

## ZMĚNY PŘETVÁRNÝCH VLASTNOSTÍ HORNIN V PRŮBĚHU ZATĚŽOVÁNÍ ZA JEDNOOSÉHO A TROJOSÉHO STAVU NAPJATOSTI

### CHANGES OF STRAIN PROPERTIES OF ROCKS IN THE PROCESS OF UNIAXIAL AND TRIAXIAL COMPRESSION TEST

Pavel KONEČNÝ, Anna DOMBKOVÁ<sup>1</sup>

#### *Abstrakt*

Studium fyzikálních vlastností hornin za trojosého stavu napjatosti umožňuje v laboratorních podmínkách modelovat chování horninového materiálu za různých tlakových poměrů jaké panují např. v horninovém masivu. V příspěvku je popsána a diskutována tenzometrická metoda měření přetvárných vlastností hornin za trojosého stavu napjatosti. Z naměřených výsledků je možno sledovat jak změny objemových deformací tak modulů v průběhu zatěžování.

**Klíčová slova:** triaxiální pevnost, deformace, fyzikální vlastnosti hornin.

#### *Abstract*

Study of physical properties of rocks in triaxial state of stress enables to model the behaviour of rock material in various stress conditions. These stresses correspond to conditions in rock massif. Measurement of deformation by strain gauges is described and discussed in this paper. It is possible to study the volume deformation changes and modulus changes in the process of triaxial compression test.

**Keywords:** Triaxial compression strength, deformation, physical rock properties.

#### ÚVOD

Měření deformací je jedním ze zásadních parametrů sledovaných v průběhu měření pevnostních charakteristik hornin v laboratorních podmínkách a to jak za jednoosého, tak za trojosého stavu napjatosti. Z mnoha metod, které byly pro měření deformací v laboratorních podmínkách vyvinuty je na Ústavu geoniky AV ČR dlouhodobě využíváno měření podélné deformace z pohybu příčnicku lisu a měření příčné deformace pomocí tenzometrických snímačů [1]. Takovéto uspořádání měření se ukázalo být vhodné jak pro měření pevnosti za jednoosého stavu napjatosti tak pro měření pevnosti triaxiální. V průběhu měření je tak na PC zaznamenávána síla, podélná deformace a příčná deformace měřená nezávisle ve dvou na sebe kolmých směrech ve střední části zkušebního tělesa.

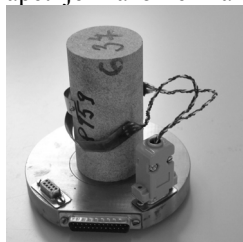
#### VZTAHY MEZI NAMÁHÁNÍM A PŘETVOŘENÍM HORNIN

V laboratorních podmínkách je pevnost horninových vzorků v prostém i triaxiálním tlaku standardně měřena na zkušebních tělesech tvaru válce o průměru 48mm a výšce 96mm (obr.1). Zkoušky jsou na Ústavu geoniky prováděny na mechanickém lisu ZWICK 1494 s maximální silou

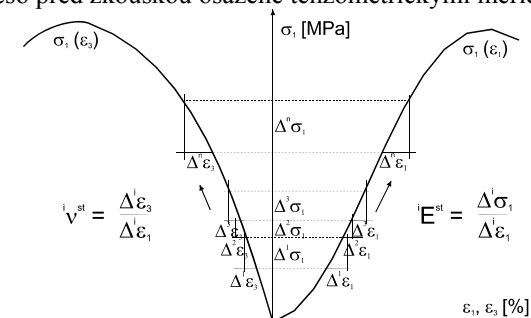
<sup>1</sup> Ing. Pavel KONEČNÝ, Dr., Anna DOMBKOVÁ, Ústav geoniky AV ČR, Ostrava,  
[konecpa@ugn.cas.cz](mailto:konecpa@ugn.cas.cz), [czdombkova@ugn.cas.cz](mailto:czdombkova@ugn.cas.cz)

Lektoroval: Dr.h.c. prof. Ing. František TREBUŇA, CSc., KAMaM, Sjf TU v Košiciach,  
[frantisek.trebuna@tuke.sk](mailto:frantisek.trebuna@tuke.sk)

600 kN. Pro triaxiální zkušky je používán nepravý triaxiál KTK 100 s maximálním plášťovým tlakem do 100 MPa. Zkouška je řízena konstantním přírůstkem podélné deformace, které umožňuje odečítání hodnot síly a deformace až za mez pevnosti testovaného materiálu. Typický graf závislosti přetvoření na osovém napětí je znázorněn na obr.2 [2].



Obr.1 Zkušební těleso před zkouškou osazené tenzometrickými měřidly příčné deformace



Obr.2 Způsob stanovení statických modulů přetvárnosti

Křivky znázorňují typické chování horninových zkušebních těles a to až za mez pevnosti. Z takovýchto křivek je možno stanovit osový Youngův modul pružnosti  $E$ , definovaný jako poměr změny osového namáhání  $\Delta\sigma_1$  a osového přetvoření  $\Delta\varepsilon_1$ . Poissonova konstanta  $\nu$  se pak vypočítá jako podíl změny příčného přetvoření  $\Delta\varepsilon_3$  a přetvoření podélného  $\Delta\varepsilon_1$  (obr.2).

Pro výpočet Youngova modulu se v inženýrské praxi v zásadě používá jedna ze tří metod [3]:

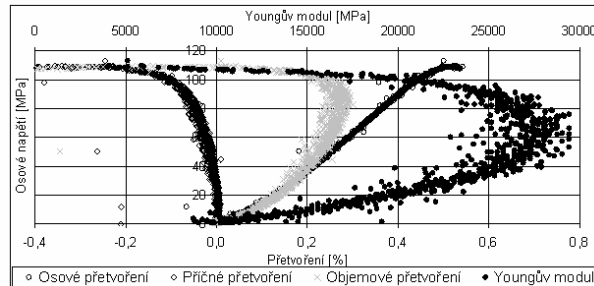
1. Tangenciální Youngův modul pružnosti  $E_t$  se měří při úrovni napětí, odpovídající určité procentuální hodnotě pevnosti v tlaku. Většinou se bere úroveň napětí odpovídající 50% meze pevnosti.
2. Průměrný Youngův modul pružnosti  $E_{av}$  se určuje z průměrného sklonu více méně přímé části křivky závislosti osového namáhání na osovém přetvoření.
3. Sečnový Youngův modul pružnosti  $E_s$  se měří v rozsahu nulového zatížení až po zatížení odpovídající určité procentuální hodnotě (nejčastěji 50%) z meze pevnosti.

## VÝSLEDKY MĚŘENÍ

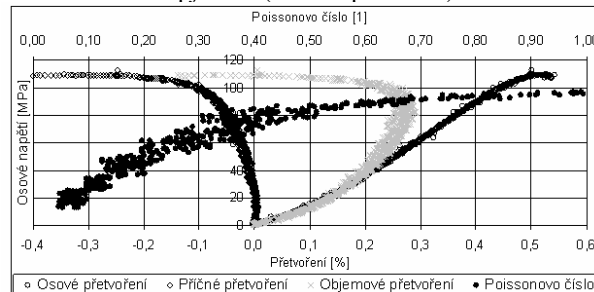
Měření byla provedena na zkušebních tělesech různých typů hornin a to jak za jednoosého, tak za trojosého stavu napjatosti, přičemž v průběhu celého experimentu byla zamenávána síla z dynamometru lisu, podélná deformace z pohybu příčnicku lisu a dvě příčné deformace měřené tenzometrickými měřidly. Výsledkem zpracování naměřených dat je graf závislosti přetvoření na napětí, přičemž toto zpracování dat umožňuje zobrazit průběh změn hodnot Youngova modulu na velikosti napětí (obr.3). Takovýmto způsobem vyhodnocení je pak možno stanovit maximální hodnotu Youngova modulu pro daný materiál [1].

Průběh závislosti Poissonova čísla na napětí je možno graficky vyjádřit obdobným způsobem (obr.4). V počáteční oblasti dochází k uzavírání mikroporušení, pórů a trhlin v horninovém zkušebním tělese. Tato oblast je typická konkávním tvarem grafu závislosti

podélného přetvoření na napětí. Střední část, zpravidla nejstrmější, odpovídá fázi, kdy je většina pórů a puklin uzavřená a většina hornin vykazuje lineární závislost mezi napětím a podélným přetvořením [4]. V tomto úseku se také obvykle stanovují hodnoty přetvárných vlastností. Z grafu je velmi dobře patrný inflexní bod objemového přetvoření odpovídající mezi inicializace thlin. V této oblasti začne docházet ke vzniku mikroporušení a rozšiřování stávajících diskontinuit, důsledkem čehož je nárůst objemového přetvoření. Tomu odpovídají hodnoty podílu změny příčné přetvoření  $\Delta\varepsilon_3$  a přetvoření podélného  $\Delta\varepsilon_1$ , které jsou díky zvětšování objemu vzorku větší než 0,5. Je otázkou, zda v takovémto případě máme hovořit o Poissonově čísle.



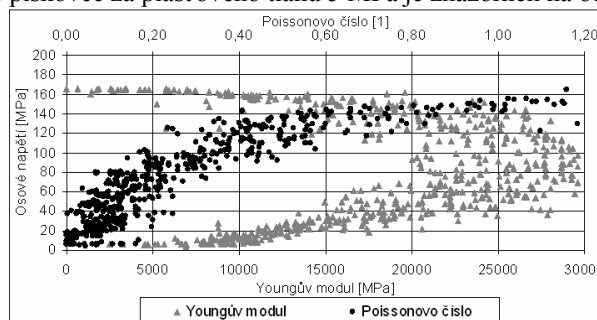
Obr.3 Průběh závislosti přetvoření a velikosti Youngova modulu na napětí za jednoosého stavu napjatosti (vzorek pískovce)



Obr.4 Průběh závislosti přetvoření a velikosti Poissonova čísla na napětí za jednoosého stavu napjatosti (vzorek pískovce)

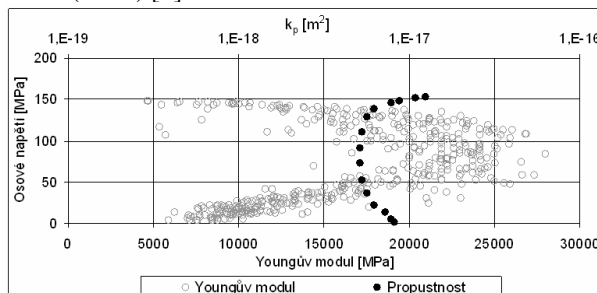
Z tohoto grafu je pro daný materiál stanovena hodnota Poissonova čísla při napětí odpovídajícímu maximální hodnotě Youngova modulu, stanoveného z grafu předchozího.

Obdobné závislosti přetvárných vlastností na napětí je možno získat při laboratorní zkoušce triaxiální pevnosti. Graf závislosti změny Youngova modulu a Poissonova čísla na napětí při triaxiální zkoušce pískovce za plášťového tlaku 5 MPa je znázorněn na obr.5.



Obr.5 Průběh závislosti velikosti Youngova modulu a Poissonova čísla na napětí za trojosého stavu napjatosti (vzorek pískovce, plášťový tlak 5MPa)

Změny Youngova modulu v závislosti na napětí za trojosého stavu napjatosti také velmi dobře korespondují se změnou ostatních fyzikálních vlastností které odráží stav porušení zkušebního tělesa. Příkladem může být změna propustnosti v závislosti na osovém napětí měřená za plášťového tlaku 5 MPa (obr.6) [5].



Obr. 6. Průběh závislosti velikosti Youngova modulu a koeficientu propustnosti na napětí za trojosého stavu napjatosti (vzorek pískovce, plášťový tlak 5MPa)

## ZÁVĚR

Kontinuální záznam závislosti podélné a příčné deformace na napětí, které je v současné době používáno u většiny testovacích zařízení umožňuje zpracování výsledků výše popsaným způsobem. Takovýto přístup umožňuje charakterizovat testovaný materiál nejen hodnotou pevnosti, Youngova modulu či Poissonova čísla, ale dává možnost blíže poznat procesy probíhající v testovaném zkušebním tělese v průběhu zatěžování jakými jsou například objemové změny nebo mez inicializace trhlin. Zvláštní význam má tento přístup zejména ve spojení s měřením změn dalších fyzikálních vlastností materiálů v průběhu zatěžování, jakými jsou například měření propustnosti, rychlosti průchodu ultrazvukových vln či akustických emisí [5].

Výše uvedená měření byla provedena v rámci řešení výzkumného záměru AVOZ 30860518 „Fyzikální a environmentální projevy v litosféře indukované antropogenní činností“.

## LITERATURA

- [1] KONEČNÝ, P.JR., KNEJZLÍK J., RAMBOUSKÝ, Z., DOMBKOVÁ, A.: *Tenzometrická měření přetvárných vlastností hornin v laboratorních podmínkách*. Sborník vědeckých prací VŠB-TUO, Řada stavební. Ostrava, p. 83-87.
- [2] NOWAKOWSKI, A.: *The static and dynamic elasticity constants of sandstone and shales from the hard coal mine „Jasmos“ determined in the laboratory conditions*. Eurock 2005 – Impact of Human Activity on the Geological Environment – Konečný ed. 2005 Taylor & Francis group, London. p. 419-422. ISBN 04 1583 042 1
- [3] FAIRHURST, C.E., HUDSON, J.A.: *Draft ISRM suggested method for the complete stress-strain curve for intact rock in uniaxial compression*. Int J Rock Mech Min Sci 1999, 36: p. 279-289.
- [4] FRANKLIN, J. A., DUSSEAUULT, M. B.: *Rock Engineering*. McGraw-Hill, Inc., USA
- [5] KONEČNÝ P.JR., KOŽUŠNÍKOVÁ, A., NOWAKOWSKI, A.: *Vliv působení teploty na změny propustnosti hornin za trojosého stavu napjatosti*. Uhlí, rudy, geologický průzkum 5/2004, Praha. p. 13-16. ISSN 1210-7697
- [6] KOŽUŠNÍKOVÁ, A., KONEČNÝ, P. JR., CHMELOVÁ, J.: *Changes of ultrasonic wave velocity in the process of deformation*. 42. International Conference – Experimental stress analysis 2004. Praha, 2004