

# Sú horniny z Brezovských Karpát vhodné na stavebné a dekoračné účely?

Rudolf Holzer, Martin Bednarik & Marek Laho

Katedra inžinierskej geológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava

## AGEOS Are there rocks of the Brezovské Karpaty Mts. suitable for construction and decoration purpose?

**Abstract:** This research has focused on assessing the most important physical and mechanical properties of rocks quarried in the Brezovské Karpaty Mts. Carbonate sandstones and conglomerates of Upper Cretaceous and carbonate sandstone of Neogene sedimentary strata were considered. The sites Chtelnica – Trianova and Chtelnica – Malé Skalky were chosen as appropriate material for monuments and for restoration work. Samples for the assessment of rock properties were taken from abandoned and operated quarries. The tested specimens for laboratory tests in a form of cubes and cylinders were prepared from monoliths and drilled cores were taken from the depth up to 1 m within the rock mass. To broaden the scope of the investigations previous research results from quarries at St. Margarethen (Burgenland, Austria) in similar lithological type were also included. Thin sections were made from one of the drill cores from each quarry. The rock quality and durability were assessed through laboratory testing of physical and mechanical properties, including measurements of real and apparent density, porosity, water absorption capacity, uniaxial compressive strength (UCS) for both dry and water-saturated rock samples and for samples following repeated freeze-thaw cycles, the coefficient of softening and the coefficient of freezing. All investigated rock samples had different porosities and absorption capacities. They also differed in their UCS values, which varied greatly but mostly belonged to the weak rock category (UCS below 50 MPa). Based on physical and mechanical properties of rocks assessed on a number of tested samples from two investigated sites in Slovakia and one comparable site in Austria, quality assurance of the rock utilization as a decoration/restoration material is presented.

**Key words:** decoration, restoration and building stone, weak rocks, physical and mechanical rock properties, Chtelnica – Trianova quarry, Chtelnica – Malé Skalky quarry

### 1. ÚVOD

Územie Slovenska je vplyvom intenzívneho a viacnásobného tektonického „prepracovania“ relatívne chudobné na kvalitné zdroje stavebného a dekoračného kameňa v požadovanom množstve. Dopyt po kameni na reštaurátorské práce pre poškodené historické objekty je všeobecne známy. Snahou autorov bolo overiť v okolí Bratislavy, Trnavy, Skalice a iných významných historických miest na západnom Slovensku výskyt vzhľadovo a vlastnosťami vyhovujúceho stavebného a dekoračného kameňa. Svoju pozornosť už pri spracovaní Inžinierskogeologického atlasu hornín Slovenska (Holzer et al., 2009) sústredili do oblasti Brezovských Karpát.

Ťažba dekoračných kameňov v oblasti Malých a Brezovských Karpát podľa archívnych údajov a zachovaných starých kameňolomov bola rozšírená hlavne v oblasti Devínskej Kobyly, v Dobrovodskej kotline (depresii) a na jej okrajoch. Najstaršie nálezy opracovaného kameňa pochádzajú z 2. storočia pred n. l. a z 1. storočia n. l. (Paulík, 1970 ex Kabina et al., 1981). Na hrubú a ušľachtilú kamenársku výrobu tu bolo už v minulosti vymedzené ako najvhodnejšie súvrstvie baraneckých karbonátových pieskoviec a zlepenecov (vrchná krieda) na lokalite Dobrá Voda a Chtelnica – Trianova, ako aj karbonátové pieskovce a zlepenec (neogén, egenburg) na lokalite Chtelnica – Malé Skalky (Obr. 1). Posledné dve menované lokality sú predmetom

výskumu vlastností týchto hornín, ako aj odporúčaní na ich použitie ako dekoračného kameňa a kameňa na reštaurovanie historických objektov.

V minulosti založené kameňolomy v oblasti Dobrá Voda, v okolí prameňa Výtok severne od Chtelnice a severne od obce Dechtice poskytovali blokovo ľahko opracovateľný pieskovec alebo zlepenec, ktoré sa použili aj na stavbu hradu Dobrá Voda, zámku v Smoleniciach a hradu Červený kameň. Kabina et al. (1981) uvádzajú, že bloky vyťažené v Trianovej sa upravovali tesaním na obkladové prvky čiastočne na mieste alebo po transporte na miesto určenia pri rekonštrukciách historicky významných budov, napr. Dómu sv. Martina v Bratislave.

Aj známe historické pramene (Kabina et al., 1981, <http://www.obecdobravoda.eu/remesla.html>) uvádzajú, že v tejto oblasti malo veľkú tradíciu kamenárstvo, pretože tu bol dostatok dobrého a kvalitného kameňa – pieskovca (kameňolomy v Dobrej Vode, Chtelnici – Malé Skalky a pod.). O skutočnosti, že kameň bol významnou miestnou surovinou v Dobrej Vode už v minulosti, svedčí tiež maďarský názov obce Jókő – Dobrý Kameň. Ťažisko výroby kamenárov v Dobrej Vode tvorili náhrobné kamene. Dobrovodské náhrobníky, ako ich možno od roku 1778 sledovať na miestnom cintoríne, prešli určitým vývojom v súhlase so slohovými vplyvmi doby. Najstaršie majú nad soklom zaokrúhlený, väčšinou srdcovitý tvar (tzv. basové kríže vytesané z jedného kusa kameňa). Z polovice 19. storočia



Obr. 1. Situačná mapa skúmaných lokalít (zdroj: Google Earth, dátum snímky 2004).  
Fig. 1. Situation map of examined sites (source: Google Earth, date of image 2004).

pochádzajú rovné blokové náhrobníky, ktoré vykazujú najviac dekoratívnych prvkov, odrážajúcich zľudovené poňatie klasicizmu u nás. V tomto období sa začali robiť aj jedno až dvojoblúkové náhrobníky. Okrem náhrobníkov sa zhotovovali tiež náhrobné dosky, ako i obruby. Ich tvary prechádzali od konca 18. storočia rôznym umelecko-technickým vývojom. Z polovice 19. storočia pochádzajú rôzne blokové a oblúkovité náhrobníky s reliéfnou dekoratívnou výzdobou. Mnohé z nich sú zachované na cintoríne v Dobrej Vode (Obr. 2).

Kamenárstvo malo v oblasti Dobrovodskej depresie význam i pri stavbe hradu Dobrá Voda, kedy sem boli pozvaní a čiastočne sa tu aj usídlili talianski kamenárski majstri. Dobrovodskí kamenári boli súčasťou cechovej organizácie so sídlom v Chtelnici, ktorá združovala okrem kamenárov aj murárov. Koncom 19. storočia pracovalo na Dobrej Vode 24 kamenárov. Domáci

remeselníci vyrábali aj úžitkové predmety pre potreby vidieckeho obyvateľstva. Počas druhej svetovej vojny opäť nakrátko ožila stará výroba žarnovov na ručné mletie obilia a po jej skončení znamenal zvýšený stavebný ruch určité krátkodobé oživenie kamenárskeho remesla. Významnou súčasťou kamenárskej výroby na Dobrej Vode bol aj stavebný kameň. Staviteľia si tu objednávali kvádre ako polotovar na ďalšie opracovanie alebo tiež ako hotové výrobky – schody, prahy, klenutia nad dvere i platne na hradenie studní. Občas sa tesali aj sokle pod schody, či prahy, klenutia nad dvere (portály) do reprezentačných budov, platne, žľaby, pomníky religiózneho charakteru a pod. Remeslo postupne upadalo a okolo roku 1930 v tejto oblasti pracovalo už iba 13 kamenárov. Ťažba s dlhodobou históriou (poldruha storočia) bola skončená približne okolo roku 1930 (Smiešková, 1999).



Obr. 2. Náhrobné pomníky v štýle tzv. zľudoveného baroka na cintoríne v obci Dobrá Voda (foto Ružička, 2009).

Fig. 2. Sepulchral monuments in the folk baroque style in the cemetery in the village of Dobrá Voda (photo Ružička, 2009).

Kameň z Dobrej Vody bol použitý v Trnave v interiéri kostola sv. Mikuláša (z konca 14. stor.), ten istý kameň bol objavený aj na gotickom portáli kostola, je z neho vytesaná gotická krstiteľnica a gotické sanktuárium (Pivko, 2008). Kameň na lokalite Chtelnica – Trianova sa začal dobývať v 60. rokoch minulého storočia (Zuberec et al., 1997). V Trnave bol materiál z Dobrej Vody alebo Trianovej použitý na obnovu dlažby pred vchodom do kostola Františkánov, rovnaký kameň na schody do kostola sv. Jána Krstiteľa a na schody do baziliky sv. Mikuláša, a dlažbu v kostole Jezuitov (Pivko, 2008 a 2010). Kameň z Trianovej použili (Hornáčková (2008) v Trnave na obnovu vchodu do kostola sv. Jakuba (rampa a schody), ako aj na obnovu súsošia sv. Jozefa (stĺpiky a podstavec) na Nám. Sv. Mikuláša. Ďalej bol kameň z Dobrej Vody alebo Trianovej použitý na portáli kostola Klarisie, na kostole sv. Heleny, v gotickom okne bývalej radnej siene trnavskej radnice a pod. (Pivko, 2008; Pivko, 2010; Pivko & Hornáčková, 2010), na pylón pod bustou rektora Trnavskej univerzity A. Hajduka, na podstavec pod sochu pápeža Jána Pavla II., na podstavec sochy sv. Trojice na Nám. sv. Trojice, na vstupné schody do Trnavskej arcidiecézy a na trnavské hradby.

V Bratislave sa rovnaký litotyp z Dobrej Vody použil na schodište a vonkajšie podokenné obkladové dosky v bývalom Erdödyho paláci na Ventúrskej ul., je z neho položená dlažba vo vstupe do tzv. Mindszentyho ateliéra (teraz Sberbank, a.s.) na Jesenského ulici a s veľkou pravdepodobnosťou aj schody vedúce z nádvorja do budovy Arcibiskupského úradu na Špitálskej ulici. V exteriéri Mindszentyho ateliéru bol na malé schodové stupne a obklad použitý materiál z Trianovej počas reštaurovania v 90. rokoch. Mnohé stavebné a dekoratívne prvky na Smolenickom zámku sú taktiež z kameňa z lokality Dobrá Voda a Trianova. Napr. otvorená klenutá chodba za vstupnou bránou Smolenického zámku, v svojej hornej časti zakončená lomeným oblúkom, je z kameňa z Trianovej (ústna informácia Ing. Bašňák). Z kameňa z Trianovej bude zhotovený i podstavec pod sochu sv. Cyrila a Metoda, ktorá bude pravdepodobne stáť pred kostolom v Bratislave-Petržalke. Kameň z Trianovej a Malých Skaliek bol okrem uvedených stavieb použitý aj na mnohých ďalších objektoch v Trnavskom a Bratislavskom kraji.

Závislosťou rôznych inžinierskogeologických charakteristík vo vzťahu ku geologickému prostrediu sa zaoberali aj práce Marschalko et al. (2008, 2012), Marschalko & Juriš (2009).

## 2. CHARAKTERISTIKA PRÍRODNÝCH POME- ROV ZÁUJMOVÉHO ÚZEMIA

### 2.1. Geomorfologické pomery

Na základe geomorfologického členenia Slovenska (Mazúr & Lukniš, 1980) je skúmané územie zaradené do celku Malé Karpaty a podcelku Brezovské Karpaty, ktoré sú severovýchodným pokračovaním Malých Karpát a časti Dobrovodská kotlina. Pre Brezovské Karpaty je charakteristický výrazne modelovaný reliéf, krasové javy, hlboké doliny a pod. (Began et al., 1987).

Z významných a pre územie príznačných krasových foriem sú tu zastúpené predovšetkým primárne krasové zjavy: škrapy, závrty, krasové jamy a jaskyne. Najvýznamnejšie sú puklinová

jaskyňa na severnom svahu Klenovej a 14 m dlhá priepastovitá jaskyňa Slopý. Vyvierajúce sú typickými povrchovými útvarmi tohto krasu: Výtok, Dobrá Voda – Blava, Mariáš a Schovávaci stok. Voda cirkuluje alebo je akumulovaná v hlbinných dutinách a následne vyteká na povrch. Najvýdatnejšou vyvierajúcou je Dobrá Voda koncentrovaná do troch prameňov vyvierajúcich v obci severne od kostola a napájajúca potok Blava. Celková výdatnosť vyvieráčiek je okolo 120 litrov za sekundu (<http://www.obecdobravoda.eu/fakty.html>). Ťažba kameňa v Dobrej Vode bola skončená v súvislosti s významnou hydrogeologickou štruktúrou a ochranným pásmom zdrojov pitnej vody.

Ložisko Chtelnica – Trianova (katastrálne územie Chtelnica) sa nachádza približne 8 km S od obce Chtelnica a 300 m SV od chatovej základne Dolina na svahu Trianovej doliny. Ložisko Chtelnica – Malé Skalky sa nachádza v katastrálnom území Chtelnica, približne 7 km SSZ od obce Chtelnica a cca 500 m Z od bývalého pionierskeho tábora spoločnosti Slovnaft.

Morfológia oboch lokalít je typická zvládnutým reliéfom pahorkatinného charakteru, s deniveláciou v rozpätí 30 až 70 m. Detailné morfologické tvary zodpovedajú diferencovanej odolnosti prvkov geologickej stavby voči exogénnym procesom modelácie. Elevácie reliéfu budujú odolnejšie vekovo staršie karbonátické pieskovce a zlepenca resp. mikrobekcie (lokalita Trianova). Výraznejší reliéf tejto okrajovej časti pohoria zodpovedá tektonickej predispozícii, pričom zlomové poruchy sú zjavné v morfológii a smerovaní údolí. Depresné formy sú modelované v menej odolných, mladších pieskovcovo-zlepencových a piesčito-ílovitých sedimentoch Dobrovodskej depresie (Droppa, 1982). Lokalita Malé Skalky je súčasťou málo výraznej pahorkatiny v S časti Dobrovodskej depresie s nadmorskou výškou okolo 355 m n. m.

### 2.2. Hydrogeologické pomery územia

Os chotára Chtelnice v smere sever–juh tvorí Chtelnická dolina, ktorou preteká rovnomenný potok, nazývaný tiež Chtelničanka (Polakovič, 1998). Os chotára Dobrá Voda tvorí potok Blava, ktorý odvodňuje hydrogeologicky významnú krasovú štruktúru.

Tektonické ohraničenie mezozoickej antiklinálnej štruktúry od neogénnej Dobrovodskej depresie (ktorá vytvára bariéru) podmienilo výstup podzemných vôd vo forme vyvierajúcich prameňov v Dobrej Vode (napr. Hlavina, Mariáš), Dechticiach a v hornej časti Chtelnickej doliny (prameň Výtok, západne od neho vyvierajúca Pod Bacharkou a i.). Rozdielny litofaciálny vývoj mezozoických súvrství spolu s tektonickými vývojom územia vytvárajú podľa Kullmana (in Began et al., 1987) osobitosti hydrogeologických pomerov a režimu podzemných vôd v jednotlivých čiastkových hydrogeologických štruktúrach Brezovských Karpát. Prevažná časť súvrství je z hľadiska medzizrbovej a puklinovej priepustnosti priaznivá, čo spolu s priečnymi tektonickými poruchami umožňuje infiltráciu zrážkových vôd, ich akumuláciu a cirkuláciu. Na základe poznatkov z mapovania územia a prieskumu (Kabina et al., 1981) možno konštatovať, že zlepencovo-pieskovcové súvrstvie vrchnej kriedy i neogénna výplň Dobrovodskej depresie obecné vytvárajú relatívne nepriepustné nadložie značne rozpučanému a skrasovatnému vápencovo-dolomitickému komplexu hronika. Fatul (1980) hodnotí miocénnu výplň Dobrovodskej depresie podobne a uvádza, že



Obr. 3. Kameňolom Chtelnica-Trianova (foto Holzer, 2013).

Fig. 3. Chtelnica-Trianova quarry (photo Holzer, 2013).

je ako celok hydrogeologicky nepriaznivá a nevytvára priaznivé podmienky pre významnejšie akumulácie podzemných vôd. Významnou skutočnosťou je negatívny výsledok merania hladiny podzemnej vody vo vrtoch vykonaných v rámci prieskumu dekoračného kameňa na lokalite Malé Skalky (Kabina et al., 1981): registrovaná bola iba strata výplachového média v prostredí tektonicky porušených zón (Droppa, 1982). Pri otvárke kameňolomu Malé Skalky bude potrebné zaviesť režimové pozorovanie hladín podzemnej vody s jej režimovými odbermi na hydrochemické sledovanie.

Pomerne podrobnú informáciu o hydrogeologických pomeroch územia uvádzame pre posúdenie vplyvu ťažby na túto hydrogeologicky významnú štruktúru. Údaje o stave hladiny podzemnej vody i ďalšie pozorovania dôležité na určenie vplyvu ťažby na podzemné vody poskytnú pozorovania jej úrovne a príslušné analýzy jej chemizmu pri začatí a v priebehu ťažobných prác. Vzhľadom na to, že lokality ležia v blízkosti ochranného pásma pre vodný zdroj Dobrá Voda, i v blízkosti prameňa Výtok, ktorý zásobuje Chtelnicu a objekty v jej blízkosti, bude potrebné riešiť tento hydraulický vzťah. V súvislosti s ťažobnými prácami je potrebné rešpektovať piezometrické niveau plytkého kolektora (279,96 m n. m.) a bázu lomu podľa možností situovať nad uvedenou hodnotou. Z prieskumu vyplýva, že v prípade ťažby zasahujúcej pod 279,96 m n. m.  $\pm$  3 m bude potrebné riešiť drenáž podzemných vôd plytkého kolektora. Ďalším režimovým pozorovaním bude potrebné stanoviť amplitúdu kolísania zistených hladín navzájom nesúvisiacich – plytšieho a hlbšieho obehu podzemných vôd. V závere hydrogeologických posudkov (Droppa, 1982; Droppa et al., 1985) sa konštatuje, že pri dodržaní uvedených podmienok otvárky a exploatácie kameňolomov Malé Skalky a Trianova nedôjde ku kontaminácii podzemných vôd.

V kameňolome Chtelnica – Trianova sú pieskovce a zlepence suché. V blízkosti kameňolomu boli v roku 1980 odvrátené dva vrty SV-101/80 a SV-102/80. Vo vrte SV-101/80 dochádzalo k úplnej strate výplachu do hĺbky 18,0 m a vo vrte SV-102/80 do

hĺbky 11,50 m (Kabina et al., 1981). Malík et al. (1989) uvádzajú, že hladina podzemnej vody sa pohybuje prevažne v hĺbke 5 až 10 m. Z údajov získaných z vrtných prác vyplýva predpoklad, že úroveň hladiny podzemnej vody je ešte hlbšie než ako uvádzajú Malík et al. (1989).

### 2.3. Geologická stavba skúmaných lokalít

Skúmané lokality majú rozdielny litostratigrafický vývoj. Horniny na lokalite Chtelnica – Trianova patria vrchnokriedovým (koňak) pieskovcom a zlepencom, ktoré sa tiahnu od Dobrej Vody v úzkom páse smerom na severovýchod až takmer po Pustú Ves. Predstavujú pevné, masívne a hrubolavicovité (hrúbka lavíc 1 až 2 m) horniny skalného charakteru.

Karbonátové pieskovce a zlepence (sp. miocén – egenburg) Dobrovodskej depresie na lokalite Chtelnica – Malé Skalky ležia diskordantne a transgresívne na poklesnutých kryhách mezozoika. Horniny obsahujú takmer výhradne klasty karbonátov spojené karbonátovým tmelom.

Pozdĺž SZ ohraničenia burdigalských zlepenčov a pieskovcov Dobrovodskej depresie prebieha výrazná zlomová (poruchová) línia (dobrovodská zlomová zóna) v smere VSV–ZJZ až SV–JZ (Marko et al., 1991) oddeľujúca mezozoikum Klenovej vrátane lokality Chtelnica – Trianova oproti sedimentom Dobrovodskej kotliny. Predpokladá sa jej strmý sklon k JJV (80°). Na ňu kolmo prebieha ďalšia línia s predpokladaným sklonom 70–80° k JZ. Z meraní na lokalite Malé Skalky (Kabina et al., 1981) vyplýva, že tektonické porušenie sa prejavuje diskontinuitami s orientáciou SZ–JV so sklonmi 70–80° k SV. Menej výrazné sú diskontinuity orientované v smere SV–JZ, prípadne V–Z s plytkými sklonmi 25–30° k JV, resp. k J.

#### 2.3.1. Lokalita Chtelnica-Trianova

Regionálne geologicky ju tvoria horniny tzv. brezovskej skupiny vývoja Bradla. Tieto sedimentárne horniny sú transgresívne

uložené na triasových dolomitoch Brezovských Karpát. Petrografická charakteristika komplexu hornín (Borza, 1962) na typej lokalite Baranec je nasledovná:

- a) jemnozrnné zlepence sú tvorené úlomkami mikrozrnnitého a jemnozrnného dolomitu a vápencov. Prevalu majú dolomity. Ojedinele sa nachádzajú zrná kremeňa. Štruktúra je psefitická, základná hmota karbonátová. Z organických zvyškov autor uvádza úlomky rias, texturárií a machoviek;
- b) jemnozrnný karbonátový pieskovec je tvorený úlomkami dolomitu. Tmel je vápnito-dolomitový;
- c) jemnozrnný klastický vápenec je mikrozrnný až jemnozrnný. Vyskytujú sa v ňom úlomky vápencov a dolomitov (cca 30 %). Sú prevažne rekryštalizované, resp. jemnozrnné. Z organických zvyškov boli zistené články krinoidov, úlomky schránok lamelibranchiát, *Globochaete Alpina*, miliolidy, ihlice húb a pod.

Celková hrúbka súvrstvia je 50 až 150 m.

Skúmaným petrografickým typom na lokalite Chtelnica – Trianova sú baranecké pieskovce (koňak–vrchná krieda). Termín baranecké podľa kóty Baranec, jz. od Brezovej pod Bradlom zaviedol Samuel et al. (1980). Tvoria jeden z troch členov ostriežskeho súvrstvia a v zmysle Begana et al. (1987) tvoria súčasť vývoja Bradla brezovskej skupiny. V kameňolome Chtelnica – Trianova (Obr. 3) sú tieto horniny reprezentované lavicovitými, kompaktnými karbonátovými pieskovecami, drobnou až strednozrnnými karbonátovými zlepenkami. Pre súvrstvie sú charakteristické prechody v zrnitostnom zložení v laterálnom i vertikálnom smere.

### 2.3.2. Lokalita Chtelnica – Malé Skalky

Ložisko Malé Skalky je súčasťou neogénnej výplne Dobrovodskej kotliny. Vývojovo patrí do sedimentačného cyklu egenburg (sp. miocén). Podľa Begana et al. (1987) patrí k tzv. dobrovodskeému vývoju neogénu rozšírenému v dobrovodskej tektonickej depresii. Súvrstvie je tvorené jablonickými zrnitostne značne premenlivými karbonátovými (lokálne polymiktnými) zlepenkami a karbonátovými pieskovecami, lokálne i s exotickým materiálom. Sivé, tmavosivé zlepence sa striedajú v vertikálne, miestami i laterálne prechádzajú do pieskovcov. Hrubolavicovité

karbonátové pieskovce sú svetlosivé až krémovo-hrdzavohnedé, hrubozrnné, stredno- i jemnozrnné, s prevažou karbonátových zrn s karbonátovým tmelom. Vo vyšších polohách sú miestami až modrosivé. Zvetrané polohy majú žltú až hnedú farbu, v určitých polohách sú pieskovce značne drobnivé (miestami sa rozpadávajú až na piesok). Hrúbka súvrstvia je 40 až 80 m.

Na lokalite v súčasnej podobe malého kameňolomu bola Slovenským priemyslom kameňa, n. p. (ďalej SPK, n. p.) v r. 1981 vykonaná pokusná otvarka ložiska v troch etážach s vylomením 14 blokov kameňa. Spodný miocén zastupuje vrstevná štruktúra vápnitých, prevažne jemnozrnných pieskovcov, ktoré sa striedajú vertikálne i laterálne s polohami hrubo- až jemnozrnných zlepenčov (Kabina et al., 1981). Vystupujú na povrch v úzkom pruhu (80 × 70 m), lemujúcom severnú časť elevácie Malé Skalky (Obr. 4). Klastické zrná tvoria väčšinou dobre opracované karbonáty s veľmi malým podielom kremeňa alebo rohovca. Obsah SiO<sub>2</sub> v hornine je okolo 2 %. Tmel je prevažne karbonátový, menej ílovito-karbonátový. V rámci prieskumu na ložisku plochy cca 500 × 150 m (Kabina et al., 1981) sa vypočítala kubatúra min. 300 tis. m<sup>3</sup> zásob dekoračného kameňa vhodných na ťažbu blokov s minimálnym objemom 0,5 m<sup>3</sup> pre reštaurátorské a sochárske práce.

Na horninových vzorkách odobratých pri vrtných prácach vykonaných v predmetnom ťažobnom priestore sa vykonali skúšky fyzikálno-mechanických vlastností. Pri porovnaní ich výsledkov nebolo možné jednoznačne stanoviť, ktorý z uvedených odberov hornín dosahoval najlepšie parametre (Kabina et al., 1981). Vo všetkých úsekoch sa striedali kvalitnejšie polohy s menej kvalitnými. Pevnosti v prostom tlaku suchých, nasiaknutých i vymrazených vzoriek značne kolíšu a vo všeobecnosti sú relatívne nízke (poloskalná hornina), odolnosť horniny proti mrazu je pomerne dobrá. Treba konštatovať, že boli vypočítané ako priemer iba z dvoch skúšobných teliesok (Kabina et al., 1981). Pri zhodnotení výsledkov skúšok fyzikálno-mechanických vlastností, blokovitosti a vzhľadu suroviny Kabina et al., (1981) konštatujú, že 50 až 60 % suroviny je možné použiť na dekoračné účely. Surovinu s menšou blokovitosťou (pod 50 cm) je možné použiť na hrubú kamenársku výrobu (kvádre, kopáky, haklíky). Poloprevádzkovou skúškou v SPK n. p. (brúsenie, leštenie) sa zistilo, že najvhodnejšími typmi na ušlachtilú



Obr. 4. Kameňolom Chtelnica-Malé Skalky: odber vzoriek pomocou prenosnej jadrovej vŕtačky a pohľad na ťažobné ryhy (foto Holzer, 2013).

Fig. 4. Quarry Chtelnica-Malé Skalky: samples taking using portable core drilling machine and excavation pits (photo Holzer, 2013).



Obr. 5. Skúšobné telieska (vzorky pieskovca z lokality Chtelnica-Malé Skalky) vľavo, vpravo – vzorka po skúške v prostom tlaku (foto Holzer, 2013).

Fig. 5. Tested specimens (sandstone sample from Chtelnica-Malé Skalky) left, right - sample after uniaxial compressive strength test (photo Holzer, 2013).

kamenársku výrobu z overovaných typov sú pieskovce a jemno- až strednozrnné zlepence – dajú sa brúsiť a čiastočne aj leštiť (len pieskovce). Sivé, žltohnedé až hrdzavohnedé pieskovce sú najvhodnejšie na sochárske a reštaurátorské práce. Pieskovce a svetlosivé jemno až strednozrnné zlepenca sa svojim vzhľadom približujú pieskovcom, ktoré boli v minulosti použité na stavbu historických budov, sú preto vhodné na reštaurátorské práce na poškodených pamiatkach. Pieskovce (vrátane strednozrnných zlepenecov) sú vhodné aj na ušľachtilú kamenársku výrobu. Môžu sa z nich vyrábať málo namáhané dlažby do interiérov, ako aj obkladové a masívne prvky ušľachtilej kamenárskej výroby (Kabina et al., 1981). Za bilančnú surovinu sa považujú úseky celistvého vrtného jadra s minimálnou dĺžkou 50 cm a vyhovujúcimi fyzikálno-mechanickými vlastnosťami – na výrobky ako sú schodišťové stupne, okenné obruby, podlahové obruby, obkladové a dlažbové dosky, kružby, pilastre, plastickú bosáž, okenné dekoračné rímky, šambrány, pamätníky a pod. Menej vhodné sú hrubozrnné zlepenca, ktoré sa pri rezaní na dosky rozpadávajú. Vzhľadom na špecifické vlastnosti horniny ako aj atraktívny vzhľad, ktorý ladí v obkladoch historických budov, je vhodné využitie horniny na účely obnovy pamiatok (Kabina et al., 1981). Pri rozhodovaní o využití jednotlivých blokov kameňa bude potrebné postupovať veľmi citlivo a prihliadať na zrnitosť zloženie a farbu vylomeného bloku.

Hrúbka ložiska Chtelnica – Malé Skalky v mieste pokusnej otvárkovej z r. 1981 je od 15 do 35 m. Prieskumné práce v tomto komplexe hornín v rámci vyhľadávacieho prieskumu vymedzili geologické zásoby v celkovom objeme 1 305 000 m<sup>3</sup>, vhodné na stavebné účely (Kabina et al., 1981).

### 3. METODIKA RIEŠENIA A DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

#### 3.1. Terénny výskum

Na lokalite Chtelnica – Trianova bol odobratý jeden monolit na prípravu skúšobných teliesok – kociek s rozmermi 50 × 50 × 50 mm. Na lokalite Chtelnica – Malé Skalky boli odobraté prenosnou jadrovou vrtnou súpravou valcové vzorky hornín (Obr. 4) s priemerom 50 a 35 mm (november 2013), ako aj jeden monolit. Odvrátené boli 4 horizontálne vrty do hĺbky jedného metra.

#### 3.1.1. Lokalita Chtelnica-Trianova

V rámci terénneho výskumu sme sa zamerali na zhodnotenie stavby horninového masívu na ťažených stenách kameňolomu Trianova. Kameňolom v čase nášho výskumu (roky 2006–2010) mal stenu rozmerov cca 60 × 7 m, stena bola rovná, pôvodne s viacerými menšími etážami. Horninový masív patrí do pestrej pieskovcovo-slieňovcovo-vápenčovej formácie (Holzer et al., 2009). Skúmaný litotyp reprezentujú baranecké pieskovce zastúpené karbonátovými pieskovcami, jemnozrnnými karbonátovými zlepenkami a klastickými vápencami. Stavba masívu je vrstevnatá, lineárna, hrubolavicovitá. Horninový masív je prestúpený dvomi základnými systémami diskontinuity – vrstevnatosťou s orientáciou smeru sklonu 240–265° so sklonom 12–24° a tektonickou diskontinuitou s orientáciou smeru sklonu 72–98° so sklonom 72–79°. Obe dva systémy sa vyznačujú značnou vzdialenosťou plôch diskontinuity, takže základná stavba masívu má charakter hrubých hranolovitých blokov. Plochy diskontinuity sú priebežné s dĺžkou aj viac ako 20 m. Masív je kompaktný, mimoriadne homogénny a suchý.

#### 3.1.2. Lokalita Chtelnica-Malé Skalky

Zamerali sme sa na zhodnotenie celkovej stavby horninového masívu na stenách pokusnej otvárkovej kameňolomu. V kameňolome sa do roku 1930 ťažilo na viacerých menších etážach. Pôvodné rozmery kameňolomu, dnes neaktívneho, sa nedali presne stanoviť vzhľadom na to, že je kameňolom dlhodobo opustený. Skúmanú horninu tvoria vápnité, prevažne jemnozrnné pieskovce, ktoré sa striedajú vertikálne i laterálne s polohami hrubo až jemnozrnných zlepenecov. Masív je hrubolavicovitý, miestami až masívny. Základná stavba masívu má charakter hrubých hranolovitých blokov. Horninový masív je prestúpený jedným hlavným systémom diskontinuity – vrstevnatosťou s orientáciou smeru sklonu 110–120° (smer SV–JZ) a sklonom 10–25° (JV) a mierne sa stáčajúceho do orientácie 146–156° so sklonom 10–20°. Plochy vrstevnatosti sú priebežné a majú v meranej stene dĺžku aj viac ako 20 m. Podobne sa pohybujú aj hodnoty orientácie tektonickej diskontinuity, so sklonom okolo 80° k JV (Smiešková, 1999). Málo výrazná je aj priečna tektonická diskontinuita reprezentovaná smermi SZ–JV.

### 3.2. Laboratórny výskum

Na vzorkách zhotovených z monolitov hornín odobratých na lokalitách Chtelnica – Trianova (1 ks) a Chtelnica – Malé Skalky (1 ks) sa v laboratóriu Katedry inžinierskej geológie PRIF UK v Bratislave vykonali skúšky na stanovenie ich fyzikálno-mechanických vlastností, reflektujúce ich odolnosť voči zvetrávaniu (zmeny teploty, vplyv vody a pod.). Okrem toho sa pozornosť venovala vzhľadu, štruktúre a farebnosti kameňa. Laboratórne skúšky vlastností boli vykonané na skúšobných telieskach kockového tvaru ( $50 \times 50 \times 50$  mm), ako aj valcového tvaru na telieskach priemeru a výšky 50 mm, resp. telieskach s priemerom a výškou 35 mm (Obr. 5).

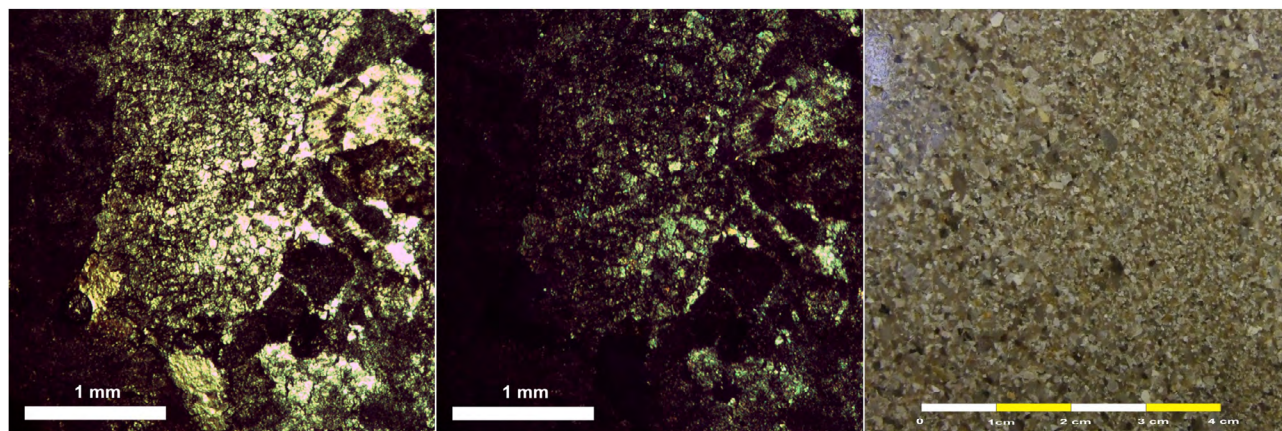
Zo zisťovaných vlastností považujeme z hľadiska kvality/odolnosti horniny na použitie ako tvarovaný stavebný alebo dekoračný kameň za najdôležitejšie: objemovú a mernú hmotnosť ( $\rho_d$  a  $\rho_s$  – STN EN 1936), nasiakavosť (N – STN EN 13755), pórovitosť (n – STN EN 1936), pevnosť v prostom tlaku suchej vzorky,  $\sigma_{ci}$  (STN EN 1926), pevnosť v prostom tlaku vzorky po nasiaknutí vodou,

$\sigma_{c2}$  a jej pevnosť v prostom tlaku po 25-tich cykloch vymrazenia,  $\sigma_{c3}$  ako aj indexové súčinitele odolnosti: súčiniteľ zmäkčenia  $k_1$  (pomer pevnosti v prostom tlaku nasiaknutej vzorky k pevnosti v prostom tlaku suchej vzorky) a súčiniteľ vymrazenia  $k_2$  (STN EN 12371) vyjadrujúci pomer pevnosti v prostom tlaku vymrzenej vzorky k pevnosti v prostom tlaku suchej vzorky.

#### 3.2.1. Fyzikálno-mechanické vlastnosti hornín

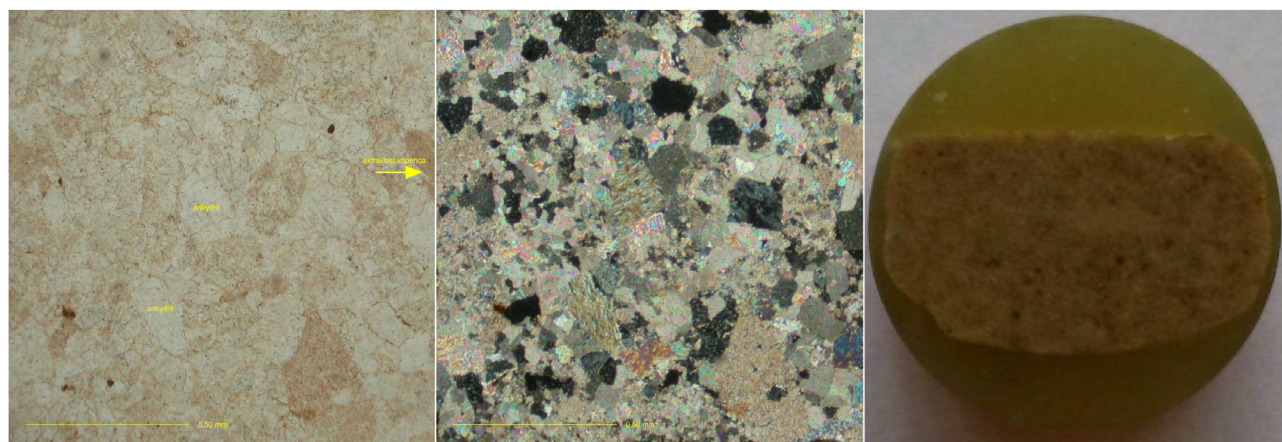
V tabuľkách (Tab. 1 a 2) uvádzame výsledky laboratórneho výskumu vlastností zlepenec a pieskovcov z lokalít Chtelnica – Trianova a Chtelnica – Malé Skalky.

Z porovnania stanovených hodnôt (Tab. 1) vyplýva, že testovaný vrchnokriedový zlepenec z lokality Chtelnica – Trianova vykazuje nižšie hodnoty pórovitosti a nasiakavosti než neogénny pieskovec z lokality Chtelnica-Malé Skalky. Na druhej strane rozdiely v hodnotách mernej a objemovej hmotnosti testovaných hornín sú menej výrazné (Tab. 1). Pri pieskovcoch s vysokou pórovitosťou z lokality Chtelnica – Malé Skalky, ide v zmysle platnej normy pre kamenárske výrobky (STN 72 1800) o pórovité pieskovce, ktoré



Obr. 6. Chtelnica-Trianova, polymiktný zlepenec, vľavo – výbrus pri rovnobežných nikoloch, stred – výbrus pri skrížených nikoloch, vpravo – nábrus (foto Ondrejka, 2009).

Fig. 6. Chtelnica-Trianova, polymict conglomerate, left – thin section parallel nicols, centre – thin section crossed nicols, right-polished cross-section (photo Ondrejka, 2009).



Obr. 7. Chtelnica-Malé Skalky, pieskovec, vľavo – výbrus nikoly rovnobežné, stred – výbrus nikoly skrížené, vpravo – nábrus (foto Šarinová, 2013).

Fig. 7. Chtelnica-Malé Skalky, sandstone, left – thin section parallel nicols, centre – thin section crossed nicols, right – polished cross-section (photo Šarinová, 2013).

Tab. 1. Priemerné hodnoty fyzikálnych vlastností zlepenčov a pieskovcov.  
Tab. 1. Average values of physical rock properties of conglomerates and sandstones.

Lokalita/Litologický typ Site/Lithological type	Spôsob odberu vzorky Sample taking	Rozmer skúšobného telieska Sample size	Počet vzoriek suchá/ nasiaknutá/zmrazená Samples Nb. dry/saturated/frozen	$\delta_{c1}$ (MPa)	$\delta_{c2}$ (MPa)	$\delta_{c3}$ (MPa)	k1	k2
Chtelnica-Trianova jemnozrnný zlepenec	monolit monolith	kocka cube 50x50x50 mm	3/3/3	84,75	58,68	68,56	0,692	0,809
Chtelnica-Malé Skalky, pieskovec	monolit monolith	kocka cube 50x50x50 mm	5/5/5	20,6	18,8	15,28	0,912	0,742
Chtelnica-Malé Skalky, pieskovec	vrtné jadro drilled core	valček cylinder $\delta=50$ mm, h=50 mm valček cylinder $\delta=50$ mm, h=50 mm valček cylinder $\delta=35$ mm, h=35 mm	4/3/3 4/4/7 3/3/2	33,43 39,66 39,55	21,17 34,88 39,05	20,82 34,09 19,17	0,65 0,879 0,987	0,622 0,859 0,484

Tab. 2. Priemerné hodnoty mechanických vlastností zlepenčov a pieskovcov.  
Tab. 2. Average values of mechanical rock properties of conglomerates and sandstones.

Site/Lithological type	Sample taking	Sample size	Samples Nb. dry/saturated/frozen	$\delta_{c1}$ (Mpa)	$\delta_{c2}$ (Mpa)	$\delta_{c3}$ (Mpa)	k1	k2
Chtelnica-Trianova fine grained conglomerate	monolith	cube 50x50x50 mm	3/3/3	84,75	58,68	68,56	0,692	0,809
Chtelnica-Malé Skalky carbonate sandstone	monolith	cube 50x50x50 mm	5/5/5	20,6	18,8	15,28	0,912	0,742
Chtelnica-Malé Skalky carbonate sandstone	drilling core	cylinder $\delta=50$ mm, h=50 mm cylinder $\delta=50$ mm, h=50 mm cylinder $\delta=35$ mm, h=35 mm	4/3/3 4/4/7 3/3/2	33,43 39,66 39,55	21,17 34,88 39,05	20,82 34,09 19,17	0,65 0,879 0,987	0,622 0,859 0,484



prekračujú minimálne stanovené hodnoty objemovej hmotnosti aj nasiakavosti, čím sú vhodné pre kamenárske použitie.

Z porovnania hodnôt pevnosti v prostom tlaku (Tab. 2) vyplýva, že vrchnokriedový zlepenec z lokality Chtelnica – Trianova dosahuje pri všetkých typoch „zaťaženia“, teda po nasiaknutí a zmrazovaní vyššie pevnosti ako neogénny pieskovec z lokality Chtelnica – Malé Skalky a možno ho považovať z hľadiska odolnosti za podstatne kvalitnejší kameň. Aj vzhľadom na historicky dokladované použitie možno preto kameň z ložiska Chtelnica – Trianova odporúčať na dekoračné, reštaurátorské či iné stavebné využitie.

Pri hodnotení koeficienta  $k_1$  (tab. 2) treba uviesť, že hornina z lokality Chtelnica – Trianova vykazuje v porovnaní s hodnotami  $k_1$  z lokality Chtelnica – Malé Skalky nižšie hodnoty, teda sa správa citlivejšie na pôsobenie vody. Ale naopak, pri mrazovom namáhaní  $k_2$  vykazuje hornina z lokality Chtelnica – Trianova oveľa väčšiu odolnosť ako v priemere hornina z Malých Skaliek (Tab. 2). Tu však, na druhej strane, pripomínáme, že v tab. 2 uvedená hodnota  $k_2$  (0,484) v poslednom riadku nie je reprezentatívna v dôsledku malého počtu skúšobných teliesok. Z celkového hodnotenia vyplýva, že i odolnosť hornín voči pôsobeniu mrazu je relatívne vysoká.

### 3.2.2. Mikroskopické analýzy

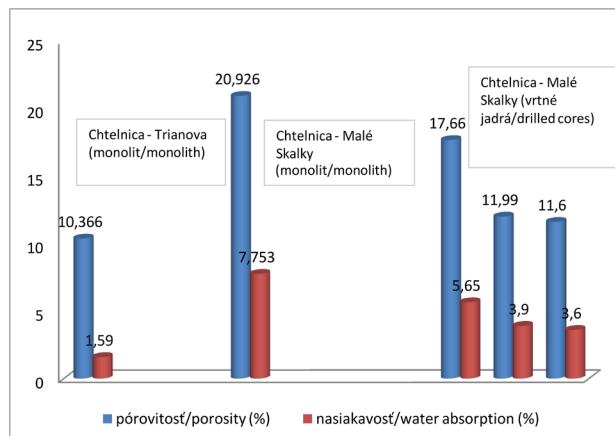
Z obidvoch skúmaných lokalít boli zhotovené výbrusy. Na Katedre mineralógie a petrológie PRIF UK v Bratislave výbrusy analyzovali a opísali Doc. M. Ondrejka a Dr. K. Šarinová.

#### Chtelnica – Trianova

Sedimentárna hornina – polymiktný zlepenec s karbonátovým cementom. Štruktúra je psefitická. Litické úlomky tvoria klasty mikritizovaného karbonátu. Zastúpené sú klasty polykrystalického kremeňa, lokálne sú pozorovateľné reliktové klencových kryštálov dolomitu. Spojivo tvorí sekundárny kalcit, v ktorom sú lokálne viditeľné prejavy tlakovej dvojčatnej deformácie, najmä v hrubokryštalických agregátoch (Obr. 6).

#### Chtelnica – Malé Skalky

Na základe extraklastov usudzujeme, že pôvodná hornina zodpovedala kalcarenitu (Obr. 7). Vzorka je silne rekryštalizovaná. Minerálne zloženie kalcit, detritický kremeň a anhydrit. V stavbe vidieť pôvodné vápencové extraklasty a úlomky mikritických vápencov (úlomok mikritického vápence so žilkou).



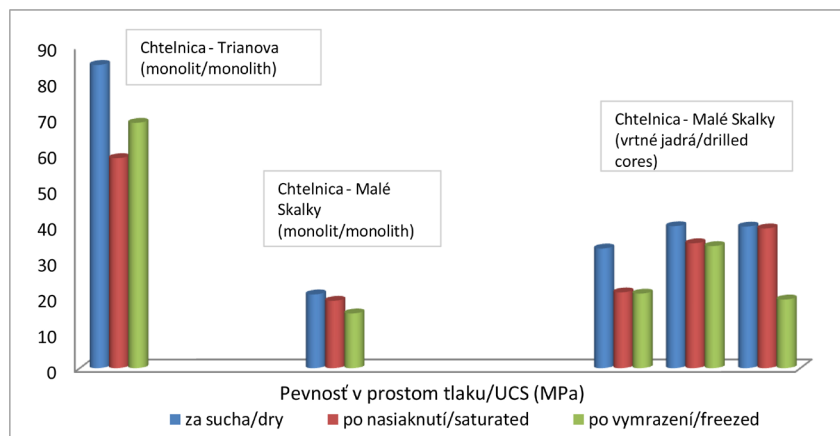
Obr. 8. Vzťah pórovitosti a nasiakavosti zlepenecov a pieskovecov na skúmaných lokalitách.

Fig. 8. Porosity vs. water absorption capacity of conglomerates and sandstones from investigated sites.

## 4. DISKUSIA

Horninový masív odkrytý v kameňolome Chtelnica – Trianova je budovaný stredno- až hrubozrnnými pieskovecami a drobnozrnnými zlepenkami kriedového veku. Zo zistených fyzikálnych vlastností vyplýva, že skúmaná vzorka zlepenca má relatívne vysokú pórovitosť okolo 10,37 % (hodnoty na troch vzorkách 11,610; 10,366 a 9,1 %), ktorá zodpovedá danému typu horniny (Obr. 8). Nasiakavosť svojimi nízkymi priemernými hodnotami okolo 1,59 % (Tab. 1, na 3 vzorkách s hodnotami 1,38; 1,62 a 1,80 %) robí horninu relatívne odolnou proti pôsobeniu vody, čo je možné pripísať „pozitívnej“ veľkostnej distribúcii pórov. Pre nasiakavosť sú najdôležitejšie tie póry, v ktorých dochádza ku kapilárnym javom, t. zn. póry relatívne malé, takže skôr ide v tomto prípade o póry, v ktorých ku kapilárnemu vztlínaniu nedochádza (Kovářová, 2012).

Z hľadiska pevnostných vlastností (Tab. 2) vyplýva, že ide o skalnú horninu s prostou pevnosťou v tlaku suchej vzorky v priemere 84,75 MPa (79,34 – 86,77 – 88,14 MPa), ktorá naznačuje jej dobrú odolnosť. O tom svedčí aj značná homogenita masívu hornín v jeho odkrytej časti na lokalite. Hodnoty tlakovej



Obr. 9. Graf vyjadrujúci priemerné hodnoty pevnosti vzoriek v suchom stave, po nasiaknutí a vymrazení.

Fig. 9. Average values of strength properties of dry, saturated and frozen samples.

Tab. 3. Porovnanie vlastností hornín z lokalít Chtelnica – Trianova a Chtelnica – Malé Skalky (z vlastného výskumu a starších archívnych prác, KZ – karbonátový zlepenec, KP – karbonátový pieskovec).

Tab. 3. Comparison of rock properties from sites Chtelnica – Trianova a Chtelnica – Malé Skalky (own research and archive data, KZ – carbonate conglomerate, KP – carbonate sandstone).

Chtelnica-Trianova vrchná krieda/Upper Cretaceous	Vrt Borehole	Jadro/monolit/ryha/hĺbka Core/monolith/ditch/depth	Typ horniny Lithotype
Holzer et al. (2009)		Monolit	KZ
Nahálka, Grófová (1978)		Ryha 5 ks	KP
		Odkryv 3 ks	KP
Kabina et al. (1981)	SV 101/80	Vrt-odber 9m	KZ
		Vrt-odber 13m	KZ
	SV102/80	Vrt-odber 8,70m	KZ
		Vrt-odber 12 m	KZ
<b>Chtelnica-Malé Skalky spodný miocén Lower Miocene</b>			
Holzer et al. (2014)		Monolit	KP
		Vrt 1	KP
		Vrt 2	KP
		Vrt 3	KP
Nahálka et al. (1970)	DMK-8	lom. stena	KZ/KP
	DMK-9	ryha	KZ/KP
Smiešková (1999)		asi od Kabinu	KZ/KP
Kabina et al. (1981)	SV-5/80	Vrt-odber 10,9m	KZ
		15m	KP
		20m	KZ
	SV-25/80	Vrt odber 10,8m	KP
		16,3m	KZ
		22,8m	KP
		30m	KP
	SV-27/80	Vrt odber 11,6m	KZ
		14,5m	KZ
		18,5m	KP
Kabina et al. (1981)		25m	KZ
		31m	KZ
	SV-31/80	Vrt odber 5,0m	KZ
		10m	KZ
		15,2m	KZ
		20m	KZ
	SV-32/80	Vrt odber 12,5m	KZ
		17,8m	KZ
	23,5m	KZ	
	30m	KZ	
STN 72 1800			
Hutný pieskovec/compact sandstone			
Pórovitý pieskovec/porous sandstone			

$\rho_d$ g.cm <sup>-3</sup>	n %	N %	$\sigma_1$ MPa	$\sigma_2$ MPa	$\sigma_3$ MPa	k1	k2
2,47	10,37	1,59	84,8	58,7	68,6	0,692	0,809
2,45	11,47	2,82					
2,58	5,69	1,26	83,5	77,6	73,9	0,9	0,89
	8,83	2,22	74	46	41	0,62	0,55
	6,78	2,2	56	40	41	0,71	0,73
	10,18	3,41	47	29	32	0,62	0,68
	10,82	3,16	66	42	38	0,64	0,57
2,183	20,93	7,75	20,6	18,8	15,28	0,912	0,742
2,257	17,66	5,65	33,43	21,73	20,82	0,65	0,622
2,448	11,99	3,9	39,66	34,88	34,09	0,8	0,859
2,464	11,6	3,6	39,55	39,05	19,17	0,98	0,484
	8,0-10,0		cca 50				
	"		"				
2,505	9,7	3,08	68	53	48,5	0,78	0,71
	9,03	2,47	86	73	69	0,85	0,802
	8,53	2,28	88	67	61	0,76	0,69
	6,67	1,99	75	79	60	1,05	0,8
	16,31	5,28	66	52	43	0,78	0,65
	4,73	1,05	75	70	71	0,93	0,94
	15,32	4,77	51	38	34	0,74	0,66
	14,95	4,77	40	33	35	0,825	0,875
	14,36	4,09	26	20	13	0,76	0,5
	9,39	3,87	68				
	12,55	9,84	22	20	19	0,91	0,86
2,33 až 2,68	7,43	5,25	52	41	28	0,78	0,53
	6,45	4,98	52	40	46	0,76	0,88
	7,62	2,3	45	40	35	0,88	0,77
	5,09	1,5	75	50	60	0,66	0,8
	4,88	1,3	68	62	62	0,91	0,91
	4,97	1,45	98	58	58	0,59	0,59
	15,26	3,79					
	15,11	4,93	45	36	33	0,8	0,73
	12,95	4,29	37	30	35	0,81	0,94
	6,21	2,05	40	39	35	0,975	0,875
min.		max.	min.				min.
2,5		5	40				0,75
1,8		15	15				0,75



Obr. 10. Pamätník Svätej rodiny medzi Šterusami a Kočínom. Kameň na dekoračné účely z lokality Chtelnica-Trianova (foto Holzer, 2013).  
 Fig. 10. Monument of Holy Family between villages Šterusa and Kočín. Decoration stone from Chtelnica – Trianova (photo Holzer, 2013).

pevnosti po nasiaknutí horniny vodou boli v rozsahu 54,09 – 58,94 – 63,01 MPa (priemer 58,68 MPa) a hodnoty tlakovej pevnosti po vymrazení boli v rozsahu 59,90 – 64,92 – 80,85 MPa (priemer 68,56 MPa – tab. 2). Zaujímavosťou je, že priemerná hodnota pevnosti horniny v prostom tlaku po vymrazení 68,56 MPa prevyšuje hodnotu pevnosti po nasiaknutí vzorky vodou 58,68 MPa (štandardne to býva opačne). Vyššia pevnosť v tlaku po vymrazení vzorky než je pevnosť nasiaknutých vzoriek v zásade neprekvapuje, pretože pri takomto „zafažení“ vzorky dochádza k značnému preskupeniu vnútornej štruktúry v dôsledku pôsobenia ľadu (staršie skúsenosti naznačujú tento jav práve v karbonátových horninách), a k výslednému „spevneniu“ horniny. Pokiaľ by sa proces zmrazovania predĺžil, hodnoty by boli zasa iné a napr. jeden cyklus zmrazovania navyše by mohol spôsobiť veľký pokles pevnosti vzorky po zmrazení.

Súčiniteľ zmäkčenia ( $k_1$ ) charakterizujúci citlivosť horniny na pôsobenie vody dosahuje pomerne nízku hodnotu 0,692. Naopak súčiniteľ vymrazenia ( $k_2$ ) s hodnotou 0,809, vyjadruje relatívne dobrú odolnosť horniny proti pôsobeniu mrazu (Tab. 2). Na skúšobných telieskach z lokality Chtelnica – Trianová sa vykonali doplnujúce merania pevnosti v strihu, ktorá dosahuje v priemere 15,58 MPa (Obr. 9).

Horninu (tvoriacu jemnozrnnejšie i hrubozrnnejšie polohy) z pohľadu jej fyzikálnych a mechanických vlastností možno klasifikovať ako vhodnú pre stavebné a dekoračné účely. Vo všeobecnosti sú vhodnejšie homogénne jemno až strednozrnne litotypy.

Horninový masív odkrytý v kameňolome Chtelnica – Malé Skalky je budovaný vápnitými, zväčša hrubozrnými až drobnozrnými zlepcami a jemnozrnými pórovitými pieskovicami. Plochy diskontinuity na základe svojej orientácie umožňujú vo všeobecnosti ťažbu kameňa vhodných rozmerov a tvarov.

Fyzikálno-mechanické vlastnosti (Tab. 1 a 2) boli zisťované na skúšobných telieskach zhotovených z voľne uloženého monolitu pieskovca odobratého a z pieskovca rovnakého typu odobratého z masívu jadrovým vrtním.

Z hodnôt pórovitosti i nasiakavosti vyplývajú pomerne značné rozdiely. Pri monolitckej vzorke je pórovitosť podstatne vyššia, dosahuje priemernú hodnotu takmer 21 % (Tab. 1). Zistené hodnoty boli 20,30; 20,70; 21,00; 21,59 %. Predpokladáme, že monolit

bol dlhodobo vystavený exogénnym účinkom (odťažený bol pri skúšobnej otváraní ložiska v r. 1981), preto zistené hodnoty pórovitosti primerane zodpovedajú danému typu horniny a podmienkam i dobe uloženia. Vo vzorkách z vrtných jadier sa pórovitosť pohybuje v rozhraní od 11,60 do 17,66 % (Tab. 1) čiže je podstatne nižšia a zodpovedá úmerne danému typu horniny. Hĺbkovo mali vzorky tiež rozdielnu pórovitosť (Kabina et al., 1981). Možno vo všeobecnosti konštatovať, že pórovitosť s hĺbkou vrtania klesala (prechod zo zvetranej povrchovej časti do zdravej horniny).

Nasiakavosť svojimi hodnotami zodpovedá relatívne vysokej pórovitosti a je v oboch prípadoch rozdielna. Pri monolitckej vzorke je vyššia s priemernou hodnotou 7,754% (zistené hodnoty 7,46; 7,60; 7,80; 7,82; 8,085 %), zatiaľ čo vo vzorkách z jadier sa pohybuje v intervale 3,60 až 5,65 % (Tab. 1). Tieto hodnoty plne zodpovedajú danému litologickému typu horniny.

Hodnoty pevnosti v prostom tlaku suchých vzoriek z monolitu kolísali v rozmedzí 17,60 až 24,00 MPa, v priemere predstavovali hodnotu 20,60 MPa (Tab. 2) a z vrtných teliesok sa pohybovali v rozmedzí 33,43 až 39,66 MPa (priemer 37,55 MPa) čo naznačuje pomerne nízku odolnosť horniny. Hodnoty pevnosti vzorky v prostom tlaku po nasiaknutí vodou na telieskach zhotovených z jadier sa pohybujú v rozhraní 21,17 až 39,05 MPa (priemer z troch teliesok je 31,89 MPa). Priemerné hodnoty pevnosti vzorky v prostom tlaku po nasiaknutí vodou z monolitu sú ešte nižšie (14,00 až 25,20 MPa, priemer 18,80 MPa).

Hodnoty prostej pevnosti v tlaku horniny po vymrazení na vrtných jadrách (10 skúšobných teliesok) sú v rozmedzí 10,15 až 37,22 MPa (priemer 22,16 MPa). Hodnoty pevnosti v prostom tlaku po vymrazení na vzorkách z monolitu boli ešte nižšie (14,20 až 16,50 MPa, priemer 15,28 MPa). Treba podotknúť, že zistené hodnoty sú značne rozptýlené. Opäť sa ukazuje, že hodnoty prostej pevnosti v tlaku horniny po vymrazení prevyšujú hodnoty pevnosti vzorky v prostom tlaku po nasiaknutí vodou, tak ako sme už uviedli na predchádzajúcej strane. V tab. 3 uvádzame súhrn vybraných vlastností hornín, zistených vlastným výskumom i z archívnych údajov, z oboch lokalít.

Z hľadiska pevnostných vlastností na základe hodnôt zistených zo skúšobných teliesok z monolitu i vrtných jadier vyplýva, že ide o poloskálnu horninu (pevnosť nižšia ako 50 MPa).

Vrchnokriedové zlepenca a pieskovce z lokality Chtelnica – Trianova sú vekovo a litofaciálne staršie v porovnaní s neogénymi pieskovecami a zlepenkami z lokality Chtelnica – Malé Skalky. Tento odlišný vývoj a diagenéza hornín má vplyv na ich fyzikálno-mechanické vlastnosti. Všeobecne treba povedať, že skúmané vekovo staršie klastické horniny sú vzhľadom na zistené vlastnosti oveľa kvalitnejším materiálom na použitie v stavebníctve, než mladšie klastické horniny.

V rámci medzinárodného projektu Culture 2007–2013 Historic quarries ako aj v rámci iných výskumov (Štefanovičová et al., 2004; Laho, 2007; Holzer et al., 2008; Laho et al., 2008; Laho et al., 2009) sa v laboratóriu Katedry inžinierskej geológie PRIF UK vykonali skúšky fyzikálno-mechanických vlastností hornín z niektorých lokalít Viedenskej panvy na území Rakúska, a z historických objektov na Slovensku. Teda vekovo i litofaciálne išlo o podobné horniny ako na skúmanej lokalite Chtelnica – Malé Skalky. Prednostne sa pozornosť venovala ťažbe a vlastnostiam dekoračného kameňa – litavského vápniteho pieskovca (Leithakalk) na lokalite St. Margarethen v Rakúsku, ktorý sa využíva na obnovu historických pamiatok (Katedrála sv. Štefana vo Viedni) i na sochársko-kamenárske výrobky. Cieľom prezentácie vlastností horninového materiálu z tejto lokality bolo ich porovnanie s vlastnosťami vývojovo i litologicky obdobných hornín na študovanom území Brezovských Karpát, ako aj poukázanie na skutočnosť, že i na Slovensku, chudobnom na kvalitný, predovšetkým reštaurátorsko-dekoračný kameň existujú tiež možnosti ťažby vhodného prírodného materiálu. Z kameňolomu St. Margarethen boli v dvoch rozdielnych časových úsekoch odobrané a skúšané dva monolity (rok 2002 – vzorka V1 a 2009 – vzorka V2). Všetky fyzikálne a mechanické vlastnosti boli stanovené vždy minimálne na 5 skúšobných telieskach.

Zo zisťovaných vlastností zaujala vysoká pórovitosť a nasiakavosť kameňa, ktorá na vzorkách z monolitu V1 kolísala v rozhraní 21,059 až 23,499 % a na druhej vzorke V2 sa hodnoty pohybovali v intervale 18,0 až 19,0 %. Nasiakavosť obidvoch skúmaných monolitov bola v rozsahu 5,20 až 9,16 % (priemer zo 6 vzoriek 7,18 %), na monolite V2 boli zistené hodnoty 5,72 až 7,01 %, (priemer zo 6 vzoriek 6,38 %). Pevnosť obidvoch vzoriek bola nízka:

- ▶ pevnosť v prostom tlaku suchej vzorky (podľa STN EN 1926) na vzorke V1 bola 16,55 až 18,30 MPa, na vzorke V2 (na 22 telieskach) dosiahla 11,24 až 40,67 MPa;
- ▶ pevnosť nasiaknutej vzorky V1 bola 11,22 až 13,62 MPa, vzorky V2 bola 14,98 až 23,55 MPa;
- ▶ pevnosť v prostom tlaku vymrzenej vzorky V1 bola 10,52 až 12,78 MPa, vzorky V2 17,66 až 23,55 MPa.

Pri hodnotení vlastností a kondícií kameňa (Kabina et al., 1981 a vlastný výskum) z jednotlivých skúmaných lokalít z hľadiska možnosti ťažby a využitia na reštaurátorské a dekoračné účely je možné konštatovať:

1. z lokality Chtelnica – Trianova pochádza kvalitatívne najvhodnejší kameň na uvedené účely zastúpený pieskovecami a zlepenkami;
2. surovina z lokality Chtelnica-Malé Skalky vykazuje síce „nižšie“ hodnoty požadovaných vlastností než materiál z lokality Chtelnica – Trianova, ale je porovnateľná s ložiskom dekoračného kameňa v St. Margarethen. Nevýhodou ložiska Chtelnica – Malé Skalky je, že ide o litologicky variabilný

komplex so striedaním polôh zlepenecov a pieskovcov. Táto skutočnosť bude pri ťažbe vyžadovať výber spojený s presným definovaním účelu použitia jednotlivých litologických typov a rozhodnutie o polohách nevhodných na stavebné a dekoračné účely, tak ako to už spomína Kabina et al. (1981);

3. kameň z ložiska Chtelnica-Malé Skalky je vlastnosťami dostatočne porovnateľný s kameňom z ložiska v St. Margarethen. Ak porovnáme výsledky vlastností má „náš“ kameň vo viacerých ohľadoch ešte výrazne lepšie – vhodnejšie parametre. O možnostiach jeho využitia na dekoračné, či iné účely svedčí jeho hojné používanie v historickom období.

## S. ZÁVER

Z poznatkov prieskumných prác vyplýva, že v prípade otvárania ložiska Chtelnica – Malé Skalky je potrebné začať s ťažbou v priamom pokračovaní pôvodných etáží otvorených pokusnou otvárkou v smere SV. Pokračovacie ťažobné práce sa, žiaľ, po roku 1981 nerealizovali.

Sivé a žltohnedé až hrdzavohnedé pieskovce a jemnozrné svetlé zlepenca sú vhodné na reštaurátorské práce na výrobu stavebno-fasádnych obkladových prvkov. Na ušľachtilú kamenársku výrobu sú najvhodnejšie jemno- až strednozrné zlepenca a pieskovce. Možno z nich vyrábať málo namáhané dlažby (do interiérov), obkladové dosky masívne a tesané prvky ušľachtilej kamenárskej výroby.

Z hľadiska použitia sa na základe overených vlastností odporúčajú vrchnokriedové baranecké pieskovce a zlepenca Brezovských Karpát. V súčasnosti sa tieto horniny ťažia v Brezovských Karpatoch v menšom mechanizovanom kameňolome na lokalite Chtelnica-Trianova ako surové bloky na stavebné a dekoračné účely.

Vyhľadávacím prieskumom na lokalite Chtelnica-Malé Skalky a následnými laboratórnymi skúškami sa preukázala vhodnosť hornín na obklady, ako tvarovaný stavebný kameň a z tohto hľadiska i na rekonštrukčné práce na historických objektoch.

Horninu z lokality Chtelnica – Trianova, z hľadiska jej vlastností, farby a celkového vzhľadu – farby i štruktúry (s možnosťou výberu jemnozrnnejších i hrubozrnnejších polôh, podľa požiadaviek odberateľov) možno klasifikovať ako vhodnú na dekoračné a stavebné účely. Vyťažené bloky sú vzhľadom na vlastnosti horniny dobre opracovateľné (Obr. 10).

Horninu z lokality Chtelnica – Malé Skalky z hľadiska jej fyzikálnych a mechanických vlastností, možno klasifikovať ako limitovane vhodnú na dekoračné a sochársko-kamenárske práce, ale bez obmedzenia vhodnú pre interiérové použitie.

Pre vyššiu objektivnosť by bolo potrebné vypracovať kategorizáciu horninového materiálu pre komerčné účely, ktorá by pozostávala z väčšieho množstva skúšok na viacerých vzorkách, ktoré sa vyskytujú v celom litologickom profile lokality.

**Podakovanie:** Autori príspevku ďakujú za vykonané technické, laboratórne a analytické práce Mgr. K. Šarinovej, PhD., L. Dordovej, P. Sečkárovi a I. Pellerovi.

## Literatúra

- Began A., Hanáček J., Mello J. & Salaj J., 1987: Vysvetlivky ku geologickej mape Myjavskej pahorkatiny, Brezovských a Čachtických Karpát 1:50 000, 181 p.
- Borza K., 1962: Petrografický výskum valúnov sedimentárnych hornín kriedových a paleogénnych zlepenčov Brezovského pohoria a Myjavskej pahorkatiny. *Geologický Zborník* 13, 2, 241–256.
- Culture 2007–2013, contract N 2008-2089/001-001 MECOAN: Historic Quarries, doba riešenia: 10/2008–10/2010.
- Droppa V., 1982: Lom Trianova – hydrogeologický posudok. IGHP, n.p. Žilina, 15 p.
- Droppa V., Jalč D. & Richter P., 1985: Chtelnica – Malé Skalky. Ochrana podzemných vôd, HGP. Účel: posúdiť vplyv budúcej ťažby dekoračného kameňa na podzemné vody z hľadiska kvantitatívneho i kvalitatívneho. Manuskript, Geofond – archív ŠGÚDŠ, Bratislava.
- Fatul R., 1980: Chtelnica – Malé Skalky. HGP – štúdia, účel: posúdenie režimu podzemných vôd pri realizácii geologického prieskumu. Manuskript, Geofond – archív ŠGÚDŠ, Bratislava, 8 p.
- Holzer R., Laho M., Bednarik M. & Greif V., 2008: Characteristics and sources of the dimension stone used on significant historic buildings and monuments in Slovakia. International Geological Congress Oslo 2008 (CD ROM): International Union of Geological Sciences.
- Holzer R., Laho M., Wagner P. & Bednarik M., 2009: Inžinierskogeologický atlas hornín Slovenska. ŠGÚDŠ Bratislava, 532 p.
- Hornáčková A., 2008: Dobrovodský kameň. Pamiatky Trnavy a Trnavského kraja 11, KPÚ, Trnava, 47–48.
- <http://www.obecdobravoda.eu/fakty.html>
- <http://www.obecdobravoda.eu/remesla.html>
- Kabina P., Grófová M., Šajgalík P., Januš J., Urban V. & Mokráš L., 1981: Záverečná správa a výpočet zásob. Chtelnica – Malé Skalky. Manuskript, Geofond – archív ŠGÚDŠ, Bratislava, 75 p.
- Kovářová K., 2012: Vliv zvětrávacích procesů na fyzikálně-mechanické vlastnosti pískovců. PhD práca, ČVUT Praha, Praha, 116 p.
- Laho M., 2007: Vlastnosti a hodnotenie prírodného kameňa na historických objektoch Bratislavy a okolia. Dizertačná práca. Manuskript, Katedra inžinierskej geológie PRIF UK Bratislava, 148 s.
- Laho M., Bednarik M., Holzer R., Rohatsch A., Greif V. & Humer F., 2008: Is there any relation between dimension stones of Bratislava's monuments and Petronell und Carnuntum Roman settlements? *Geophysical Research Abstracts*, 10, Göttingen.
- Laho M., Bednarik M., Holzer R. & Wagner P., 2009: Výber stavebného kameňa pre rekonštrukciu historických objektov. *Acta Geologica Slovaca*, 1, 1, 9–14.
- Marschalko, M. & Juriš, P., 2009. Task of engineering geology in land-use planning on the example of four selected geofactors. *Acta Montanistica Slovaca*, 14, 4, 275–283.
- Marschalko M., Lahuta H. & Juriš P., 2008. Analysis of workability of rocks and type of prequarternary bedrock in the selected part of the Ostrava conurbation by means of geographic information systems. *Acta Montanistica Slovaca*, 13, 2, 195–203.
- Marschalko, M., Bednarik, M. & Yilmaz, I., 2012. Evaluation of engineering-geological conditions for conurbation of Ostrava (Czech Republic) within GIS environment. *Environmental Earth Sciences*, 67, 4, 1007–1022
- Malík P., Kullman E., Vrana K. & Pospiechová A., 1989: Hydrogeologické pomery Brezovských Karpát. Čiastková záverečná správa. Manuskript ŠGÚDŠ, Bratislava.
- Marko F., Fodor L. & Kováč M., 1991: Miocene strike-slip faulting and block rotation in Brezovské Karpaty Mts. (Western Carpathians). *Mineralia Slovaca*, 23, 3, 189–200.
- Mazúr E. & Lukniš M., 1980: Mapa geomorfologických jednotiek 1:500 000, Atlas SSR. SAV, Bratislava.
- Nahálka A. & Grófová M., 1978: Dobrovodská kotlina. Dekoračný kameň. Záverečná správa, etapa: VP, stav k: 10.4.1978. Manuskript, Geofond – archív ŠGÚDŠ, Bratislava, 33 p.
- Nahálka A., Očenáš D. & Valko P., 1970: Slovensko – dekoračný kameň, časť: Malé Karpaty, etapa: VP, stav: 1.10.1970. Manuskript: Geofond – archív ŠGÚDŠ, Bratislava, 79 p.
- Pivko D., 2008: Dekoračné a stavebné kamene kostolov centra Trnavy. Pamiatky Trnavy a Trnavského kraja 11, KPÚ, Trnava, 39–46.
- Pivko D., 2010: Významné horniny používané ako opracované kamene v historických pamiatkach Slovenska. *Mineralia Slovaca*, 42, 2, 241–248.
- Pivko D. & Hornáčková A., 2010: Petrografické vyhodnotenie vzoriek z archeologického výskumu Baziliky sv. Mikuláša a karnera v Trnave. Pamiatky Trnavy a Trnavského kraja 13, KPÚ, Trnava, 29–34.
- Polakovič J., 1998: História Chtelnice. Polygrafia vedeckej literatúry a časopisov SAV, Bratislava, 5–12.
- Samuel O., Salaj J. & Began A., 1980: Litostratigrafická klasifikácia vrchnokriedových a paleogénnych sedimentov Myjavskej pahorkatiny. *Západné Karpaty, séria Geológia*, 6, 81–111.
- Smiešková K., 1999: Chtelnica – Malé Skalky. Pieskovec a zlepenec blokovo dobývateľný – výpočet zásob, stav k 31.3.1999. Manuskript: Geofond – archív ŠGÚDŠ, Bratislava, 20 p.
- Štefanovičová T., Frolík J., Zeman A., Beňuš R., Holzer R., Laho M., Durmeková T. & Greif V., 2004: Dóm sv. Martina v Bratislave. *Archeologický výskum*, 62–70.
- STN EN 1936, 2007: Skúšky prírodného kameňa. Stanovenie mernej hmotnosti, objemovej hmotnosti a celkovej a otvorenej pórovitosti. SÚTN, Bratislava, 12 p.
- STN EN 13755, 2008: Skúšky prírodného kameňa. Stanovenie nasiakavosti pri atmosférickom tlaku. SÚTN, Bratislava, 12 p.
- STN EN 1926, 2007: Skúšky prírodného kameňa. Stanovenie jednoosej pevnosti v tlaku. SÚTN, Bratislava, 20 p.
- STN EN 12371, 2010: Skúšky prírodného kameňa. Stanovenie mrazuvzdornosti, SÚTN, Bratislava, 16 p.
- STN 72 1800, 1987: Prírodný stavebný kameň na kamenárske výroby. Technické požiadavky. SÚTN, Bratislava, 16 p.
- Zuberec J., Kúšik D. & Hasch J., 1997: Malé Karpaty – dekoračný kameň, vyhladávací prieskum, stav k 30.9.1997. Manuskript, Geofond – archív ŠGÚDŠ, Bratislava, 85 p.

**Summary:** The main goal of the presented contribution was the search aiming at the retrieval of an appropriate decoration and building stone on the territory of Slovakia. It is well known that the geologic frame of the Slovak Carpathians was affected with multiple strong tectonic events. They caused considerable rock deterioration and so we can scarcely locate sites serving a suitable natural material for decoration and other building purposes, not even as a replacement building stone for restoration of historic structures.

The first approach represents the “Engineering Geological Atlas of Rocks in Slovakia” (Holzer et al., 2009). Here, the laboratory assessment of engineering properties of the most widespread types of rocks of Slovakia was presented.

Following these, our attention was paid to deposits which could provide at least limited volumes of applicable stone material for above mentioned intentions. The main goal of such aims was to find out a worthy stone for the maintenance of many defective historic monuments.

Regarding former investigations our respect was oriented to easy recoverable and easy treatable sedimentary rocks in the area of the western part of Slovak Carpathians and partly of the Vienna Basin. In this area the most building and decoration stone in the historic times was quarried. Due to the fact that it is impossible to find out the original stone mining sites (which were predominantly on the territory of Austria), attention was devoted to deposits which could provide a replacement material, similar to the original one. Such sites were found in the Brezovské Karpaty Mts. Here, the carbonate sandstones and conglomerates of Upper Cretaceous (site Chtelnica – Trianová) and carbonate sandstone of Neogene sedimentary strata (site Chtelnica – Malé Skalky) were taken into consideration. The determination of their basic composition and assessment of important physical and mechanical properties were made. These stones were already considered as an appropriate material for restoration works in the past.

Samples for the assessment of the rock properties were taken from the abandoned quarry (Chtelnica – Malé Skalky) and quarry in operation (Chtelnica – Trianová). Specimens for laboratory tests in the form of cubes (50 × 50 × 50 mm) and cylinders (50 × 50 mm) were prepared from monoliths or drilled cores taken from the rock mass. Previous research results from quarries at St. Margarethen (Burgenland, Austria) of within similar lithological type are included, as well. Regarding the rock composition thin sections were made from each quarry.

The rock quality and durability was assessed through laboratory testing of physical and mechanical properties, including measurements of real and apparent density, porosity and water absorption capacity, uniaxial compressive strength (UCS) for both dry and water-saturated rock samples and for samples following repeated freeze-thaw cycles, the coefficient of softening and the coefficient of freezing. All investigated rock samples differed in porosities and absorption capacities and UCS values which were very variable. Considering the UCS most of the rocks are ranged into the weak rock category (UCS below 50 MPa and are sensitive to the water action). All assessed rock properties are introduced in tables 1 and 2.

Based on the assessment of rock properties and mining conditions of individual deposits it is possible to compare them. Based on it the following conclusions can be presented:

1. Qualitatively the most suitable and applicable stone provides the deposit Chtelnica – Trianová with its Upper Cretaceous sandstones and conglomerates.
2. Suitable stone provides also the deposit Chtelnica – Malé Skalky, despite of lower values of rock properties than those of the deposit Chtelnica – Trianová. This is clearly confirmed, as these conglomerates and sandstones of the Neogene strata are a much younger rock element, lesser consolidated. The rock complex is lithologically very inhomogeneous with frequent interfingering of mentioned rock types. This fact will require careful choice and designation of utilization of individual lithological types for special purposes (decoration, building stone, etc.).
3. According to its properties the stone from the deposit Chtelnica – Malé Skalky is almost identical with the stone in the deposit St. Margarethen (Austria). Comparing the results of properties, in several respects „our stone“ has even expressively better – more sufficient parameters. Its utilization for decorative or another purposes has been substantiated by its plentiful use in the historic era.