

Skúsenosti z plnoprofilového razenia prieskumných štôlní pre tunelové rúry

Edita Lazarová a Vít'azoslav Krúpa¹

Our experience with the full-profile excavation of exploratory for tunnel pipes

The economic development of Slovakia places an emphasis on increasing the quality of transport infrastructure, which requires its modernization residing in building the transport network of international level and improving its efficiency and travel speed. The development of transport in Slovakia has been passing major changes related to the economic and political processes in the country. Regarding the geographical character of the land, the tunnel excavation is an inseparable feature of the road communications modernization. Approximately thirty kilometres of highway tunnels are planned for construction in Slovakia until 2020 and road tunnels should be constructed as well. The first modern highway tunnel Branisko, the longest one (4975 m) in Slovakia was put into operation in 2003 with a preceding excavation of the Branisko exploratory gallery in the course of designed tunnel pipe. The tunnelling works on the exploratory gallery of Višňové tunnel started in January 1999 and finished in the late summer of 2002 due to unfavorable geological conditions. The excavation of a final profile of the Višňové tunnel is planned for 2007. The Horelica tunnel (605 m) near Čadca was finished and put into operation in 2004. The tunnels Lučivná (250 m), Bôrik (999 m) and Sitina (1440 m) are in construction at present.

Key words: computer monitoring system, TBM, full profile tunnelling, rock mass properties

Úvod

Tunel je podzemná líniová dopravná stavba, ktorá sa nachádza z podstatnej časti pod povrchom terénu, pričom jeho dĺžka výrazne prevyšuje priečne rozmery. Zvyčajne slúži pre cestnú alebo koľajovú dopravu. Je to technicky aj ekonomicky náročná stavba, a preto je potrebné zabezpečiť plynulý a rýchly priebeh postupu prác s maximálnym využitím výkonnosti mechanizmov a efektívnym využitím pracovného času. Pri výstavbe tunelov sa uplatňujú jednak klasické cyklické metódy razenia s použitím trhavín a vhodných mechanizmov, alebo kontinuálne razenie s použitím plnoprofilových raziacich strojov (PPRS). Pri razení dvoch prieskumných štôlní pre tunelové rúry diaľničných tunelov Branisko a Višňové mali možnosť spolupracovať aj pracovníci ÚG SAV v Košiciach. Prieskumná štôlnia tunela Branisko sa od západného portálu razila cyklicky s použitím vrtnej techniky a od východného portálu (2294 m) sa razila plnoprofilovým raziacim strojom WIRTH TB-II-330H/M s priemerom hlavy 3,3 m. Stavbu realizovali Banské stavby, a.s. Prievidza. Prieskumná štôlnia Višňové bola razená od západného portálu cyklicky a od východného portálu bol nasadený raziaci stroj VOEST Alpine ATB 35 HA s priemerom hlavy 3,5 m. Ním bol vyrazený úsek dlhý 4362 m. Realizátorom stavby bol Doprastav, a.s., Bratislava.

Aplikovaná metodika razenia pri výstavbe prieskumných štôlní

Voľbu metódy razenia tunela je potrebné vždy starostlivo zvážiť. Nasadenie PPRS pri razení tunelov má v porovnaní s klasickými spôsobmi razenia tieto výhody:

- vyššia bezpečnosť prác, odpadá práca s trhavinami,
- horninové prostredie sa v blízkosti výrubu narušuje minimálne, čo v porovnaní s trhavinovým razením zlepšuje stabilitu výrubu,
- vytváraný výrub má presný obrys, vzniká minimum nadvýlomov,
- plne mechanizovaný pracovný postup umožňuje dosiahnuť vysoké postupové rýchlosti v priaznivých geologických podmienkach,
- vytvárané sú približne rovnaké veľkosti rúbaniny, s čím súvisí bezproblémová kontinuálna doprava pásovými dopravníkmi,
- mechanické razenie umožňuje kontinuálny priebeh prác, ktoré je možné diaľkovo ovládať, monitorovať, optimalizovať a automatizovať.

Monitoringom a optimalizáciou procesu strojného razenia sme sa zaoberali pri razení spomínaných štôlní. Na oboch raziacich strojoch bol inštalovaný monitorovací počítačový systém zostrojený podľa know-how Ústavu geotechniky, ktorý snímal s frekvenciou 2,03 s na WIRTH-e a 1,98 s na VOEST Alpine

¹ Ing. Edita Lazarová, PhD., hosť prof. Ing. Vít'azoslav Krúpa, DrSc., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice, lazarova@saske.sk, krupa@saske.sk

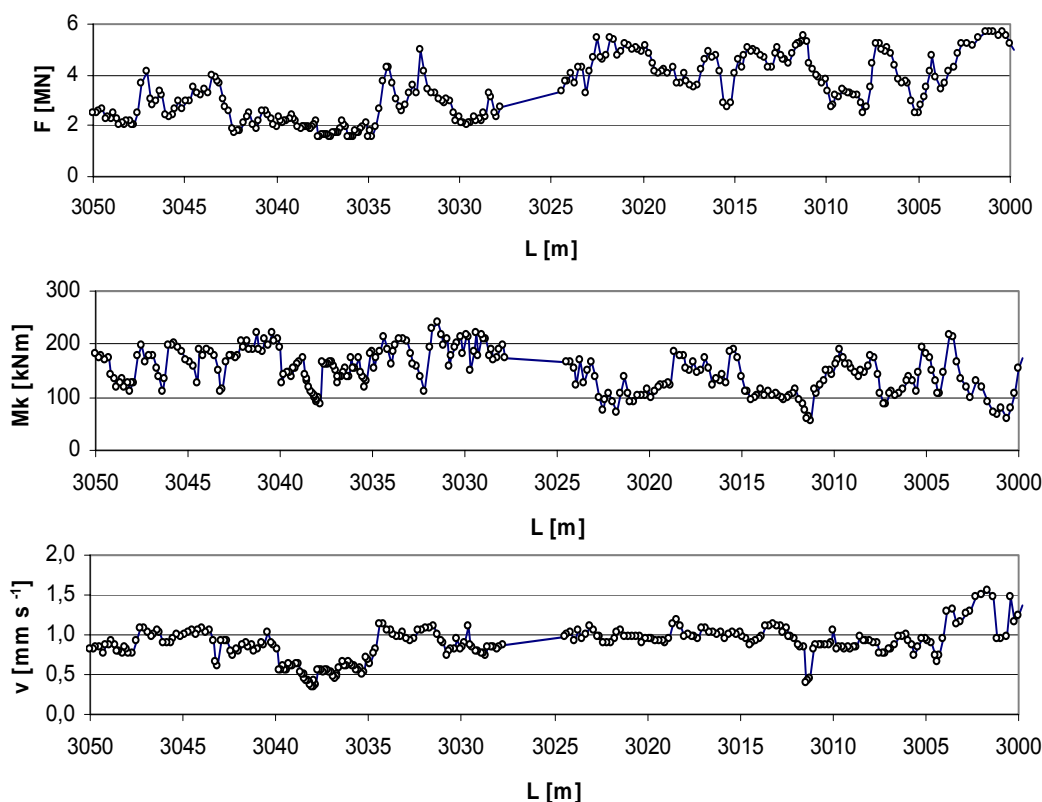
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 13. 12. 2006)

základné veličiny procesu razenia: prítlak rozpojovacej hlavy raziaceho stroja F [kN], krútiaci moment M_k [kNm], otáčky rozpojovacej hlavy n [min^{-1}], polohu vysunutia rozpojovacej hlavy [mm] a z týchto parametrov vypočítal v reálnom čase okamžitú rýchlosť razenia v [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$], mernú objemovú prácu rozpojovania w [$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$] a doporučený prítlak F_{dop} [kN]. Monitorované údaje boli spracovávané viacstupňovo: v prvej fáze bola vykonaná aktívna filtrácia vstupných údajov. Údaje boli vyčistené od hodnoty získanej pri chode rozpojovacej hlavy naprázdno, pri dorovnávaní smerovosti, alebo pri cúvaní raziaceho stroja. V druhej fáze boli vypočítavané priemerné hodnoty všetkých veličín pre stanovený úsek razenia. Pre každú hodnotu bol určený priemer približne z cca 25 cm razeného úseku. V tretej fáze boli vypočítané všetky charakteristiky, používané pre zhodnotenie procesu razenia.

Na základe výsledkov, získaných z monitorovania procesu strojného razenia na spomínaných raziacich strojoch, je možné konštatovať, že monitoring zabezpečuje v porovnaní s klasickými metódami inžinierskogeologického prieskumu väčší objem informácií, umožňuje podrobne mapovať zmeny vlastností hornín na postupujúcej čelbe, zabezpečuje obrovské množstvo údajov, využiteľných pre:

- podrobné štúdium procesu razenia,
- identifikovanie vplyvov zmien stavu diskov na rozpojovacej hlave,
- zisťovanie optimálnych režimov razenia z hľadiska nákladovosti razenia,
- predikciu zmien vlastností hornín na postupujúcej čelbe.

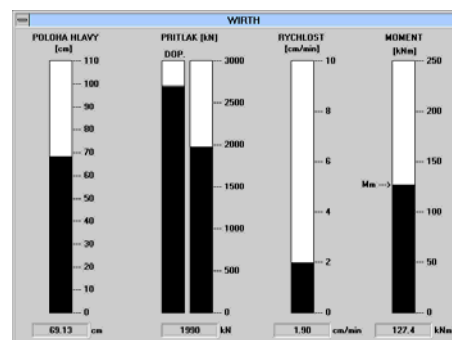
Na obr.1 sú znázornené závislosti monitorovaných veličín na staničení v razenom úseku 3000-3050 m



Obr. 1. Monitorované veličiny procesu razenia prieskumnej štólne Višňové-Dubná skala v závislosti od staničenia.
Fig. 1. Monitored variables of the excavation process in the Višňové-Dubná Skala exploratory gallery depending on stationing.

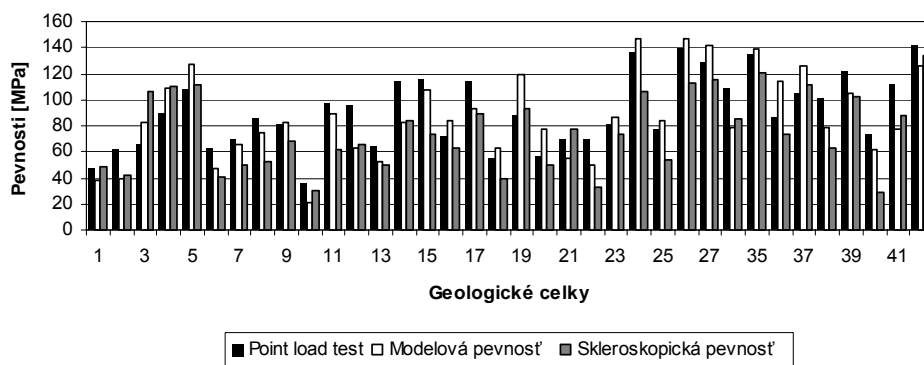
Na raziacom stroji Wirth na Branisku bola okrem monitorovacej sústavy nainštalovaná aj optimalizačná sústava. Jej štruktúra vychádzala z poznatkov získaných pri podrobnom štúdiu procesu razenia: že ak stroj pracuje v režime, ktorý zodpovedá minimu mernej objemovej práce rozpojovania, razenie prebieha pri minimálnych nákladoch. Odporúčaná hodnota prítlaku F_{dop} korešpondovala s optimálnym režimom. Odporúčaná vypočítaná hodnota prítlaku F_{dop} sa zobrazovala na displeji počítača v kabíne strojníka, spolu s ďalšími snímanými hodnotami, obr. 2 a jeho akceptácia strojníkom garantovala razenie pri minime mernej objemovej práce rozpojovania. Výkon plnoprofilového raziaceho stroja ovplyvňujú vlastnosti horniny a horninového masívu, prevádzkové parametre stroja a aplikovaný režim razenia. Vlastnosti horniny

a horninového masívu sa stanovovali klasickými metódami inžiniersko-geologického prieskumu. Určovala sa bodová pevnosť horniny - σ_{CI} point load testom (87 hodnôt) a skleroskopická pevnosť - σ_C , z odrazových skúšok Schmidtovým kladivkom (695 hodnôt).



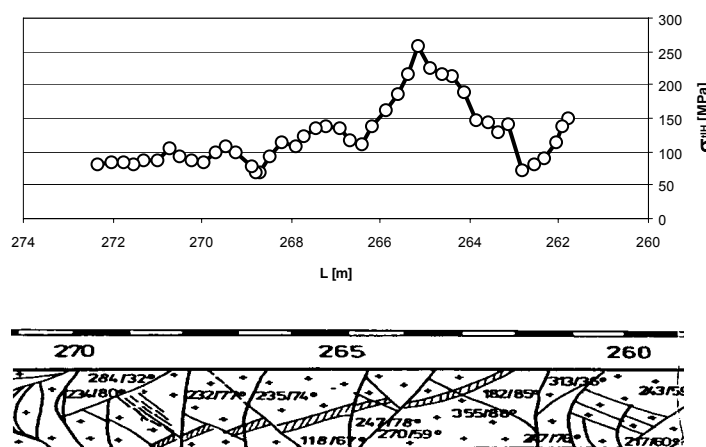
Obr. 2. Vizualizácia F_{dop} na displeji v kabíne strojníka.
Fig. 2. Visualization of F_{dop} on the display in TBM operator's booth.

Geomechanickým monitoringom a použitím metódy IKONA - Inverzná kontinuálna metóda stanovenia vlastností horninového masívu, (Krúpa,1998) bola matematickými postupmi z monitorovaných hodnôt určená modelová pevnosť horniny v tlaku σ_{III} . Touto metódou bolo získaných 5041 hodnôt priemernej modelovej pevnosti hornín pre úseky s dĺžkou 25 cm. Na obr. 3 je znázornená závislosť jednotlivých pevností nameraných odlišnými spôsobmi. Vidno, že trendy nárastu a poklesu hodnôt jednotlivých pevnostných charakteristík hornín sú zhodné. Je možné konštatovať, že pevnosť v tlaku získaná z modelu zodpovedá adekvátnym hodnotám meraných pevností.



Obr. 3. Závislosť jednotlivých pevností od geologických celkov.
Fig. 3. Dependence of individual strength parameters on geological sections.

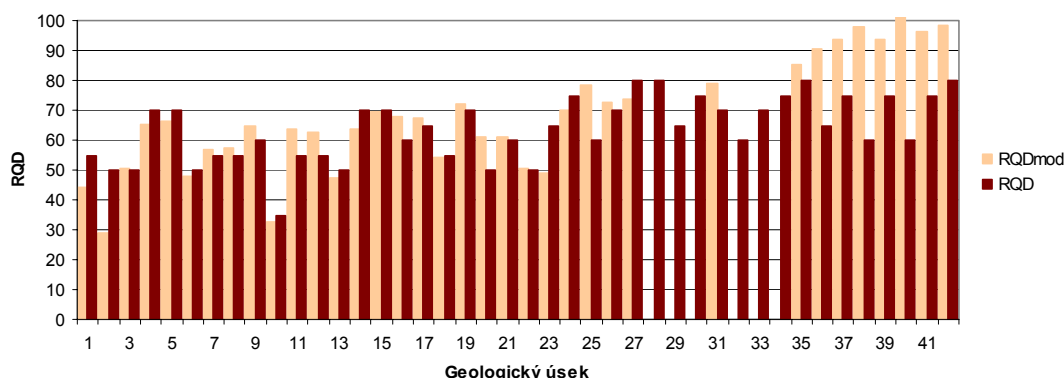
Na obr. 4 je znázornená citlivosť systému reagujúceho zmenou hodnôt pevnosti pri prechode úsekom s kremennou žilou



Obr. 4. Prechod raziaceho stroja kremennou žilou v prieskumnej štôlni Branisko.
Fig. 4. TBM passing the quartz dike in the Branisko exploratory gallery.

Vlastnosti horninového masívu charakterizoval koeficient RQD stanovený podrobným inžiniersko-geologickým prieskumom. Pomocou matematických modelov metódy IKONA bol vypočítaný z monitorovaných údajov procesu razenia koeficient RQD_{teor} . Výsledky opäť potvrdzujú dobrú zhodu výsledkov získaných dvomi rozdielnymi metódami, obr. 5. Medzi hodnotami koeficienta RQD a jeho teoretickým ekvivalentom RQD_{teor} neboli zaznamenané výrazné rozdiely až po geologický celok GC36. Od tohto úseku boli hodnoty RQD_{teor} stále vyššie ako RQD. Je to spôsobené pravdepodobne zmenou rozpojovacích podmienok, ktoré model nedostačne popísal.

Na základe týchto záverov je možné konštatovať, že geomechanický monitoring spresňuje poznatky podrobného geologického, inžiniersko-geologického, hydrogeologického a geotechnického klasického prieskumu. Hustota týchto informácií je rádovo vyššia a môže zachytiť lokálne zmeny vlastností horninového masívu. Využitím tejto metódy počas razenia by bolo možné predikovať nebezpečné poruchové zóny, a tým chrániť strojné zariadenie, prípadne spresňovať technické požiadavky na jeho vystrojenie.



Obr. 5. Porovnanie priemerných hodnôt RQD a RQD_{teor} pre geologické celky masívu.

Fig. 5. Comparison of average values of RQD and RQD_{teor} for geological sections of the Branisko rock mass.

Na rýchlosť postupu raziaceho stroja majú vplyv konštrukčné a prevádzkové parametre stroja, konštrukcia diskových dlát, ich rozmiestnenie na hlave, rozstup dlát, ich tvar a materiálové zloženie a v neposlednom rade aplikovaný režim razenia. Zväčšovaním počtu otáčok na rozpojovacej hlave a zvyšovaním prítlaku na hlavu raziaceho stroja je možné proces vŕtania urýchliť.

Záver

Rozpojovanie hornín plnoprofilovými raziacimi strojmi je veľmi zložitý proces. Nevýhody ich nasadenia pre razenie podzemných diel spočívajú:

- v ich vysokých nadobúdacích nákladoch (15-20 mil. eur),
- v potrebe rozsiahlych prípravných prác (podrobný prieskum, príjazdne komunikácie, štartovacie komory, prívod el. vedenia),
- vo finančnom efekte len pri ich nasadení na razenie tunelov dlhších ako 2000 m, so zabezpečením plynulého prechodu aj na ďalšie tunely (viac ako 10 km),
- vysoké riziko strát v prípade neúspechu,
- s obmedzením razenia výrubu s kruhovým prierezom, pričom veľkosť prierezu je možné meniť len obmedzene,
- v ťažko prispôsobiteľnej zostave TBM ku zmenám geologických podmienok v trase razenia.

Nárast nákladov na razenie v dôsledku nepredvídaných geologických porúch má za následok neefektívne využitie PPRS a tým predrazenie budovaného podzemného diela. Cieľom výskumných úloh je zaistiť efektívne využitie PPRS v rôznych geologických podmienkach, nakoľko zlé geologické podmienky spôsobujú rapidne zníženie postupovej rýchlosti a prestoje v dôsledku nekontrolovateľného nadvýlomu, s dostatočným časovým predstihom predikovať stabilitné problémy razeného diela a výskytu poruchových zón v horninovom masíve môže efektívne využitie PPRS podporiť.

Riešenie závisí od komplikovaného vzájomného spolupôsobenia technických, prevádzkových a geologických faktorov. V súčasnosti neexistujú priame metódy hodnotenia stavu horninového masívu na čelbe. Možnosti riešenia spočívajú v podrobnom geologickom prieskume, v aplikovaní nepriamych metód hodnotenia stavu horninového masívu na čelbe (IKONA) a v zavádzaní metód umelej inteligencie do riešenia tejto problematiky.

Poznámka: Príspevok vznikol pri riešení grantovej úlohy č. 2/6196/26.

Literatúra - References

Krúpa, V.: Hypotézy, modely, teórie a ich verifikácie pri plnoprofilovom razení. [Doktorská dizertačná práca], Košice *ÚGt SAV*, 1998, 251 s.