

# E xperimentální A nalýza N apětí

## 2004

### CHANGES OF ULTRASONIC WAVE VELOCITY IN THE PROCESS OF DEFORMATION ZMĚNY RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKOVÝCH VLN V PROCESU DEFORMACE

Alena Kožušníková<sup>1</sup>, Pavel Konečný<sup>2</sup>, Jana Chmelová<sup>3</sup>

*Ultrasonic wave velocity is physical parameter reflective character of discontinuities in material. Paper represents measurement of ultrasonic wave velocity changes in the process of deformation of rock specimens. There were various types of loading modes: uniaxial or triaxial state of stress, with constant or with the increasing confining pressure, with or without strength failure of specimen. The other physical parameters (permeability, strain) were measured except ultrasonic wave velocity. The results were compared from view of ability to reflect the changes in material in the process of deformation. The tested specimens were analysed by computer tomography to obtain the spatial localisation of discontinuities before and after the tests.*

**Keywords** *Ultrasonic wave velocity, deformation.*

**Klíčová slova** *Rychlost ultrazvukových vln, deformace.*

## Úvod

Identifikace nespojitostí jako puklin, trhlin, mikroporušení a dalších diskontinuit v horninách je důležitá při studiu horninového materiálu. Přítomnost nespojitostí velmi zásadně ovlivňuje vlastnosti hornin a horninového masivu. Porušená hornina je méně pevná, snadněji podléhá zvětrávání, mění se její filtrační vlastnosti a pod. Jednou z fyzikálních veličin, kterou je možno využít pro posouzení změn pórového prostoru v průběhu zatěžování horninového materiálu je rychlost šíření ultrazvukových vln [1]. Změny rychlosti šíření ultrazvukových vln byly zjišťovány při různých režimech zatěžování - při jednoosém tlaku a za trojosého stavu napjatosti.

Na testovaných vzorcích byly měřeny v průběhu deformace také změny dalších fyzikálních parametrů - podélné deformace a plynopropustnosti. Po experimentu bylo porušení studováno také pomocí rentgenové počítačové tomografie (dále jen CT).

---

<sup>1</sup> Ing. Alena Kožušníková, CSc.: Ústav geoniky AV ČR; Studentská 1768, 708 00 Ostrava, Česká republika, tel.: +420596979111, e-mail: kozusnik@ugn.cas.cz

<sup>2</sup> Dr. Ing. Pavel Konečný: Ústav geoniky AV ČR; Studentská 1768, 708 00 Ostrava, Česká republika, tel.: +420596979111, e-mail: konecpa@ugn.cas.cz

<sup>3</sup> Mudr. Jana Chmelová: RDG ústav FNsp; tř.17.listopadu 1790, 708 00 Ostrava, Česká republika, tel.: +420597374135; e-mail: jana.chmelova@fnspo.cz

## Metodika měření

Měření byla prováděna na třech horninových typech:

- karbonském střednozrnném pískovci z hornoslezské pánve (č. vzorku 8959),
- křídovém střednozrnném pískovci z lokality Řeka (č. vzorku 9140),
- jemnozrnné slezské žule ze Žulové (č. vzorku 9164).

Všechny tyto materiály byly vybrány pro svou homogenitu a dobrou opakovatelnost měření, která je dlouhodobě ověřena při testování fyzikálních vlastností v laboratorních podmínkách. Pro měření byla připravena zkušební tělesa tvaru válce o průměru 48 mm a štíhlostním poměru 2:1 (výška: průměr).

### Pevnostní a přetvárné vlastnosti

Pevnostní a přetvárné vlastnosti byly testovány na mechanickém lisu Zwick 1494 s max. silou 600kN. Testy byly prováděny jak za jednoosého, tak za trojosého stavu napjatosti. Pro měření za trojosého stavu napjatosti byl lis doplněn triaxiální komorou KTK 100 s maximálním bočním tlakem 100 MPa. Rychlost zatěžování byla  $5 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ . Podélná deformace byla odečítána z polohy příčnicku lisu.

### Rychlost šíření ultrazvukových vln

Pro měření rychlosti šíření podélných ultrazvukových vln byly použity speciální ultrazvukové hlavice polské firmy Unipress o průměru 48 mm, které umožňují měřit změny rychlosti průchodu podélných ultrazvukových vln zkušebním tělesem v průběhu zatěžování. Ultrazvukové hlavice jsou vyrobeny tak, že umožňují nejen měření za jednoosého stavu napjatosti, ale měření je možno provádět také v triaxiální komoře KTK 100 za trojosého stavu napjatosti. Budící impulsy jsou vysílány defektoskopem UMT 12 – programovatelným generátorem a přijímačem ultrazvukových impulsů realizovaným jako zásuvná karta do PC.

Pro lepší kontakt mezi ultrazvukovými hlavicemi a zabroušenými podstavami zkušebního tělesa jsou plochy kontaktu namazány EKG gelem, nebo medem. Med s vyšší viskozitou nevsakuje tak rychle do zkušebního tělesa, což má zásadní význam u déle trvajících experimentů (řádově hodiny). Při osovém zatěžování je zkušební těleso zatěžováno postupně po 10 kN až do porušení, přičemž po každém nárůstu síly o 10 kN jsou odečteny hodnoty podélné deformace a rychlost podélných ultrazvukových vln. Při hydrostatickém zatěžování je rychlost šíření ultrazvukových vln měřena s nárůstem bočního tlaku o 5 MPa.

### Plynopropustnost

Metodika měření plynopropustnosti hornin za trojosého stavu napjatosti byla vyvinuta na Ústavu geoniky v Laboratoři petrologie a fyzikálních vlastností hornin v rámci řešení grantového projektu 105/95/0473 v letech 1995 až 1998 [2].

Zařízení pro toto měření sestává z triaxiální komory KTK 100, upravené pro průchod plynu dusíku, přičemž boční tlak na zkušební těleso je vyvíjen tlakem hydraulického oleje. Jako zdroj osově síly slouží mechanický lis Zwick 1494.

## Počítačová tomografie

Pro zobrazení porušení horninových vzorků bez jejich destrukce byla ve spolupráci Ústavu geoniky AV ČR a Fakultní nemocnice s poliklinikou v Ostravě provedena analýza horninových vzorků za použití CT.

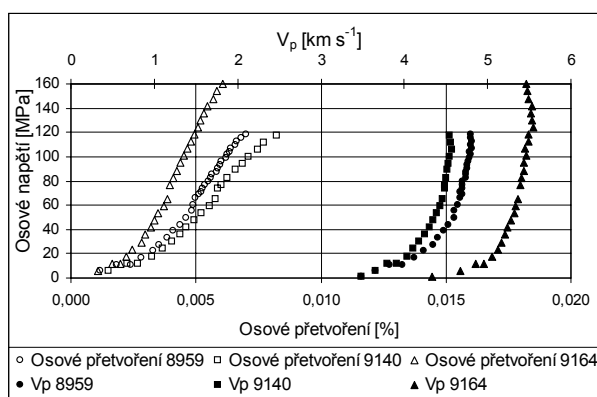
Měření CT byla provedena přístrojem Siemens Somatom Sensation 16. Jedná se o multidetektorový přístroj, na kterém jsou sady detektorů umístěny v celkem 16-ti řadách. Aby bylo dosaženo co nejlepšího rozlišení byl použit mód Inner Ear Spi s vysokým rozlišením (ultra high resolution), snímání dat spirálním způsobem kraniokaudálním směrem (směr shora dolů). Hodnota P = 3:5 (3mm šíře vrstvy, 5mm posun stolu). Byly použity následující parametry skenování: 120 kV, 67mA, eff. 120mAs, čas 1,0 s. Největší předností při zobrazování horninových vzorků je vysoká kvalita pořízených obrazů a možnost vytvoření 3D obrazu.

## Výsledky měření

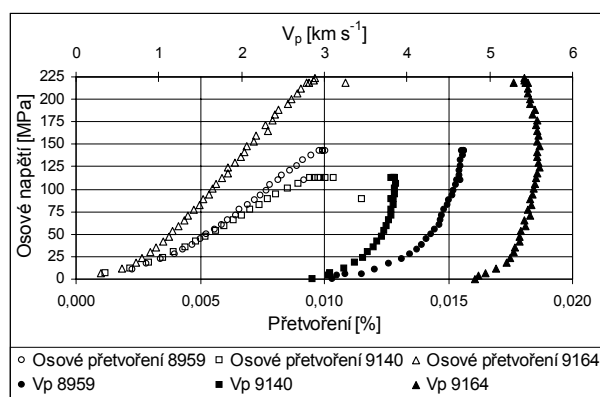
Při jednoosém zatěžování dochází k nárůstu rychlosti šíření ultrazvukových vln. Tento nárůst byl v rozmezí od 26 do 38 %. K poklesu rychlosti dochází těsně před dosažením meze pevnosti v důsledku vzniku porušení (Obr. 1).

V trojosém stavu napjatosti rychlost šíření ultrazvukových vln v první fázi zatěžování narůstá (Obr. 2) a propustnost klesá. Minimum propustnosti odpovídá fázi, kdy je vzorek při daném bočním tlaku maximálně ztuhnut (minimální objem tělesa a maximální sevření diskontinuit). Při dalším zvyšování osového napětí dochází k nárůstu propustnosti. Tento nárůst je nejintenzivnější při dosažení meze pevnosti a zejména za mezí pevnosti. Po dosažení maximálního ztuhnutí zřejmě nejprve dochází k rozevírání původních komunikativních mikrotrhlin a pórů a v další fázi k vytváření nových mikrotrhlin. K maximálnímu nárůstu propustnosti dochází pak při vytvoření makrotrhliny nebo poruchové zóny, vznikající po dosažení meze pevnosti nebo až za mezí pevnosti. Změny propustnosti jsou variabilní u různých hornin, ale ve většině případů velmi výrazné (až o dva řády) [3].

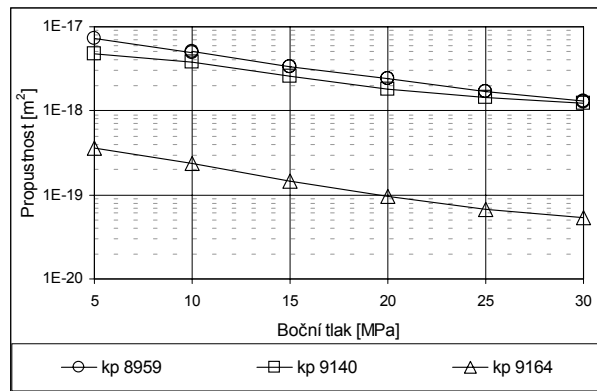
U rychlosti šíření ultrazvukových vln nebyla tato výrazná změna zaznamenána. Nárůst rychlosti probíhá i za bodem maximálního ztuhnutí. Výraznější pokles rychlosti šíření ultrazvukových vln byl většinou zaznamenán až při dosažení meze pevnosti a za mezí pevnosti.



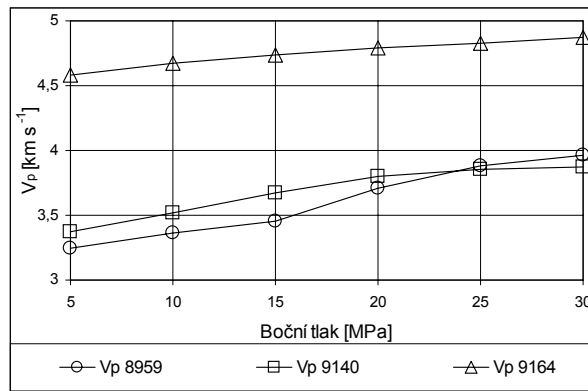
Obr. 1 Závislost rychlosti ultrazvukových vln a přetvoření na napětí za jednoosého stavu napjatosti



Obr. 2 Závislost rychlosti ultrazvukových vln a přetvoření na napětí za trojosého stavu napjatosti při bočním tlaku 5MPa



Obr. 3 Závislost propustnosti na bočním tlaku



Obr. 4 Závislost rychlosti ultrazvukových vln na bočním tlaku

Při zvyšování hydrostatického zatížení dochází k výraznému poklesu propustnosti (Obr. 3). Při zvýšení bočního tlaku z 5 MPa na 25 MPa se snížila propustnost o 81 % u žuly, o 76 % u karbonátového pískovce a o 70 % u křídového pískovce. U rychlosti šíření rychlosti ultrazvukových vln dochází k jejímu nárůstu, ale změna není tak výrazná (Obr. 4). U karbonátového pískovce došlo ke zvýšení rychlosti při 25 MPa bočního tlaku o 19 %, u křídového pískovce o 14 % a u žuly o 5%.

Analýzou CT obrazů bylo zjištěno, že je možné zachytit pouze výrazné nespojitosti.

## Poděkování

Výše uvedená měření byla provedena v rámci řešení projektu GA ČR č. 105/02/0895 „Analýza vývoje porušení horninových vzorků v průběhu deformace fyzikálními metodami“.

## Závěr

Při zatěžování hornin ať v jednoosém nebo trojosém stavu napjatosti dochází k nárůstu rychlosti šíření podélných ultrazvukových vln. Na rozdíl od propustnosti nedochází u rychlosti šíření podélných ultrazvukových vln k tak výrazným změnám v blízkosti meze pevnosti a za ní. Intenzita změn všech sledovaných fyzikálních parametrů je závislá i na typu horniny.

## Literatura (References)

- [1] King, M.S., Chaundry N.A. & Shakeel, A.: *Experimental ultrasonic velocities and permeability for sandstones with aligned cracks*, *Intr. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol. 32, No. 2, 155-163, 1995.
- [2] Konečný, P. Jr. & Kožušníková, A.: *Measuring of gas – permeability of coal and clastic sedimentary rocks at triaxial state of stress – Coalbed Methane and Coal Geology*, Gayer, R. & Harris, I. (ed.), *Geological Society Special Publication No. 109*: 227-229, 1996
- [3] 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 2002*.