

VLIV TEPLoty A REŽIMU TEMPERACE NA ZMĚNY FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ GRANITU A PÍSKOVCE

INFLUENCE OF TEMPERATURE AND REGIME OF TEMPERING ON CHANGES OF PHYSICAL PROPERTIES OF GRANITE AND SANDSTONE

Alena KOŽUŠNÍKOVÁ, Kateřina PIVODOVÁ, Pavel KONEČNÝ¹

Abstrakt

Analýza vlivu teploty a režimu temperace na horninový materiál byla provedena na dvou typech hornin – granitu a pískovci. Z měření je zřejmé jak vliv teploty na horniny, kdy došlo působením teploty k výraznému ovlivnění sledovaných vlastností, tak i režimu zahřívání, přičemž výrazněji se změny projeví u granitu.

Klíčová slova: teplota, režim temperace, fyzikální vlastnosti, horniny.

Abstract

Analysis of influence of temperature and regime of tempering was carried out on two types of rocks – granite and sandstone. It is evident that both temperature and regime of tempering influence the rock properties. The stronger influence was observed for granite than for sandstone.

Keywords: temperature, regime of tempering, physical properties, rocks.

ÚVOD

Jedním z významných faktorů, ovlivňujících vlastnosti hornin, je teplota. Při zvýšené teplotě v horninách dochází k řadě změn počínaje vysušením, přes objemové změny až po změny ve struktuře, textuře a minerálním složení hornin, což má za následek i změny jejich fyzikálních vlastností. Vliv teploty na změny fyzikálních vlastností hornin byl studován již v minulosti, a to zejména na granitech. Se vzrůstající teplotou, působící na horninu, bylo pozorováno snížení pevnosti, a to jak za jednoosého [1, 2, 3], tak za trojosého [4, 5, 6] stavu napjatosti, snížení rychlosti šíření podélných ultrazvukových vln [7, 8] a nárůst propustnosti [8]. Při experimentech autoři používali různé režimy temperace, a proto kromě vlivu teploty jsme analyzovali i vliv režimu temperace.

TESTOVANÝ MATERIÁL, REŽIMY TEMPERACE A METODY MĚŘENÍ

Vliv teploty a režimu temperace na změny vybraných fyzikálních vlastností (objemová hmotnost, rychlost šíření ultrazvukových vln, pevnost v prostém tlaku, modul přetvárnosti, koeficient propustnosti) byl testován na dvou typech hornin: spodnotriasovém středně zrnitém pískovci z lokality Řeka (Beskydy, Česká republika) a středně zrnitém granitu z lokality Nový lom (Žulová, Česká republika). Horniny byly vybrány s ohledem na dobrou reprodukovatelnost měřených výsledků, která se potvrdila v průběhu předešlých laboratorních experimentů.

¹ Ing. Alena KOŽUŠNÍKOVÁ, CSc., Kateřina PIVODOVÁ, Ing. Pavel KONEČNÝ, Dr., Ústav geoniky AV Ostrava, kozusnik@ugn.cas.cz, pivodova@ugn.cas.cz, konecna@ugn.cas.cz
Lektoroval: doc. Ing. Jozef BOCKO, CSc., KAMaM, SjF TU v Košiciach, jozef.bocko@tuke.sk

Pro měření byla vytvarována zkušební tělesa o průměru 48 mm a štíhlostním poměru (výška : průměr) 2:1, u nichž byla za laboratorní vlhkosti a teploty stanovena objemová hmotnost (ρ_{00}) a rychlost průchodu podélných ultrazvukových vln (v_{p0}). Na třech zkušebních tělesech z každého horninového typu byla stanovena pevnost v prostém tlaku σ_D a modul pružnosti E , na dvou tělesech koeficient propustnosti k_p .

Temperace byla prováděna dvěma způsoby, dále označovanými jako šokem a pomalu :

a) do pece zahřáté na požadovanou teplotu (300°C, 500°C, 700°C) bylo vloženo zkušební těleso a bylo tak vystaveno "teplotnímu šoku" [9]. Zkušební těleso bylo ponecháno v prostředí se zvýšenou teplotou po dobu 3 hodin. Po 3 hodinách byla pec vypnuta a vzorek zvolna chladnul i s pecí až do pokojové teploty. Po vyjmutí zkušební tělesa z pece bylo ponecháno v exsikátoru. Na každou požadovanou teplotu bylo temperováno minimálně 5 těles granitu a 5 těles pískovce.

b) při pomalém režimu temperace [10] bylo zkušební těleso vloženo do studené pece a nahříváno současně s nahříváním pece. Do 300 °C byla rychlost zahřívání nastavena na 50 °C / hod, při dalším zvyšování teploty byla navolena rychlost zahřívání 100 °C /hod. Po dosažení stanovené teploty bylo zkušební těleso ponecháno v peci za dané teploty po dobu 5 hodin. Poté byla pec vypnuta a další postup byl stejný jako u režimu s „teplotním šokem“.

U všech temperovaných těles byla opět stanovena objemová hmotnost (ρ_{0T}) a rychlost průchodu podélných ultrazvukových vln (v_{pT}).

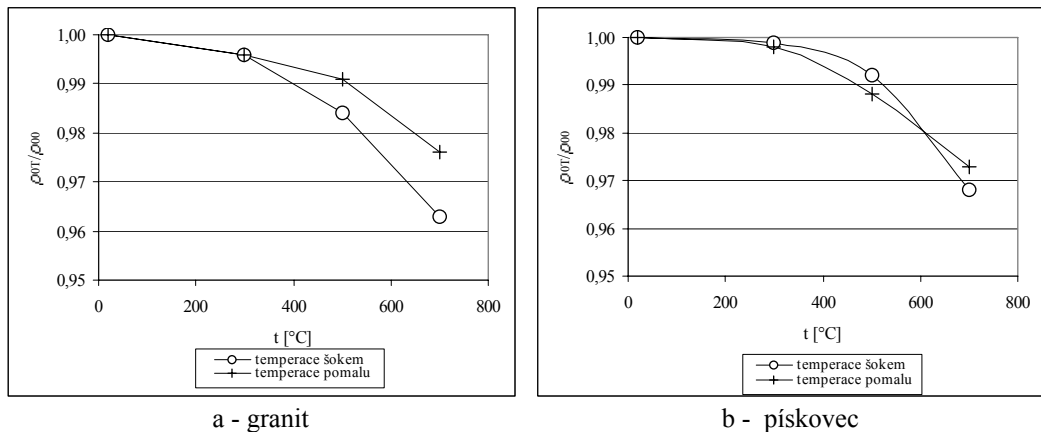
Na třech tělesech temperovaných na každou požadovanou teplotu z obou typů hornin byly zjištěny pevnostní a přetvárné vlastnosti – pevnost v prostém tlaku a modul přetvárnosti. Experimenty byly realizovány na lise Zwick s použitím přípravku na měření deformací, vyvinutém na Ústavu geoniky [11].

Na dalších temperovaných tělesech byla testována triaxiální pevnost za současného měření propustnosti [12, 13]. Boční tlak byl po celou dobu experimentu 5 MPa, jako referenční plyn pro měření propustnosti byl použit dusík. Tlak plynu byl 3 MPa. Pro porovnání vlivu temperace na propustnost byly použity hodnoty propustnosti na počátku zatěžovacího experimentu.

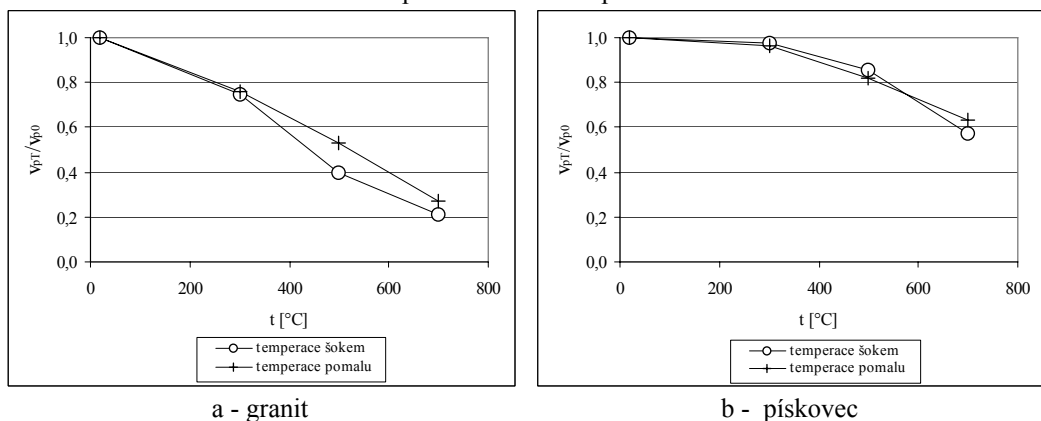
VÝSLEDKY MĚŘENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI A RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKOVÝCH VLN

Na zkušebních tělesech, vystavených teplotnímu zatížení, byla před zatěžovacími experimenty změřena objemová hmotnost (ρ_{00}) a rychlost průchodu podélných ultrazvukových vln (v_{pT}). Pro posouzení vlivu temperace na objemovou hmotnost hornin byl stanoven poměr mezi původní objemovou hmotností ρ_{0T} a objemovou hmotností ρ_{0T} po temperaci konkrétního zkušební tělesa. Stejným postupem byl analyzován vliv temperace na rychlost šíření podélných ultrazvukových vln. Takto bylo eliminováno případné zkreslení při použití statistického průměru počátečních naměřených hodnot pro celý soubor zkušebních těles.

Je zřejmé, že s rostoucí teplotou (do 700°C), již byly vzorky vystaveny, dochází u obou typů testovaných hornin k poklesu jak objemové hmotnosti, tak rychlosti šíření podélných ultrazvukových vln (obr.1, 2). Při maximální teplotě temperace (700°C) je patrné výraznější snížení hodnot při režimu temperace šokem. U **granitu** došlo při zahřívání šokem k poklesu objemové hmotnosti cca o 4 %, při pomalém zahřívání o 2 %, rychlost ultrazvukových vln se při temperaci šokem na 700 °C snížila o 79 % a při pomalém zahřívání o 73 %. U **pískovce** došlo při zahřívání šokem i při pomalém zahřívání na 700 °C k poklesu objemové hmotnosti cca o 3 % (při temperaci šokem je hodnota mírně vyšší), rychlost šíření ultrazvukových vln se při temperaci šokem na 700 °C snížila o 43 % a při pomalém zahřívání o 36 %.



Obr.1 Závislost objemové hmotnosti ρ_0 (poměr naměřených hodnot před a po temperaci) na teplotě a režimu teploty.



Obr.2 Závislost rychlosti šíření podélných ultrazvukových vln v_p (poměr naměřených hodnot před a po temperaci) na teplotě a režimu teploty.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ PEVNOSTNĚ PŘETVÁRNÝCH VLASTNOSTÍ

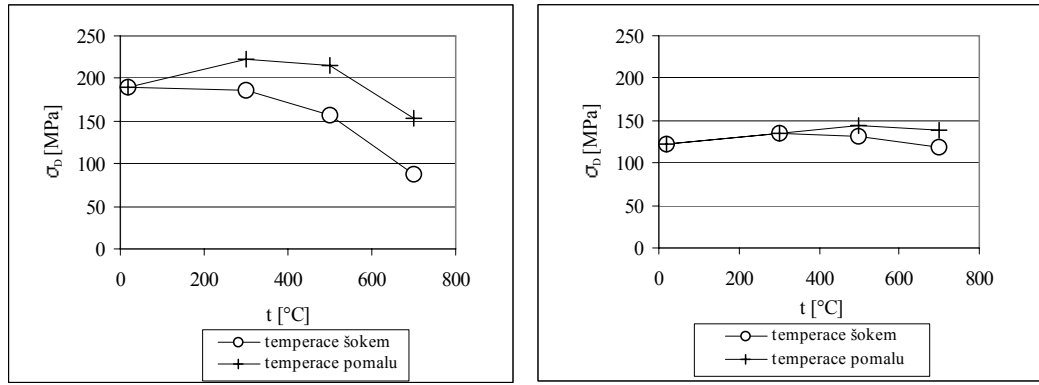
S nárůstem teploty teploty došlo u **granitu** při zahřívání šokem k poklesu pevnosti v prostém tlaku zejména při vyšších teplotách (o 14% při 500 °C a o 54 % při 700 °C), ale při pomalém režimu teploty se pevnost s nárůstem teploty zahřívání do 500 °C zvýšila, pouze při teplotě 700 °C došlo ke snížení pevnosti o 20% (obr.3a).

U **pískovce** ke zvýšení pevnosti došlo u obou režimů teploty a dokonce ani při nejvyšší použité teplotě (700 °C) při pomalém nahřívání nedošlo k poklesu pevnosti a při temperaci šokem došlo při 700 °C k poklesu pevnosti pouze o 4 % (obr.3b).

Změny modulu přetvárnosti vlivem teploty a režimu teploty měly podobný průběh jako změny pevnosti v prostém tlaku.

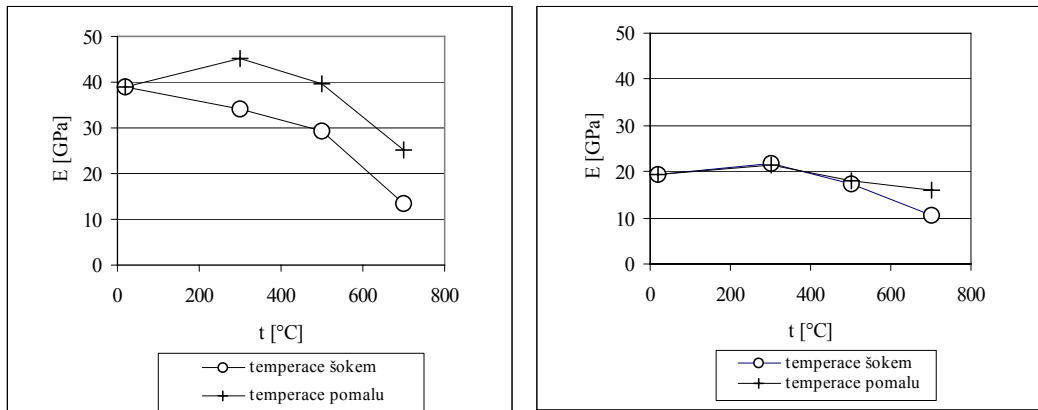
U granitu se modul přetvárnosti s nárůstem teploty při temperaci šokem snižoval (při teplotě teploty 700 °C až o 65 %), ale při pomalé teploty se nejprve zvyšoval a až při teplotě 700 °C došlo ke snížení modulu přetvárnosti o 35 % (obr.4a).

Modul přetvárnosti u **pískovce** se při nižších teplotách u obou režimů výrazně neměnil, při vyšších teplotách došlo k jeho poklesu. Výraznější pokles hodnot nastal při temperaci šokem (o 46 % při teplotě 700°C) než při pomalém nahřívání (o 17 % při teplotě 700°C) (obr. 4b).



a - granit

b - pískovec

Obr.3 Závislost pevnosti v prostém tlaku σ_D na teplotě a režimu teploty.

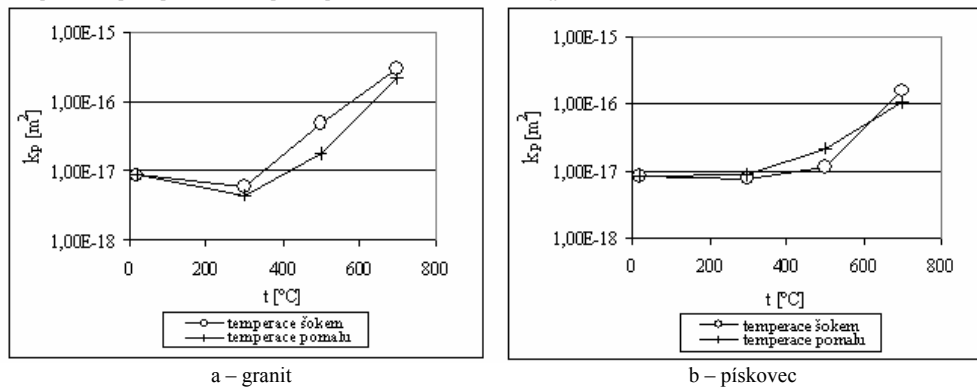
a - granit

b - pískovec

Obr.4 Závislost modulu přetvárnosti E na teplotě a režimu teploty

VÝSLEDKY MĚŘENÍ PROPUSTNOSTI

Koeficient propustnosti k_p u **granitu** se výrazně zvýšil až při vyšších teplotách. U těles nahřátých šokem došlo k výraznějšímu nárůstu propustnosti již při teplotě 500°C, zatímco u těles temperovaných pomalu až při teplotě 700°C (obr.5a).



a - granit

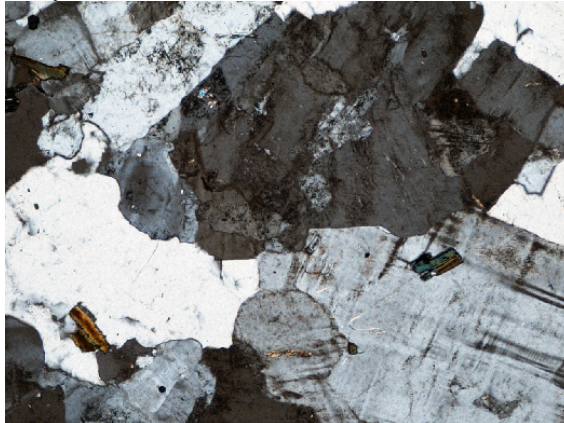
b - pískovec

Obr.5 Závislost propustnosti k_p na teplotě a režimu teploty

Průběh změn propustnosti u **pískovce** byl podobný jako u granitu s tím rozdílem, že při 500°C byla zaznamenána vyšší propustnost u těles nahřátých pomalu a nárůst propustnosti při nejvyšší teplotě 700°C byl nižší než u granitu (obr.5b).

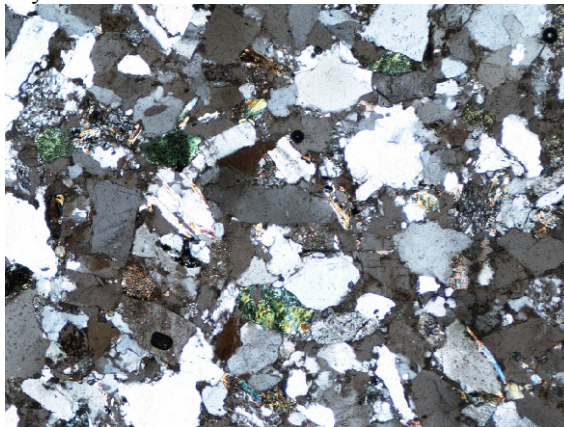
DISKUSE

Na základě provedených experimentů bylo zjištěno, že výraznější ovlivnění teplotou se projevilo u granitu. Tento fakt je zřejmě způsoben hlavně jeho strukturou. Na obr. 6 je zobrazena typická struktura testovaného granitu, kde jsou vidět bezprostřední ostré kontakty mezi zrny. Při zahřívání horninového materiálu dochází k nestejně dilataci zrn jednotlivých horninotvorných minerálů (křemene, K-živců, plagioklasů). Naopak při poklesu teploty již existují nespojitosti vzniklé v procesu dilatace. Vznik těchto nespojitostí se projevuje zejména na výrazném poklesu rychlosti šíření ultrazvukových vln.



Obr.6 Struktura testovaného granitu - procházející polarizované světlo, zvětšení 40x

Naproti tomu u pískovce jsou kontakty mezi zrny bodové nebo se dotýkají v malých ploškách. Mezizrný prostor je vyplněn relativně jemnozrnnou, ale heterogenní základní hmotou (slídy a jílové minerály) a póry v tomto systému - viz obr.7, takže vznik nespojitostí při dilataci a kontrakci není tak výrazný.



Obr.7 Struktura testovaného pískovce - procházející polarizované světlo, zvětšení 40x

Stabilita pevnosti a modulu přetvárnosti u pískovců při nižších teplotách je dána stlačitelností základní hmoty, která se v daném intervalu nerozkládá. Dehydroxilace jílových

minerálů a slíd v intervalu 450 - 600 °C vede ke slinutí dehydroxilačních produktů, které pak vážou jednotlivá klastická zrna k sobě. Teprve po rozložení (dehydroxilaci) a přechodu nad teplotu 572,2 °C (přechod α křemene na β křemen) dochází ke vzniku nové struktury a nového pórového prostoru. Tento přechod se samozřejmě rovněž uplatňuje i u granitu.

ZÁVĚR

Na základě naměřených výsledků jsou zřejmé rozdíly v reakcích testovaných hornin jak na teplotní zatížení způsobené zahřátím v rozmezí teplot 300°C až 700°C, tak na režim zahřívání. K výraznějšímu ovlivnění fyzikálních vlastností dochází u granitu a při temperaci šokem, zejména při vyšších teplotách.

Publikovaná měření byla uskutečněna v rámci řešení grantového projektu GA ČR č. 105/04/1019 "Vliv teploty na změny plynopropustnosti hornin za trojosého stavu napjatosti".

LITERATURA

- [1] KUMAR, A.: *The effect of stress rate and temperature on the strength of basalt and granite*. Geophysics, Vol. 33, p. 501 - 510.1968
- [2] PERKINS, R.D., GREEN, S.J., FRIEDMAN, M.: *Uniaxial stress behaviour in porphyritic tonalite at strain rates to 103 s⁻¹*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 7, p. 527 - 535.1970
- [3] KONEČNÝ, P., 2001: *Temperature effect on selected mechanical properties of rocks of Skalka locality*. Documenta geonica 2001. Proc. of Symp. Geonics 2001 "Temperature and its influence on geomaterials" (KONEČNÝ, P.jr., KOŽUŠNÍKOVÁ, A., eds.), Peres Publishers Praha, p. 101-112.
- [4] HANDIN, J., HEARD, H.C., MAGOURIK, J.N.: *Effects of the intermediate principal stress on the failure of limestone, dolomite and glass at different temperatures and strain rates*. J. Geophys. Res., Vol. 72, p. 611 - 640.1967
- [5] PATER, DE C.J., KAMP, W., WOLF, K.-H.A.A.: *High temperature rock strength and model tests for modelling in-situ coal gasification*. In: Rock at Great Depth, Proc. of the ISRM-SPE Int. Symp. in Pau, V. Maury & D. Fourmaintraux (eds.), Balkema - Rotterdam, Vol. 1, p. 387 - 394.1989
- [6] DANĚK, T., KONEČNÝ, P., KOŽUŠNÍKOVÁ, A., NOWAKOWSKI, A.: *Influence of temperature on permeability and stress strain behaviour of granodiorite*. Documenta Geonica 2001, Proc. of Symp. Geonics 2001 „Temperature and its influence on geomaterials“ (Konečný, P. jr., Kožušníková, A. eds.), Peres Publishers Praha, p. 51-58. 2001
- [7] PINIŃSKA, J.: *Wpływ wysokich temperatur na właściwości fizyczno-mechaniczne piaskowców krośnieńskich*. W: Z badań geologiczno-inżynierskich w Polsce, Biul. Inst. Geol., 324, t. IX, p. 105 - 168.1980
- [8] KONEČNÝ, P.jr., KOŽUŠNÍKOVÁ, A., NOWAKOWSKI, A.: *Vliv působení teploty na změny propustnosti hornin za trojosého stavu napjatosti*. Uhlí, rudy, geologický průzkum, 2004/ 5, str. 13-15.2004
- [9] NOWAKOWSKI, A., MLYNARCZUK, M., RATAJCZAK, T., GUSTKIEWICZ, J.: *Wpływ warunków termicznych na zmianę niektórych właściwości fizycznych i strukturalnych wybranych skal*. Práce IMG PAN, Rozprawy, Monografie 5, Krakow 2003
- [10] HOMAND-ETIENNE, F., HOUPERT, R.: *Thermally induced microcracking granites: characterization and analysis*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, vol.26, no.2, p.125-134.1989
- [11] KNEJZLÍK, J., KONEČNÝ, P.jr., RAMBOUSKÝ, Z.: *Měření přetvárných vlastností a akustických emisí hornin při jednoosém zatěžování*. In: Proc. 33rd Conference of Experimental Stress Analysis, Třešť 5.-8.6.1995, Czech Republic, p. 129-133.1995
- [12] KONEČNÝ, P.jr., KOŽUŠNÍKOVÁ, A., NOWAKOWSKI, A.: *Gas permeability changes in the rock specimen during th triaxial compression test*. Eurock 2000 Aachen: 723-727.2000
- [13] KOŽUŠNÍKOVÁ, A., KONEČNÝ, P.jr., CHMELOVÁ, J., ŠČUČKA, J.: *Evaluation of rock failure by various physical methods in laboratory conditions*. ISRM International Symposium on Rock Engineering for Mountainous Regions, Eurock 2002 Funchal: 707-714.2002