

# Základné geomechanické parametre a geologické charakteristiky k analýze horninového masívu

Juraj Ďurove <sup>1</sup> a Tibor Sasvári <sup>2</sup>

## Geomechanical parameters and geological characteristics significant to the rock masses analysis

Rock masses are not perfectly elastic, homogeneous and isotropic. Instabilities in many instances are restricted to block falls or local weak zone failures. Equilibrium of stability by the tunnelling depends on the discontinuity characteristics and patterns rather than on the intact rock properties. In our article are results from own experience to this philosophy.

**Key words:** Rock masses, the structural analysis, the geomechanical analysis.

## Úvod

Jednou z najväznejších úloh pri riešení otázok stability podzemných diel je vždy analýza vzájomnej závislosti geologických a geomechanických parametrov horninového masívu, v ktorom sa diela budujú. Horninový masív je často charakterizovaný pestrou látkovou a štruktúrnou inhomogenitou, má zložitú vnútornú stavbu. Zvlášť výrazne sa to prejavuje v masívoch s výskytom rudných alebo nerudných ložísk (Sasvári a Ďurove, 1996; Sasvári, 1996). Pri geotechnickom opise riešenej časti horninového masívu sa vychádza hlavne z klasifikácie *International Society for Rock Mechanics (ISRM)*: „Basic geotechnical description of rock masses“ (BGD), ktorá sa zameriava na označenie horniny, jednoduchý geologický opis, hrúbku vrstiev, index puklinatosti, pevnosť horniny v jednoosovom tlaku a uhol trenia na plochách nespojitostí. Pre získanie takýchto údajov sú rozhodujúcimi bezprostredné výskumy priamo v prírode - v podmienkach in situ. Z tohto hľadiska, má štruktúrny výskum dôležité miesto pri hodnotení stavu horninového masívu.

## Stav horninového masívu pred vyrazením podzemného diela

Vzhľadom na osobitosť horninového prostredia ako materiálu, v ktorom sa riešia geotechnické úlohy, je potrebné v úvode definovať primárny stav napätí a ďalšie relevantné parametre hornín, ako aj základné štruktúrnotektonické prvky horninového masívu.

## Napätia a deformácie v masíve

Primárny rovnovážny stav napätí v horninovom masíve: pôvodný stav napätí, ktorý v skúmanom mieste masívu existoval pred vyrazením podzemného diela. Definovaný je hĺbkou diela pod povrchom  $H$  [m] a objemovou tiažou nadložných hornín  $\gamma_0$  [ $\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$ ].  
Pevnostné a pretvárne vlastnosti hornín v okolí diela. Pevnostné vlastnosti sú jednoznačne definované Coulomb - Mohrovou podmienkou medzného stavu porušenia, danou pevnosťou v prostom tlaku  $\sigma_{ti}$  [Pa] a uhlom vnútorného trenia  $\varphi$  [°]. Pretvárne vlastnosti sú definované modulom pretvárnosti  $M$  [Pa] a Poissonovým číslom  $\mu$  [-].

## Štruktúra a tektonická porušenosť horninového masívu

Porušenosť horninového masívu je rôznorodá. Závisí nielen od jeho zloženia, ale aj od orientácie, charakteru a vývoja napätových polí, ktoré pôsobia na horninový masív.

Podľa veľkosti deformácie medzi rovnobežne ležiacimi zónami v horninovom masíve, poznáme strižné zóny s deformáciou pomeru dĺžky ku šírke 5:1 (Ramsay a Huber, 1987). Ich veľkosť môže mať makrotektonické až mikrotektonické rozmery. Podľa porušenosti horniny v istých

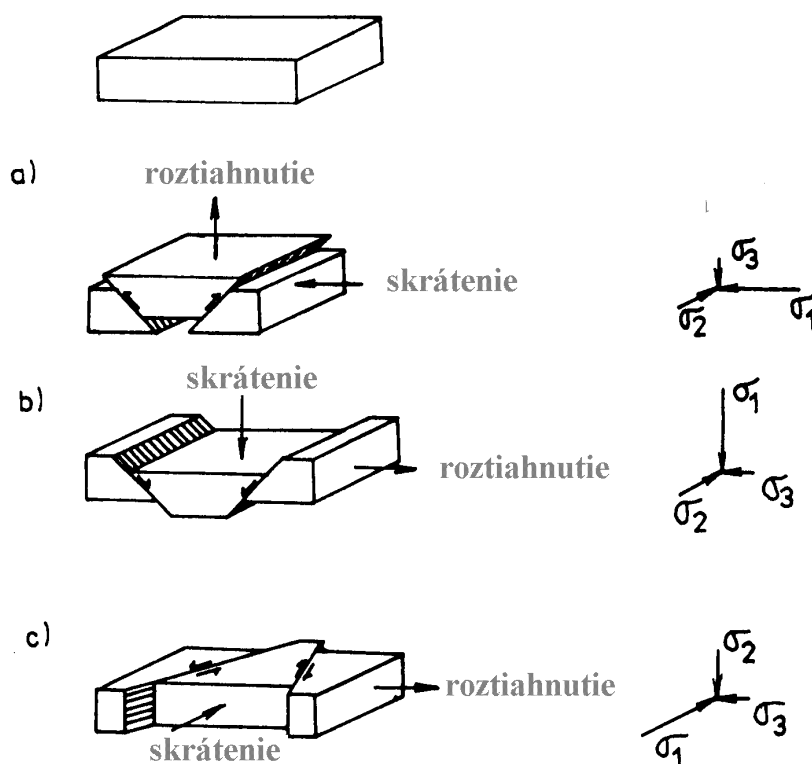
<sup>1</sup> Katedra dobývania ložísk a geotechniky F BERG Technickej univerzity, 043 84 Košice, Park Komenského 19

<sup>2</sup> Katedra geológie a mineralógie F BERG Technickej univerzity, 043 84 Košice, Park Komenského 15  
(Recenzovali: Ing. Aldorf Hučko, CSc. a Ing. Michal Maras, CSc. Revidovaná verzia doručená 26.5.1997)

mechanicko - fyzikálnych podmienkach, sú strižné zóny charakterizované krehkým porušením (Ramsay, 1980), pri ktorom vzniknú zlomy. Krehko - plastické a plastické strižné zóny sú charakteristické plastickými deformáciami.

### Analýza geologicko-geomechanických parametrov horninového prostredia

Z pohľadu porušenosti horninového masívu sú významné zlomy, ktoré podľa ich veľkosti a významu členia horninový masív na bloky. Relatívny pohyb medzi blokmi môže byť kolmý alebo pozdĺžny voči zlomovej štrbine (zóne). Vzájomná priestorová rotácia blokov, ich rozmiestnenie, porušenosť, a v konečnom dôsledku ich stabilita, závisí od pomeru maximálnej ( $\sigma_1$ ), strednej ( $\sigma_2$ ) a minimálnej ( $\sigma_3$ ) kompresnej zložky napätia horninového masívu. Orientácia napätového tenzora s navzájom kolmými vektormi napätia ( $\sigma_{1-3}$ ) vzhľadom na zlom, umožňuje vznik násunu, poklesu alebo horizontálneho posunu (obr.1).



Obr. 1. Orientácia základných zložiek napätového tenzora a príslušné vnikajúce zlomy (podľa Andersona, 1951).

### Zmena stavu masívu po vyrazení podzemného diela

Razením akéhokoľvek diela v horninovom masíve dochádza k narušeniu primárneho stavu napätí a k vytvoreniu nového, tzv. sekundárneho stavu (Hatala a Trančík, 1989). Čo najdôkladnejšie poznanie tohto nového stavu tvorí základ pre riešenie praktických úloh.

### Vývoj napätovo-deformačného stavu

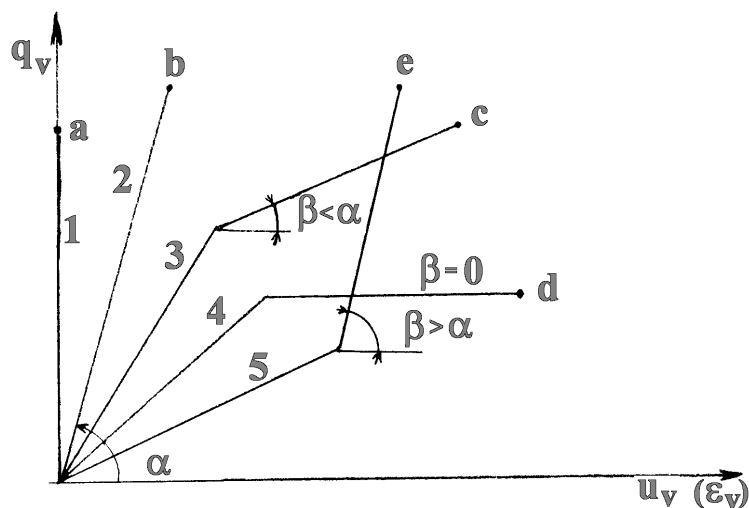
*Tvar a veľkosť priečného prierezu diela je rozhodujúcim parametrom, ovplyvňujúcim priebeh napätí v okolí diela, razeného bez výstuže v pružnom prostredí. Teoretické riešenie je známe pre kruhový tvar diela.*

Rozhodujúci vplyv na stabilitu diela majú hodnoty napätí, pôsobiace v bodoch na obvode diela, odkiaľ začína porušovanie hornín. Veľkosť radiálneho napätia na obvode výlomu je  $\sigma_r = 0$ . Tangenciálne napätie  $\sigma_t$  po obvode výlomu sa mení ako funkcia  $\cos 2\omega$ . Maximálne hodnoty sú v bokoch diela ( $\omega=0^\circ$ ,  $\omega=180^\circ$ ).

Extrémna hodnota tangenciálneho napätia v bokoch diela môže slúžiť pre hodnotenie stability kruhového prierezu nevystužených diel.

Podzemné diela, ktoré je potrebné z hľadiska ich stability zabezpečovať výstužou, sú razené buď v málo pevných horninách, alebo v horninovom masíve intenzívne tektonicky porušenom.

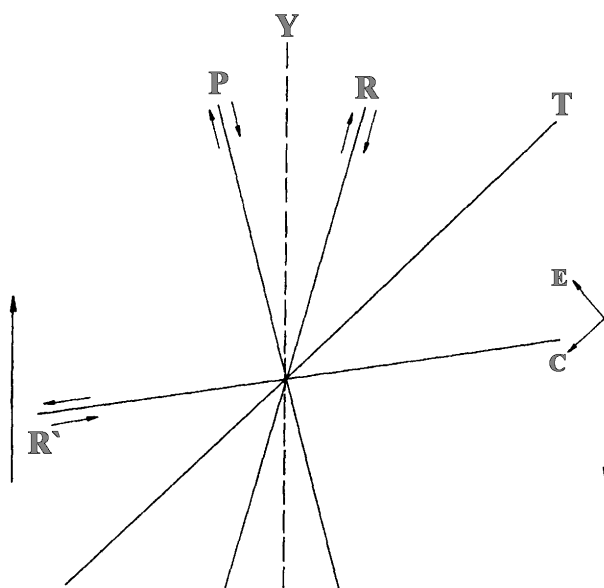
Závislosť medzi reakciou výstuže (odpor výstuže)  $q_v$  [Pa] a jej radiálnym posunutím  $u_v$  [m] pre jednotlivé typy výstuží (obr. 2), uvádza Aldorf (1969).



Obr. 2. Závislosť medzi odporom výstuže a jej posunutím (Aldorf, 1969). 1-výstuž ideálne tuhá (iba teoretický predpoklad), 2-výstuž poddajná s konštantným prírastkom deformácie (pružne - poddajná), 3-výstuž poddajná so znižujúcou sa hodnotou reakcie po dosiahnutí medze počiatočnej únosnosti, 4-výstuž poddajná s konštantnou hodnotou reakcie po dosiahnutí medze poddajnosti, 5-výstuž obmedzene poddajná, s prechodom k polotuhej, až tuhej po dosiahnutí medze počiatočnej únosnosti (napr. tvárnicová, blokovaná alebo panelová výstuž s poddajnými vložkami).

### Vplyv geologicko-tektonických prvkov na zmeny v horninovom masíve

Význam vzájomného pohybu dvoch blokov v zlomovej zóne je veľký. Vzniknú kulisovité strihy, zákonite orientované voči zlomovej zóne na styku dvoch premiestňujúcich sa blokov (Tchalenko, 1970). Dĺžka strihov a šírka zóny závisí od zloženia horniny a jej hrúbky. Počas vývoja horizontálnych posunov vznikne (Christie - Blick a Biddle, 1985 in: Nemčok et al., 1985) následne po sebe 5 skupín fraktúr (obr.3):



Obr. 3. Fraktúry zóny horizontálneho posunu.

- syntetické horizontálne posuny (R strihy),
- antitetické horizontálne strihy (R' strihy - konjugované),
- druhotné syntetické horizontálne posuny (P strihy),
- ťahové fraktúry (T fraktúry),
- horizontálne posuny rovnobežné s hlavnou strižnou zónou (Y strihy).

Vyššie opísané fraktúry sa môžu doplniť aj fraktúrou (X strih), ktorá je symetrická s R strihom (Bartlett et al., 1981).

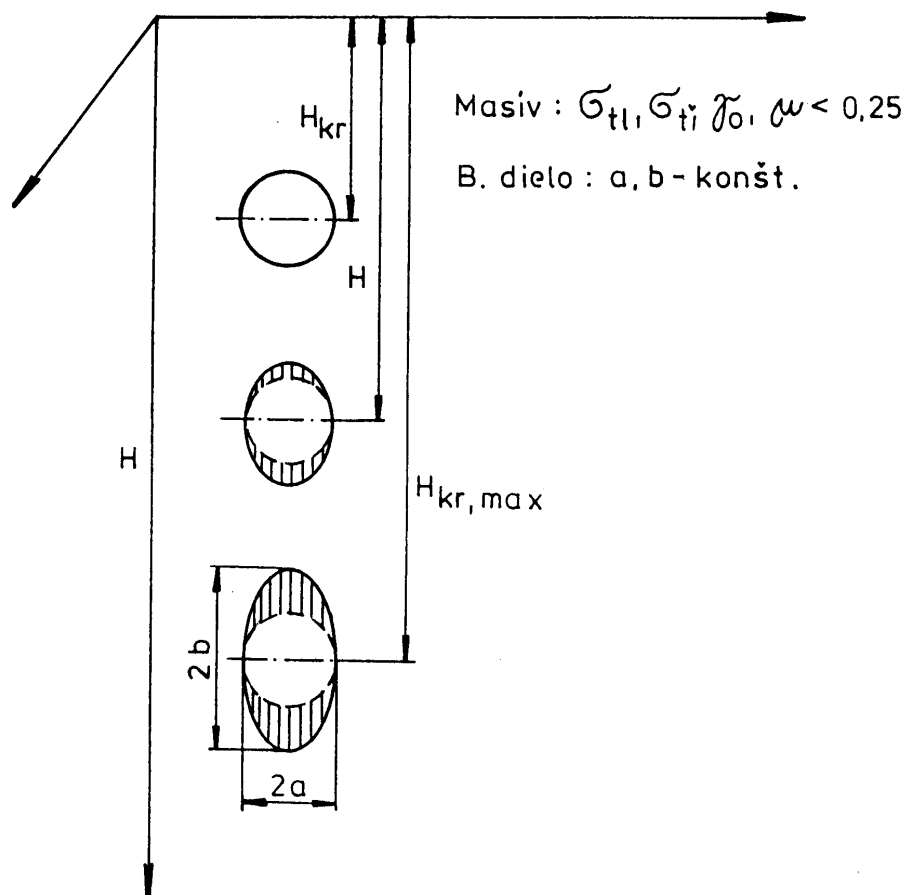
Následnosť strihov pri vývoji zlomovej zóny je ovplyvnená už *existujúcimi štruktúrami vrstevnatosti, puklinatosti, kliváže* a pod. Pri takýchto podmienkach nemusí dôjsť k úplnému rozvinutiu všetkých strihov a fraktúr.

### Procesy porušovania stability podzemných diel vypadávaním blokov

Pri riešení stability horninového masívu pri výstavbe podzemných diel je vhodné brať do úvahy smery extenzných (E) a kompresných (C) zón (obr.3). *Extenzné zlomové štruktúry charakterizujú oblasť uvoľnenia, spôsobujú vznik puklinatosti, sú často vodonosné, teda stabilítne nevhodné. Kompresné zlomové štruktúry sú zasa tektonicky prepracované a umožňujú vznik vrásových deformácií.* Kvantifikácia vplyvu týchto zlomových štruktúr je obtiažnejšia.

V podmienkach razenia a výstavby súčasných tunelov môže byť použitý výpočet zaťaženia výstuže od uvoľnených blokov hornín (Ďurove, 1994).

Ak sa dielo kruhového prierezu nachádza v hĺbke väčšej ako kritická, ale menšej, ako hĺbka pre najvhodnejší prierez podzemného diela ( $a:b = \text{konšt.}$ ), budú porušené horniny pod samonosnou klenbou pôsobiť svojou tiažou na výstuž (obr.4).



Obr. 4. Kritická hĺbka nevystuženého banského diela pre rôzne prierezy.

Podľa tohto predpokladu pri stanovení zaťaženia výstuže možno vychádzať z geometrických parametrov porušenej oblasti. Predpokladajme, že samonosná klenba má tvar vertikálnej polelipsis, opísanej kruhovému tvaru prierezu banského diela o polomere **a**. Veľkosť dlhšej poloosi elipsy **b**, môže byť určená z rovnice pre medzný prípad:

$$b = \frac{1}{2} a \left( \frac{\sigma_{t^*}}{\sigma_x} + \frac{\sigma_z}{\sigma_x} - 1 \right), \quad [\text{m}] \quad (1)$$

kde **a**, **b** - horizontálna a vertikálna poloosa elipsy [m],

$\sigma_x$ ,  $\sigma_z$  - hodnoty primárnych napätí [Pa],

$\sigma_t$  - pevnosť horniny v ťahu [Pa].

Z plochy, vymedzenej elipsou samonosnej klenby a kruhovým tvarom pôvodného prierezu banského diela, určíme zaťaženie výstuže pomocou vzťahu:

$$q_g = a \pi \gamma_0 \cdot (b - a) / 2, \quad [\text{Pa}\cdot\text{m}] \quad (2)$$

z ktorého po dosadení za **b** zo vzťahu (1) dostaneme:

$$q_g = \left( \frac{a}{2} \right)^2 \pi \gamma_0 \left( \frac{\sigma_{t^*}}{\sigma_x} + \frac{\sigma_z}{\sigma_x} - 3 \right). \quad [\text{Pa}\cdot\text{m}] \quad (3)$$

Tento výpočet dobre korešponduje s teóriou Salustowicza (1965), avšak aplikovanou na kruhový tvar prierezu podzemného diela.

V odbornej literatúre sú známe rôzne spôsoby určovania potrebnej výstuže pre zabezpečenie stability podzemných objektov. Pre ilustráciu možno uviesť príklad podľa Kitagawa et.al. (1991), z oblasti konkrétneho použitia takzvanej konvergenčnej polohovej analýzy pre určenie zaťaženia výstuže metódou Hoek-Browna.

### Záver

Analytický prístup k riešeniu tektonických deformácií horninového masívu je:

- *do istej miery podmienený výsledkami paleonapät'ovej analýzy zlomov, ktoré umožnia rekonštrukciu vývoja jednotlivých zlomových systémov, podielajúcich sa na stavbe daného územia - horninového masívu.*

Pre všetky analytické riešenia platí konštatovanie:

- *odchýlky a zmeny vo vnútornej stavbe hornín a horninového masívu od základných predpokladov izotrópnosti a homogénosti, sú rozhodujúcimi pre hlbšie poznanie napät'ovo-deformačného stavu masívu a v konečnom dôsledku pre zabezpečenie stability podzemného diela.*

Naše terénne výskumy a teoretické analýzy ukazujú, že:

- *stabilita podzemných diel v mnohom závisí od štruktúrotektonických charakteristík horninového masívu,*
- *veľké množstvo parametrov, s ktorými prichádzame do styku pri hodnotení hornín a horninových masívov, a často veľký rozptyl výsledkov z rôznych spôsobov ich určovania, ako aj nedostatočná preskúmanosť ich vzájomných väzieb vedie nás k záveru, že presne charakterizovať masív je obtiažne. Doporučujeme preto pri projektovaní v zložitých štruktúrotektonických podmienkach využiť modifikovanú metodiku projektovania - na základe pozorovaní, v súlade s Terzaghim (1967).*

Napríklad pri razení tunela Branisko, potencionalne nebezpečenstvo porušovania stability je viazané na tie úseky horninového prostredia, ktoré možno charakterizovať ako *blokové polia*, alebo

*blokové rozpadliny*. Zvládnutie následných prejavov zvýšeného horninového tlaku bude vyžadovať také technické opatrenia voči pôvodne navrhutej konštrukcii výstuže, ktoré eliminujú vplyvy takto porušeného masívu. Často uvádzaným opatrením je aplikovanie ľahkých systémov výstuží - svorníkov (Maras, 1995), ktoré sú významným doplnkovým prvkom pre zosilnenie opornej výstuže.

### Literatúra

- Aldorf, J.: Navrhování podzemních staveb, I. část. *VŠB Ostrava, 1969*.
- Anderson, E. M.: The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Applications to Britain. *Edinburg, Oliver and Boyd, 1951, 206*.
- Bartlett, W.L., Friedman, M. & Logan, J.M.: Experimental folding and faulting of rocks under confining pressure. Part IX, Wrench faults in limestone layers. *Tectophysics, Amsterdam, 79, 1981, 255-277*.
- Đurove, J.: Analýza stability dlhých banských diel uhoľných ložísk SR pomocou fyzikálneho modelovania. *Kand.dizertačná práca, Banícka fakulta TU v Košiciach, Košice 1994*.
- Hatala, J. a Trančík, P.: Mechanika hornín a masívu. *ALFA, Bratislava, 1989*.
- Kitagawa, T., Kumeta, T., Ichizio, S., Soga, M., Sato, M. & Yasukawa, M.: Application of convergence confinement analysis to the study of preceding displacement of a squeezing rock tunnel. *Rock mechanics and rock engineering, 24/1991*.
- Maras, M.: Analýza spevňujúcej a stabilizačnej funkcie svorníkovej výstuže. *Kand. diz. práca, F BERG TU Košice, 1995*.
- Nemčok, M., Melichar, R., Marko, F., Madarás, J. a Hodáň, Š.: Základy štruktúrnej geológie. *Mineralia Slovaca - Monografia, 1995, 170 s*.
- Ramsay, J. G.: Shear zone geometry: a review. *J. Struct. Geology, Bristol, 2, 1/2, 1980, 83-99*.
- Ramsay, J. G. & Huber, M. I.: The techniques of modern structural geology. *Volume I., London, Academic press, 1987, p. 1-700*.
- Sasvári, T. a Đurove, J.: Skúmanie geologických štruktúr a geomechanických vlastností horninového masívu z pohľadu podzemných stavieb. *Zborník z konf. „Tunely pre tretie tisícročie“, Prievidza, 1996, s. 22-25*.
- Sasvári, T.: Geotechnický opis ložísk nerastných surovín. *Acta Montanistica Slovaca, roč. 1/96, č. 2, 1996, s. 147-150*.
- Salustowicz, A.: Mechanika grotworu. *Slavsk, Katowice, 1965*.
- Terzaghi, K. & Peck, R.B.: Mechanics in Engineering Practice. *2<sup>nd</sup> Ed. Wiley and Sons, New York, 1967*.
- Tchalenko, J. S.: Similarities between shear zones of different magnitudes. *Geol. Soc. Amer. Bull., New York, 81, 1970, p. 1625-1640*.