



## Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

**APVV-0641-10**

**Štúdium vlastností hornín a vyšetovanie štruktúrno-textúrnych charakteristík hornín s koreláciou na termofyzikálne a fyzikálno-mechanické vlastnosti**

Zodpovedný riešiteľ **Ing. Vlastimil Boháč, CSc.**

Príjemca **Fyzikálny ústav SAV**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Fyzikálny ústav, Slovenská Akadémia Vied
2. Katedra inžinierskej geológie, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského
- 3.
- 4.
- 5.

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

- 1.
- 2.
- 3.

### Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

- 1.
- 2.
- 3.

### Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

1. BOHÁČ V. - DIEŠKA P. - VRETENÁR V. - GREIF V., 2011: Model for cuboid shape samples and its analysis used for measurements of thermophysical properties of sandstone. In Measurement Science Review, vol. 11, no. 6, 10.2478. (0.400 - IF2010). (2011 - WOS, SCOPUS, Copernicus International). ISSN 1335-8871
2. GREIF V. & VLČKO J., 2013: Key block theory application for rock slope stability analysis in the foundations of medieval castles in Slovakia. Journal of Cultural Heritage, Vol. 4, Iss. 4, 359–364
3. KOMPANÍKOVÁ Z. – GOMEZ-HERAS M. – MICHŇOVÁ J. – DURMEKOVÁ T. – VLČKO J., 2014: Sandstone alterations triggered by fire-related temperatures. Environmental Earth

4. KRALOVIČOVÁ L. – ŠIMKOVÁ I. – VLČKO J. – DURMEKOVÁ T. – BRČEK M. – BOHÁČ V., 2014: Monitoring obsahu vody v masíve skalných obydlí v Brhlovciach na základe merania termofyzikálnych parametrov. Acta Geologica Slovaca, 2014, 6, 1, 41–50

5. BOHÁČ, V. - DIEŠKA, P. - VRETENÁR, V. - FIDRÍKOVÁ, D., 2014: Analysis of The Measurement Regime for The Tuff Stones Using Cylindrical Geometry for Pulse Transient Method. Thermophysics 2014 - 19th International Meeting of Thermophysical Society, Conference Proceedings, 8th to 10th October 2014, Podkylava, Slovak Republic, ISBN 978-80-214-5034-9, 2014, p 154-162 – recenzovaný zborník

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Projekt má viacero výstupov v oblasti základného výskumu termofyzikálnych a hygrotermálnych vlastností poréznych prírodných materiálov a v oblasti charakterizácie ich fyzikálnych a mechanických vlastností.

Merania termofyzikálnych vlastností pomocou prechodových metód boli zdokonalené hlavne vďaka analýze odvodených modelov pre konkrétne varianty exeperimentálneho usporiadania, čím sa dosiahla minimalizácia neurčitosti stanovenia parametrov modelov. Prínosom je spresnenie stanovenia termofyzikálnych parametrov tepelnej a teplotnej vodivosti a mernej tepelnej kapacity. Pomocou teórie koeficientov citlivosti a analýz neurčitosti stanovenia voľných parametrov v modeloch bola vyšetrená korelácia medzi nastavením parametrov experimentu, teda dobou trvania tepelného impulzu a dobou záznamu teplotnej odozvy spolu s rozmermi a typom geometrie (valec, hranol) a neurčitosťou stanovenia voľných parametrov v modeloch. Neurčitosť stanovenia parametrov sa totiž mení počas doby merania odozvy na tepelný impulz. Týmto spôsobom boli nájdené optimálne geometrie vzoriek a optimálne parametre experimentu. Súčasťou metodiky je aj programové vybavenie, ktoré je vybudované modulárne a je ho možné po minimálnych úpravách použiť pri analýze ľubovoľných modelov.

Použitie vlhkostných senzorov a ich kalibrácia je ďalšou významnou oblasťou, kde sme pomocou starej a aj novej zdokonalenej konštrukcie Hot-Ball sond pre meranie vlhkosno-teplotných pomerov v masíve skalných obydlí v Brhlovciach monitorovali zmeny tepelnej vodivosti závislej od zmien vlhkosti. Najnovšie výsledky potvrdili správnosť zvolenej metodológie a jej životaschopnosť pri monitorovaní významných objektov spadajúcich pod kapitolu kultúrneho dedičstva národov. Uvedenou metódou je možné monitorovať všetky vlhkostné problémy, či už v oblasti historických budov tak aj v bežnom stavebníctve. Túto metódu je možné použiť aj pri monitorovaní procesov vysušovania alebo zavlhčovania muriva.

Pri systematickom výskume termofyzikálnych parametrov, musia byť vyšetované aj mechanicko-fyzikálne a štruktúrne vlastnosti testovaných materiálov, aby dotvorili komplexný obraz ich vlastností. V rámci projektu boli použité štandardné i neštandardné testovacie metódy a dilatometer vyvinutý na spoluriešiteľskom pracovisku. Na analýzu pórovitosti horninových materiálov bol experimentálne použitý aj stereopycnometer alebo plynový (héliový) pyknometer, ktorý má vo svojom vybavení katedra inžinierskej geológie PRIF UK. Bola špecifikovaná metodika meraní na viacerých litologických typoch a ako predbežné výstupy výskumu boli navrhnuté korelácie medzi celkovou pórovitosťou, otvorenou pórovitosťou prístupnou pre hélium a otvorenou pórovitosťou prístupnou pre vodu. Hlavnou výhodou použitia metódy je jej nedeštruktívny charakter a využitie najmä pri horninách málo hutných a nestálych v styku s vodou. Metóda je použiteľná i pre iné neštandardné materiály. Ako odozva na publikované výsledky merania pórovitosti stereopycnometrom bol prejavovaný záujem od pracovníkov SAV o aplikáciu tejto metódy na meranie nanopórovitosti uhlíkových vláken .

Spolu s analýzou pórov pomocou ortuťovej porozimetrie boli charakterizované vlastnosti poréznej štruktúry, ktorá korelovala s vyšetovaním nasiakavosti skúšobných teliesok odobratých v lokalite Brhoviec. Výsledky meraní obsahu vlhkosti pomocou HB sond ukázali pokles vlhkosti smerom do vnútra masívu, čo je spôsobené aj znížením porozity vo väčších hĺbkach masívu. Uplatnenie symbiózy štruktúrnych a terénnych meraní v tomto prípade pomohlo naznačiť korelácie nameraných dát.

## CHARAKTERISTIKA VÝSLEDKOV

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku** (max. 20 riadkov)

Počas riešenia projektu boli získané výsledky v oblasti merania termofyzikálnych vlastností vytypovaných hornín (teplotná vodivosť, tepelná vodivosť a merná tepelná kapacita a ďalšie), výsledky analýz spojených s ich minerálnym zložením a štruktúrno-textúrnymi charakteristikami a fyzikálno-mechanickými vlastnosťami odrážajúcimi sa v kvalite materiálu, ďalej bol vyšetrený transport tepla v horninách v závislosti od obsahu vody v ich póroch, porovnanie suchého a plne nasýteného stavu, ako aj vyšetrenie a špecifikovanie korelácií medzi jednotlivými vlastnosťami horninových materiálov. Riešením čiastkových úloh projektu boli zhodnotené vplyvy cyklických zmien teploty, v rozsahu klimatických výkyvov, i jednorazovej vysokej teplotnej záťaže na zmenu štruktúrnych i fyzikálno-mechanických vlastností hornín. Výsledky nachádzajú uplatnenie pri využívaní hornín ako stavebného materiálu i pri analýzach rozvoľňovania horninových masívov. Bola vypracovaná metodika kalibrácie HotBall sond ako senzorov vlhkosti s využitím efektu zmien tepelnej vodivosti so zmenou vlhkosti. Metodika monitorovania teplotno-vlhkostného režimu v podmienkach in situ bola aplikovaná v poréznych materiáloch-tufoch na lokalite skalných obydlí v Brhlovciach. Analýza dlhodobého meraných dát v súčinnosti s analýzou poréznej štruktúry a nasiakavosti tufov ukázala pomerne dobrú zhodu v nasycovaní senzorov v laboratórnych a poľných podmienkach a časovo konštantný obsah vlhkosti v hĺbke masívu. Boli analyzované 4 modely pre impulznú prechodovú metódu pre geometrie valec a hranol tak, aby presne zodpovedali usporiadaniu experimentu. Pomocou analýzy koeficientov citlivosti a výpočtu relatívnych neurčitostí stanovenia voľných parametrov modelov boli nájdené optimálne geometrie vzoriek a parametre merania tak, aby chyba merania bola minimálna.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku** (max. 20 riadkov)

The results of measurements of thermophysical properties (thermal conductivity, thermal conductivity and specific heat capacity, etc.) were obtained for selected rocks. We got results of analyses related to their mineral composition and structural-textural characteristics and physico-mechanical properties that reflect the quality of the material. In next, the heat transport in rocks in dependency to the water content in the pores was examined. There were compared the dry and fully saturated states, as well as investigated the specification of the correlations in between the particular properties of the rock materials. By solving of partial project tasks, in the range of climatic fluctuations there were evaluated the influences of cyclic temperature changes, and also influence of the high thermal load on structure changes and physico-mechanical properties of rocks. Results can be applied in using of natural stone as building material as well in analysis of rock massifs deterioration. The methodology of the HotBall probes calibration has been developed using the effect of thermal conductivity changes with the change in moisture content. Monitoring methodology of temperature-moisture regime in situ was applied in porous materials on-site of tuff rocky dwellings in Brhlovce. Analysis of long-term measurement data in conjunction with the analysis of the porous structure and absorption of tufts showed relatively good agreement in the saturation of the sensors under laboratory and field conditions and relatively constant moisture content in the depth of the massif monitored in time. Four models for transient pulse method for cylindrical and cuboid geometry to exactly match the layout of the experiment were analyzed. By analyzing the sensitivity coefficients and calculating the relative uncertainty for determining the free parameters of the models, there were found optimal geometry of samples and measurement parameters so that measurement error was minimal.

Svojím podpisom potvrdzujem, že údaje uvedené v záverečnej karte sú pravdivé a úplné a súhlasím s ich zverejnením.

**Zodpovedný riešiteľ**

Ing. Vlastimil Boháč, CSc.

V Bratislave 27. 11. 2014

**Štatutárny zástupca príjemcu**

RNDr. Stanislav Hlaváč, CSc.  
riaditeľ

V Bratislave 27. 11. 2014

.....  
podpis zodpovedného riešiteľa

.....  
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu