

Rozbor vplyvu geologických štruktúr pri rozpojovaní masívu raziacími strojmi

Ludmila Tréfová¹

Analysis of effects of geological structures in rock driving by TBM

Although mechanical properties belongs to important parameter for the excavation modelling, effect of geological structures on the rock massive fragmentation is often much higher than varying rock properties. This paper deals with the analysis of geological structures. It is focused on the schistosity orientation towards the tunnel azimuth. The aim is to define of schistosity effect on the penetration rate. It is a basis creating of fuzzy rules for the performance model full-profile tunnel boring machine.

Key words: hard rock TBM, geological structures, discontinuities, schistosity, penetration rate.

Úvod

Modelovanie výkonu plnoprofilového raziaceho stroja zohráva dôležitú úlohu pri výbere stroja pre jeho nasadenie do konkrétnych horninových podmienok. Poskytuje informácie o rýchlosti razenia, opotrebovaní diskov a nákladoch na razenie. Väčšina výskumníkov sa zameriavala hlavne na modelovanie rýchlosti razenia. Jednotlivé modely, ktoré boli v priebehu rokov publikované, je možné rozdeliť na dve skupiny. Jedna je teoretická, založená na silách, ktoré pôsobia na jednotlivé disky. Druhá je empirická - založená na dosiahnutých výkonoch stroja ako celku, priamo v podmienkach in-situ. Často sú oba prístupy dopĺňané parametrami získanými z terénnych skúšok, laboratórnych testov vykonávaných na zmenšených modeloch, alebo modeloch v skutočnej veľkosti. Každý z týchto prístupov má svoje výhody, nevýhody a prípadne odlišnú oblasť aplikácie. V konečnom dôsledku je však možné konštatovať, že v praxi neexistuje jednotné riešenie alebo metóda pre predikciu výkonu TBM do skalných hornín. Je to z dôvodu veľkého rozsahu názorov a modelov a neustáleho vývoja technológie razenia.

Mnohé publikované modely (Graham 1976, Hughes 1986, Nelson 1994, ...) neuvažujú s poruchami v horninovom masíve a ich aplikácia je vhodná len pre homogénne a izotropické horniny. Reálne geologické podmienky však vyžadujú použitie týchto plôch nespojitosti horninového masívu ako vstupných premenných. Z in-situ pozorovaní bolo zistené, že praskliny a trhliny spôsobené ťahovým namáhaním v horninovom masíve znižujú výkon TBM. Na druhej strane, poruchy zapríčinené šmykovým namáhaním – mylonity, zlomové pásma, vedú k zvyšovaniu penetračnej rýchlosti [1]. Preto v novších modeloch je zdôrazňovaný ich podstatný význam na fragmentáciu horniny, avšak zložitý proces interakcie diskov a horninového masívu dosiaľ neumožnila v podmienkach in-situ komplexné pochopenie ich vplyvu. Súčasnou snahou je transformovať a syntetizovať geologické a režimové vplyvy na výkon raziaceho stroja a zostaviť model s využitím fuzzy logiky. Tento článok sa zameriava na kvantifikáciu vplyvu jedného typu geologických štruktúr – systémov bridličnatosti na výkon plnoprofilového raziaceho stroja.

Orientácia plôch deliteľnosti v horninovom masíve

Anizotropia horninového masívu je reprezentovaná širokou škálou typov plôch nespojitosti (diskontinuit) s rozdielnymi geometrickými a mechanickými parametrami: plochy vrstevnatosti, pukliny, praskliny, bridličnatosť, zlomové plochy, litologické kontaktné plochy.

Pri rozpojovaní hornín s využitím TBM sú určované 2 uhly indikujúce pozíciu diskontinuity v masíve:

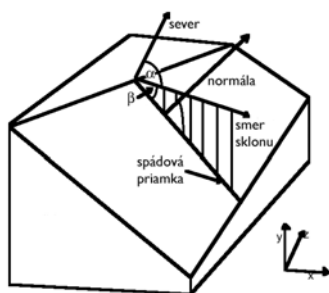
- uhol medzi osou tunela a plochou diskontinuity θ ,
- uhol medzi smerom valenia disku a vystupujúcou diskontinuitou na čelbe tunela δ (experimenty ukázali, že efekt uhla δ nie je podstatný; aj z geometrického hľadiska je zrejmé, že jeho vplyv zaniká, a to v dôsledku opakujúceho sa kontaktu disku s priebežnou diskontinuitou.

Pre stanovenie uhla θ medzi diskontinuitou a smerom razenia je potrebné transformovať geologický záznam diskontinuity (smer, sklon) do analytického vyjadrenia plochy vo forme všeobecnej rovnice roviny:

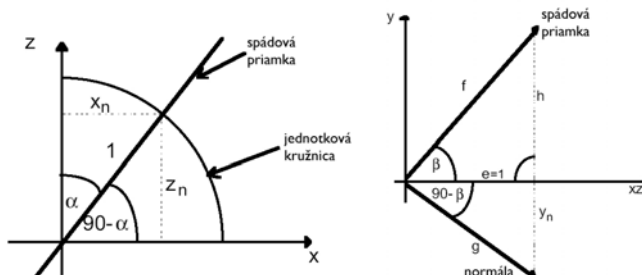
¹ Ing. Ludmila Tréfová, Oddelenie deštruktívnej a konštrukčnej geotechniky, Ústav geotechniky SAV Košice, Watsonova 45, 043 53 Košice, Tel.: (+421-55)7922641, Fax: (+421-55)7922604
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 15. 12. 2006)

$$ax + by + cz + d = 0, \quad (1)$$

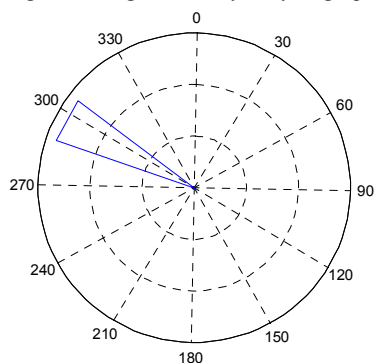
kde a , b , c reprezentujú normálové koeficienty plochy, obr. 1. Výpočty pre jednoduchosť vychádzajú z predpokladu, že os z v súradnicovom systéme xyz , je ekvivalentná so severom.



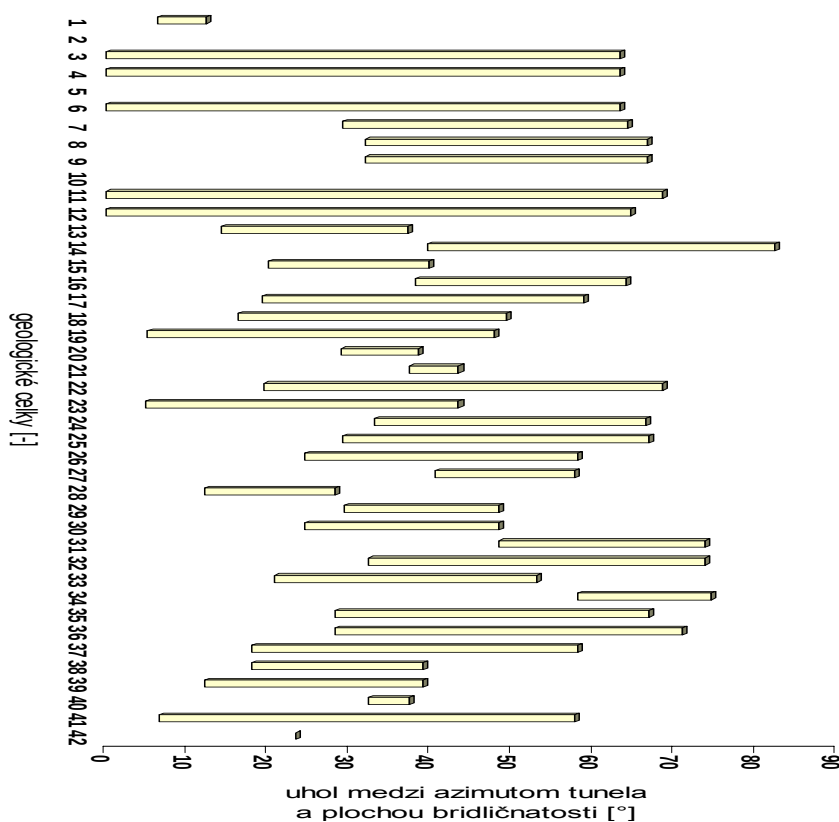
Obr. 1. Geologický popis pre definovanie plochy
Fig. 1. Geologic notation for defining a plane



Obr. 2. Dvojrozmerné zobrazenia plochy diskontinuity v analytickom vyjadrení
Fig. 2. 2-D projection of weakness plane in the analytical representation



Obr. 3. Azimut tunelovej rúry Braniska
Fig. 3. Azimuth of the Branisko tunnel tube



Obr. 4. Orientácia systémov bridličnatosti voči azimutu tunela pre jednotlivé geologické celky.
Fig. 4. Orientation of the schistosity systems towards the tunnel azimuth for individual geological units.

Z dvojrozmerných pohľadov na plochu diskontinuity, obr. 2., vyplýva na základe goniometrických funkcií odvodenie koeficientov jej analytickej rovnice. Potom platí:

$$\sin(\alpha)x + \frac{1}{\tan(\beta)}y + \cos(\alpha)z = 0 \quad (2)$$

Smerový vektor pre azimut razeného tunela je určený ako $[\cos(\gamma), 0, \sin(\gamma)]$. Po určení odchýlky azimutu tunela od roviny diskontinuity platí pre uhol θ vzťah:

$$\sin \theta = \sin \beta \cdot \sin(\gamma - \alpha), \quad (3)$$

Vplyv bridličnatosti

Na základe výpočtového vzťahu (3) boli spracované základné charakteristiky horninového prostredia z inžiniersko-geologického prieskumu firmy Ingeo, a. s., Žilina, pri razení prieskumnej štólne Branisko, tab. 1, [2]. Bola určená odchýlka od smeru razenia, obr. 2, 3. Ako je z tab. 1. zrejme, pre geologické úseky 2, 5 a 10 nebolo možné výpočet uskutočniť.

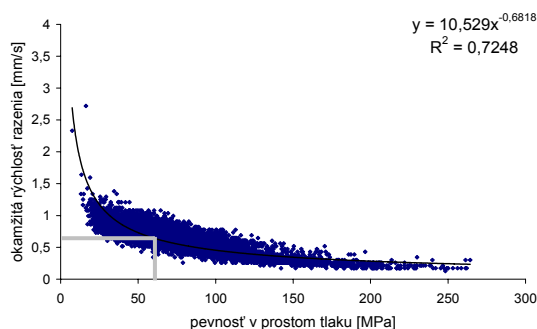
GC	staničenie	bridličnatosť		
		stupeň	úklon	smer
1	139-103	doskovitá až tenkolavcová	15-30	JV
2	183-191	-	-	-
3	191-200	menej výrazná	70-80	JV až SV
4	200-226	menej výrazná	70-80	JV až SV
5	226-298	-	-	-
6	298-348	menej výrazná	70-80	SSZ-SV až JJV
7	348-426	menej výrazná	40-80	JJV až JZ
8	426-482	výrazná	35-85	JZ a SV
9	482-526	výrazná	35-85	JZ a SV
10	526-540	výrazná	premenlivé	premenlivé
11	540-590	výrazná	40-85	SSZ až SV
12	590-652	výrazná	50-85	premenlivé
13	652-680	výrazná	15-40	SV
14	680-720	výrazná	45-85	S až SSV
15	720-770	málo výrazná	20-40	JJZ a SSV
16	770-850	výrazná	40-70	SV
17	850-916	výrazná	30-60	SSV a JJV
18	916-947	pomerne výrazná	25-80	SSZ a J
19	947-1025	výrazná	20-50	SZ až SV
20	1025-1054	pomerne výrazná	30-40	JZ
21	1054-1072	pomerne výrazná	45	SV a J
22	1072-1108	výrazná	30-80	SSV až SV
23	1108-1193	výrazná	20-45	SV až SZ
24	1193-1234	pomerne výrazná	40-70	S až SV
25	1234-1263	pomerne výrazná	35-70	S a JJZ
26	1263-1295	výrazná	25-80	SSV a JZ
27	1295-1320	pomerne výrazná	50-60	S až SV
28	1320-1358	výrazná miestami menej	20-50	SSZ
29	1358-1390	výrazná miestami menej	30-50	JZ
30	1390-1420	pomerne výrazná	25-50	JZ
31	1428-1508	výrazná	50-80	JZ
32	1508-1591	výrazná	60-80	JZ a JJV
33	1591-1674	výrazná miestami menej	35-55	JJV až JZ
34	1674-1745	pomerne výrazná	60-80	JJZ a SSV
35	1745-1916	pomerne výrazná	50-70	SSZ a SSV
36	1916-1973	pomerne výrazná	50-75	SSZ až SSV
37	1973-2077	výrazná miestami menej	30-60	SSZ až SSV
38	2077-2105	výrazná	30-40	SSV až SSZ
39	2105-2148	pomerne výrazná	20-35	SSZ až SV
40	2148-2163	menej výrazná	60-80	SSZ
41	2163-2258	menej výrazná	30-60	JZ až SZ
42	2258-2296	menej výrazná	40	SSZ

Tab. 1. Inžiniersko-geologický prieskum - bridličnatosť
Tab. 1. Engineering-geological survey - schistosity

GC	UHOL θ			sklerosk. pevnosť	V_{REG}
	min.	priemer	max.		
1	6,28	9,24	12,2	62,8	0,4391
2	-	-	-	-	-
3	0	31,595	63,19	61,5	0,6349
4	0	31,595	63,19	102,3	0,5345
5	-	-	-	-	-
6	0	31,595	63,19	42,2	0,7174
7	29,02	46,565	64,11	50,2	0,6094
8	31,87	49,18	66,49	54,6	0,6578
9	31,87	49,18	66,49	68,3	0,5615
10	-	-	-	-	-
11	0	34,22	68,44	58,6	0,6355
12	0	32,27	64,54	61,8	0,5486
13	14,08	25,62	37,16	41,7	0,6655
14	39,46	60,83	82,2	86,7	0,4880
15	19,84	29,74	39,64	72,9	0,5204
16	37,93	50,955	63,98	60,5	0,5551
17	19,15	38,975	58,8	81,4	0,5209
18	16,1	32,67	49,24	39,9	0,7244
19	5,08	26,405	47,73	86,9	0,5218
20	28,88	33,63	38,38	56,0	0,5120
21	37,31	40,315	43,32	77,0	0,5531
22	19,38	43,91	68,44	46,4	0,4936
23	4,75	24,035	43,32	78,9	0,5500
24	33,03	49,66	66,29	98,3	0,4926
25	29,11	47,955	66,8	53,7	0,8093
26	24,47	41,185	57,9	92,1	0,6907
27	40,51	49,03	57,55	115,2	0,6174
34	57,9	66,165	74,43	86,6	0,5309
35	28,14	47,47	66,8	106,5	0,6037
36	28,14	49,51	70,88	73,9	1,3653
37	17,93	37,915	57,9	98,6	1,0354
38	17,93	28,445	38,96	55,1	1,3411
39	12,16	25,57	38,98	101,6	1,1679
40	32,22	34,77	37,32	28,6	3,4970
41	6,46	32,005	57,55	85,1	1,5238
42	23,31	23,31	23,31	113,6	0,8660

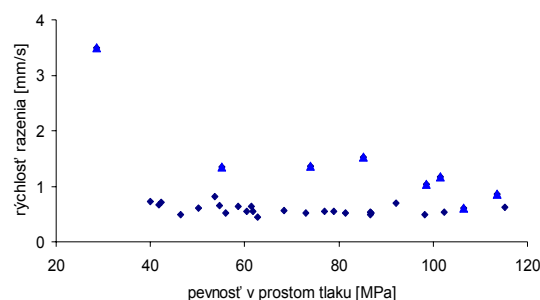
Tab. 2. Odchýlka medzi systémom bridličnatosti a azimutom tunela θ , skleroskopická pevnosť, regresný odhad rýchlosti razenia V_{REG}
Tab. 2. Deviation of the schistosity system from the tunnel azimuth θ , the scleroscopical strength, the regression estimation of the penetration rate V_{REG} .

Pre určenie priemernej rýchlosti razenia jednotlivých geologických celkov, bol vypočítaný regresný model pre okamžitú rýchlosť razenia v závislosti na pevnosti (pevnosť v prostom tlaku – vypočítavaná systémom IKONA [3, 4]) a, a to z údajov monitorovaných v procese razenia. Grafické zobrazenie vzťahu týchto veličín je ukázaný na obr. 5, kde priebeh je vyjadrený mocninovou regresnou krivkou. Odhad priemernej rýchlosti razenia $0,6349 \text{ mm.s}^{-1}$ bol určený na základe strednej hodnoty skleroskopической pevnosti daného geologického celku $61,5 \text{ Mpa}$ (bod P). Výsledky sú zobrazené v tab. 2. V tabuľke nie sú uvádzané výsledky z geologických úsekov 28-33, vzhľadom na výpadok monitorovacieho systému.



Obr. 5. Regresná analýza geologického celku 3 a odhad rýchlosti razenia pre priemernú skleroskopickú pevnosť [61,5MPa;0,6349mm/s].

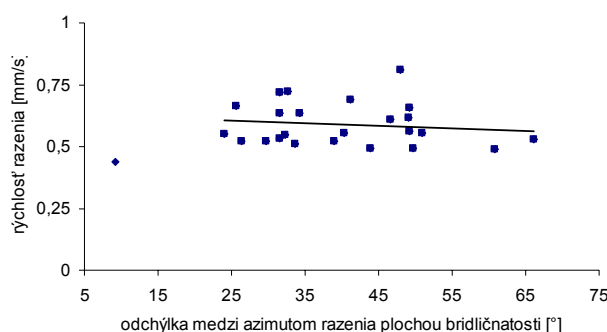
Fig. 5. Regression analysis of the geological unit no. 3 and the estimation of the penetration rate for an average scleroscope strength.



Obr. 6. Závislosť odhadutej rýchlosti razenia od skleroskopickej pevnosti jednotlivých geologických celkov.

Fig. 6. Relationship between the estimated penetration rate and the scleroscope strength of individual geological units.

Obr. 6 zobrazuje závislosť získaných odhadov rýchlosti razenia od skleroskopickej pevnosti. Trojuholníkmi sú zobrazené hodnoty prislúchajúce geologickým celkom 35-42. Priebeh týchto hodnôt nezodpovedá celkovému trendu hodnôt. Predpokladám, že došlo k nárastu opotrebovania funkčných plôch diskov, ktoré neboli zohľadnené vo vstupoch pre systém IKONA. Použitá metodika opotrebovania diskovej hlavy [5] mala k dispozícii údaje o výmenách diskov len po 34 geologických celkov. Preto sa v ďalšom rozbere neuvažujú geologické celky 35-42.



Obr. 7. Závislosť rýchlosti razenia na odchýlke medzi bridličnatosťou a azimutom tunela

Fig. 7. Relationship between penetration rate and deviation of schistosity system from tunnel azimuth

Na obr. 7 je zobrazený vzťah medzi rýchlosťou razenia a odchýlkou plochy bridličnatosti od osi tunela (bola použitá priemerná hodnota uhla θ). Obrázok dokumentuje lineárny trend zmeny rýchlosti pri znižujúcej sa odchýlke θ . Znamená to, že čím je plocha bridličnatosti uložená paralelnejšie voči azimutu razenia – rýchlosť narastá. Pre vŕtanie je najpriaznivejšia paralelná a najnepriaznivejšia kolmá orientácia systému bridličnatosti. Ak by sme označili rýchlosť razenia pri paralelnej orientácii bridličnatosti hodnotou 100 %, pri platnosti získaného modelu by pri kolmej orientácii bridličnatosti poklesla rýchlosť vŕtania na 85,73%.

Záver

Výsledky rozboru vplyvu systému plôch bridličnatosti na výkon razenia ukazujú, že priaznivé podmienky razenia sú pri plochách paralelne orientovaných voči smeru razenia. V horninovom masíve tak môže pri rastúcom úklone bridličnatosti rýchlosť razenia vplyvom bridličnatosti klesnúť až o 14,27%.

Príspevok vznikol v rámci riešenia projektu:
„Modelovanie výkonu razenia tunelovacieho stroja
metódou fuzzy“ VEGA 2/6196/26.

Literatúra - References

- [1] Aeberli, U., Wanner, W. J.: On the influence of discontinuities at the application of tunneling machines. *Proc. 3rd Int. Congress. IAEG, Madrid 1978, Section III., Vol. 2, pp. 7-14.*
- [2] Bohyník, J.: Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum diaľnice D1 Behárovce-Branisko, časť B – tunel Branisko. *Záverečná správa, 1998, s. 109.*
- [3] Krúpa, V.: Hypotézy, modely, teórie a ich verifikácie pri plnoprofilovom razení. *Doktorská dizertačná práca. UGt Košice, december 1998, s. 251.*
- [4] Krúpa Vítazoslav, Lazarová Edita: Vlastnosti hornín stanovené kontinuálne z procesu strojného razenia. *Acta Montanistica Slovaca, Vol. 9, No. 4 (2004), p. 370-374.*
- [5] Lazarová, E.: Vybrané problémy plnoprofilového razenia. Kandidátska dizertačná práca. Ústav geotechniky SAV, Košice, 1994.