

# Štruktúrnotektonické hodnotenie časti tunelovej rúry Branisko pre potreby fuzzy logiky

Tibor Sasvári<sup>1</sup>, Julián Kondela<sup>2</sup> a Peter Sasvári<sup>3</sup>

## Structural-tectonic evaluation of a part of the Branisko tunnel for use of fuzzy logic

*Branisko tunnel (Slovak Republic) was partly excavated by full-profile drifter. The rock massif deformed by tectonic structures markedly influences energetic and pace demands of tunnel drifter. Analysis of relevant relationships between monitored output data characterizing the process of full-profile excavation and strike of deforming structures by Inversion continual methodology provides a possibility to evaluate physical-mechanical properties of rock massif by interaction of exploitation drifter and rock massif. Statistical structural-tectonic evaluation of deforming systems assigned to deformation stages  $D_{1,5}$  shows directional dependence of spatially oriented weakness zones of the rock massif and full-profile tunnel drifter.*

**Key words:** structural-tectonic analysis, deformation stages of tectonic structures, Branisko tunnel, fuzzy logic.

## Úvod

Pri razení tunelovej rúry Branisko plnoprofilovým raziacim strojom boli získané vstupné a výstupné veličiny procesu razenia pomocou elektronického geomechanického monitoringu (Krúpa a Lazarová, 2000), porovnateľné s výsledkami dokumentácie inžiniersko-geologického a hydrogeologického prieskumu. Hodnotením získaných veličín je možné zisťovať inverznou kontinuálnou metódou zmeny v horninovom masíve v závislosti od tektonickej porušnosti, ktorá v prevažnej miere určuje efektivitu strojového razenia, z dôvodov zmien smerov systémov porúch voči smeru osi razenej tunelovej rúry.

## Štruktúrno-geologická stavba Braniska



Obr. 1. Pozícia tunela Branisko.  
Fig. 1. Location of the Branisko tunnel.

Orografický celok Branisko – Sľubica je tvorený tektonickými jednotkami severné veporikum a tatrikum, na ktorých spočíva príkrovová jednotka hronikum (chočský príkrov), najmä v oblasti sedla Branisko a v severnej časti pohoria (Polák et al., 1997). V oblasti cestného tunela Branisko (obr. 1) je litostratigrafia hornín zastúpená kryštalinikom, mladším paleozoikom – permom, mezozoikom - triasom a jurou, paleogénom.

Štruktúrno-tektonická analýza dislokácií v tunelovej rúre sa týka len štruktúr vyvinutých v komplexe kryštalinika, na úseku 240 - 2296 m. V tomto úseku sú vyvinuté amfibolity a biotitické amfibolity, granáticko-biotitické, amfibolicko-biotitické a biotiticko-amfibolické ruly, amfibolicko-biotitické a biotitické grano-diority, svetlé aplitoidné granity, mylonity.

Megaštruktúru Braniska tvorí hrásť smeru S-J, ktorá výrazne vystupuje nad sedimentárnym komplexom paleogénu podtatranskej skupiny (Polák et al., 1997). Zo západu je ohraničený S-J až SSZ-JJV poľanovským zlomovým systémom, z východnej strany SV-JZ šindliarskym zlomovým systémom.

Kryštalinické komplexy vysokometamorfovaných hornín rúl, migmatitov a granitoidov sú tektonicky prepracované v deformačných štádiách  $D_{1v}$ ,  $D_{2v}$  varískeho a  $D_{3a}$ ,  $D_{4a}$  alpínskeho orogénu (Jacko jr., 1997).

<sup>1</sup> prof. Ing. Tibor Sasvári, PhD., Ústav geovied Fakulty BERG TU, Park Komenského 15, 042 00 Košice, Slovenská Republika

<sup>2</sup> Mgr. Julián Kondela, PhD., Ústav geovied Fakulty BERG TU, Park Komenského 15, 042 00 Košice, Slovenská Republika

<sup>3</sup> Ing. Peter Sasvári, SITEL, a.s., Košice, Slovenská Republika

(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 3. 4. 2007)

*Deformačné štádium  $D_{1v}$* , sa vytváralo v duktilných podmienkach laminárnym tokom v rulovo-amfibolitovom komplexe, pričom vznikala páskovaná textúra mafickej a fengitickej zložky. Tieto plochy  $S_1=S_2$  sú mierne uklonené k S až SSZ. Prevrásnené sú do otvorených vzpriamených až ležatých vrás V-Z smeru, alebo pri dextrálnom rotovaní do smeru SZZ-JVV. Vrásové b-osi majú smer V-Z a sú subhorizontálne.

*Deformačné štádium  $D_{2v}$* , sa vytváralo v podmienkach krehko-duktilných, charakterizované sú „S-C“ stavbou v ramenných častiach vrás metrového rádu. Strižné plochy „C“ majú smer JZZ-SVV, podobne ako aj extenzná krenulačná kliváž.

*Deformačné štádium  $D_{3a}$*  sa vytváralo v podmienkach krehkého porušenia, je charakterizované mylonitizovanými zónami v plytších podmienkach, tvorených penetratívnymi, metrového charakteru kataklazovanými plochami smeru JZZ-SVV až JZ-SV so sinistrálnym zmyslom pohybu.

*Deformačné štádium  $D_{4a}$*  sa vytváralo v podmienkach krehkého porušenia, s charakteristickými puklinovými systémami alebo krehkými strižnými zónami SZ-JV smeru.

V nealpínskom období došlo k reaktivizácii starších zlomových štruktúr, k rozsegmentovaniu územia a vzniku výrazných zlomových zón v smeroch SZ-JV, S-J a V-Z. Obnovené boli najmä tektonické štruktúry deformačných štádií  $D_1$  a  $D_4$ . Podľa smerov mladých tektonických zlomov možno vyčleniť aj najmladšie deformačné štádium  $D_5$ .

*Deformačné štádium  $D_5$*  je charakterizované nealpínskymi tektonickými štruktúrami smeru S-J, často so smerovým rozptylom do SSV-JJZ smeru. Pravdepodobne ide o reaktivizované zlomové štruktúry poklesového typu deformačnej fázy  $D_{3a}$  alpínskeho vývoja.

Reaktivizované štruktúry pozostávajú z tektonicky porušených zón cm-dm rádu, sú mylonitizované, obsahujú tektonické brekcie a íly.

### Hodnotenie tektonickej porušnosti horninového masívu kryštalinika tunelovej rúry - Branisko

Štruktúro-tektonická dokumentácia tunelovej rúry Branisko v úsekoch 5 – 42 obsahuje grafické vyjadrenie tektonicky porušených súvrství, priebežných diskontinuit, ich grafickú a geodetickú polohu, naznačenie nepriebežných diskontinuit porušujúcich súvrstvia. Tektonické štruktúry získané z vyrazenej tunelovej rúry boli prehodnotené, klasifikované a zaradené do systému deformačných štádií  $D_{1v}$ ,  $D_{2v}$ ,  $D_{3a}$  a  $D_{4a}$  a  $D_5$  podľa povrchovej štruktúro-tektonickej analýzy Jacka, jr. (1997).

Definované deformačné štádiá  $D_{1-5}$  sú charakterizované vývojovými vzťahmi, ktoré sú komplikované mladšími, niekedy aj viackrát reaktivizovanými tektonickými štruktúrami. Časová sukcesia vzájomných priestorových polôh umožnila vyčleniť deformačné štádiá  $D_{1-5}$ , štatisticky zistiť ich smery a úklony. Tieto parametre zohrávajú dôležitú úlohu pri odpore horninového masívu voči postupu tunelovacieho raziaceho stroja.

V kvázihomogénnych úsekoch 5 - 42 tunelovej rúry v metrži 226 - 2297 m, z ktorých sú v tab. 1 vybrané úseky 15 (720 - 770 m), 22 (1072 - 1108 m) a 34 (1674 - 1745 m), boli stanovené niektoré fyzikálno-mechanické parametre (Bohyník, 1998), ako napr. priemerná pevnosť horniny určená z indexu pevnosti (point test)  $-\sigma_{CI}$  [MPa], skleroskopická pevnosť určená Schmidovým kladivkom NR -  $\sigma_C$  [MPa], koeficient RQD [%] (Rock Quality Designation).

Tabuľka 1 obsahuje výsledky analýzy tektonických štruktúr. Horný riadok zobrazuje ružicové tektonogramy smerov (v ľavej časti obrázku) a sklonov (v pravej časti obrázku) pre každé deformačné štádium  $D_{1-5}$ . Ružicový tektonogram v ľavej časti obsahuje polohopisné a genetické označenie, v ľavej hornej časti počet spracovaných meraných údajov (početnosť), v spodnej ľavej časti interval prepočtu početnosti (20 %) a v pravej spodnej časti je maximálna početnosť prepočítaná v merítke na polomer priemetne. Vpravo od smerového tektonogramu je percentuálny graf sklonov štruktúr.

Smery štruktúr zobrazené v tab. 1 majú často obojstranný úklon. Prejavuje sa to najmä v strmých štruktúrach, v ktorých zmena úklonu môže súvisieť s niekoľkonásobnou reaktivizáciou primárnych štruktúr deformačných štádií. V prípade miernejších protiľahlých úklonov to môže viesť k predstavám o párovom systéme tektonických štruktúr vyvinutých napr. v extenznom, poklesovom režime čistého strihu, alebo pri blokových posunoch v podmienkach jednoduchého strihu.

Tab. 1. Smery štruktúr deformačných štádií. Z úsekov 5 - 42 tunelovej rúry sú vybrané úseky č. 15, 22 a 34. Horný riadok úseku zobrazuje ružicové tektonogramy smerov (vľavo) a sklonov (vpravo), spodný riadok zobrazuje veľké oblúky štruktúr (spojnica koncov veľkého oblúka cez stred súradnicového systému reprezentuje smer štruktúry).

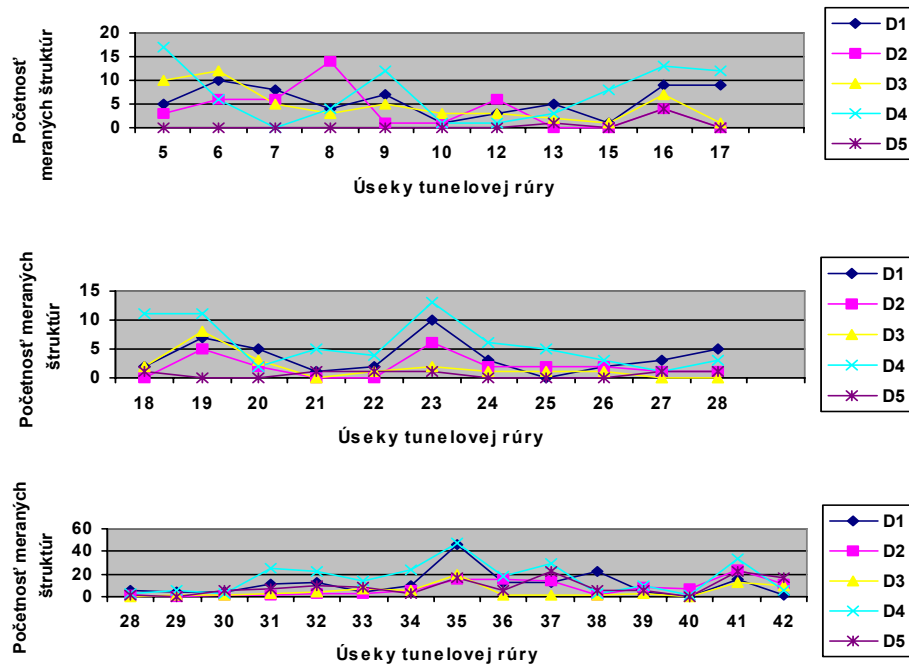
Tab. 1. Strikes of structures belonging to the deformation stages. The sections No. 15, 22 and 34 were selected from sections No. 5 - 42. The upper row of the section shows rose diagrams of strikes (left) and dips (right), the lower row shows great circles of structures (the alignment of the ends of great circle across the middle point of coordinate system represents the structure strike).

| Deformačné štádium |                |                |                |                |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| D <sub>1</sub>     | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>4</sub> | D <sub>5</sub> |
| <b>Úsek 15</b>     |                |                |                |                |
|                    |                |                |                |                |
|                    |                |                |                |                |
| <b>Úsek 22</b>     |                |                |                |                |
|                    |                |                |                |                |
|                    |                |                |                |                |
| <b>Úsek 34</b>     |                |                |                |                |
|                    |                |                |                |                |
|                    |                |                |                |                |

### Početnosti výskytu tektonických štruktúr

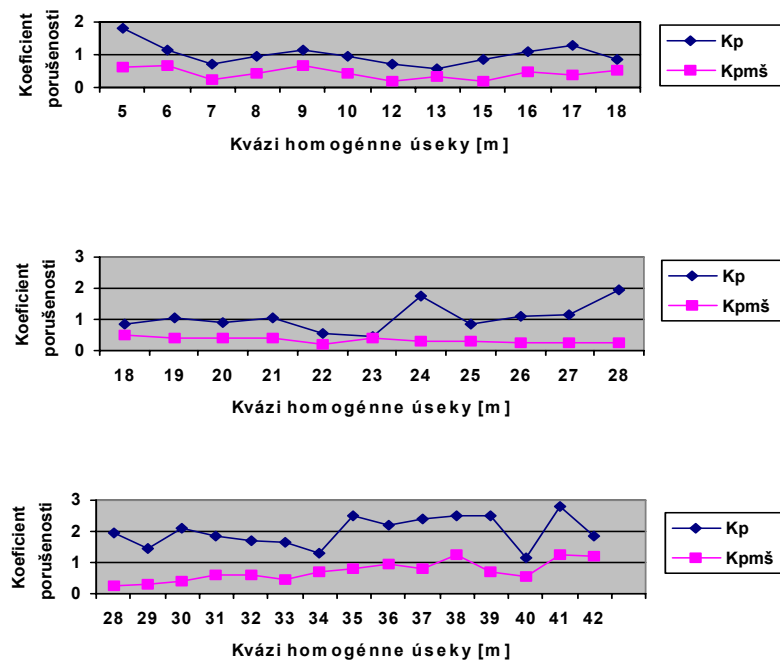
Tektonické štruktúry porušujú horninový masív (graf 1). Pevnosť je závislá aj od početnosti, priestorového postavenia a typu tektonických štruktúr na jednotku dĺžky v horninovom masíve. Kvázi homogénne úseky majú odlišnú dĺžku, rôznu energetickú náročnosť voči postupu raziaceho stroja pre veľmi

variabilný odpor, zapríčinený štruktúrnotektonickou pozíciou dislokácií – zlomov. V grafe 1 sú znázornené len geologickým kompasom zamerané tektonické štruktúry.



Graf 1. Vývoj početnosti výskytu tektonických štruktúr deformačných fáz D1 - D5 v jednotlivých nerovnomerne dlhých úsekoch 5 - 42 tunelovej rúry.

Graf 1. Relationships of frequency of tectonic structures belonging to the deformation stages D1 - D5 in the individual, non-uniformly long 5 - 42 sections of the tunnel.



Graf 2. Koeficient porušenia  $K_p$  a  $K_{pmš}$  horninového masívu v jednotlivých kvázi homogénnych úsekoch 5 - 42.

Graf 2. Deformation coefficient  $K_p$  a  $K_{pmš}$  of rock massif in individual quasi uniform sections 5 - 42.

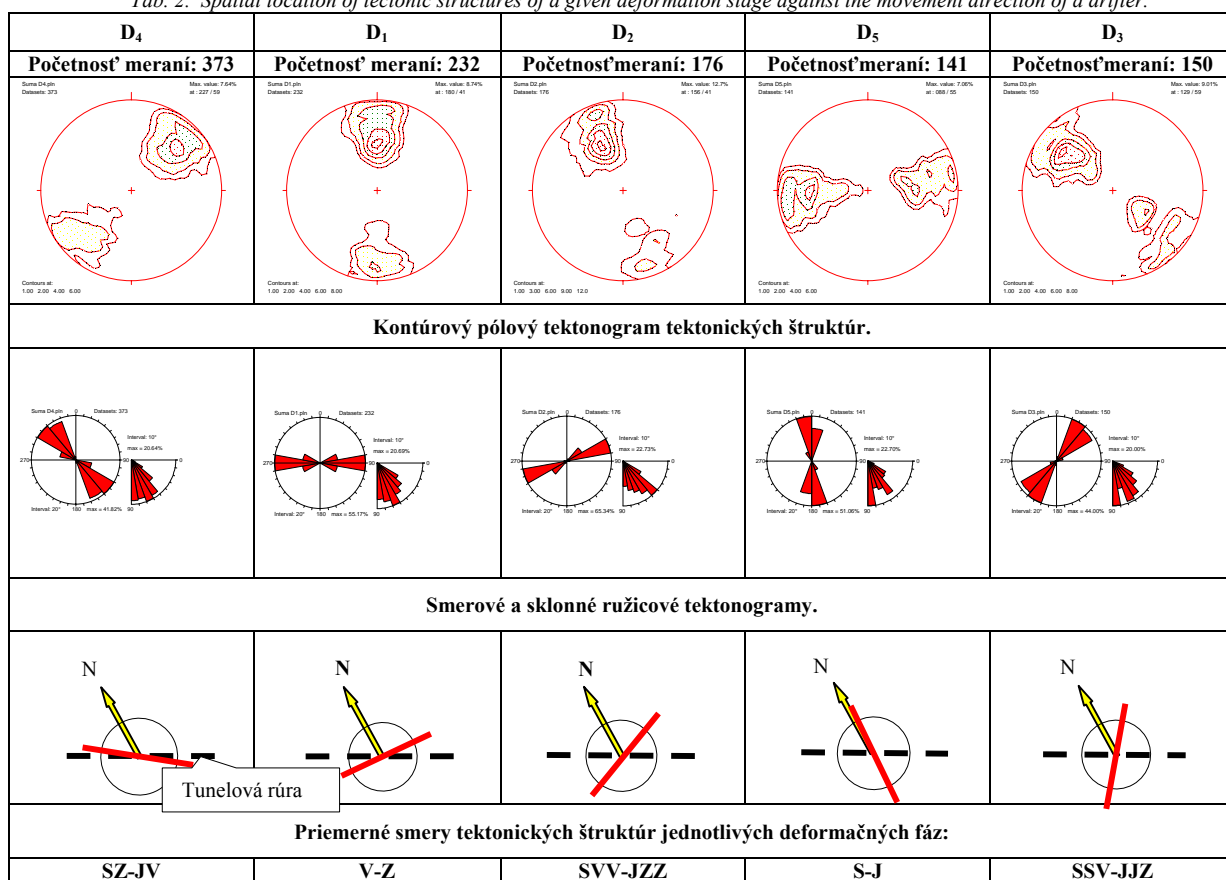
V grafe 2 sú spracované koeficienty porušenia horninového masívu početnosťou tektonických štruktúr, v závislosti na dĺžke kvázi homogénnych úsekov 5 - 42.

Koeficient porušenia  $K_p$  vyjadruje pomer všetkých dokumentovaných tektonických štruktúr (geologickým kompasom zameraných, aj nezameraných) ku skutočnej dĺžke kvázi homogénneho úseku. Koeficient porušenia horninového masívu  $K_{pmš}$  vyjadruje pomer všetkých meraných tektonických štruktúr. Rozdiely v koeficientoch  $K_p$  a  $K_{pmš}$  v grafe 2. sú dané rôznou početnosťou tektonických údajov, medzi všetkými dokumentovanými a meranými štruktúrami.

### Hodnotenie tektonických štruktúr voči smeru postupu tunelovacieho stroja

Priestorové postavenie štruktúry a štruktúrnych systémov  $D_{1-5}$  môže ovplyvniť postup tunelovacieho stroja. V tab. 2 sú vyhodnotené všetky smery a úklony jednotlivých deformačných štádií. Priemerný úklon tektonických štruktúr sa pohybuje v rozmedzí 30 - 40° a ich smery voči smeru tunelovej rúry sú rôzne. Najmenší uhol uzatvárajú štruktúry deformačného štádia  $D_4$ , ktorý sa zvyšuje v prípade štruktúr  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_5$  a  $D_3$ .

Tab. 2. Priestorová poloha tektonických štruktúr príslušného deformačného štádia voči smeru postupu tunelovacieho stroja.  
Tab. 2. Spatial location of tectonic structures of a given deformation stage against the movement direction of a drifter.

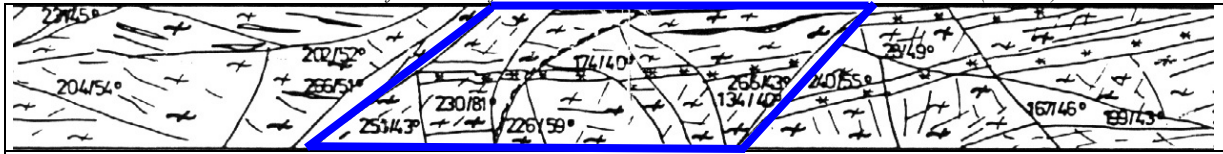


### Zóny látkového a tektonického oslabenia

Pri geotechnickom hodnotení horninového masívu sa pri dokumentácii použila metóda odrazivosti – pomocou Schmidtovho kladivka. Toto zariadenie umožňuje vyjadriť pružnosť horniny masívu in situ percentuálnou odrazivosťou hmotnostne presne definovaného narážacieho telesa prístroja. Čím viac je hornina mechanicky porušená, či látkovo inhomogénna, tým viac sa znižuje hodnota odrazivosti.

Podľa extrémne nízkej odrazivosti bolo vybraných 10 zón oslabenia v metrážach 2111 - 2132, 1512 - 1533, 1427 - 1446, 1271 - 1292, 1213 - 1234, 913 - 933, 517 - 540, 489 - 509, 364 - 384, 312 - 333 m z úsekov 5 - 42, ktoré boli podrobne analyzované z pohľadu tektonicko-štruktúrneho vývoja. Tam, kde sa zistili zóny nízkej odrazivosti, boli nájdené oslabené, silne tektonizované zóny. Tab. 3 znázorňuje vybranú zónu látkového a tektonického oslabenia z metráže 1512 - 1533 (zóna 29) m.

Tab. 3. Znázorňuje vybranú zónu látkového a tektonického oslabenia z metráže 1512-1533 m (zóna 29).  
 Tab. 3. Defined zone of solid and tectonic weakness in the interval 1512 - 1533 (zone 29).



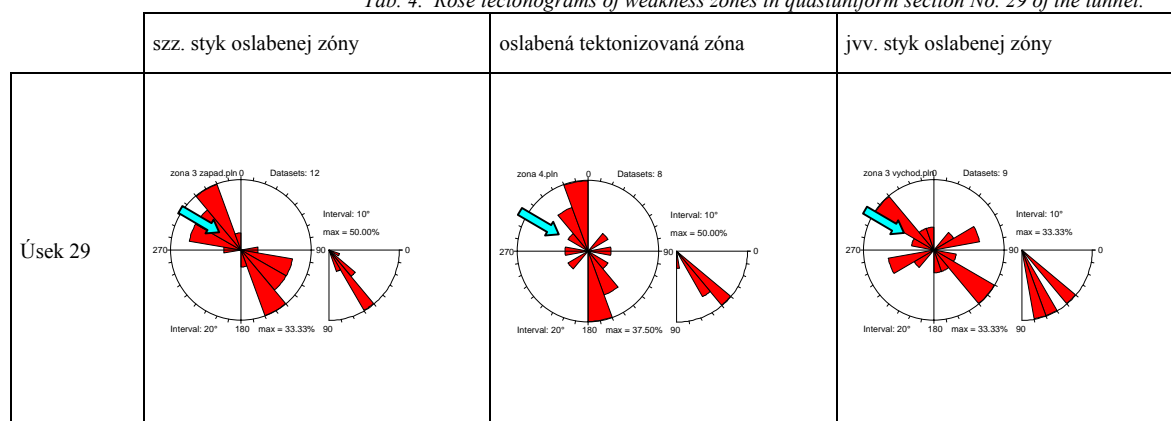
Zóna 3. Dokumentácia tunelovej rúry v úseku 1512 – 1533 m. Komplex amfibolitov až biotiticko-amfibolických rúl s 10-20 cm polohami biotitických až granáticko-biotitických amfibolitov. Oslabená zóna je v úseku 1520 – 1528 m vyznačené modrou kosoštvorcovou plochou. Oslabená zóna tvorí horninový blok prešmykového charakteru s amplitúdou prešmyku 0,8 m. Východná časť obsahuje už poklesové bloky s amplitúdou poklesu 10-20 cm, primárne polohy hornín, ako aj polohy kremeňových žíl sú v súčasnej polohe subhorizontálne. Maximálna hodnota odrazu Schmidovho kladívka (NR-10) je  $R = 34\%$  v zóne porušenosti. Masív je porušený hustotou diskontinuit 0,58 na jednotkovú dĺžku. Pevnosť hornín je  $\sigma_{CI} = 76,3$  [MPa] a  $\sigma_C = 52,4$  [MPa], RQD = 60 %.

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p>1 266/51<br/>2 251/43<br/>3 230/81<br/>4 226/59<br/>5 174/40<br/>6 134/40</p>  | <p>zóna 4 západ pín<br/>zóna 4 západ pín</p> <p>zóna 3 západ pín 0 Datasets: 12<br/>Interval: 10° max = 50.00%<br/>Interval: 20° 180 max = 33.33% 90</p>   | <p>zóna 4.pln<br/>zóna 4.pln</p>   |
| <p>7 266/43<br/>8 240/55</p>  | <p>zóna 4 východ pín<br/>zóna 4 východ pín</p> <p>zóna 3 východ pín 0 Datasets: 9<br/>Interval: 10° max = 33.33%<br/>Interval: 20° 180 max = 33.33% 90</p>   |  |
| <p>Hodnoty oslabenej zóny 29.</p>   | <p>Veľké oblúky dislokácií západnej časti úseku.<br/>Veľké oblúky dislokácií východnej časti úseku. Zelené krúžky sú póly. Vpravo sú ich ružicové diagramy so smermi a úklonmi dislokácií.<br/> Smer tunelovej rúry.</p> | <p>Veľké oblúky dislokácií v oslabenej zóne 29 s vyznačenými pólmi (zelené) v úseku 1520 – 1528 m.</p> |
| <p>zóna 4.pln<br/>zóna 4.pln<br/>z 4.pln</p> <p>Max. value: 21.5%<br/>at : 262 / 46</p> <p>Contours at:<br/>1.00 5.00 10.0 15.0 20.0</p>  | <p>zóna 4.pln 0 Datasets: 8<br/>Interval: 10° max = 50.00%<br/>Interval: 20° 180 max = 37.50% 90</p>   |  |
| <p>Pólový kontúrový tektonogram. Stredná hodnota pólou (modré) s preloženou rovinou cez póly (čierné) 50/46°. Znamená to, že dislokácie poukazujú na vejárovité rozloženie.</p> | <p>Smerový ružicový tektonogram. Ukazuje na jeden výrazný smer.</p>  |  |



Obsahuje dokumentovaný 21 m dlhý profil, v ktorom je modrou farbou označená zóna oslabenia s geologickým a geomechanickým opisom. Nižšie sú uvedené tektonogramy štruktúr oslabenej zóny a taktiež západného a východného styku s oslabenou zónou. Sú to tektonogramy s veľkými oblúkmi a pólmi štruktúr, ako aj ružicové tektonogramy, vyjadrujúce sumarizujúce smery a úklony štruktúr. Vyznačený je aj smer tunelovej rúry farebnou šípkou. V spodnej tretine tabuľky č. 3 sú hodnotené štruktúry oslabenej zóny pomocou kontúrového pólového tektonogramu s vynesenu strednou hodnotou pólou a rovinou preloženou cez póly. Táto konštrukčná rovina je kolmá na štruktúry, pretože prechádza pólmi rovin štruktúr. Oslabená zóna je zobrazená aj pomocou smerového a sklonového ružicového tektonogramu.

Tab. 4. Ružicové tektonogramy oslabených zón v kvázihomogénnom úseku č. 29 tunelovej rúry.  
Tab. 4. Rose tectonograms of weakness zones in quasiuniform section No. 29 of the tunnel.



Pri analýze všetkých 10 zón a roviny prechádzajúce strednými hodnotami pólou bolo zistené, že vo všetkých prípadoch ide o vejavíťové rozloženie štruktúr patriacich k niektorej deformačnej fáze.

Každý úsek s oslabenou zónou má spoločné to, že stredná oslabená zóna má odlišné priestorové postavenie tektonických štruktúr ako jej západný, či východný styk. Táto disproporcja je znázornená v tabuľke 4, s výberom úseku 29 (1512 - 1533 m). Prostredníctvom ružicových tektonogramov sú znázornené oslabené tektonizované zóny spolu so SZZ a JVV stykmi.

V oslabenej zóne sú dominantné tektonické štruktúry  $D_3$ , menej  $D_1$  a najmenej  $D_4$ . Takmer vôbec sa v tejto zóne nevyskytujú štruktúry  $D_2$  a  $D_5$ .

### Záver

Hodnotenie tektonickej porušnosti bolo zamerané na vybrané úseky horninového prostredia amfibolicko-biotitických rúl kryštalinika masívu Braniska. Podľa grafu 1 je zvýšená početnosť meraných tektonických štruktúr deformačných fáz  $D_{1-5}$  v niektorých kvázihomogénnych úsekoch (9, 16, 19, 23, 35, 41). Graf 2 však ukazuje, že koeficienty porušnosti horninového masívu  $K_p$  a  $K_{pmš}$  nie sú vždy súhlasné. Približná zhoda platí len pre úseky č. 9, 16 a 41.

Na rýchlosť a efektívnosť razenia tunelovej rúry, môžu vplývať aj priestorové štruktúrno-tektonické pomery horninového prostredia voči smeru postupu tunelovacieho stroja (tab. 2).

Pri geotechnickom hodnotení horninového masívu pomocou Schmidtovej kladivky sa zistili mechanicky a látkovo výrazne odlišné úseky horninového masívu. Extrémne nízka odrazivosť ukazuje na desať úsekov oslabených zón (tab. 3, 4), ktoré sú potenciálnymi miestami zmeny rýchlosti razenia tunelovacieho stroja.

*Článok bol spracovaný podporou grantu  
VEGA č. 2/3209/23, Fuzzy logika a frekvenčná  
analýza v inverznej kontinuálnej metóde*

### Literatúra - References

Bohyník, J.: Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum diaľnice D1 Behárovce-Branisko, časť B – tunel Branisko. *Záverečná správa, 1998, s. 109.*

- Jacko, S. jr.: Štruktúrna charakteristika a tektonický vývoj územia oblasti tunela Branisko. Manuskript - In: Polák, M., Kohút, M., Vozár, J. a Wagner, P. 1997: Geologická stavba braniska a jej vplyv na výstavbu diaľničného tunela. *Geol. Služba SR Bratislava*, s.150.
- Krúpa, V., Lazarová, E.: Diagnostic of some properties of rock massif from driving process monitoring. Proceedings of International Carpathian Control Conference, (ed.) Leššo, ISBN 80-7099-510-6, TU Košice-BERG Faculty, 2000, pp. 107-110.
- Polák, M., Kohút, M., Vozár, J., Wagner, P.: Geologická stavba braniska a jej vplyv na výstavbu diaľničného tunela. *Manuskript, Geol. Služba SR Bratislava*, 1997, s.150.