

URČOVANIE GEOMORFOLOGICKEJ HODNOTY HORNÍN METÓDOU SCHMIDT HAMMER TEST V JUŽNEJ ČASTI POHORIA ŽIAR

JÁN SLÁDEK*

Ján Sládek: Geomorphological rock value identification by Schmidt hammer test in southern part of the Žiar Mountains. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 9, 2009, 2, 3 figs., 3 tabs., 15 refs.

The contribution deals with our experience of the Schmidt hammer test in the rock value identification. We report some experiment results, which were realized on rock samples and in stone pits in the southern part of the Žiar Mountains. Experiments were focused on the moisture effect and R (Q) value variations. Investigation of the dependence of the rock samples R (Q) value change on their weight was also part of the research. Seven stone pits mainly in the crystalline core of the Žiar Mts. were evaluated. The Silver Schmidt BN type presented the research technological basis. The Rock hardness in southern part of The Žiar Mts. is between 40 and 68 Q, which could be result of morphotectonic movements and different geomorphologic and geological evolution of this area.

Key words: Schmidt hammer test, Silver Schmidt, rock hardness, the Žiar Mts.

ÚVOD

Termín „geomorfologická hodnota hornín“ je v geomorfologických, morfoštruktúrne orientovaných prácach pomerne často používaný. Problematikou geomorfologickej hodnoty hornín v našich podmienkach sa zaoberal napr. MAZÚR (1963), z novších prác napr. NOVOTNÝ (2002). Na základe vyššie zmieňovaných prác možno geomorfologickú hodnotu hornín chápať v prípade určitých stálych klimatických podmienok ako funkciu fyzikálnych a chemických vlastností hornín (horninových formácií), ktoré sú schopné odolávať deštruktívnym procesom v daných klimatických podmienkach. Jednou z fyzikálnych vlastností, ktoré môžu viesť k predstave o geomorfologickej hodnote hornín je tvrdosť hornín, resp. ich jednoosá pevnosť. Meranie tvrdosti hornín môže byť do istej miery subjektívnou záležitosťou. Práve metóda Schmidt hammer testu môže podať objektivnejší obraz o tvrdosti hornín, resp. horninových formácií, a tým aj prispieť k exaktniejšiemu stanoveniu geomorfologickej hodnoty hornín.

Schmidt hammer (Schmidtovo kladivo) je v zahraničnej geomorfologickej a geologickej literatúre pomerne úspešný nástroj používaný pri terénnom výskume. V zahraničí existuje niekoľko desiatok prác zaoberajúcich sa teoreticko-metodologickou bázou, či už práce so samotným prístrojom, alebo jeho využitím pri geomorfologickom, resp. geologickej terénnom výskume. V slovenskej geomorfologickej obci však zatiaľ absentujú práce, ktoré by sa

dotýkali problematiky výskumu pomocou Schmidt hammer testu. Preto sa týmto príspevkom pokúšame aspoň načrtnúť niektoré možnosti použitia Schmidt hammer testu v geomorfologickom výskume aj v priestore Západných Karpát.

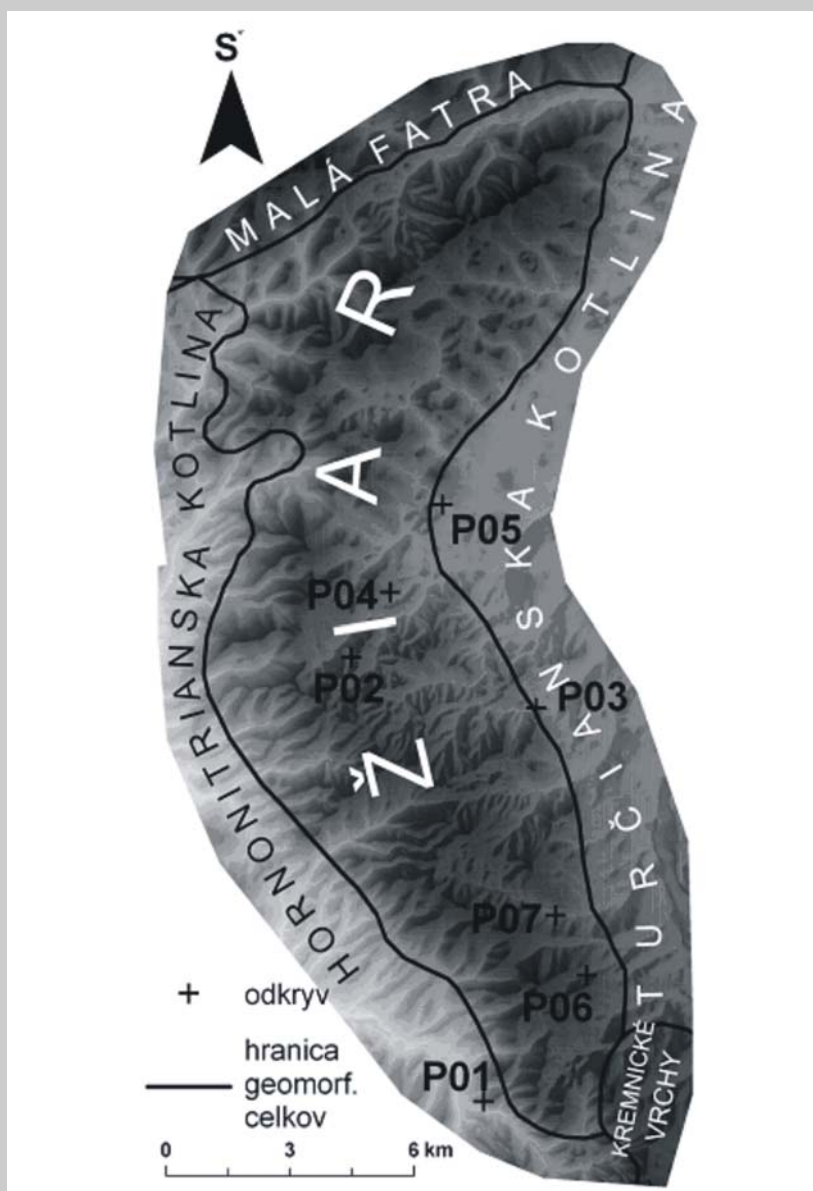
Schmidt hammer je prístroj skonštruovaný vo Švajčiarsku v roku 1948 Ernestom Schmidtom (BILGIN et al. 2002). Pôvodne sa používal na nedeštruktívne testovanie tvrdosti betónu. V šesťdesiatych rokoch minulého storočia sa prístroj začal uplatňovať v geologickej aj geomorfologickom výskume (GOUDIE 2006).

Prístroj pracuje na princípe stlačenia hrotu pružinou, ktorý je určitou (vždy rovnakou) silou vypustený oproti povrchu horniny. Následne meradlo, ktoré je napojené na piest meria veľkosť odskoku hrotu od odrazovej plochy (TÖRÖK 2003, HUBBARD a GLASSER 2005, MENTLIK 2006a). Veľkosť odskoku hrotu je prezentovaná ako tzv. R hodnota (rebound value).

V súčasnosti sa najčastejšie prístroj v geomorfologickom výskume používa vo dvoch smeroch. Prvý smer použitia je relatívne datovanie geomorfologických foriem georeliéfu, a to hlavne glaciálnych sedimentov. Druhý smer je meranie tvrdosti, resp. jednoosej pevnosti hornín, a tým aj ich potenciálnej geomorfologickej hodnoty.

V príspevku prinášame krátke porovnanie rozdielov v meraní medzi nami použitým prístrojom Silver Schmidt a doposiaľ viac používaným prístrojom typu Original Schmidt. Taktiež prezentujeme náš pokus o kvantifiká-

* Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoekológie, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava 4, Slovenská republika, e-mail: sladek@fns.uniba.sk



Obr. 1 Poloha výskumných bodov (odkryvov) v záujmovom území. **P01** - lokalita Ráztočno – Remata, hornina: dolomit; **P02** – lokalita Budiš, hornina: hrubozrnné porfyrické granity – granodiority; **P03** – lokalita Dubové, hornina: hrubozrnné porfyrické granity – granodiority; **P04** – lokalita Jasenovo, hornina: dvojsľudové a biotitické granity – granodiority; **P05** – lokalita Rudno, hornina: strednozrnné biotitické granodiority – hybridné tonality s xenolitmi pararúl; **P06** - lokalita Sklené, hornina: hybridné biotitické granodiority – tonality; **P07** – lokalita Dubové, hornina: dvojsľudové a biotitické granity – granodiority

ciu tvrdosti, resp. jednoosej pevnosti hornín, pomocou Silver Schmidt na odobraných vzorkách hornín a odkryvoch v južnej časti pohoria Žiar. Tieto merania aby mohli do značnej miery napomôcť k objektivizácii určovania geo-

morfolologickej hodnoty hornín v danej oblasti. V tejto fáze sa výskum uberal cestou experimentu, ktorý by mal potvrdiť, alebo vyvrátiť niektoré skôr publikované metódy merania (napr. GOUDIÉ 2006, MENTLÍK 2006b,



SUMNER a NEL 2002) pomocou Schmidt hammer testu.

Stanovenie veľkosti geomorfologickej hodnoty hornín môže okrem iného napovedať aj o potenciálnej miere odnositeľnosti materiálu z územia za určité obdobie, pri zachovaní určitých, hlavne klimatických podmienok. Táto miera by mohla byť neskôr interpretovateľná vzhľadom na (neo)tektonickú aktivitu územia.

STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMIA

V tejto, prvej fáze sme sa zamerali na južnú časť Žiaru budovanú prevažne kryštalickými horninami (**obr. 1**). Územie zahŕňa oblasť od Rudna po Sklené a Ráztočno. Medzi najviac rozšírené horniny v tomto území patria dvojsľudové a biotitické granity spolu s porfyrickými granitmi (najmä podcelok Horeňovo). V južnom cípe Žiaru (podcelok Rovne) sú polohy dolomitov a viacerých druhov vápencov.

Georeliéf južného Žiaru tvoria prevažne vrchoviny s mierne rezaným reliéfom. Južná časť pohoria je výškovo asymetricky vŕklnená medzi Turčiansku a Hornonitriansku kotlinu. Kým od Turčianskej kotliny prevláda mierne rezaný reliéf s pomerne plytkými dolinami, z hornonitrianskej strany je reliéf s krátkymi no pomerne ostro rezanými dolinami. Touto výraznou morfológickou odlišnosťou je hlavný chrbát Žiaru mierne posunutý k južnému okraju pohoria, bližšie k Hornonitrianskej kotline. Tento jav sa neprejavuje iba v kryštalickom jadre južného Žiaru, ale aj v južnom cípe pohoria v podcelku Rovne a na jeho diferenciaciu mal významný vplyv tektonický zdvih pohoria v neogéne. V Rovniach sa predpokladajú zvyšky pravdepodobne starého krasového reliéfu (MAŽÚR a JAKÁL 1973, SLÁDEK a BIZUBOVÁ 2008) s početnými závrťmi a niekoľkými jaskynnými priestormi a na hornonitrianskej strane pohoria aj vyvieracškami.

METÓDY VÝSKUMU

Technologickú bázu v našom výskume v južnej časti Žiaru tvoril prístroj Silver Schmidt typu BN s rázovou silou 2,207 Nm. Podľa dopadovej sily piestu možno podľa GOUDIE (2006) rozlíšiť tri verzie prístroja použiteľné pre geomorfologický výskum:

1. „N“ typ, najviac používaný v geomorfologickom výskume. Vytvára dopadovú silu 2,207 Nm a je vhodný pre meranie slabo spevnených až veľmi tvrdých hornín.
2. „L“ typ, vyvinie dopadovú silu 0,735 Nm a je vhodný pre meranie viac navetralých hornín.
3. „P“ typ je vhodný pre testovanie málo spevnených materiálov (napr. veľmi navetralých hornín) s pevnosťou v tlaku menšou ako 70 kPa.

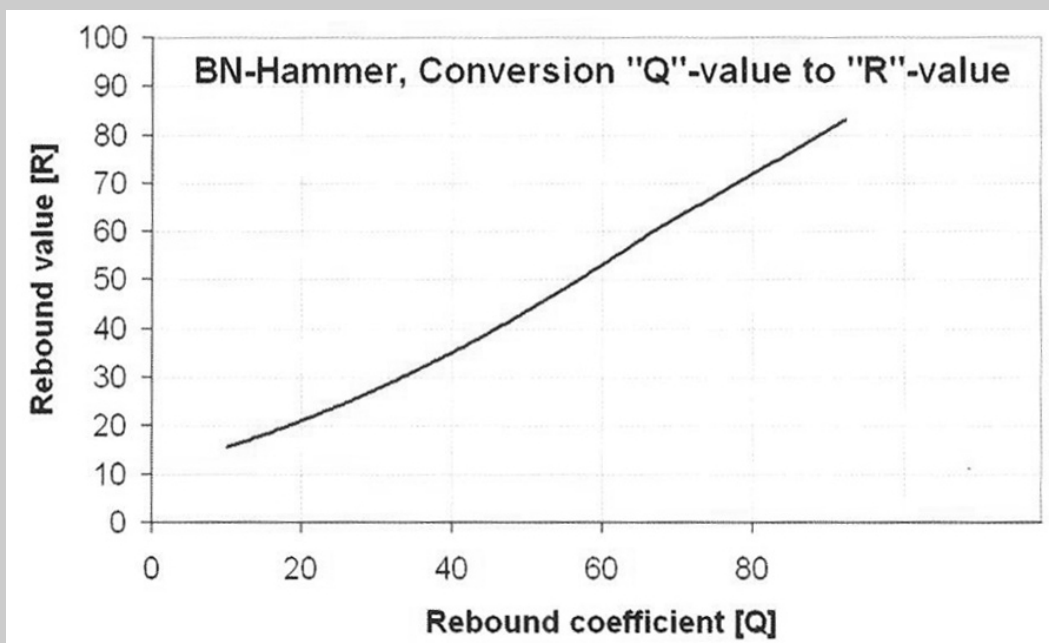
Podľa spôsobu merania a záznamu hodnôt rozlišujeme:

1. „Original Schmidt“, prístroj meria veľkosť odskoku (hodnota „R“) na mechanickom princípe s mechanickým posuvníkom. Hodnoty sú odčítavané priamo zo stupnice prístroja. Pri typoch „NR“ a „LR“ sú hodnoty zapisované na papierovú rolku.

2. „Digi-Schmidt“, merania sú prenášané z prístroja do príručného počítača a následne môžu byť uložené a spracované v počítači.

3. „Silver Schmidt“ (**obr. 2**), predstavuje kompromis medzi vyššie zmieňovanými prístrojmi a navyše prináša niekoľko výhod, ktoré pri meraní v teréne prinášajú úsporu nielen časovú, ale navyše je prístroj schopný merať s vyššou presnosťou.

Je dôležité aby pri výskume bol použitý iba jeden typ prístroja („N“, „L“, „P“), pretože v závislosti od veľkosti dopadovej sily pri rôznych typoch prístroja sa na tej istej hornine mení veľkosť hodnoty „R“ (BILGIN et al. 2002).



Obr. 3 Konverzná krivka medzi „Q“ a „R“ hodnotami. Spracované podľa príručky pre užívateľa k Silver Schmidt

Vyššie uvádzané rozdelenie vychádza z produktov Švajčiarskej firmy Proceq, ktorá je výrobcom týchto prístrojov a jej výrobky sú v danej oblasti najviac žiadané. Vo svete existujú aj niektoré podobné mutácie prístrojov na báze Schmidt hammer, od rôznych výrobcov, ktoré sa môžu od originálnych líšiť.

V nasledujúcich odsekoch uvádzame stručnú charakteristiku a rozdiely v používaní Silver Schmidt typu BN a geomorfológmi najčastejšie používaným prístrojom Original Schmidt typu N. Odseky sú spracované na základe návodu na použitie Silver Schmidt.

Pri práci s prístrojom Original Schmidt je pre správne nameranie „R“ hodnôt potrebné dodržiavať niekoľko zásad, ktoré popisujú vyššie uvádzaní autori. My preto budeme opisovať iba tie, ktoré sú odlišné pri práci so Silver Schmidt. Silver Schmidt ponúka niekoľko inovácií, ktoré uľahčujú a urýchľujú prácu v teréne. V prvom rade sú to jeho kompaktné rozmery. Silver Schmidt obsahuje podobné funkcie ako Digi-Schmidt, ale k prístroju netreba v teréne pripájať externý počítač. Silver Schmidt meria skutočný koeficient odrazu, hodnotu „Q“.

$$Q = 100 \times \frac{\text{energia obnovená}}{\text{energia vstupná}}$$

Silver Schmidt meria rýchlosť úderu a spätného rázu bezprostredne pred úderom a po údere, pričom je vypočítané množstvo energie ku ktorej obnoveniu môže dôjsť. Hod-

nota „Q“ je menej závislá na trení po vodiacej tyči, vplyvu gravitácie, ktorá pôsobí na ručičku meradla. Hodnota „Q“ sa meria optickým pozorovaním, čím je prakticky zbytočná posuvná ručička, používaná na prístroji Original Schmidt.

Stupnica „Q“ sa mierne odlišuje od tradične používanej stupnice „R“. Prístroj je vybavený prevodnou stupnicou z hodnôt „Q“ na hodnoty „R“, čím je možné priamo merať aj v tradičných hodnotách „R“. Na **obr. 3** je empiricky nameraná prevodná krivka z hodnôt „Q“ na hodnoty „R“. Číselné vyjadrenia hodnôt sú uvádzané v **tab. 1**.

Prístroj Silver Schmidt nie je závislý od sklonu merania. Kým pri meraní s Original Schmidt bolo potrebné merať vo vodorovnej, resp. zvislej polohe, prípadne používať prevodné krivky v závislosti od sklonu merania, Silver Schmidt, práve vďaka hodnote „Q“ nie je od týchto kriviek závislý.

Namerané hodnoty sa zobrazujú priamo na LCD obrazovke prístroja, pričom je možné nastavenie hodnôt v jednotkách „Q“, „R“, N/mm², kg/cm², psi. Namerané hodnoty je možné ukladať do pamäte prístroja a následne ich prezeráť.

Silver Schmidt je napájaný lítiovým – polymérovým akumulátorom, pričom výrobca uvádza, že jedno nabitie postačuje pre viac ako 1000 úderov.

Veľkou výhodou Silver Schmidt je voľba pracovného režimu, ktorý umožňuje navoliť móď jednotlivého úderu alebo série meraní. Pri

Q ±0.5	R ±0.5	Q ±0.5	R ±0.5	Q ±0.5	R ±0.5	Q ±0.5	R ±0.5	Q ±0.5	R ±0.5	Q ±0.5	R ±0.5
10.0	15.5	24.0	23.5	38.0	34	52.0	45.25	66.0	59.5	80.0	72
10.5	15.75	24.5	23.75	38.5	34.5	52.5	45.75	66.5	59.75	80.5	72.25
11.0	16	25.0	24	39.0	34.75	53.0	46.75	67.0	60	81.0	72.5
11.5	16.25	25.5	24.25	39.5	35	53.5	47	67.5	60.75	81.5	73.25
12.0	16.5	26.0	24.5	40.0	35.5	54.0	47.5	68.0	61	82.0	73.5
12.5	16.75	26.5	24.75	40.5	35.75	54.5	48	68.5	61.5	82.5	74
13.0	17	27.0	25	41.0	36	55.0	48.25	69.0	62	83.0	74.5
13.5	17.25	27.5	25.5	41.5	36.5	55.5	48.5	69.5	62.5	83.5	75
14.0	17.5	28.0	26	42.0	37	56.0	49	70.0	63	84.0	75.75
14.5	17.75	28.5	26.25	42.5	37.5	56.5	49.5	70.5	63.5	84.5	76.25
15.0	18	29.0	26.5	43.0	37.75	57.0	49.75	71.0	64	85.0	76.5
15.5	18.25	29.5	26.75	43.5	38	57.5	50	71.5	64.5	85.5	76.75
16.0	18.5	30.0	27	44.0	38.5	58.0	50.5	72.0	65	86.0	77.5
16.5	18.75	30.5	27.5	44.5	38.75	58.5	51	72.5	65.25	86.5	78
17.0	19	31.0	28	45.0	39	59.0	51.5	73.0	65.5	87.0	78.5
17.5	19.5	31.5	28.25	45.5	40	59.5	52	73.5	66	87.5	78.75
18.0	20	32.0	28.5	46.0	40.25	60.0	53	74.0	66.5	88.0	79
18.5	20.25	32.5	29	46.5	40.75	60.5	53.5	74.5	67	88.5	79.5
19.0	20.5	33.0	30	47.0	41	61.0	53.75	75.0	67.25	89.0	80
19.5	20.75	33.5	30.5	47.5	41.25	61.5	54.5	75.5	68	89.5	80.5
20.0	21	34.0	30.75	48.0	41.5	62.0	55	76.0	68.5	90.0	81.25
20.5	21.25	34.5	31	48.5	42	62.5	55.25	76.5	68.75	90.5	81.5
21.0	21.5	35.0	31.5	49.0	42.25	63.0	55.75	77.0	69	91.0	82
21.5	21.75	35.5	31.75	49.5	43	63.5	56.25	77.5	69.5	91.5	82.5
22.0	22	36.0	32	50.0	43.25	64.0	57	78.0	70	92.0	83
22.5	22.5	36.5	32.5	50.5	43.5	64.5	57.5	78.5	70.5		
23.0	23	37.0	33	51.0	44	65.0	58	79.0	71		
23.5	23.25	37.5	33.5	51.5	45	65.5	58.5	79.5	71.5		

Tab. 1 Konverzia empiricky nameraných hodnôt „Q“ na „R“, platné pre Silver Schmidt BN

nastavenej sérii meraní je možné si zvoliť počet úderov pre jednotlivú sériu (od 1 po 99). Po ukončení každej série prístroj zobrazí štatistické údaje, pričom v závislosti od nastavenia dokáže počítať medián, aritmetický priemer alebo aritmetický priemer s vymazaním izolovaných vrcholov (extrémnych hodnôt) a automaticky zobrazí aj smerodajnú odchýlku.

Pre meranie hodnoty pevnosti v tlaku, je Silver Schmidt vybavený štyrmi prevodnými krivkami, ktoré sú závislé od nameranej hodnoty „Q“ (**L** rozsah 2 – 30 N/mm², **B** 10 – 70 N/mm², **C** 10 – 110 N/mm² a **H** 70 – 170 N/mm²).

V skúmanom území (**obr. 1**) sme sa snažili v každej horninovej formácii nájsť aspoň jeden reprezentatívny odkryv, z ktorého by bolo možné odobrať tri relevantné vzorky pre experiment. Experiment spočíval v testovaní závislosti hmotnosti vzoriek, vlhkosti, vzdialenosti meraných bodov od puklín, resp. hrán vzoriek a ich vplyv na namerané údaje „Q“, resp. „R“.

Zatiaľ bolo spracovaných v danej oblasti sedem reprezentatívnych odkryvov pre rôzne horninové formácie, prevažne však išlo o kryštalikum Žiaru. Keďže nebolo možné experimenty prevádzať priamo na mieste, boli odkryvy vybrané aj s ohľadom na ich dostupnosť, pretože bolo potrebné odobrať vzorky transportovať na väčšiu vzdialenosť. Samotné odkryvy preto tvorili či už prirodzené výstupy podložia vo svahu alebo umelé zárezy lesných

ciest. V jednom prípade ako výskumný bod poslúžil funkčný kameňolom pri ceste do rekreačnej oblasti Remata pri Ráztočne. Všetky odkryvy boli polohovo zaznamenané pomocou GPS. Vzorky sme s ohľadom na ich hmotnosť zbierali predovšetkým spod skalných stien pomerne čerstvých odkryvov. Výnimku tvoril odkryv P02, kde bolo pre danú horninovú formáciu na danom mieste problematické nájsť zodpovedajúci odkryv. Následne boli merania uskutočnené aj na stenách odkryvov. Z každého odkryvu sme odobrali tri hmotnostne odlišné vzorky. Aby bolo možné testovať vplyv hmotnosti na merané údaje, podľa skôr publikovaných prác (SUMNER a NEL 2002, MENTLÍK 2006a a 2006b KAHRAMAN et al. 2002), bolo podmienkou aby najťažšia vzorka z odkryvu mala nad 23, resp. 25 kg. Keďže oblasť južného Žiaru je tvorená prevažne starými kryštalickými horninami, ktoré sú porušené množstvom puklín, bolo problematické nájsť a odobrať hmotnostne zodpovedajúce vzorky. Napriek tomu sa nám až na jednu výnimku túto podmienku podarilo dodržať. Následne boli na odkryvoch urobené série meraní. Podľa veľkosti odkryvu od 16 do 60 impaktov. Každá vzorka bola zaevidovaná a zatriedená podľa lokality, hmotnosti a rozmerov. Podľa hmotnosti sme rozdelili vzorky na tri skupiny „a“ - najťažšia, „b“, „c“ - najľahšia.

Samotný experiment pozostával zo série meraní na každej vzorke podľa jej veľkosti od 10 do 16 impaktov. Opierajúc sa o zahraničné

publikácie a ich modifikáciu pre naše potreby sme považovali tento počet za dostatočný. Priemerovací mód prístroja sme nastavili na počítanie priemerných hodnôt s automatickým vynechaním extrémnych hodnôt. Pred každým meraním bolo potrebné zbaviť miesto nečistôt a očistiť brúsnym kameňom dodávaným s prístrojom. Sériá meraní bola podľa možnosti umiestnená do stredu vzorky, pričom podľa návodu k prístroju musí byť vzdialenosť medzi jednotlivými meraniami bodmi väčšia ako priemer piestu prístroja (asi 2,5 cm). V prípade, že pri údere došlo k deštrukcii povrchu horniny (či už na vzorke alebo odkryve), nebolo toto meranie brané do úvahy a bolo nahradené meraním na inom mieste. Po ukončení prvej série meraní na všetkých vzorkách, nasledoval experiment s vplyvom vlhkosti na veľkosť hodnoty „Q“. Preto sme vzorky „b“ ponorili na 18 hodín do vody. Bezprostredne po vytiahnutí vzoriek nasledovalo odváženie vzoriek a meranie s nastavením tých istých funkcií Silver Schmidt ako pri suchých vzorkách.

VÝSLEDKY

Každý výskumný bod reprezentuje séria meraní na vzorkách hornín a odkryve. Jednotlivé výskumné body popisujeme nižšie. Názvy lokalít (**obr. 1**) zodpovedajú prístupovými miestami k odkryvom, resp. ich príslušnosti ku katastru obce.

P01, lokalita Ráztočno. Skúmaným odkryvom bola časť funkčného lomu. Lom je založený v triasových dolomitoch a dolomitických vápencoch. Z odkryvu boli odobrané tri vzorky o hmotnosti 35 kg, 27 kg a 24,5 kg. Na každej vzorke bolo spravených po 16 meraní. Pri všetkých troch vzorkách sa priemerná hodnota „Q“ (\overline{Q}_{SS}) pohybovala na úrovni 60,5; 57,0 a 60,0. Po prevedení na hodnotu „R“ 53,5; 49,75 a 53,0. Smerodajná odchýlka (S_{QSS}) predstavovala hodnoty 2,7 až 4,7 Q a variačný koeficient (V_{kSS}) 4,5 až 7,8 %. Pri vzorke ponojenej do vody a následnom meraní klesla hodnota „Q“ na 45,0. Taktiež klesla smerodajná odchýlka (3,6 Q) a stúpol variačný koeficient na 8,0 %. Samotné meranie na odkryve (počet meraní $n = 60$) potvrdilo tieto hodnoty. Tie boli namerané nasledovne: priemerná hodnota Q 58,7 (51 R), S_{QSS} s hodnotou 3,7 Q a V_{kSS} na úrovni 6,3 %.

P02, lokalita Budiš. Odkryv v záreze lesnej cesty. Hornina: hrubozrnné porfyrické granity. Odkryv je viac menej umelý, v záreze zväzňuje, na dne doliny, ktorá pôsobí ako zberná oblasť hlavne v čase extrémnych zrážkových udalostí. Z oblasti boli odobraté tri vzorky (hmotnosť: 24,5; 24 a 22 kg). Z týchto sa však za relevantné dajú pokladať iba prvé dve, pre-

tože v čase odberu nebola možná jednoznačná identifikácia o aké horniny ide (prívalový dážď a veľké množstvo blata na vzorkách). Neskôr po očistení a merania Schmidt hammer testom potvrdili, že sa jedná o dve vzorky porfyrických granitov a jednu pravdepodobne mladšiu, ťahaním dreva zvlčenú vzorku ($\overline{Q} = 72,5$; $\overline{OR} = 65,25$). Do analýzy sme preto brali len prvé dve. Na vzorkách bolo spravených po 16 meraní. Priemerné hodnoty boli 48,0 Q, resp. 41,5 R pri prvej vzorke ($S_{QSS} = 3,7$ a $V_{kSS} = 7,1$ %) a 58,0 Q a 50,5 R ($S_{QSS} = 6,1$; $V_{kSS} = 10,5$ %) pri druhej vzorke. Mokrú vzorku mala priemerné hodnoty 50,5 Q; resp. 43,5 R. Pričom smerodajná odchýlka sa znížila na 3,1 Q a V_{kSS} na 6,1 %. Na odkryve merané priemerné hodnoty boli o niečo nižšie ($\overline{Q} = 47,5$; $\overline{OR} = 41,25$; $S_{QSS} = 5,1$ a $V_{kSS} = 10,7$ %), avšak tieto hodnoty sú ešte stále v prípustnom rozmedzí. Z dôvodu malého počtu merateľných miest na odkryve sme museli znížiť počet meraní na 16, čo do istej miery taktiež mohlo zohrať úlohu pri celkovom priemerovaní hodnôt.

P03, lokalita Dubové. Umelý odkryv v hrubozrnných granitoch v záreze prístupovej cesty ku chatovej osade za obcou Dubové. Odobraté vzorky (hmotnosť 31,5; 27 a 22 kg) pochádzali priamo z lomovej steny. Hornina bola prestúpená sieťou puklín, preto bolo zložité nájsť vhodné miesto na zber údajov. Nakoniec bolo na vzorkách uskutočnených po 16 meraní. Priemerné hodnoty sa pohybovali v rozpätí 40,5 Q (35,75 R) až 45,5 Q (40,0 R), pričom smerodajná odchýlka bola pri všetkých takmer rovnaká 3,3 až 4,1 Q, variačný koeficient bol taktiež v prijateľnom rozpätí (hodnoty od 8,2 do 9,6 %). V porovnaní s mokrou vzorkou boli tieto hodnoty takmer na rovnakej úrovni t. j. v priemere o 1 Q a 0,5 R vyššie, čo bol jediný prípad, kedy mala mokrá vzorka vyššie hodnoty. Hoci je odkryv pomerne mohutný, pre porušenosť horniny v ňom bolo možné spraviť iba 25 meraní, ktorých hodnoty ($\overline{Q} = 37,0$; $\overline{OR} = 33,0$; $S_{QSS} = 5,5$ a $V_{kSS} = 14,9$ %) približne korešpondujú s nameranými hodnotami na vzorkách.

P04, lokalita Jasenovo. Umelý odkryv pravdepodobne v starom úvoze. Lokalita je tvorená starým kryštalickým jadrom pohoria Žiar (dvojsľudové a biotitické granity), preto bolo problematické nájsť vhodný odkryv na odber vzoriek hornín. Práve táto lokalita nespĺňala položenú podmienku, aby aspoň jedna zo vzoriek mala nad 23, resp. 25 kg. Napriek tomu sme túto lokalitu zaradili, pre jej reprezentatívnosť v rámci horninového masívu a dobrú dostupnosť. Pre málo zodpovedajúcu váhu („a“ 22 kg, „b“ 11 kg, „c“ 9,5 kg) a veľkosť vzoriek bolo potrebné upraviť počet meraní (pri „a“ vzorke $n = 16$, „b“ $n = 10$, „c“ $n = 10$), podľa niektorých zdrojov (BILGIN et al. 2002, HAR-

Stupnica pevnosti hornín na základe použitia Schmidt hammer testu (podľa Selby 1980)		
charakteristika	odkryv	ØR (Ø Q)
veľmi odolné R (100-60)	P06	60,75 (67,5)
odolné R (60-50)	P01 P05	51,5 (59) 50,5 (58)
stredne odolné R (50-40)	P02 P07	44 (51) 41,25 (47,5)
málo odolné R (40-35)	P03	36,5 (41,5)
neodolné R (35-10)	-	-

Tab. 2 Pevnosť hornín na základe Schmidt hammer testu v južnej časti Žiaru

TVICH et al. 2007) je odporúčaných minimálne 9 meraní. Napriek tomu nám vyšli pomerne homogénne výsledky, čo sa týka priemerných Q (R) hodnôt pri „a“ aj „b“ vzorke, i keď „b“ vzorka mala polovičnú hmotnosť. Namerané boli hodnoty 45,0 Q (39,0 R), ale s rozdielnou smerodajnou odchýlkou a variačným koeficientom. Pri „a“ $S_{QSS} = 3,5$ a $V_{kSS} = 7,8$ %. Pri „b“ $S_{QSS} = 2,1$ a $V_{kSS} = 4,7$ %. Mokrá „b“ vzorka mala podľa očakávania nižšie priemerné Q = 39,5 (R = 35,0) hodnoty. O značnom rozptyle nameraných hodnôt svedčí $S_{QSS} = 6,8$ a $V_{kSS} = 17,2$ %. Posledná „c“ vzorka mala oveľa nižšie hodnoty ($ØQ = 22,5$; $ØR = 22,5$; $S_{QSS} = 3,6$ a $V_{kSS} = 16,0$ %), ktoré však boli najbližšie nameraným hodnotám priamo v odkryve ($ØQ = 26,6$; $ØR = 24,75$; $S_{QSS} = 2,7$ a $V_{kSS} = 10,2$ %). S ohľadom na uvedené hodnoty je popísaný výskumný bod braný skôr ako pokusná lokalita a namerané hodnoty nevstupovali ne-skôr do ďalších analýz.

P05, lokalita Rudno. Prirodzený odkryv v záreze potoka v strednozmrných biotitických granodioritoch. Lokalita je jednou z najsevernejších rozšírení granitoidného jadra Žiaru. Počet meraní na vzorkách bol 16, na odkryve 25.

Priemerné hodnoty na vzorkách „a“, „b“ boli približne rovnaké na „a“ vzorke 59,0 Q; resp. 51.5 R; $S_{QSS} = 4,1$; $V_{kSS} = 7,0$ %. Na „b“ vzorke to boli hodnoty $ØQ = 55,0$; $ØR = 48,25$; $S_{QSS} = 3,5$ a $V_{kSS} = 6,4$ %. Relatívne rovnaké hodnoty boli dané váhou, ktorá presahovala odporúčanych 25 kg, pri „a“ vzorke o 15 a pri „b“ vzorke o 2 kg. Výraznejšie rozdiely sa ukázali až pri vzorke „c“ s hmotnosťou 17 kg, kde sme namerali hodnoty $ØQ = 43,5$; $ØR = 37,75$; $S_{QSS} = 4,7$ a $V_{kSS} = 10,9$ %. Merania na odkryve ($ØQ = 60,0$; $ØR = 53,0$; $S_{QSS} = 5,6$ a $V_{kSS} = 9,3$ %) potvrdili hodnoty prvých dvoch vzoriek.

P06, lokalita Sklené. Umelý odkryv v biotitických granodioritoch v záreze lesnej cesty. V minulosti slúžil pravdepodobne ako lom. Z miesta boli odobrané vzorky o hmotnosti 34, 32,5 a 16,5 kg. Počet meraní na vzorkách bol 16, pričom priemerné „Q“ („R“) pri „a“ a „b“ vzorkách boli opäť v prijateľnom rozpätí (pri „a“ $ØQ = 65,0$; $ØR = 58,0$; $S_{QSS} = 5,1$ a $V_{kSS} = 7,9$ %; pri „b“ vzorke $ØQ = 70,5$; $ØR = 63,5$; $S_{QSS} = 2,4$ a $V_{kSS} = 3,4$ %). Opäť podľa očakávania mala mokrá „b“ vzorka nižšie hodnoty ($ØQ = 64,5$; $ØR = 57,5$; $S_{QSS} = 5,0$ a $V_{kSS} = 7,8$ %). Vzhľadom na hmotnosť „c“ vzorky (16,5 kg) boli hodnoty opäť nižšie ($ØQ = 46,5$; $ØR = 40,75$; $S_{QSS} = 3,1$ a $V_{kSS} = 6,7$ %) ako pri „a“, resp. „b“ vzorkách. Napriek tomu, že sa jedná o pomerne mohutný odkryv (35 x 30 m), bol počet meraní na odkryve obmedzený na 25. Opäť to bolo spôsobené veľkým prestupením puklín v odkryve a miestami aj zbridlíčením niektorých jeho častí, ktoré by mohli viesť ku skresleniam meraní. Hodnoty ($ØQ = 67,5$; $ØR = 60,75$; $S_{QSS} = 4,3$ a $V_{kSS} = 6,4$ %) potvrdzujú opäť hodnoty prvých dvoch vzoriek.

P07, lokalita Dubové. Prirodzený odkryv vo svahu, budovaný dvojsľudovými a biotitickými granitmi. Na základe meraní sú z lokality relevantné opäť iba dve vzorky. Napriek tomu, že „c“ vzorka mala iba 21 kg jej hodnoty „Q“ (R) oproti vzorkám „a“ a „b“ boli tak-

Hornina	Priemerná R hodnota	Zdroj
sedimentárne		
dolomit (Grécko)	40 - 60	Goudie 2006
dolomit (Žiar P01)	51.5	-
dolomit (Turecko)	55 - 59	Goudie 2006
magmatické (hlbinné)		
granit (Žiar P03)	36.5	-
granit (Žiar P07)	41.25	-
granit (Žiar P02)	44	-
granodiorit (Žiar P05)	50.5	-
granit (Švédsko)	55 - 56	Goudie 2006
granit (Veľká Británia)	59.4 - 61.1	Goudie 2006
granit (Turecko)	55.7 - 62.5	Goudie 2006
granodiorit (Turecko)	43.75	Goudie 2006
granit (Poľsko)	53.3 - 62.9	Placek a Migoń 2007
granodiorit (Žiar P06)	60.75	-

Tab. 3 Porovnanie „R“ hodnôt hornín v južnom Žiari a rôznych častiach sveta

mer dvojnásobné ($\overline{OQ} = 74,5$; $\overline{OR} = 66,5$; $S_{QSs} = 2,4$ a $V_{kSs} = 3,2$ %). Odchýlky môžu byť spôsobené tým, že mohlo ísť o vzorku, ktorá bola odobraná z delúvia (nad zárezom lesnej cesty) na hranici horninových formácií. V tomto materiáli mohlo dôjsť k pomiešaniu rôzne odolných hornín. Na vzorkách „a“ a „b“ boli merania v rámci prípustného rozsahu, aj keď už s väčším rozdielom priemerných hodnôt „ Q “ (R). Na „a“ vzorke s hmotnosťou 51 kg boli namerané nasledovné hodnoty: $\overline{OQ} = 47,0$; $\overline{OR} = 41,0$; $S_{QSs} = 4,4$ a $V_{kSs} = 9,4$ %. Na „b“ vzorke: $\overline{OQ} = 40,5$; $\overline{OR} = 35,75$; $S_{QSs} = 4,9$ a $V_{kSs} = 12,1$ %. Pri mokrej „b“ vzorke sme namerali, tak ako vo väčšine prípadov nižšie priemerné hodnoty ($\overline{OQ} = 35,5$; $\overline{OR} = 31,75$; $S_{QSs} = 3,6$ a $V_{kSs} = 10,1$ %). Na všetkých vzorkách bol počet meraní 16. V porovnaní s meraniami na odkryve ($n = 25$) boli hodnoty na vzorkách nižšie. Vyššie priemerné hodnoty na odkryve ($\overline{OQ} = 55,0$; $\overline{OR} = 48,25$; $S_{QSs} = 5,6$ a $V_{kSs} = 10,2$ %) mohli byť spôsobené aj disharmóniou meraných hodnôt na odkryve, kedy v spodnej časti odkryvu boli namerané vyššie hodnoty ako vo vrchnej časti. Rozloženie meraných bodov medzi spodnou a vrchnou časťou odkryvu bolo približne rovnaké.

ZÁVER

Z vyššie uvedených meraní je možné spraviť niekoľko čiastkových záverov. V prvom rade môžeme namerané hodnoty z odobratých vzoriek priamo porovnať s hodnotami na odkryvoch. V prípade ich nevelkého rozptylu možno spraviť priemer nameraných hodnôt a zotriediť lokality podľa pevnosti hornín. V **tab. 2** sú zoradené skúmané lokality na základe pevnosti hornín podľa SELBY (1980). Výsledné hodnoty sú priemery nameraných hodnôt z odkryvov a vzoriek. Do úvahy neboli brané výrazne sa odchyľujúce hodnoty z danej lokality (napr. „c“ vzorka z P07, „c“ vzorka z P06, atď.), ani hodnoty z „mokrych“ vzoriek. V tabuľke neuvádzame lokalitu P04, pre jej málo reprezentatívny charakter. Pretože v zahraničnej literatúre sa operuje s „ R “ hodnotou, pre porovnanie najprv uvádzame túto a v zátorke potom hodnotu „ Q “. Ako sme načrtli vyššie, údaje je možné porovnať so zahraničnými zdrojmi, preto ako príklad, na základe prác GOUDIE (2006) a PŁACEK a MIGON (2007), uvádzame **tab. 3**. Tieto hodnoty reprezentujú tvrdosť hornín, a tým aj ich potenciálnu geomorfologickú hodnotu.

V druhom rade nám experimenty zatiaľ dali predbežné odpovede na otázky metodiky merania so Silver Schmidt, naznačené na začiatku. V prípade vplyvu hmotnosti vzorky, sa nám výraznejšie odchyľky ukázali až pri vzorkách

pod 20 kg. Tu treba objektívne povedať, že tento údaj nemusí byť celkom správny, pretože šlo o malý počet vzoriek a v podstate iba graniťoidné horniny, pričom každá horninová formácia môže byť z tohto hľadiska individuálna.

Výrazný rozdiel hodnôt pri meraní na okraji alebo strede skalného bloku, resp. vzorky sme nezaznamenali. Snažili sme sa dodržať pravidlo, aby merané miesto bolo aspoň 10 cm od okraja. Opäť tieto výsledky môžu byť individuálne pri rôznych horninách.

Vplyv puklinatosti sa markantne prejavil pri veľmi porušených, resp. puklinami prestúpených vzorkách a odkryvoch. Takou bola napr. lokalita P04 Jasenovo, ktorá predstavovala najstaršie horniny jadra Žiaru. Ďalej tu môže zohrať svoj vplyv foliácia, resp. bridličnatosť jednotlivých vzoriek (HUBBARD a GLASSER 2005, MENTLÍK 2006a).

Vplyv vlhkosti na namerané výsledky bol značný, aj keď nešlo o prípustné horniny, a teda nebol predpoklad, že by horniny nasiakli vodou (s výnimkou puklín). Vplyv vlhkosti, resp. vody na povrchu horniny, alebo v puklinách sa prejavil znížením priemerných hodnôt Q (R), až na jeden prípad, vo všetkých meraných vzorkách. Pozoruhodná bola skutočnosť, že odchýlka pri rovnakých typoch hornín nebola rovnaká. Rozdiely medzi suchou a mokrou vzorkou boli nižšie o 9 až 21 %. V prípade odkryvu P03 bola odchýlka vyššia o 2 % v prospech mokrej vzorky. V súvislosti s týmto vyvstáva otázka, do akej miery môžeme považovať vzorku za mokrú a pri akej vlhkosti sa hodnoty blížia k priemerom suchej vzorky. Z experimentu vyplýva, že tieto vlastnosti sú vysoko individuálne pri každom horninovom type, či už sa jedná o kryštalické alebo sedimentárne horniny. Taktiež si myslíme, že priemerné Q (R) hodnoty mokrych vzoriek sú závislé na hmotnosti danej vzorky, porušení puklinami, povrchovom nasiaknutí zvetralinového plášťa, atď.

Ukazuje sa a zo zahraničných prác je zrejme, že Schmidt hammer test je úspešný nástroj geomorfologického výskumu. Neplatí to iba pre glaciologicky či morfochronologicky, ale aj morfoštruktúrne zameraný výskum. O úspešnosti jeho použitia napovedajú už vyššie citované a mnohé ďalšie zahraničné práce. Použitie Silver Schmidt ešte viac zefektívňuje prácu a prináša niekoľko inovácií, ktoré uľahčujú jeho použitie v rôznych podmienkach. Aj napriek týmto inováciám ostávajú v použití Silver Schmidt isté staršie limity. Zvlášť to platí pri meraní v starých horninových formáciách. V takýchto prípadoch často krát nie je možné meranie priamo v odkryve, pre porušenosť masívu, kedy nie je možné bez skorších rozborov určiť, či sa pod zdanlivo celistvým povrchom

nenachádza diskontinuita. Vtedy považujeme za vhodnejšie previesť merania na odobranej vzorke, aj keď na druhej strane treba poznamenať, že na geomorfologickú hodnotu horniny má do istej miery vplyv aj jej poloha vzhľadom na diskontinuity (zlomy, pukliny, plochy foliácie, atď.), čím môže byť geomorfologická hodnota horniny z daného miesta umelo nadhodnotená. Pretože použitie Schmidt hammer testu sa neradi doposiaľ ustálenými pravidlami merania (HUBBARD a GLASSER 2005 MENTLÍK 2006a), je podľa nás pre dané územie potrebné vhodne prispôbiť a upraviť doteraz prezentované metodiky.

V príspevku sme priniesli zatiaľ predbežné výsledky meraní metódou Schmidt Hammer test. V tejto fáze výskumu sme sa sústredili predovšetkým na prezentovanie výhod a limitov merania prístrojom Silver Schmidt ako novinky, a taktiež sme sa pokúsili predstaviť túto metódu predovšetkým slovenskej geomorfologickej obci. Keďže sa výsledky meraní ukázali ako uspokojivé, budú zakomponované do výskumu širšieho okolia pohoria Žiar, resp. Turčianskej kotliny a príľahlých pohorí s predpoliami. Výskum pevnosti hornín, ako jednej z ich vlastností, dávajúcej predstavu o ich geomorfologickej hodnote, môže dať čiastočné odpovede na potenciálnu veľkosť a mieru odnosu materiálu zo zdrojových oblastí odnosu - vyzdvihnutých geomorfocelkov obklopujúcich Turčiansku kotlinu.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol s podporou grantov Univerzity Komenského v Bratislave č. UK/293/2008, Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied (VEGA) č. 1/4042/07 a Agentúry na podporu výskumu a vývoja (APVV) č. ESF-EC-0006-07.

LITERATÚRA

- BILGIN, N., DINCER, T., COPUR, H. (2002). The performance prediction of impact hammers from Schmidt hammer rebound values in Istanbul metro tunnel drivages. *Tunneling and Underground Space Technology*, 17, 3, 237 – 247.
- GOUDIE, A. S. (2006). The Schmidt Hammer in geomorphological research. *Progress in Physical Geography*, 30, 6, 703 – 718.
- HARTVICH, F., ZVELEBIL, J., HAVLÍČEK, D., SLABINA, M. (2007). Multidisciplinary analysis of a slope failure at The Obří hrad site in The Šumava Mts. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 7, 2, 47 – 57.
- HUBBARD, B., GLASSER, N. (2005). *Field techniques in glaciology and glacial geomorphology*. Wiley, Chichester, 400 p.
- KAHRAMAN, S., FENER, M., GUNAYDIN, O. (2002). Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock from core sample values. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39, 3, 395 – 399.
- MAZÚR, E. (1963). *Žilinská kotlina a príľahlé pohoria (Geomorfológia a kvartér)*. Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Bratislava, 185 p.
- MAZÚR, E., JAKÁL, J. (1973). Basic types of the karst areas in Slovakia. *Field Trip Guide B-1. 6th International Speleological Congress*. Olomouc – Liptovský Mikuláš, 9 – 10.
- MENTLÍK, P. (2006a). *Geomorfologická analýza a tvorba GmIS okoli Prášílskeho jezera a jezera Laka na Šumavě (Česká republika)*. Dizertačná práca, Fakulta prírodných vied, Univerzita Komenského v Bratislave.
- MENTLÍK, P. (2006b). Relative dating of glacial landforms in the surroundings of Prášílské jezero lake (Šumava Mts., Czech Republic). *Geomorphologia Slovaca*, 6, 1, 45 – 54.
- NOVOTNÝ, J. (2002). Reliéf bradlového pásma Kysuckej vrchoviny. *Geomorphologia Slovaca*, 2, 1, 66 – 78.
- PLACEK, A., MIGOŇ, P. (2007). Rock-landform relationships in the Sudetes in the light of rock strength assessment using the Schmidt hammer. In Goudie, A. S., Kalvoda, J., ed. *Geomorphological Variations*. P3K, Praha, 287 – 311.
- SELBY, M. J. (1980). A rock-mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 24, 31 – 51.
- SLÁDEK, J., BIZUBOVÁ, M. (2008). Vyšehradské sedlo – kľúč k poznaniu vývoja pohoria Žiar. *Acta geographica Universitatis Comenianae*, 50, 195 – 203.
- SUMNER, P., NEL, W. (2002). The effect of rock moisture on Schmidt hammer rebound: test on rock samples from Marion Island and South Africa. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 13, 1137 – 1142.
- TÖRÖK, A. (2003). Surface strength and mineralogy of weathering crusts on limestone buildings in Budapest. *Building and Environment*, 38, 9–10, 1185 – 1192.