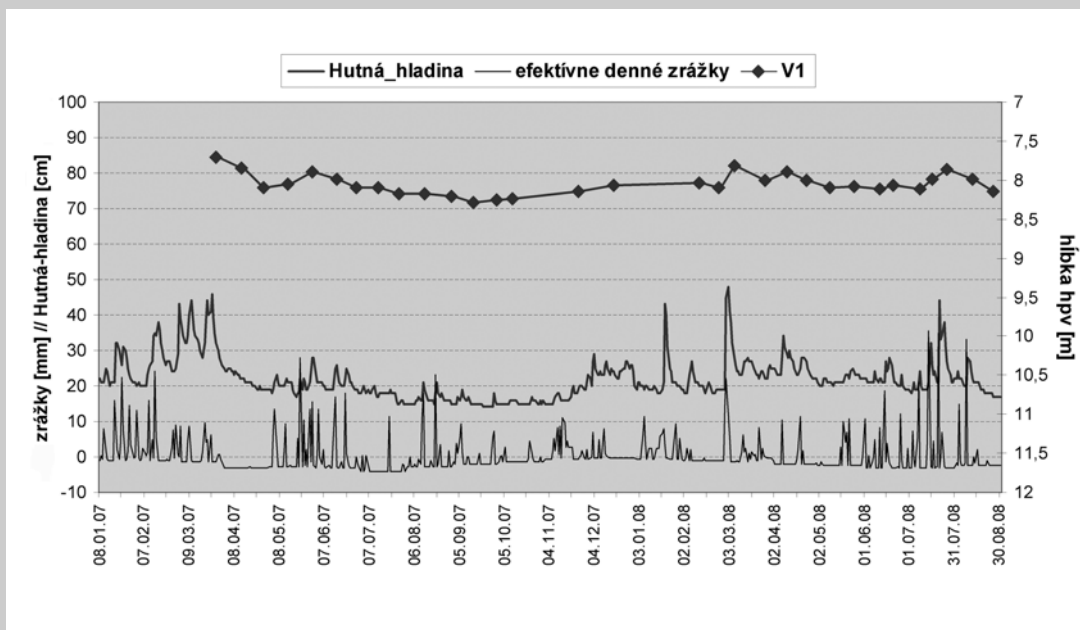
Tab.3 Hodnoty spearmanovho korelačného koeficientu indikujúce tesnosť korelácie medzi hĺbkou hladiny podzemnej vody a zodpovedajúcimi hodnotami výšky hladiny toku Hutná

vexnej mikroforme vlozenej v konkávnej mezoforme). Špecifiká v prípade V1 spočívajú v bezprostrednej blízkosti povrchového toku Hutná, ktorý svojim vodným stavom významne ovplyvňuje hpv vrtu. Vrt V4 je charakteristický špecifickým priebehom odozvy hpv na priebeh zrážok pravdepodobne zapríčineným zložitou hydrogeologickou stavbou.

Na skúmanej lokalite ľubietovského zosuvu sa nepotvrdila priama závislosť medzi hpv v jednotlivých vrtoch a dĺžkou svahu nad nimi ani medzi hpv a plochou „spádového“ mikropovodia. Reliéf však významnou mierou ov-

plyvňuje kolísanie hpv. V prípade nášho zosuvu sa javí tvar reliéfu (mikroformy a mezofomy) ako jeden z hlavných faktorov ovplyvňujúcich kolísanie hpv (rozsah a rýchlosť odozvy vrtu).

Napriek tomu, že štatistické testy potvrdili silnú koreláciu medzi stavom hladiny povrchového toku Hutnej a hpv v piezometrických vrtoch V1, V2, V5A a V6A (**tab. 3, obr. 5**), vzhľadom na ich relatívne výšky nad úrovňou toku Hutná (**tab. 1**) nemožno túto koreláciu považovať za jednoznačné potvrdenie vplyvu hladiny Hutnej na úroveň hpv ani pri vrte V1,



Obr. 5 Kolísanie hĺbkou hladiny podzemnej vody vo vrte V1 vo vzťahu k priemerným denným výškam hladiny Hutnej a efektívnym denným zrážkam

nemožno ju však ani vylúčiť. Vypovedá však o vplyve iného faktora, resp. viacerých faktorov, s ktorým sú späté aj samotné výkyvy hladiny Hutnej (zrážky, efektívne zrážky, apod.). Vzhľadom na polohu vrtu V1 je evidentné, že pokles hpv v tomto vrte počas suchých období je limitovaný hladinou tohto stáleho vodného toku.

Napriek tomu, že je možné preukázať vplyv zrážkových úhrnov, resp. efektívnych zrážkových úhrnov na úroveň hpv v jednotlivých vrtoch, rozkvyv hladín a rýchlosť „reakcie“ konkrétneho vrtu sú závislé aj od ďalších faktorov. Z nich upozorňujeme na charakter podložia, najmä existenciu priepustných a nepriepustných polôh a prítomnosť viacerých úrovní zvodní a charakter reliéfu (tvar elementárnych foriem reliéfu a až na druhom mieste veľkosť „mikropovodia“ vrtu, či dĺžku svahu nad vrtom).

Vzhľadom na relatívne krátku dobu detailného sledovania jednotlivých faktorov nemožno výsledky našich výskumov považovať za konečné. Netypický charakter počasia v sledovanom období, relatívne suché obdobia s nízkymi priemernými dennými teplotami (jeseň-jar) v rokoch 2006/2007 a 2007/2008, môže naše hodnotenia čiastočne skresľovať.

Z hľadiska ďalšieho výskumu ostali nevyriešené otázky:

Ako kvantitatívne hodnotiť elementárne formy reliéfu ako súčiniteľa, resp. faktor vstupujúci do hydrobilancie vrtu (mikropovodia, 3-D objektu)?

Problém viacrozmernosti pri zodpovedaní štatistickej závislosti hpv od jednotlivých parametrov, ako aj testovanie tejto závislosti.

Z hľadiska spoľahlivého overenia doterajších výsledkov prípadovej štúdie sa potvrdzuje nutnosť dlhodobejšieho sledovania lokality. Tiež bude potrebné do analýzy zahrnúť aj ďalšie faktory vplývajúce na variabilitu hpv (napr. geologická stavba, kapacita drenážnych sanačných zariadení, atď.), hodnoteniu ktorých sa budeme venovať v ďalšom výskume.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol v rámci riešenia projektu VEGA 1/4052/07. Autori ďakujú Vedeckej grantovej agentúre MŠ SR a SAV za finančnú podporu.

LITERATÚRA

BENETIN, J., TOMLAIN, J., NOVÁK, V. (1982). *The study of evapotranspiration in Czechoslovakia*. National Committee of Hydrology, Bratislava, 35 s.

CORNFORTH, D. (2005). *Landslide in Practice: Investigation, Analysis and Remedial/Preventative Options in Soil*. Wiley & Sons, 596 s.

FUSSGÄNGER, F., JADROŇ, D., BANSKÝ, M., TYLEČEK, B. (1978). *Lubietová – prúdový zosun*. Záverečná správa z predbežného inžiniersko-geologického prieskumu zosunu. Archív Geofond, Bratislava, 79 s.

HAMON, W.R. (1961). Estimating potential evapo-transpiration. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 87, 107-120.

HAUDE, W. (1955). Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. *Mitt. Deutscher Wetterdienst*, 11.

JELÍNEK, R. (2005). Deterministický prístup pri hodnotení hazardu ľubietovského zosuvu. *Mineralia Slovaca*, 37, 65-74.

KOPECKÝ, M. (2004). Možnosti prognózovania vzniku zosuvov v SR na základe analýzy klimatických a hydrogeologických pomerov. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Řada hornicko-geologická*, L, 2, 63-71.

MATEJKA, F. (1995). Vplyv meteorologických činiteľov na evapotranspiráciu. *Met. zpráva*, 48, 87-90.

MINÁR, J., TRIZNA, M. (2001). Podrobná priestorová diferenciácia charakteristík vodného režimu. In Minár, J. a kol. *Geoekologický (komplexný fyzickogeografický) výskum a mapovanie vo veľkých mierkach*. Geografické spektrum, 3, Prírodovedecká fakulta UK (Geografika), Bratislava, 102 - 105.

MONTEITH, J. L. (1981). Evaporation and surface temperature. *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, Vol. 107, No. 451, 1-27.

NEMČOK, A. (1982). *Zosuvy v slovenských Karpatoch*. VEDA, Bratislava, 319 s.

NOVÁK, V. (1995). *Vyparovanie vody v prírode*. VEDA, Bratislava, 260 s.

PROKEŠOVÁ, R., KARDOŠ, M., MEDVE-
DOVÁ, A. (2008). Digitálna letecká fotogra-
metria ako nástroj pre dlhodobý monitoring
zosuvného územia: vývoj Ľubietovského zosu-
vu v rokoch 1969 – 1998. *Geomorphologia
Slovaca et Bohemica*, 8, 2, 63-75.

SCHERER, S. (1999). Metodika hydrogeolo-
gického monitoringu na zosuvoch. *Podzemná
voda*, V, 2, 94-104.

WASOWSKI, J. (1998). Understanding rain-
fall-landslide realationships in man-modified
environments: a case-history from Caramanico
terme, Italy. *Environmental Geology*, 35, 2-3,
197-209.