

Metodika spracovania výsledkov monitorovania procesu razenia prieskumnej štôlne Višňové – Dubná skala

Vít'azoslav Krúpa¹

Methodics of computing the results of monitoring the exploratory gallery driving process at Višňové-Dubná skala

At building site of motorway tunnel Višňové-Dubná skala, the priority is given to driving of exploration galley that secures in detail: geologic, engineering geology, hydrogeology and geotechnics research. This research is based on gathering information for a supposed use of the full profile driving machine that would drive the motorway tunnel. From a part of the exploration gallery which is driven by the TBM method, a fulfilling information is gathered about the parameters of the driving process, those are gathered by a computer monitoring system. The system is mounted on a driving machine. This monitoring system is based on the industrial computer PC 104. It records 4 basic values of the driving process: the electromotor performance of the driving machine Voest-Alpine ATB 35HA, the speed of driving advance, the rotation speed of the disintegrating head TBM and the total head pressure. The pressure force is evaluated from the pressure in the hydraulic cylinders of the machine. Out of these values, the strength of rock mass, the angle of inner friction, etc. are mathematically calculated. These values characterize rock mass properties as their changes. To define the effectivity of the driving process, the value of specific energy and the working ability of driving head is used. The article defines the methodics of computing the gathered monitoring information, that is prepared for the driving machine Voest – Alpine ATB 35H at the Institute of Geotechnics SAS. It describes the input forms (protocols) of the developed method created by an EXCEL program and shows selected samples of the graphical elaboration of the first monitoring results obtained from exploratory gallery driving process in the Višňové – Dubná skala motorway tunnel.

Key words: precise exploration by the driving exploratory gallery, full profile driving, electronic geomechanical monitoring.

Úvod

Problematika monitorovania procesu rozpojovania hornín plnoprofilovými raziacími strojmi a komínovacími súpravami je na Ústave Geotechniky SAV v Košiciach podrobne študovaná už dve desaťročia. Prvou aplikáciou monitorovania rozpojovacieho procesu v podmienkach in situ na plnoprofilovom raziacom stroji bolo využitie merača mernej objemovej práce rozpojovania pri razení Novej odvodňovacej štôlne vo Voznici raziacim strojom Wirth TB-II-330H/M. Stavbu zrealizovali BS, n.p., Prievidza. Toto jednoúčelové zariadenie, pracujúce na princípe analógovej deličky 2 signálov, bolo pri tejto aplikácii prepojené s viaclíniovým zapisovačom (Sekula et al., 1978). Totožný princíp monitoringu bol použitý aj pri vŕtaní prieskumného vrtu v Ruskove. Vŕtanie realizoval IGHP, n.p., Žilina. Zdokonalená verzia deličky signálov, merač mernej okamžitej rýchlosti vŕtania bol aplikovaný pri vŕtaní komínovacou súpravou Bessadrill P1 v Slovinkách a pri razení prekopu raziacim RS 24-27H v Rudňanoch (Krúpa, Sekula, Bejda & Krepelka, 1988). Merania boli uskutočnené v rámci spolupráce s BS, n.p., Prievidza a Uranovými dolmi, n.p., Příbram, pri riešení rezortnej úlohy RVT, zabezpečujúcej vstupné údaje pre vývoj raziaceho stroja RS 37-40H (Sekula et al., 1987). 8-bitové počítače typu SAPI-1 boli používané pri monitorovaní razenia strojom Demag TVM 55H v Ostrave (Ulmann et al., 1987) a sústava MVS - Diamo pri razení strojom RS 37-40H v Rudňanoch (Krúpa, Olos & Zahatňanský, 1988). S použitím SAPI-1 sme spracovali a zrealizovali aj optimalizátor vŕtania pre vŕtaciú súpravu SKB-5 v kontajnerovom prevedení, ktorú vyvinuli v GP Spišská Nová Ves (Zahatňanský et al., 1989). Po určitej odmlke, v spolupráci s BESPÁ, a.s., Prievidza a firmou KOPEX, s.r.o., Košice bola zrealizovaná monitorovacia a optimalizačná sústava pre raziaci stroj Wirth TB-II-330H/M, ktorýrazil východnú polovicu štôlne diaľničného tunela Branisko v dĺžke 2340m. Pri tejto aplikácii bol použitý PC-104 (Kopex, 1996). Poslednou aplikáciou je monitorovanie procesu razenia prieskumnej štôlne diaľničného tunela Višňové – Dubná skala, ktoré realizuje Doprastav, a.s., Bratislava, strojom Voest Alpine ATB 35 HA.

Koncepcia monitorovacieho systému

Monitorovací systém je postavený na báze priemyselného počítača PC-104 s prídavným zdrojom. Je zabudovaný do dvoch liatinových skriň s prepojením na snímanie štyroch veličín: výkon elektromotora raziaceho stroja [kW], postupová rýchlosť [mm.s⁻¹], otáčky rozpojovacej hlavy [s⁻¹] a tlak v hydraulike prítlačných valcov hlavy [MPa]. Z týchto veličín je možné určiť rozpojovací výkon hlavy stroja eliminovaním jalového výkonu spotrebovaného na otáčanie hlavy, krútiaci moment [kNm] pri rozpojovaní a celkový prítlak [kN]. Postupová rýchlosť razenia je odvodená zo snímania polohy vysunutia prítlačných valcov. Pre presné meranie polohy bol použitý bezkontaktný snímač firmy Gebhard Balluf GmbH&CO. Vzorkovacia perióda

¹ Ing. Vít'azoslav Krúpa, CSc., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 04353 Košice, e-mail: krupa@saske.sk
(Recenzované v roku 2000)

údajov je 1,98 s. Systém pracuje v prostredí operačného systému DOS. Priebežná archivácia dát je len počas razenia, čím sa šetrí miesto na polovodičovom disku. Prestoje stroja sú identifikované vnútornými hodinami počítačového systému.

Požiadavky odberateľa výsledkov

Po mnohých konzultáciách požaduje Správa slovenských ciest pre konečné spracovanie geologických, inžinierskogeologických a hydrogeologických výsledkov prieskumu nasledovné údaje, v závislosti od staničenia:

- prevádzkový tlak hydraulických valcov p [bar],
- celkový prítlak rozpojovacej hlavy F [MN],
- krútiaci moment M_k [kNm],
- výkon rozpojovania P [kW],
- hĺbka vniku disku do horniny (penetrácia) h [mm],
- tzv. rezný koeficient C [-], definovaný Roxboroughom, resp. Baronom a Glatmanom (Roxborough & Philips, 1975). Rezný koeficient je definovaný podielom tangenciálnej sily disku a normálovej sily disku.

Všetky tieto veličiny sú charakterizované kľzavým aritmetickým priemerom, určeným zo 100 okamžitých hodnôt zistených monitoringom, čo v závislosti od rýchlosti postupu stroja reprezentuje úsek s dĺžkou 20-30 cm.

Prevádzkovateľovi raziaceho stroja sú pre analýzu procesu razenia v zaujímavých úsekoch (z hľadiska efektívnosti použitej technológie razenia) poskytované celkové údaje o razení v spracovaných dátových súboroch.

Modelovanie interakcie diskovej hlavy raziaceho stroja Voest-Alpine ATB 35HA s horninovým masívom

Pre charakterizovanie pevnostných vlastností hornín vyskytujúcich sa v trase razenej prieskumnej štólne, bol vypracovaný model interakcie diskovej hlavy raziaceho stroja s horninovým masívom. Model obsahuje niekoľko matematických rovníc, ktoré zohľadňujú konštrukčné charakteristiky použitých diskových dlát, konštrukčné charakteristiky diskovej hlavy raziaceho stroja Voest Alpine ATB 35MA a parametre popisujúce mechanizmus rozpojovania horniny. Aktívnou filtráciou vstupných údajov sa určuje oblasť aplikovaných režimov razenia, ktoré sú zahrnuté do modelu interakcie diskovej hlavy s horninovým masívom. Cieľom tejto filtrácie je odstránenie vplyvov použitých parametrov režimu razenia tak, aby dominantne vplývali na výsledné hodnoty vlastností hornín.

Pre modelovú pevnosť v prostom tlaku, určenú z monitorovania procesu razenia a uhol vnútorného trenia sme odvodili pre podmienky razenia strojom Voest – Alpine ATB 35HA vzťahy:

$$\sigma_{dH} = K_k \frac{F_N}{2a\sqrt{dh} - S_d}, \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

$$\varphi_M = 90 - \arcsin\left(\frac{2F_t}{F_Q} \frac{360}{2\pi}\right), \quad [^\circ] \quad (2)$$

kde K_k je Kylbergov koeficient súčinnosti diskov ($K_k = 1,306$), F_N je normálová sila disku, F_t je tangenciálna sila disku, F_Q je radiálna sila disku, a je šírka kontaktnej plochy disku do horniny (penetrácia), S_d je tvarová konštanta ostria disku. Pre určitý typ disku sú a , d a S_d konštanty. Z týchto veličín je možné určiť hodnoty ďalších pevnostných charakteristík hornín, pozri tab.1.

Hodnotenie efektívnosti razenia

Z monitorovaných údajov sú pre tento účel vypočítavané dve veličiny, tzv. merná objemová práca rozpojovania w (špecifická energia) a pracovná schopnosť diskovej hlavy raziaceho stroja φ ($\varphi = v/w$, kde v je rýchlosť postupu stroja). Obidve veličiny sú závislé na spôsobe rozpojovania horniny (individuálne alebo simultánne pôsobenie diskov), ktorý ovplyvňuje aplikovaný režim razenia. Optimálne podmienky rozpojovania určuje minimum mernej objemovej práce rozpojovania, veličina φ predikuje oblasť režimov, pri ktorých je disková hlava schopná optimálne rozpojovať horninu a zároveň citlivo reaguje na zmenu opotrebovania rozpojovacích elementov.

Metodika spracovania monitorovaných údajov

Monitorované údaje sú spracovávané viacstupňovo. V prvej fáze je realizovaná aktívna filtrácia vstupných údajov, v druhej fáze, vypočítavané priemerné hodnoty všetkých veličín pre stanovený úsek razenia (cca.25 cm).

V tretej fáze sú vypočítavané všetky charakteristiky, používané pre zhodnotenie procesu razenia. V tab.1 sú spracované veličiny zoradené do protokolov o razení.

Tab.1. Súbor veličín zahrnutých do protokolov o razení prieskumnej štólne Višňové-Dubná skala.
Tab.1. Set of values included in the protocols of Višňové – Dubná skala exploratory gallery driving.

L [m]	L _{abs} [m]	F [MN]	F _{max} [MN]	v [mm.s ⁻¹]	h [mm]	P [kW]	M _k [kNm]	w [MJ.m ⁻³]	w _{min}	čas [s]	Poč.ot.
1469,92	7010,71	3,598	5,238	1,537	7,377	424,258	324,274	7,174	1,687	198,00	41,25
1470,23	7010,40	3,902	4,448	1,232	5,913	415,421	317,520	8,764	3,440	201,96	42,07
1470,48	7010,15	4,504	4,864	1,396	6,699	401,284	306,714	7,472	3,711	201,96	42,07

L [m]	L _{abs} [m]	A [MJ]	φ	F _N [kN]	F _t [kN]	F _Q [kN]	F _{rozp} [kN]	C [-]	ID [km]	Dátum	h:m:s
1469,92	7010,71	84,003	214	138,386	12,096	50,040	147,652	0,087	6,945	4.1.2000	3:56:54,77
1470,23	7010,40	83,898	141	150,090	11,844	54,272	160,040	0,079	7,084	4.1.2000	4:0:38,29
1470,48	7010,15	81,043	187	173,248	11,441	62,646	184,581	0,066	7,084	4.1.2000	4:4:0,25

L [m]	p _N [MPa]	σ _{IIH} [MPa]	F _Q [kN]	τ _{sk} [MPa]	φ _M [o]	tah [MPa]	τ _{ps} [MPa]	EMA [MPa]	EPS [-]	CHI [mm]
1469,92	63,325	82,702	82,461	12,131	72,932	1,905	6,205	476,722	0,173	42,53
1470,23	77,017	100,585	89,435	13,320	74,634	1,865	6,785	577,185	0,174	33,93
1470,48	83,331	108,830	103,234	12,061	77,188	1,389	6,109	792,542	0,137	48,79

L [m]	A _N [J]	A _{ot} [MJ]	NAA [-]	IAA [mm]	p* [mm]	I* [mm]	UV [%]	VD [cm ³]	V _c [cm ³]	VH [cm ³]	UVO [%]	PER [%]
1469,92	510,46	2,036	798	211,0	13,787	154,351	73,15	47,740	38091	70942	53,69	63,42
1470,23	443,71	1,994	899	187,3	10,957	137,600	73,46	33,823	30400	56857	53,47	63,46
1470,48	580,30	1,926	664	253,6	15,791	165,186	65,13	58,516	38846	64420	60,30	62,72

L [m]	PROT Tried	c _t [-]	Huzev	Tlak [bar]	PROT triedenie	TERZAGHI triedenie
1469,92	11	0,0786	43,408	148,97	pevné	pevná hornina
1470,23	12	0,06312	53,946	161,57	pevné	pevná hornina
1470,48	12	0,05626	78,328	186,50	pevné	pevná hornina

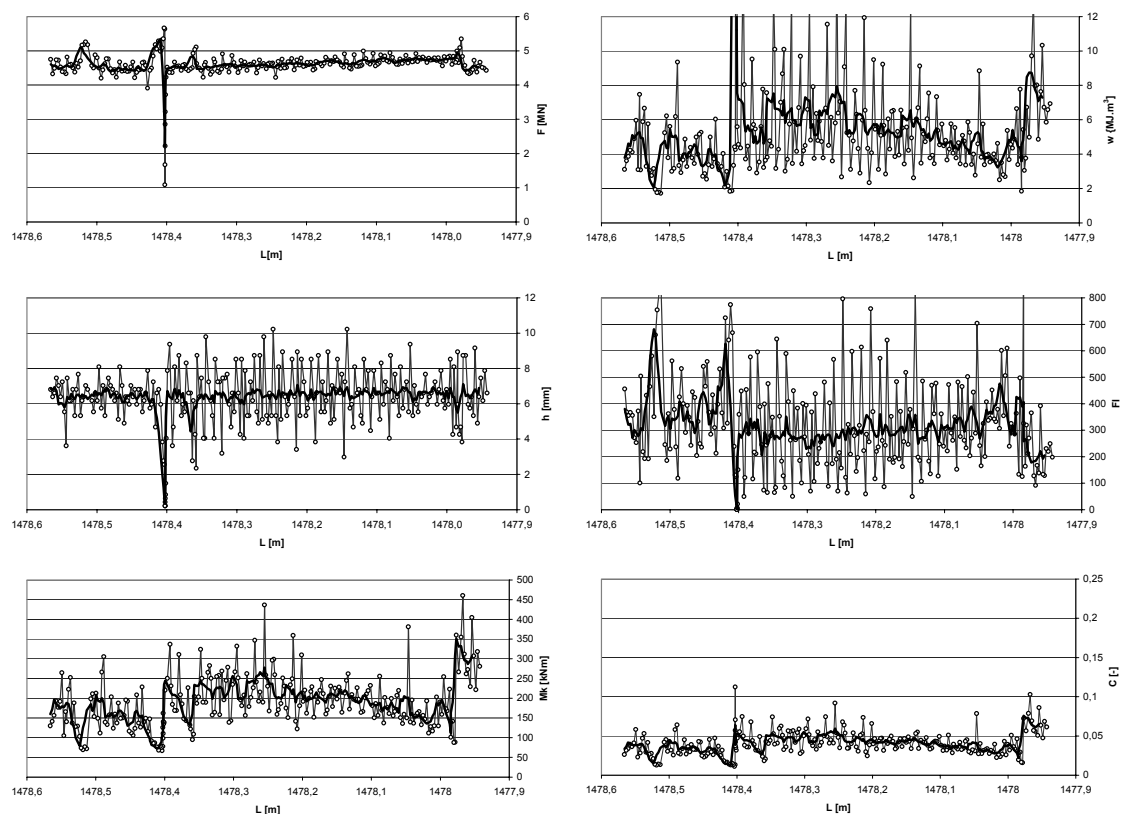
p _N	normálový kontaktný tlak pod diskom
σ _{IIH}	modelová pevnosť v prostom tlaku
τ _{sk}	modelová šmyková pevnosť horniny
φ _M	uhol vnútorného trenia horniny
tah	modelová ťahová pevnosť horniny
τ _{ps}	modelová strihová pevnosť horniny
EMA	deformačný modul masívu
EPS	modelová hodnota pretvorenia
CHI	teoretická hĺbka predrozpojenia masívu pod diskom
A _N	elementárna práca disku pri jednom otočení
A _{ot}	práca rozpojovania za 1 otáčku diskovej hlavy
NAA	počet objemových rozpojení za 1 otáčku hlavy
IAA	teoretická vzdialenosť aktívnych vyštiepnutí horniny
p*	teoretická priemerná hrúbka horninových úlomkov

I*	teoretická dĺžka úlomkov horniny
UV	dĺžková účinnosť vyštepovania
VD	priemerný objem úlomkov horniny
V _c	objem objemových vyštiepnutí za 1 otáčku hl.
VH	rozpojený objem horniny za 1 otáčku hlavy
UVO	objemová účinnosť vyštepovania
PER	priemerná účinnosť rozpojovania
PROT	klasifikačné triedenie hornín podľa Protodjak.
c _t	Terzaghiho súčinnosť zatažiteľnosti hornín
Huzev	húževnatosť horniny
Tlak	tlak hydraulického kvapaliny stroja
PROT	zatriedenie podľa Protodjakonova
TERZAG	zatriedenie podľa Terzaghiho

L	vzdialenosť od východného portálu
L _{abs}	absolútne staničenie
F	prítlak diskovej hlavy raziaceho stroja
F _{max}	maximálny prítlak diskovej hlavy raziaceho stroja
v	rýchlosť postupu
h	penetrácia disku do horniny
P	rozpojovací výkon
M _k	krútiaci moment
w	merná objemová práca rozpojovania
w _{min}	minimálna merná objemová práca rozpojovania
čas	čistý čas razenia

Poč.ot.	počet otáčok hlavy
A	energia spotrebovaná na rozpojovanie horniny
φ	pracovná schopnosť diskovej hlavy
F _N	normálová sila disku
F _t	tangenciálna sila disku
F _Q	radiálna sila disku
F _{rozp}	rozpojovacia sila disku
C [-]	rezný koeficient
ID	sumárna dráha diskov
Dátum	deň razenia
h:m:s	hodina:minúta:sekunda (začiatku razenia)

Hustotu získaných údajov ilustruje obr.1, na ktorom sú znázornené výsledky niektorých sledovaných veličín v závislosti od postupu raziaceho stroja, približne pre 0,7 m prieskumnej štólne.



Obr.1. Grafické výstupy monitoringu základných vstupných a výstupných veličín procesu razenia.
Fig.1. Graphical monitoring output of basic input and output values of driving process depending on position.

Literatúra

- BARON, L.I., GLATMAN, L.B. & ZAGORSKIJ, S.Z. 1969. *Rock disintegration by tunnelling machines* (v ruštine). Moskva, Nauka, 1969, 150 p.
- KOPEX, s.r.o., Košice 1996. *Správa o vývoji a realizácii prototypu monitorovacej sústavy procesu razenia pre plnoprofilové raziace stroje*. Košice, 1996.
- KRÚPA, V., OLOS, A. & ZAHATŇANSKÝ, I. 1988. Mikropočítačová sieť DIAMO-L a MVS II. pre zber a spracovanie údajov z rozpojovacieho procesu u raziaceho stroja RS 37-40. [Projektová časť etapovej správy úlohy II-6-1/03.03]. BaÚ SAV Košice, 1988, 102s.
- KRÚPA, V., SEKULA, F., BEJDA, J. & KREPELKA, F. 1988. *Zariadenie na indikáciu mernej okamžitej rýchlosti vrtania*. PAT. ČSFR 246313, 1988.
- ROXBOROUGH, F.F. & PHILIPS, H.R. 1975. *Int. J. Rock Mechanick. Min. Sci. and Geomech.*, Abstr. 12, 1975, p. 361.
- SEKULA, F., BEJDA, J., KOČI, M., KRAJECOVÁ, O., KREPELKA, F., KRÚPA, V., MAČÁK, J. & OLOS, A. 1987. *Etapová správa čiastkovej úlohy II-6-1/03 "Metódy a mechanizmus rozpojovania hornín"*, nadväzujúca rezortná úloha RU R-10-125-029 Uranových dolů, Závody důlní mechanizace, Příbram, [Výskumná správa]. BaÚ SAV Košice, 1987, 134 s.
- SEKULA, F., MERVA, M. & HUNSDORFER, I. 1978. *Zapojenie indikátora objemového rozpojovania hornín pri vrtaní*. AO č. 185857, Patentový úrad, Praha, 1978.
- ULMANN, Z., DLUHOŠ, J., CECHEL, T., SEKULA, F., KRÚPA, V., KREPELKA, F., BEJDA, J., KRAJECOVÁ, O., KOČI, M. & OLOS, A. 1987. *Automatizovaný systém řízení a diagnostika na bázi mikropočítače pro řízení technologických procesů ražení PPRS. c.u.K 0 000 410. [Výskumná správa]*. Ostrava, listopad 1987, 90 s.
- ZAHATŇANSKÝ, I., OLOS, A., KRÚPA, V., BACHLEDA, D., GALA, M., BRATKO, P. & PAULINA, E. 1989. *Návrh modernizácie elektrovýzbroje vrtacej súpravy. [Úloha RVT T-127 GP Spišská Nová Ves "Automatizácia sústavy riadenia vrtného procesu"]*. BaÚ SAV Košice, 1989, 28 s.