

## Detekcia pevnosti horninového masívu Branisko

Edita Lazarová<sup>1</sup>

### Detection of rock strength at Branisko massif

When monitoring and optimizing the driving process of the exploratory gallery by a computer system, conditions for verification of the interaction between desintegrating head of driving machine and rock massif were created. One of the output values of this mathematical model is the model strength at a simple pressure  $\sigma_{tIH}$ , which is defined as a pressure at the discus and the massif contact during the desintegration (a near limit of massif strength). By geological and geological engineering exploration, the section of length 2340 m was divided into forty-two geological sections and five quasi-homogeneous massif environments. In the article, results of scleroscopic strength  $\sigma_{Cl}$ , the strength in a simple pressure determined from the point load test and the strength at simple pressure  $\sigma_{tIH}$  are confronted. The main advance of the electronic geomechanical monitoring is the density of gained information. The two-seconds sample period of input and output data during the driving process makes it possible to describe driving circumstances in an almost continual way for each millimeter of the built tunnel. Then the information about changes of disintegrated rock properties, have the same density (frequency). By comparing a quantity of data gained by examining the index of point strength, scleroscopic strength and the model strength in a simple pressure from the monitoring process of driving process it is obvious that during the driving of exploratory gallery of motorway tunnel Branisko, a proportion of data number from the three "type examinations" of strength was reached and it was approximately 1:7:5000. Approximately in the same proportion, there were determined values for the 42 geologic sections (I. – XLII.), which were defined in detail by the geologic, engineering geologic, hydrogeologic and geotechnic research.. The presented quantity values of presented rock mass strength for each geologic section are presented by their arithmetic average values.

**Key words:** monitoring, geological survey, rock massif, and strength properties.

### Úvod

V r. 1997 vyrazili Banské stavby, a.s., Prievidza raziacim strojom Wirth TB-II-330H/M 2340 m prieskumnej štólne diaľničného tunela Branisko. Raziaci stroj prevažnú časť trasy pracoval v kryštaliniku, reprezentovanom masívom Partie, kde boli najrozšírenejšie tieto litologické typy hornín: biotiticko-amfibolické ruly, migmatitizované biotitické pararuly, amfibolity a hybridné granitoidy. Len úvodná časť od východného portálu bola razaná v paleogénnych pieskovcoch. Kontakt hornín paleogénu a kryštalinika bol identifikovaný v úseku od 183 m do 191 m od východného portálu. Geologickým a inžinierskogeologickým prieskumom bol vyrazený úsek rozdelený do štyridsiatich dvoch geologických celkov a piatich kvázihomogénnych horninových prostredí (Bohyník et al., 1998).

Počas razenia pracovala na raziacom stroji monitorovacia a optimalizačná sústava, ktorá s intervalom vzorkovania 2,3 s zaznamenávala hodnoty vstupných a výstupných veličín rozpojovacieho procesu (prítlak rozpojovacej hlavy raziaceho stroja, otáčky hlavy stroja, krútiaci moment a postupovú rýchlosť razenia). Za jeden rok činnosti sústavy boli získané údaje o rozsahu cca 1 GB. Každé otočenie rozpojovacej hlavy, napr. pri 12 otáčkach za minútu, je reprezentované približne 2-mi hodnotami sledovaných veličín.

### Modelová pevnosť v prostom tlaku a šmyku

Metodika výpočtu hodnoty modelovej pevnosti v prostom tlaku  $\sigma_{tIH}$  vychádza z predpokladu, ktorý zaviedol Roxborough, že kontaktný tlak disku s horninou v smere pôsobenia normálovej sily je pri rozpojení úmerný hodnote napätia na medzi pevnosti. Veľkosť kontaktnej plochy je funkciou penetrácie disku, priemeru disku a geometrie kontaktnej plochy. Napätie potrebné k rozpojeniu horniny závisí aj od tvaru povrchu horniny, t.j., či disk pôsobí na voľnú plochu, resp. sa odvaluje v záreze. Použitý opravný faktor pre výpočet rozpojovacieho napätia vychádza z práce (Kylberg, 1991). Ďalšími faktormi, ktoré ovplyvňujú veľkosť napätia potrebného pre rozpojenie horniny sú konštrukčné charakteristiky rozpojovacej hlavy, hlavne jej tvar a vzdialenosť rozpojovacích dráh diskov. Implementovaním všetkých týchto faktorov do matematického modelu pre výpočet veličiny  $\sigma_{tIH}$  pre raziaci stroj Wirth TB-II-330H/M, je vzťah:

$$\sigma_{tIH}(\text{Wirth}) = \frac{1}{10,899} \frac{10^3 F}{C\sqrt{p+\Delta p}}, \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

kde F je celkový prítlak rozpojovacej hlavy; C je rezný koeficient definovaný a používaný v prácach (Baron et al., 1969; Bilgin, 1977; Sanio, 1973; Lislerud et al., 1988, Krúpa et al., 1994; Roxborough, 1975) a vypočítaný ako podiel tangenciálnej a normálovej sily disku; p je monitorovaná penetrácia disku a  $\Delta p$  vyjadruje vplyv

<sup>1</sup> Ing. Edita Lazarová, CSc., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 04353 Košice (Recenzované v roku 2000)

opotrebovania. Číselná konštanta vo vzťahu (1) vyjadruje konštrukčné parametre diskov a rozpojovacej hlavy stroja Wirth. Pre parameter  $\Delta\rho$  platí pre hodnotený raziaci stroj vzťah:

$$\Delta\rho = \frac{\rho}{\sin \frac{\alpha}{2}} - \rho = \rho \left[ \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right], \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

kde  $\rho$  [mm] je polomer zaoblenia a  $\frac{\alpha}{2}$  je parameter disku.

Veličina  $\tau_{sk}$  určuje modelové šmykové napätie pod diskom. Je vypočítaná z hodnôt krútiaceho momentu rozpojovacej hlavy, pri zohľadnení všetkých horeuvedených faktorov. Pre raziaci stroj Wirth TB-II-330H/M sme pre určenie tejto veličiny odvodili výraz:

$$\tau_{sk(WIRTH)} = 1,6782 C \sigma_{dH}^{(WIRTH)}, \quad [\text{MPa}] \quad (3)$$

kde C je rezný koeficient a  $\sigma_{dH}^{(WIRTH)}$  je modelová pevnosť hornín v prostom tlaku pre tento raziaci stroj.

## Výsledky

Tab.1. Priemerné hodnoty pevnosti v prostom tlaku určovanej z indexu bodovej pevnosti (point load test), skleroskopickkej pevnosti a modelovej pevnosti v prostom tlaku pre 42 geologických celkov prieskumnej štôlne Branisko.

Tab.1. The average values of strength at simple pressure determined out of point load test, scleroscopic strength and model strength at simple pressure for the 42 geologic sections of exploratory gallery Branisko.

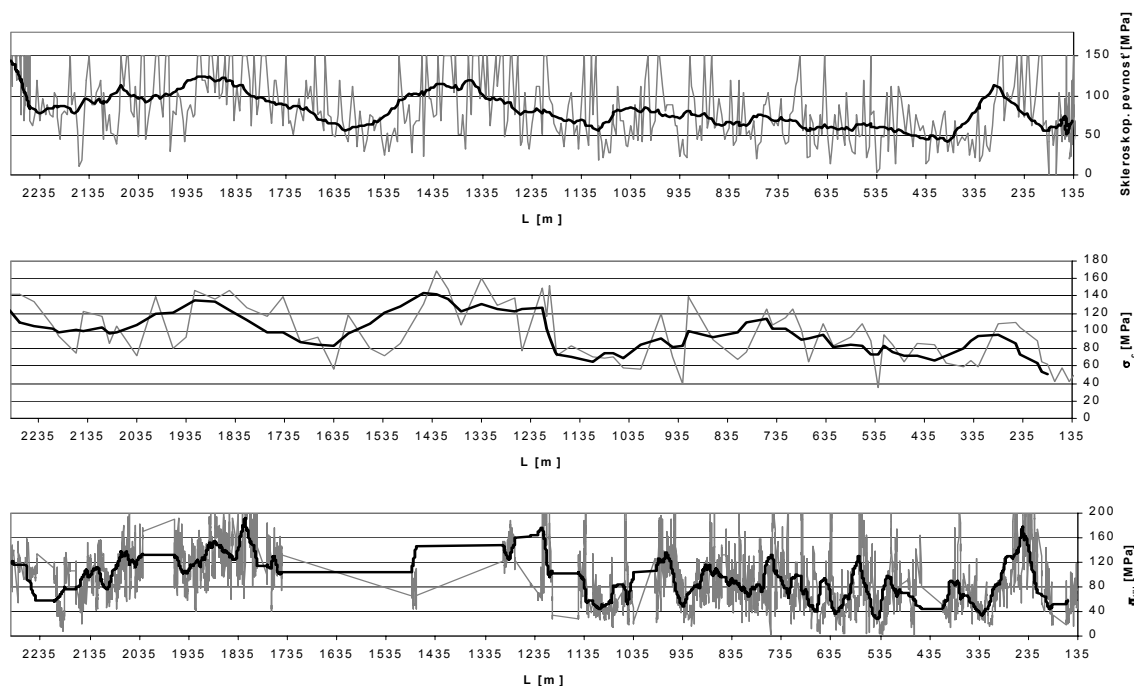
Úsek	Staničenie [m]	$\sigma_{CI}$ [MPa]	$\sigma_C$ [MPa]	$\sigma_{dH}$ [MPa]	$\tau_{sk}$ [MPa]	RQD
I.	183 - 191	61,2	52,88	39,0	9,93	50
II.	139 - 183	47,28	61,27	37,64	10,26	55
III.	191 - 200	65,04	61,5	82,36	16,07	50
IV.	200 - 226	89,04	102,3	109,35	16,76	70
V.	226 - 298	106,8	101,0	127,37	18,63	70
VI.	298 - 348	62,4	40,86	47,67	9,62	50
VII.	348 - 426	68,88	50,15	65,54	11,80	55
VIII.	426 - 482	75,12	52,52	74,87	13,69	55
IX.	482 - 526	90,24	68,26	82,97	13,05	60
X.	526 - 540	34,56	5,8	20,44	5,36	35
XI.	540 - 590	96,48	62,19	89,52	13,52	55
XII.	590 - 652	95,52	61,8	62,80	9,63	55
XIII.	652 - 680	64,56	43,08	51,84	10,41	50
XIV.	680 - 720	113,5	81,44	83,04	13,33	70
XV.	720 - 770	116	75,35	108,16	15,14	70
XVI.	770 - 850	72,24	61,58	83,50	12,21	60
XVII.	850 - 916	114,1	81,35	92,8	13,61	65
XVIII.	916 - 947	55,26	39,91	62,38	11,41	55
XIX.	947-1025	87,71	86,94	119,44	15,91	70
XX.	1025-1054	56,97	56,03	77,74	13,43	50
XXI.	1054-1072	70,13	76,94	55,13	9,38	60
XXII.	1072-1108	76,56	45,57	49,54	9,95	50
XXIII.	1108-1193	80,98	69,7	87,02	17,73	65
XXIV.	1193-1234	136,3	98,32	147,5	21,79	75
XXV.	1234-1263	77,91	53,7	84,4	9,42	60
XXVI.	1263-1295	139,5	92,18	147,74	19,14	70
XXVII.	1295-1320	128,8	105,2	141,41	18,13	80
XXVIII.	1320-1358	160	93,4	141,41		80
XXIX.	1358-1390	107	67,8	-		65
XXX.	1390-1428	158,8	111,6	-		75
XXXI.	1428-1508	108,36	79,8	78,57	8,65	70
XXXII.	1508-1591	76,3	52,4	-		60
XXXIII.	1591-1674	88,8	74,2	-		70
XXXIV.	1674-1745	113,2	86,6	-		75
XXXV.	1745-1916	134,4	106,9	139,43	12,47	80
XXXVI.	1916-1973	87,1	73,9	113,58	8,28	65
XXXVII.	1973-2077	105,44	98,6	126,46	7,65	75
XXXVIII.	2077-2105	85,4	55,1	78,54	3,78	60
XXXIX.	2105-2148	119,5	98,9	104,77	6,77	75
XL.	2148-2163	74	28,6	61,63	2,15	60
XLI.	2163-2258	142,7	85,2	77,95	4,44	75
XLII.	2258-2296	142,2	113,5	126,34	5,77	80

V tab.1 sú uvedené hodnoty nasledovných pevnostných charakteristík:  $\sigma_{CI}$  – skleroskopická pevnosť, určovaná z odrazových skúšok Schmidtovým kladičkom NR-10 s registračným zariadením. (V každom

meranom bude bola vykonaná séria 10 úderov, Schmidt, U.S.Pat.).  $\sigma_C$  – pevnosť v prostom tlaku bola určená z upraveného indexu pevnosti  $I_{S(50)}$  podľa vzťahu Broch, E. & Franklin, J.A. (1972);  $\sigma_C = 24 \cdot I_{S(50)}$  (Broch et al., 1972; ISRM, 1985). *Poznámka: Výsledky týchto dvoch veličín sú prevzaté z Bohyník et al., 1998.*

V tabuľke sú uvedené aj priemerné hodnoty modelovej pevnosti v prostom tlaku  $\sigma_{dlH}$  a modelovej šmykovej pevnosti  $\tau_{sk}$ , ktoré boli získané z monitorovania procesu razenia.

Grafické znázornenie veličín  $\sigma_C$ ,  $\sigma_{Cl}$ ,  $\sigma_{dlH}$  a  $\tau_{sk}$  je na obr.1. Grafický výstup je doplnený kľzavými priemermi sledovaných veličín s periódami 20, 5, 80.



Obr.1. Okamžité hodnoty a kľzavé priemery skleroskopической pevnosti, pevnosti v prostom tlaku určovanej z indexu bodovej pevnosti (point load test), a modelovej pevnosti v prostom tlaku pre razený úsek prieskumnej štólne Branisko raziacim strojom.

Fig.1. Immediate values and moving averages scleroscopic strength, of strength at simple pressure determined out of point load test and model strength at simple pressure for the driven section of exploratory gallery Branisko by the driving machine.

Z tabuľky 1 a obr.1 vidieť, že výsledky troch odlišných metódik určovania "pevnosti v prostom tlaku", zachovávajú rovnaké trendy rastu, resp. poklesu svojich hodnôt v závislosti od zmien litológie horninového masívu. Využitie počítača umožňuje s menšou pracnosťou a vyššou rýchlosťou získať väčší objem informácií. Napr. v razenom úseku štólne bolo urobených 85 skúšok point load test, 693 skúšok so Schmidtovým kladivkom a monitoring procesu umožnil identifikovať priemerné hodnoty pre cca 25 cm úseky. Výsledky  $\sigma_{dlH}$ , znázornené na obr.1, predstavujú 5037 hodnôt. Každá z týchto 5037 hodnôt je určená ako aritmetický priemer z cca 100 údajov.

### Záver

Použitie výpočtovej techniky pre monitorovanie procesu razenia a výpočet odporúčaného prítlaku pri navrhutej metodike optimalizácie, má veľký význam hlavne pri spätnom vyhodnotení všetkých úsekov razenia. "Optimalizácia" je pre osádku stroja veľmi jednoduchá, riadič stroja musí "strážiť" len dve veličiny, a to sledovať rozdiely medzi aktuálnym a odporúčaným prítlakom a "strážiť" hodnotu krútiaceho momentu. Pri novších typoch raziacich strojov, ktoré majú dostatočnú rezervu inštalovaného výkonu pre všetky druhy hornín v trase razeného diela, posledná úloha odpadá.

Získané údaje zaznamenané v databanke je možné ďalej spracovať podľa dohodnutých potrieb inžiniersko-geologického prieskumu. V článku sú načrtnuté postupy výpočtu len dvoch pevnostných veličín, ale využitie údajov je možné rozšíriť o vyhodnotenie ďalších údajov, napr. ťahovej pevnosti, uhla vnútorného trenia horniny a pod. Taktiež sú využiteľné pre zatriedovanie hornín do klasifikačných tried.

### Literatúra

- BARON, L.I., GLATMAN, L.B. & ZAGORSKI, S.Z. 1969. *Rock disintegration by tunnelling machines* (v ruštine), (Moscow: Nauka, 1969), 150 p.
- BILGIN, N. 1977. Investigations into the Mechanical Cutting Characteristics of some Medium and High Strength Rocks. *A Thesis Submitted for the Degree of Ph.D in Applied Science of the University of Newcastle upon Tyne*, 1977, 332 p.
- BOHYNÍK, J., ZÁTHURECKÝ, A., MOLČAN, T., LENÁRTOVÁ, J., ŠIMEK, M., LENKOVÁ, M. & FRLIČKOVÁ, M. 1998: Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum diaľnice D1 Behárovce-Branisko, časť B - tunel Branisko. [Čiastková správa č.6], INGEO, a.s., Žilina, február 1998.
- BROCH, E. & FRANKLIN, J.A. 1972. The point-load strength test. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 9, p. 669-697, 1972.
- ISRM 1985. Point load test. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* Vol 22, No.2, pp. 51-60, 1985.
- KRÚPA, V., IMRICH, P. & LAZAROVÁ, E. 1994. Supporting optimizing system for tunnel boring machines. In: *16th World Mining Congress*, Sofia, 1994, C-38.
- KYLBERG, G.G. 1991. Relation between the Forces on Gange Cutters and on Face Cutters on Tunnel Boring Machines. *Teknisk repport, Atlas Copco, Tunnelling and Mining*, 1991, 13p.
- LISLERUD, A. et al. 1988. *Project report 1-88, Hard Rock Tunnel Boring*. Trondheim: The university of Trondheim, 1988, 183 p.
- ROXBOROUGH, F.F. & PHILIPS, H.R. 1975. *Int.J.Rock Mechanick.Min.Sci. and Geomech.*, Abstr. 12, 1975, p. 361.
- SANIO, H. 1983. Nettovortriebsprognose fur Einsätze von Vollschnittmaschinen in anisotropen Gesteinen. *Bochumer geologische und geotechnische Arbeiten*, Heft 11, 1983, 147 p.
- SCHMIDT: U.S.PAT. 2664743.