

Vlhkosť – negatívny faktor deteriorácie horninového masívu

Martin Brček¹, Ján Vlčko¹, Ľudovít Kubičár², Vlastimil Boháč² a Renáta Adamcová¹

¹Katedra inžinierskej geológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava; e-mail: brcek@fns.uniba.sk

²Fyzikálny ústav, Slovenská akadémia vied, Dúbravská cesta 9, 845 11 Bratislava

AGEOS The moisture – a negative deterioration factor of rock mass

Abstract: The rock mass deterioration is caused by exogenous factors from which the main role play the temperature and moisture content. A monitoring system of the rock moisture content based on the transient Hot-ball method of measuring of the thermal conductivity of materials was installed on the Perún's rock at the Spiš Castle. So called, hot ball method was used for the estimation of the water content in various depths inside the rock mass in order to assess its effect on the temperature penetration depth beneath the surface, which might control the volumetric change (dilation) of the rock cliff and its stability. The preliminary results showed relation between q/T_m index and the precipitation registered by the nearby meteorological station. This dependence was manifested in the near subsurface parts of the rock face while the deeper sensors were not influenced. This suggests that the surface parts of the travertine rock body are more prone to the temperature dilation effects and therefore the thermal flux through the upper 40 cm of rock is faster than through the deeper parts.

Key words: rock mass, water content, q/T_m index, thermal conductivity, penetration depth, Spiš Castle

1. ÚVOD

Deteriorácia hornín je zložitý prírodný proces, pri ktorom dochádza k zmenám minerálneho a litologicko-petrografického zloženia hornín, ako aj ich fyzikálno-technických vlastností v dôsledku fyzikálneho a chemického pôsobenia vonkajších činiteľov. Medzi najčastejšie deterioračné faktory patria predovšetkým vlhkosť, zmeny teploty a pôsobenie solí.

Vlhkosť zemín, najmä jemnozrnných, patrí medzi tie fyzikálne vlastnosti, ktoré výrazne ovplyvňujú ďalšie vlastnosti (konzistenciu, príp. plasticitu) a správanie sa týchto hornín, a preto je jej stanovenie súčasťou každého inžinierskogeologického prieskumu (Frankovská & Dananaj, 2006). Iná situácia je u skalných, resp. poloskalných hornín, kde skúmanie vplyvu vlhkosti na fyzický stav a správanie sa hornín, príp. horninových masívov, úplne absentuje alebo sa mu nevenuje takmer žiadna pozornosť. Tento závažný fakt bol jedným z dôvodov, prečo sme začali realizovať popri monitorovaní svahových pohybov a teplôt aj monitoring vlhkosťného režimu v horninovom masíve „Perúnovej“ skaly na Spišskom hrade a pokúsili sa nájsť ich vzájomné spolupôsobenie.

Voda obsiahnutá v skalnej hornine môže do puklín, trhlín, mikrotrhlín alebo pórov masívu prenikať viacerými spôsobmi, napríklad ako voda dažďová, vyvrázaním z hmly, zo snehu alebo zo vzduchu. Veľmi vážne nebezpečenstvo vzhľadom na odolnosť skalných, resp. poloskalných horninových masívov predstavuje voda ako rozpúšťadlo solí, tmelu a ako médium zabezpečujúce ich transport. Voda urýchľuje chemické reakcie na povrchu pórov a podporuje existenciu živých organizmov (rias, lišajníkov, plesní a pod.). Hlavné nebezpečenie však hrozí pri cyklických zmenách obsahu vlhkosti za prítomnosti hygroskopických solí. Vo všeobecnosti je známe, že i pomerne vysoká prechodná vlhkosť skalných hornín je menej nebezpečná ak je stála. Meniaci sa vlhkosť, resp. kolísanie nasýtenia

horninových masívov vodou zapríčiňuje podstatne rýchlejšie rozrušovanie štruktúrnych väzieb vo vnútri masívu i zmeny stavu minerálov (korózia minerálnych zŕn). S vyššou vlhkosťou sa zvyšuje aj rýchlosť a hĺbka prieniku teploty do vnútra horninových masívov (teplotných zmien v masíve). Vplyvy teploty vyvolávajú objemové zmeny skalných hornín a majú aj vplyv na rozťažnosť monitorovacích zariadení. Tieto vplyvy je nutné korigovať (Greif et al., 2004, 2006; Youn et al., 2002) z dôvodu správneho určenia pohybov skalných blokov horninového masívu.

2. LOKALITA SPIŠSKÝ HRAD – STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA

Prvé zmienky o Spišskom hrade pochádzajú už z 12. storočia. Hrad (Obr. 1) patrí medzi naše najvýznamnejšie kultúrne pamiatky a od roku 1993 je zapísaný aj v zozname Svetového kultúrneho dedičstva UNESCO. Z geografického hľadiska patrí do Hornádskej kotliny, pričom samotný hrad je situovaný na travertínovej kope. Hornádska kotlina podobne ako ostatné kotliny Západných Karpát vznikla poklesnutím v neogéne období. Geologická stavba územia je tvorená nasledovnými tektonickými jednotkami (c.f. Gross et al., 1981):

- ▶ Silicikum stratenskej skupiny (mezozoikum; so súvrstvím bridličnato-pieskovcovým a slieňovcovo-vápencovým, dolomity na báze vápencového komplexu).
- ▶ Usadeniny podtatranskej skupiny – v bezprostrednom podloží hradu sa vyskytuje hutianske súvrstvie, ktoré je tvorené vápnitými ílovcami, drobnozrnnými zlepenkami, pieskovicami, siltovicami.
- ▶ Kvartérne pokryvné útvary – zastúpené svahovými sedimentmi, ktoré sú tvorené ílovitými a ílovito-piesčitými hlinami a biochemickými sedimentami, reprezentované travertínmi.



Obr. 1. Spišský hrad.

Fig. 1. Spiš Castle.

Biochemické sedimenty, ktoré sú hlavným predmetom nášho záujmu, predstavujú travertíny, ktoré sú podľa Holeca (1992) vrchnomiocénneho až holocénneho veku. Travertíny konzervujú povrch ílovcov hutianskeho súvrstvia, pričom sú morfológicky zreteľne ohraničené. Hrúbka travertínovej kopy hradného vrchu dosahuje 52 m. Travertíny sú v prevažnej miere sivobielej až bielej farby, amorfné, prípadne veľmi jemnozrnné. Charakteristická je pre ne rôznorodá pórovitosť v rozmedzí od mikropórov až po dutiny, ktoré sú často vyplnené kalcitom, prípadne aragonitom.

Výrazná a silne členitá travertínová akumulácia hradného vrchu tvorí dnes iba denudačnú trosku pôvodne rozsiahlej travertínovej kopy. Tento stav spôsobili gravitačné deformácie blokového charakteru, pri ktorých došlo k podpovrchovým plazivým pohybom rigidných travertínových telies po plasticom podloží. Významnú úlohu tu zohrali procesy zvetrávania, krasovatenia a erozívno-denudačné procesy. Vplyv na počiatočný rozvoj plazivých blokových pohybů už v pleistocéne malo aj intenzívne premrzanie travertínov, najmä na ich kontakte s paleogénnym podložím (Vlčko et al., 1998; Vlčko, 2002). Separáciu travertínového telesa na bloky počas periglaciálnej klímy pravdepodobne zvýraznilo i rozširovanie ľadovej výplne v trhlinách.

Hradný vrch je po obvode zo SZ, S, SV a JV ohraničený strmými skalnými stenami vysokými 15 až 20 m s priemerným sklonom 70 až 80°. Travertínové teleso Spišského hradu je silne porušené systémom tektonických línií, puklín a trhlín s rozdielnym priestorovým a hĺbkovým dosahom. Najvýraznejší zlomový systém má orientáciu v smere SZ-JV. Poruchy tohto systému sa v priestore hradu niekoľkokrát opakujú. V centrálnej časti hradu sa zlomová porucha rozdeľuje, jedna časť prechádza cez kaplnku a cisternu, druhá prechádza popod objekt kruhovej veže a viaže sa na ňu vznik tzv. Temnej jaskyne. Na tento systém je viazaný i vznik Podhradskej jaskyne, ktorá sa nachádza neďaleko vstupného predbránia. Vstup do jej priestorov je za tzv. Perúnovou skalou. Podiel na jej vzniku majú i prejavy deformácií okrajov travertínovej akumulácie (Vlčko et al., 1998).

V súčasnosti sa na Spišskom hrade nachádza niekoľko meračích zariadení. Za účelom bližšieho objasnenia spôsobu vzniku porúch (napr. trhliny) v hradnom masíve, ako i určenia rýchlosti svahových pohybů horninových blokov, boli v roku 1980 nainštalované tri mechanicko-optické meradlá typu TM-71. Neskôr v roku 1992 pribudli ďalšie, avšak v súčasnosti sú funkčné len štyri. Monitoring pohybů sa vykonáva i na ďalších piatich stanoviskách, na ktorých sú zabudované konzoly pre odnímateľné mechanické meradlá SOMET a na jednom stanovisku sa monitoruje prostredníctvom plne automatizovaného meracieho zariadenia GEOKON 4.2. V roku 2003 bolo v priestore južnej časti Spišského hradu, v tzv. Perúnovej skale, osadených päť teplotných snímačov za účelom merania gradientu teploty (teplotného poľa) vo vnútri horninového masívu na objasnenie vplyvu teploty na kinematiku a rýchlosť pohybů. Štyri teplotné snímače sú umiestnené v rozdielnych hĺbkach travertínového masívu (6,5 cm, 16 cm - neskôr v marci 2004 prehĺbená do 80 cm, 25 cm a 38 cm) a piaty teplotný snímač zachytáva povrchovú teplotu. Monitoring vlhkostného režimu sa začal realizovať v roku 2008, keď boli osadené štyri telieska sond na zisťovanie vlhkosti v rozdielnych hĺbkových úrovniach (10, 40, 80 a 150 cm).

3. VLHKOSŤ V SKALNEJ HORNINE

Vlhkosť v skalných horninách, ako je uvedené vyššie, pochádza z dvoch zdrojů. Ide o atmosférickú vlhkosť a vlhkosť spôsobenú kapilárnym vzlianim. Atmosférická vlhkosť a jej účinok na skalnú horninu (vo všeobecnosti) môže mať viacnásobný efekt. Ako prvý treba spomenúť kondenzačnú vlhkosť, spôsobenú relatívne vysokým rozdielom teplôt humidného vzduchu a chladnej steny horninového masívu. Ku kondenzácii dochádza pri určitom tlaku, keď teplota dosiahne teplotu rosného bodu. Vyzrážanie potom závisí od stupňa nasýtenia horniny. Winkler (1973, 1994) vo svojej práci uvádza dôležitý fakt, ktorý sa často neprávom prehliada, a to že pri 60% vlhkosti vzduchu sa pri ochladení zo 40°C na 20°C uvoľní z 1 m³ vzduchu až 21 g vody.



Obr. 2. Model metódy horúcej guľôčky (vľavo); senzor horúcej guľôčky (v strede); teliesko sondy a záznamová jednotka (vpravo) (upravené podľa Kubičára et al., 2006).
Fig. 2. Model of the hot ball method (left); hot ball sensor (in the middle); data logger in connection with the hot ball probe (right) (according to Kubičár et al., 2006).

Iné, ale taktiež významné postavenie, môžu zastávať i hmlové kvapôčky, ktoré môžu absorbovať znečistenie vo väčšom množstve, pretože majú pomalú klesajúcu rýchlosť a môžu zasiahnuť väčší povrch. Z toho dôvodu je hmla kyslejšia ako samotný dážď, a tým môže zásadne prispieť k intenzifikácii zvetrávacích procesov. Ďalším zdrojom nasýtenia vodou, resp. vlhkosti horninového masívu, je dažďová voda, u ktorej naopak nedochádza k tak rýchlemu prenikaniu vlhkosti do horniny, ako sa pôvodne predpokladalo. Je to spôsobené hlavne krátkym trvaním dažďa v porovnaní s časom potrebným na prienik vody do horniny. To platí predovšetkým pre celistvé skalné horniny s nízkou pórovitosťou.

Vlhkosť vzniknutá kapilárnym vztlínaním má svoje opodstatnenie najmä pri štúdiu horninových blokov, ktorých časť je „ponorená“ do vysokoplastických zemín (elúvium paleogénnych ílovcov) tak, ako je to na Spišskom hrade. Jej prítomnosť je možné pozorovať na stene masívu, kde sa prejavuje svetlým, suchým bielym alebo tmavým vlhkým lemom. V každom prípade pri zisťovaní obsahu vlhkosti, najmä v nižších častiach skalných blokov, je obtiažne určiť pôvod vlhkosti.

4. MONITORING VLHKOSTNÉHO REŽIMU PERÚNOVEJ SKALY

Priebeh vlhkosti v horninovom masíve i jej monitorovanie vo vzťahu ku kinematike pohybov travertínového telesa Perúnovej skaly sa opiera o metódu, ktorej princípy, spolu s technickým vybavením, rozpracovali pracovníci Fyzikálneho ústavu Slovenskej akadémie vied. Metóda podáva obraz o vlhkosti v hornine cez informáciu o jej tepelných vlastnostiach. Vlhkosť skalného masívu sa monitoruje meraním tepelnej vodivosti, ktorá je citlivá na obsah vlhkosti nachádzajúcej sa v póroch skalných hornín.

4.1 Teória metódy tzv. „horúcej guľôčky“ a jej realizácia

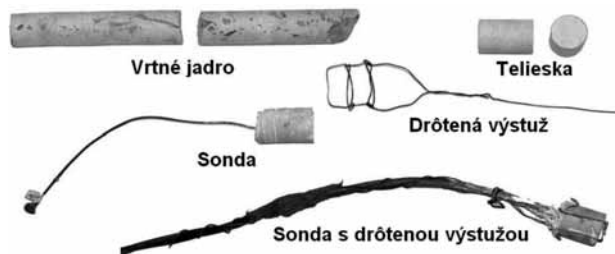
Na monitorovanie spomenutého efektu bol využitý senzor tepelnej vodivosti založený na princípe tzv. horúcej guľôčky (hot ball). Model metódy tzv. „horúcej guľôčky“ je znázornený na obr. 2. Senzor generuje teplo vo forme funkcie jednotkového skoku a súčasne zaznamenáva teplotu povrchu guľôčky, ktorá je obrazom bezprostredného okolia horninového masívu. Teplotná odozva je zaznamenávaná až do stabilizácie teploty. Vzniknutý rozdiel teplôt pred a na konci merania charakterizuje tepelnú vodivosť materiálu (λ). Vzhľadom na to, že tepelná vodivosť závisí na obsahu vlhkosti v póroch, bol celý systém ka-

librovaný na túto vlastnosť (suchý a nasýtený stav). Na základe získaných teplôt je potom možné vypočítať tepelnú vodivosť podľa vzťahu:

$$\lambda = \frac{q}{4\pi r \Delta T}$$

kde q (tepelný výkon produkovaný senzorom) je veľkosť generovaného tepla (W), r je polomer guľôčky (m) a ΔT je rozdiel teplôt pred aplikáciou tepelného toku vo forme jednotkového skoku a po stabilizácii teplotnej odozvy ($^{\circ}\text{C}$) (Kubičár et al., 2006).

Senzory tepelnej vodivosti sú vyrábané z materiálov na živicovom (epoxydy, atď.) podklade, takže pre väčšinu aplikácií sa chovajú neutrálne v kontakte s testovanou horninou. Senzory sa môžu použiť v prírodných podmienkach pre monitorovanie zmien vlhkosti v skalnej hornine resp. horninovom masíve. Senzor sa do skalnej horniny, resp. horninového masívu, inštaluje prostredníctvom telieska sondy (vlhkostná sonda) v ktorej je umiestnený. Nevyhnutnou podmienkou je, aby použité telieska-sondy mali identické termofyzikálne vlastnosti ako horniny v masíve, tzn. aby ich litologicko-štruktúrna povaha zodpovedala okoliu, do ktorého boli osadené. Tým sa zabezpečí kontinuum transportu tepla z tzv. „horúcej guľôčky“ do masívu. Teliesko sondy sa pripraví z jadrového vrtnu, z ktorého odoberieme vzorku skalnej horniny (jadro) z ľubovoľne požadovanej hĺbky skalného horninového masívu a využijeme ho na požadovaný účel (Obr. 3).

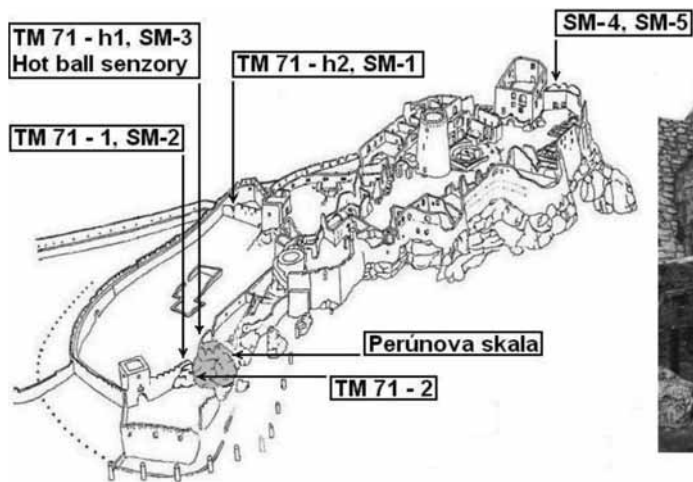


Obr. 3. Komponenty potrebné k zostaveniu telieska sondy.

Fig. 3. Required components to composition of probe.

4.2 Aplikácia vlhkosťnej sondy in situ

Za účelom pozorovania teplotno-vlhkostného režimu južnej časti hradného masívu Spišského hradu, tzv. Perúnovej skaly (Obr. 4) boli osadené štyri vlhkosťné sondy na zisťovanie vlhkosti v rozdielnych hĺbkových úrovniach (10, 40, 80 a 150 cm). Vo výške cca 130 cm od zemského povrchu boli v jednej rovine a so vzájomným odstupom 20 cm do skalnej steny vyvrtané subhorizontálne jadrové vrty o priemere 32 mm. Z odobraného vrtného jadra sa pripravili telieska – valčeky o dĺžke 30 mm v strede s otvorom siahajúcim až do stredu valčeka, kde bol umiestnený senzor tzv. „horúcej guľôčky“ a pomocou tenkej vrstvy epoxidového lepidla bol zaistený jeho kontakt s horninovou vzorkou. Takto pripravené vlhkosťné sondy sme navyše zabezpečili drôtenou Ni výstužou tak, aby sme predišli mechanickému poškodeniu teliesok sond alebo jej elektrických vodičov pri osadzovacích prácach. Efektívnosť inštalácie v značnej miere závisí od dôslednosti vykonávaných prác. Je nevyhnutné zabezpečiť bezprostredný kontakt telieska sondy so stenou vrtu tak, aby bol umožnený prirodzený transport vlhkosti (difúzie vody) z horninového masívu do vlhkosťnej sondy. Takýto kontakt sme dosiahli tým, že sme na dno vrtu umiestnili travertínovú pastu (travertínový prach o frakcii 0,063 mm zmiešaný s vodou), do ktorej sme zatlačili teliesko sondy. Zvyšok voľného priestoru vrtu sme postupne až k povrchu vyplnili kúskami vrtného jadra v kombinácii s travertínovou pastou. Samotné ústie vrtu bolo zaplombované proti vniknutiu zrážkových vôd silikónovým tmelom.

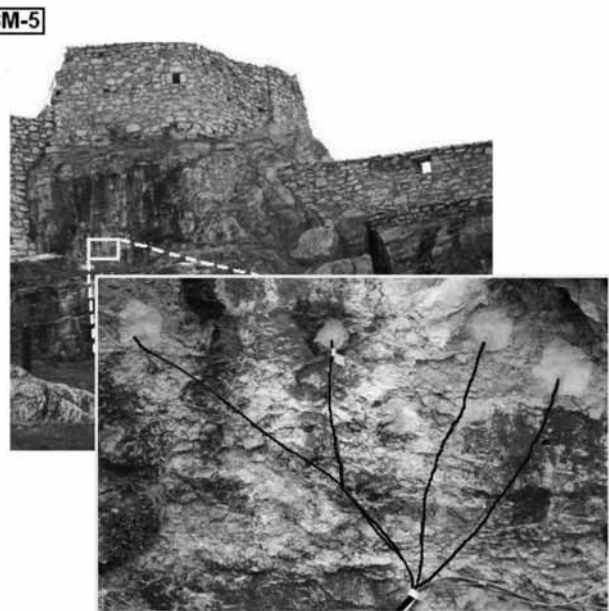


Obr. 4. Schematický náčrt Spišského hradu s monitorovacím systémom (vľavo) a súčasná fotodokumentácia Perúnovej skaly (vpravo) s detailným pohľadom na umiestnenie vlhkosťných teliesok sond (hot ball senzorov).

Fig. 4. Scheme of Spiš Castle with monitoring system (left) and actual photo documentation the Perún's rock (right) with detail view on the location of moisture probes (hot ball sensor).

4.3 Metodika stanovenia vlhkosťnej škály

Informáciu o relatívnej vlhkosti v masíve w_r (%) vymedzuje vlhkosťná škála (rozsah vlhkosti). Vlhkosťnú škálu je možné určiť viacerými spôsobmi: priamym meraním in situ, v laboratórnych podmienkach, alebo ich vzájomnou kombináciou. Všetky spôsoby sa zakladajú na tom, že minimálnej hodnote q/T_m ($W.K^{-1}$) suchej vlhkosťnej sondy, zaznamenananej v teliesku sondy, priradíme hodnotu 0% a maximálnej hodnote nasýtenej sondy priradíme 100% relatívnej vlhkosti (kalibrácia). Nami zvolený metodický postup sa opiera o laboratórnu kalibráciu stanovenia rozsahu vlhkosti, pretože je v prírodných podmienkach závislá na klimatických faktoroch a čase, a je obtiažne zistiť jej maximálnu a minimálnu hodnotu. Čím dlhší je časový rad in situ meraní, tým sa viac približujú hodnotám stanoveným v laboratórnych podmienkach (Obr. 5). Pracovný postup laboratórneho určenia minimálneho a maximálneho parametra q/T_m je jednoduchý, rýchly a spoľahlivý. Vlhkosťnú sondu vysušíme pri 105°C do stálej hmotnosti, tak ako to predpisujú technické normy pre laboratórny výskum vlastností hornín. Zo súboru údajov (q/T_m ; $W.K^{-1}$), ktoré sú sondou zaznamenané počas merania, resp. vo fáze ustálenej hmotnosti, určíme prostredníctvom štatistických metód minimálnu hodnotu, ktorej bude zodpovedať 0% obsahu relatívnej vlhkosti v masíve (w_r ; %). Pri zisťovaní maximálnej hodnoty, keď treba sondou úplne nasýtiť vodou (Obr. 5), sa postupovalo tým spôsobom, že vysušené teliesko sondy vložíme do 20°C destilovanej vody tak, aby bola zaliata do štvrtiny svojej výšky. Po 24 hodinách sme vodu doplnili do polovice





Obr. 5. Sýtenie (vľavo), váženie (v strede) a sušenie telieska sondy (vpravo).

Fig. 5. Saturation (left), weighting (in the middle) and drying of probe (right).

a po ďalších 24 hodinách do troch štvrtín výšky telieska sondy. Vlhkostnú sondu sme ponechali v destilovanej vode až do doby, kým sa hodnota parametra q/T_m ustálila.

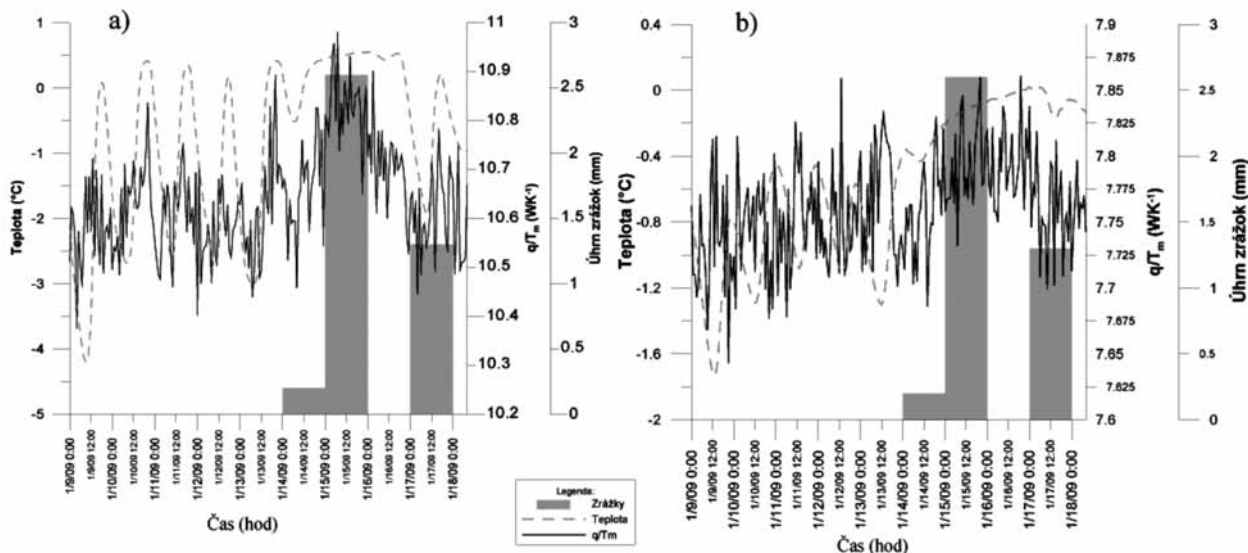
5. ZÍSKANÉ POZNATKY

Monitoring vlhkostného režimu južnej časti hradného masívu Spišského hradu, tzv. Perúnovej skaly sa začal uskutočňovať v apríli v roku 2008. Za účelom zistenia prirodzenej vlhkosti v travertínovom masíve boli postupom času osadené 4 vlhkostné sondy v rozdielnych hĺbkových úrovniach. Prístroje RTM 1.01 (dataloggery) sú v priamom spojení s vlhkostnými sondami a v pravidelných časových intervaloch, každú hodinu zaznamenávajú vlhkosť a teplotu v travertínovom masíve.

Pri analýze vlhkostného režimu in situ sme dospeli k zisteniu, že hodnoty parametra q/T_m presahovali maximálne stanovenú hodnotu laboratórne stanoveného parametra q/T_m . Tento fakt je pravdepodobne zapríčinený tým, že v laboratóriu sme pri sýtení telieska sondy použili destilovanú vodu, v travertínovom masíve Perúnovej skaly má prítomná voda odlišné fyzikálno-chemické

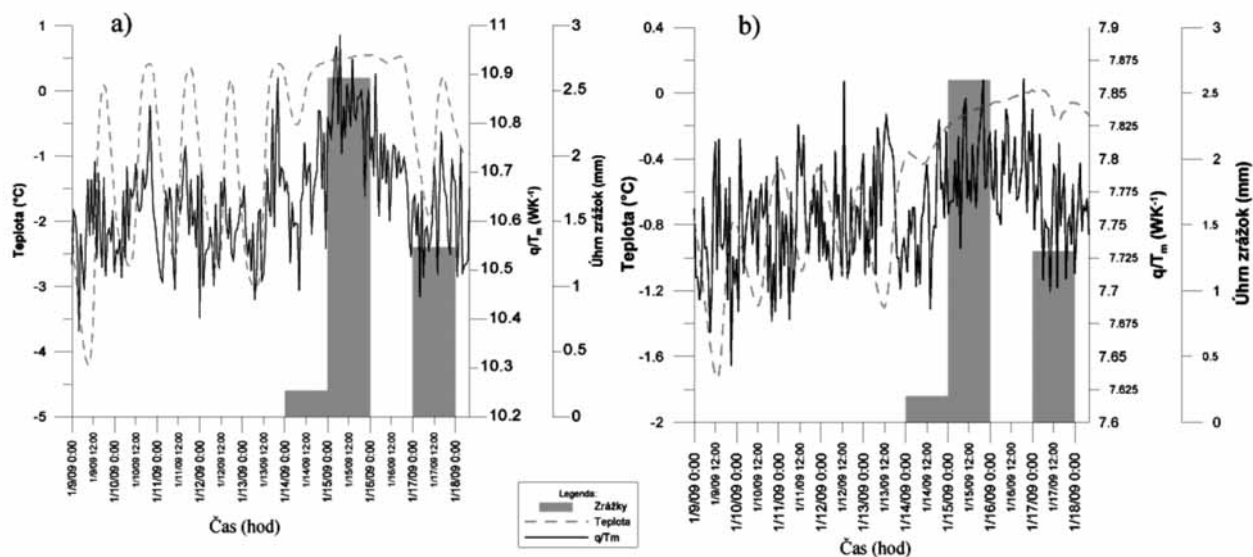
vlastnosti. Tento predpoklad je v súčasnosti predmetom ďalšieho výskumu. Z tohto dôvodu sme v grafických výstupoch znázornili informáciu o obsahu vlhkosti v horninovom masíve prostredníctvom parametra q/T_m .

Premenlivosť hodnôt parametra q/T_m na obr. 6 v hĺbke 10 cm signalizuje, že parameter je korelovaný ako s povrchovými teplotnými zmenami, tak aj s atmosférickými zrážkami a závisí na vonkajších klimatických podmienkach. Najvýraznejšie zmeny boli zaznamenané v období so zvýšenou zrážkovou činnosťou. Zvýšená variabilita parametra q/T_m v takomto období je pochopiteľná, pretože atmosférická voda infiltruje do travertínového masívu a v súvislosti s tým sa zvýši i tepelná vodivosť masívu a aj parameter q/T_m . Treba však poznamenať, že naše zistenia sú zatiaľ z krátkeho obdobia a sú viazané na zimné mesiace, keď neboli zaznamenané výraznejšie teplotné variácie a zrážky. Pravdepodobne aj preto boli spozorované časové úseky, keď sa úhrn zrážok výrazne nepodieľal na zmene vlhkostného režimu. Tento jav si vysvetľujeme tak, že intenzita a šírenie vlhkosti na jednej strane závisí od teploty, na strane druhej najmä od fyzického stavu horninového masívu (obsah, tvar a výplň pórov, diskontinuita a i.).



Obr. 6. Vzťah priebehu teploty a parametra q/T_m v závislosti na úhrne zrážok pre hĺbky a) 10 cm, b) 40 cm.

Fig. 6. Relation between temperature and parameter q/T_m on rainfall for depths a) 10 cm, b) 40 cm.



Obr. 7. Vzťah priebehu teploty a parametra q/T_m v závislosti na úhrne zrážok pre hĺbky a) 80 cm, b) 150 cm.

Fig. 7. Relation between temperature and parameter q/T_m on rainfall for depths a) 80 cm, b) 150 cm.

Vlhkostné údaje všetkých štyroch inštalovaných vlhkosťných sond sú znázornené na obr. 6 a 7. Vlhkosťné ako i teplotné variácie medzi dňom a nocou sú veľmi dobre pozorovateľné v priepovrchových úrovniach skalného masívu t.j. v hĺbke 10 a 40 cm (Obr. 6). Z grafu je zjavné, že parameter q/T_m počas dní so zrážkovou činnosťou zreteľne vzrástol, avšak v hlbších úrovniach t.j. v hĺbke 80 a 150 cm (Obr. 7) už takýto trend nenastal. Jav sa dá vysvetliť tým, že s postupne narastajúcou hĺbkou pravdepodobne dochádza k časovej retardácii vlhkosťného a teplotného výkyvu, čo naznačuje, že vo väčších hĺbkach sú vlhkosťné podmienky relatívne konštantné.

6. ZÁVER

Vybudovaný monitorovací systém založený na princípe metódy „horúcej guľôčky“ umožňuje pochopiť distribúciu vlhkosti v horninovom masíve pomocou parametra q/T_m . Prvotné pozorovania vypovedajú o priamej spojitosti medzi vonkajšími klimatickými podmienkami a vlhkosťným režimom vo vnútri horninového masívu. Výrazne zreteľná odozva na zrážkovú činnosť je badateľná v hĺbke 10 a 40 cm (Obr. 6), pričom s postupne sa zväčšujúcou hĺbkou klesá (Obr. 7). Na základe doposiaľ vykonaného monitoringu môžeme konštatovať, že od hĺbky 80 cm vplyv zrážkovej činnosti na zvýšení parametra q/T_m , resp. vlhkosti v horninovom masíve bol minimálny. Na tomto mieste však treba podotknúť i tú skutočnosť, že analyzované údaje sú zo zimného obdobia a teda krátkodobé, keď sa výrazná zrážková činnosť, a to hlavne v podobe kvapalných zrážok absentovala.

Samotný režim, ako i vplyv vlhkosti a teploty, v interakcii s ostatnými prírodnými a antropogénnymi činiteľmi nebol doposiaľ výrazne preskúmaný. Z tohto dôvodu sa naša pozornosť upriamuje najmä na to, či kolísanie vlhkosti spolu s teplotou v horninovom masíve môže byť prezentované ako jeden z prírodných, resp. spúšťacích faktorov rozvoľnenia skalného hor-

ninového masívu. Prostredníctvom dlhodobého monitoringu teplotno-vlhkosťného režimu a uskutočňovaných extenzometrických meraní, popri prípade iných v súčasnosti najpoužívanejších metód monitoringu zvetrávania masívu, ako je napríklad: metóda merania mikromorfologických zmien povrchu terénu, metóda mikromapovania (Jánová & Liščák, 2001), budeme schopní oveľa lepšie ako len odhadom usudzovať o podmienkach vzniku a zákonitostiach vývoja degradačných procesov v geologickom prostredí.

Autorský kolektív si v plnej miere uvedomuje, že v budúcnosti je potrebné vykonať veľa ďalších štúdií pre kompletné vysvetlenie danej problematiky. V tomto ohľade sme sa už vydali za istým cieľom, ozrejmiť teplotno-vlhkosťný režim ako i vzájomný vzťah medzi kinematikou Perúnovej skaly a spomínaným teplotno-vlhkosťným režimom (Vlčko et. al, 2009), dokonca i objasniť závislosť teplotnej rozťažnosti travertínovej horniny na teplotno-vlhkosťnom režime. Takéto poznatky budú v konečnom dôsledku viesť k podrobnému inžinierskogeologickému posúdeniu stability Perúnovej skaly, k prognóze jej ďalšieho správania a taktiež prispieť k správne mu výberu najefektívnejších sanačných metód.

Podakovanie: Príspevok bol čiastočne vypracovaný z prostriedkov Vedeckej grantovej agentúry MŠ SR (VEGA grant č. 1/4045/07, VEGA grant č. 1/0499/08 a VEGA grant č. 1/0331/09) a grantov pre doktorandov a mladých vedeckých pracovníkov Univerzity Komenského (UK/344/2008, UK/340/2009).

Literatúra

- Frankovská J. & Dananaj I., 2006: Determination of liquid limit of fine-grained soils. *Slovak Geological Magazine*, 12, 1, 69-75.
- Gross P., 1981: Geologická stavba ochranného pásma Baldovce – Sivá Brada. Regionálny geologický výskum SR. Záverečná správa, Manuskrift, archív GÚDŠ, Bratislava, 82 s.

- Greif V., Sassa K. & Fukuoka H., 2004: Monitoring of rock displacements at Bitchu-Matsuyama rock slope in Japan using Linear variable differential transducers sensors. *Landslides: Evaluation and Stabilization, Proceedings of 9th International Symposium on Landslides*, Taylor and Francis Group, London, 773-779.
- Greif V., Sassa K. & Fukuoka H., 2006: Failure mechanism in an extremely slow rock slide at Bitchu-Matsuyama Castle site (Japan). *Landslides*, 3, 1, 22-38.
- Holec P., 1992: Výliatky zubov mastodontu druhu *Mammot borsoni* (Hays, 1834) v drevenickom travertíne pri Spišskom Podhradí. *Mineralia Slovaca*, 24, 5-6, 467-469.
- Jánová V. & Liščák P., 2001: Súčasné metódy monitoringu procesov zvetrávania. Zborník referátov z 2. konferencie Geológia a životné prostredie, Bratislava, 136-140.
- Kubičár L., Vretenár V., Štofanič V. & Bágeľ L., 2006: Thermophysical sensors: Theory and application of the hot ball. Thermophysics 2006, Meeting of the Thermophysical Society Working Group of the Slovak Physical Society, Kočovce, 28-35.
- Vlčko J., 2002: Monitoring – an effective tool in safeguarding the historic structure. Internatlonal Symposioum: Landslide risk mitigation and protection of cultural and natural heritage, Kyoto University, Kyoto, Japan, 267-278.
- Vlčko J., Petro L. & Košťák B., 1998: Monitorovanie skalných blokov na Spišskom hrade. *Geológia a životné prostredie, ŠGÚDŠ*, Bratislava, 102-104.
- Vlčko J., Greif V., Grof V., Jezný M., Petro L. & Brček M., 2009: Rock displacement and thermal expansion study at historic heritage sites in Slovakia. *Environmental Geology*, 58, 8, 1727-1740.
- Winkler E. M., 1973: Stone: Properties, durability in man's environment. Springer-Verlag, Wien-New York, 230 s.
- Winkler E. M., 1994: Stone in architecture, properties, durability. Third, completely revised and extended edition. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest, 280 s.
- Youn H., Fukuoka H., Greif V., Tamari Y. & Sassa K., 2002: Estimation of temperature change component in monitoring data of rock slope movement: Landslide risk mitigation and protection of cultural and natural heritage. Kyoto University, Kyoto, Japan, 459-468.

Summary: Deterioration of rocks is complex nature process; due to this, changes of lithological and mineralogical-petrographical composition of rocks, as well as physical-technical properties, are caused by physical and chemical effects of external factors. Most frequently the deterioration factors are mainly moisture (water content), thermal changes and effect of salt. The factor of moisture, which plays an important role in a process of rock mass degradation, is often neglected. This serious fact was one of the reasons why we began to realize monitoring of moisture regime in a rock mass of „Perún's“ rock in the Spiš Castle. Untill now we have monitored only slope movements in this area. The monitoring of moisture regime began in 2008, when we stocked 4 probes for detection of moisture in different depth levels (10, 40, 80 and 150 cm).

Process of moisture penetration in rock mass and its monitoring in relation to kinematics of the travertine body of the Perún's Cliff is detected by a method, which principles together with technical equipment was elaborated by the staff of the Institute of Physics of the Slovak Academy of Sciences. This method has provided information about moisture in rock mass by means of its thermal properties. The moisture within the rock mass is monitored by measurements of thermal moisture, which is sensitive to water contained within pores of rock.

Information about relative moisture w_r (%) in the block determines a moisture scale. The moisture scale is possible to delimitate by several methods: direct in situ measuring, laboratory testing or their combination. All the methods are based on the condition that the minimal value (dry sample) q/T_m ($W.K^{-1}$) recorded by probe has been assigned 0% and the maximal value (saturated probe) has been assigned 100% of relative moisture.

Through the moisture regime analysis in the rock mass we found out, that the values of parameter q/T_m overlap with maximal specified value of laboratory set of parameter q/T_m ($W.K^{-1}$). This fact is an object of our future research. From this reason we express in graphical outputs the information about the moisture in the rock mass through parameter q/T_m ($W.K^{-1}$).

The moisture as well as thermal variation between day and night is very well observable in near surface levels of the rock mass, i.e. in the depths of 10 and 40 cm (fig. 6). From the graphical interpretation (fig. 7) can be affirmed, that the parameter q/T_m evidently increases by daylight with rain activity, but in deeper levels, i.e. in depths of 50 and 150 cm this trend doesn't happened already. Our interpretation of the effect is that with gradually raising depth probably time retardation of moisture occurs and therefore the thermal oscillation shouldn't provide equally definition of the moisture progress.

