

Výsledky a skúsenosti z geotechnického a hydrogeologického monitoringu tunela Diel

Ladislav Stolárik¹, Marian Kuvik², Miroslav Krupec³, Tomáš Kačur⁴

Abstrakt

Železničný tunel Diel je súčasťou modernizácie koridoru železničnej trate a nachádza sa v traťovom úseku Púchov – Považská Bystrica. Celková plánovaná dĺžka tunela je 1081,7 m. Tunel svojím umiestnením zasahuje do vnútorného kúpeľného pásma a do II. ochranného pásma prírodných liečivých zdrojov kúpeľov Nimnica. Portálové časti tunela sú situované do zosuvných svahov kóty Diel a samotný tunel je razený v horninách nimnického a uhrovského súvrstvia. Podmienkou realizácie stavby v ochranných pásmach kúpeľov bolo vybudovanie a prevádzka rozsiahleho geotechnického a najmä hydrogeologicko-balneologického monitoringu. Príspevok sumarizuje výsledky geotechnického a hydrogeologického monitoringu počas obdobia budovania portálového zárezu a počas razenia úvodných úsekov tunela, pričom poskytuje obraz o zapracovávaní výsledkov monitoringu počas stavebných prác s cieľom čo najbezpečnejšie realizovať výstavbu portálu a aj samotného tunela Diel.

Kľúčové slová

tunel, geotechnický monitoring, Diel

ABSTRACT

The railway tunnel Diel is a part of the railway corridor modernization and is located in the Púchov - Považská Bystrica railway section. The total planned tunnel length is 1081.7 m. The tunnel, by its location, extends into the inner bathing zone and into the II. protection zone of the natural medicinal resources of the Nimnica Spa. Portal parts of the tunnel are situated in the landslide-prone slopes of the Diel hill and the tunnel itself is driven in the rocks of the Nimnica and Uhrovec strata formation. The condition to enable the construction works in the protection zones of the Spa was the construction and operation of extensive geotechnical and especially hydrogeological-balneological monitoring. The paper summarizes the results of geotechnical and hydrogeological monitoring during the construction of the portal slit and during the excavation of the opening sections of the tunnel, providing an image of incorporating the results of the monitoring during the construction works in order to secure the construction of the portal and the tunnel itself.

Key words

tunnel, geotechnical monitoring, the Diel hill

¹Ing. Ladislav Stolárik, CAD-ECO a.s., Svätoplukova 28, 821 08 Bratislava, stolarikl@cadeco.sk

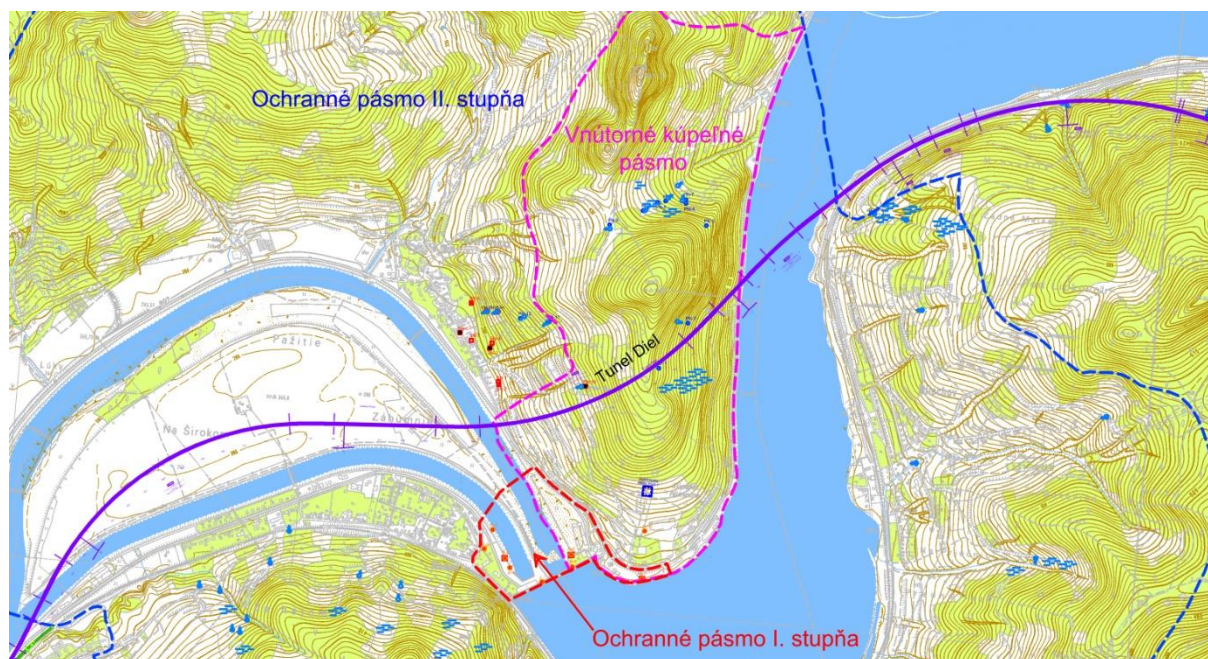
²RNDr Marian Kuvik, CAD-ECO a.s., Svätoplukova 28, 821 08 Bratislava, kuvikm@cadeco.sk

³Ing. Miroslav Krupec, Geo-Kod, s.r.o., Žitná 7212/21, 831 06 Rača, miroslav.krupec@geokod.sk

⁴Ing. Tomáš Kačur, Geoexperts, spol. s.r.o., Smaragdová 3, 010 09 Žilina, kacur.geoexperts@gmail.com

1 Úvod

Modernizovaný úsek koridoru železničnej trate medzi žst. Púchov a žst. Považská Teplá je situovaný do údolnej nivy rieky Váh, kde v úvode úseku mostným objektom trasa prekonáva Nosický kanál, ďalej pokračuje vysokým násypom pozdĺž celého Nosického ostrova a opäť mostným objektom križuje staré koryto Váhu nachádzajúce sa na konci obce Nimnica. Ako prekážkou k plynulému pokračovaniu modernizácie železničnej trate sa stavajú úpätia vrcholu Diel (528,00 m n. m.), ktoré sú prekonávané rovnomenným tunelom s celkovou dĺžkou 1081,7 m. Trasa tunela je v smere staničenia rozdelená na hĺbenú časť západného portálu dĺžky 17 m, razenú časť 1051,2 m a hĺbenú časť východného portálu dĺžky 13,5 m. Celá trasa tunela Diel je situovaná vo vnútornom kúpeľňovom pásme a v ochrannom pásme II. stupňa prírodných liečivých zdrojov nimnických vôd. Táto pozícia tunela si vyžiadala vybudovanie rozsiahleho monitorovacieho systému zameraného na sledovanie hladiny a tlaku podzemnej vody v masíve Diel a spoluprácu zhotoviteľa hydrogeologického monitoringu s kúpeľmi Nimnica. Situácia modernizovanej železničnej trate voči ochranným pásma je znázornená na obrázku 1.



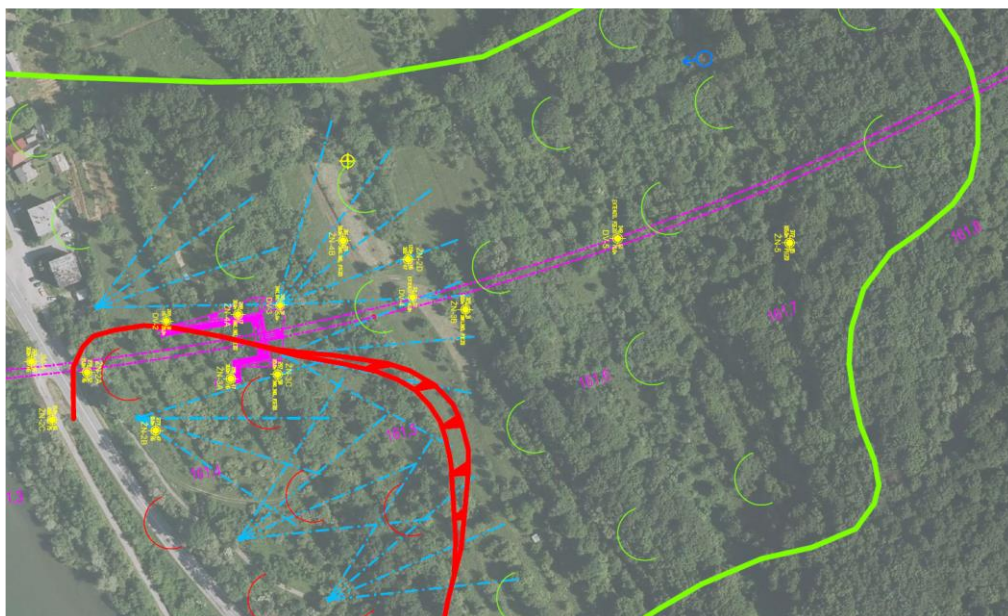
Obr. 1 Ochranné pásma prírodných liečivých zdrojov voči modernizovanej trase železnice.

2 Západný portál

Západný portál tunela Diel je situovaný na konci obce Nimnica (smer Považská Bystrica) a do masívu úpätia vrcholu Diel je zahĺbený v oblasti rozsiahleho plošného zosuvu rozprestierajúcom sa na severozápadnom svahu. Portálový svah je tvorený prevažne suťovými zeminami charakteru sute kamenito-ílovitej až ílovito-kamenitej hrúbky 10 až 12 m. Podložné horniny sú zastúpené mezozoickými ílovcami, siltovcami a pieskovecami rôzneho stupňa zvetrania a pevnosti, pričom s narastajúcou hĺbkou stupeň zvetrania klesá (W4 až po W2) a pevnosť narastá (R6 až po R3). Z toho dôvodu bol, pre zabezpečenie stability portálového svahu a blízkeho okolia, navrhnutý a realizovaný rad sanačných opatrení s cieľom zníženia hladiny podzemnej vody a vybudovania masívnej pilótovej kotvenej konštrukcie, vzdorujúcej zemným tlakom počas procesu výstavby a aj samotnej prevádzky železničného tunela.

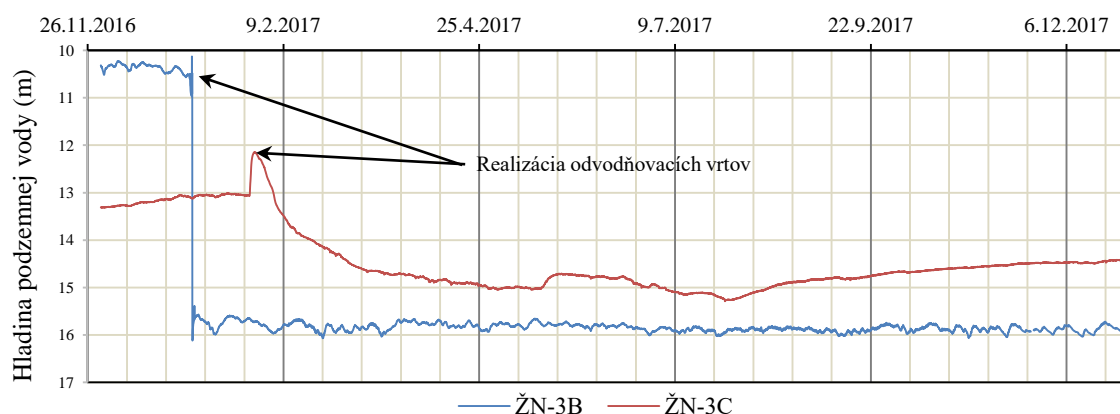
S cieľom zníženia hladiny podzemnej vody v oblasti zosuvných portálových svahov bol realizovaný rad subhorizontálnych odvodňovacích vrtov s dĺžkovým dosahom 100 m v celkovej počte 25 kusov. Vrty boli umiestnené do šiestich skupín tzv. „odvodňovacích

hniezd“, ktoré zabezpečili trvalé zníženie hladiny podzemnej vody v oblasti mapovaných zosuvných svahov. Pozícia západného portálu voči dokumentovaným zosuvom s miestami monitorovacích hydrogeologických a inklinometrických vrtov je vyznačená na obrázku 2.



Obr. 2 Situácia západného portálu tunela Diel s vyznačenými zosuvmi (zelená, červená), monitorovacími vrtmi (žltá) a subhorizontálnymi odvodňovacími vrtmi (modrá)

Účinnosť sanačného opatrenia bola okamžite zaznamenaná v hydrogeologických monitorovacích vrtoch, ako pokles hladiny podzemnej vody od 1,5 až po 5 metrov, čím sa dostala trvale pod hranicu šmykovej zóny. Hladina podzemnej vody v okolí západného portálu bola monitorovaná hydrogeologickými vrtmi s uzavretým a otvoreným systémom hladín, ktorých bolo pred zahájením výstavby 11 ks, avšak 4 ks boli zlikvidované z dôvodu kolízie s príslušnými stavebnými objektami. Obrázok 3 dokumentuje vývoj hladiny podzemnej vody vo vybraných hydrogeologických vrtoch.



Obr. 3 Vývoj hladiny podzemnej vody vo vybraných hydrogeologických vrtoch

Ďalším opatrením pre zabezpečenie zosuvných portálových svahov hĺbenej stavebnej jamy bola realizácia veľkopriemerových pilót hĺbky od 20,5 m do 8,5 m, s päťami pilót ukončenými pod predpokladanou šmykovou zónou. Projektovaný predpoklad bol potvrdený počas pravidelnej geologickej dokumentácie v čase ich realizácie. Všetky päť pilót prešli

uvažovanú šmykovú plochu a končili v silno až slabo zvetraných podložných horninách ílovcov a pieskovecov. Priestorové rozmiestnenie pilót vytvorilo tri samostatné pažiacie steny, ktoré boli v troch (a pri pilótovej stene kolmej na os trasy v dvoch hĺbkových úrovniach) spriahnuté železobetónovými kotevnými prahmi.

S postupným hĺbením portálovej jamy pribúdali prvky geotechnického monitoringu vo forme polohových 3D bodov a magnetoelastických dynamometrov. Celkovo bolo na pažiacu konštrukciu osadených 22 kusov 3D bodov a 7 kusov dynamometrov, inštalovaných pod hlavami lanových kotiev. Okrem vyššie uvedených monitorovacích prvkov, umiestnených priamo na geotechnickej konštrukcii, prebiehal neustály monitoring priľahlých svahov prostredníctvom inklinometrických vrtov, ktoré boli vybudované počas jednotlivých etáp inžinierskogeologických prieskumov. Celkovo bol monitoring podpovrchových deformácií zabezpečovaný 6 ks inklinometrických vrtov, rozmiestnených po obvode portálovej steny a v úvodných metroch razeného tunela.



Obr. 4 Pozícia inklinometrických vrtov a realizácia pilótovej steny

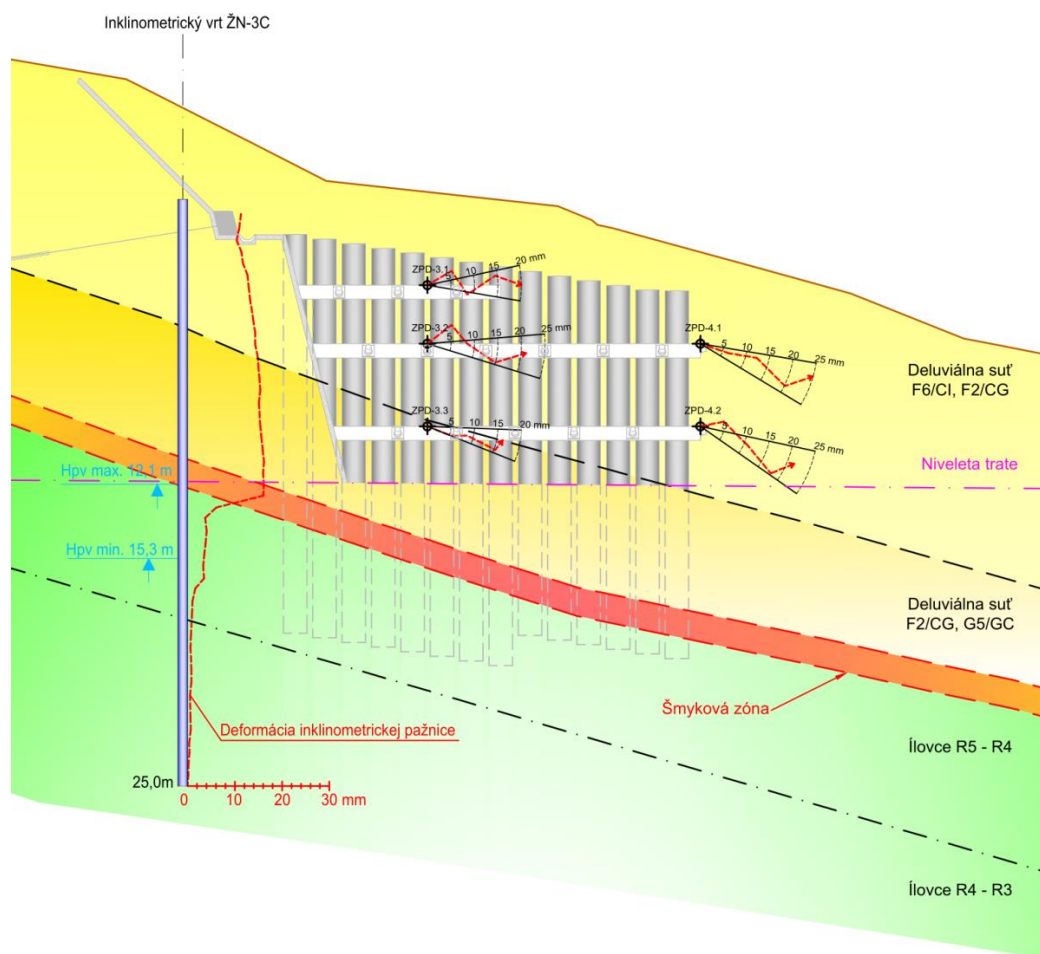
Hĺbenie portálovej stavebnej jamy neprinieslo žiadne výrazné deformácie portálových svahov a ani samotnej konštrukcie, ktoré by boli preukázané geotechnickým monitoringom a teda celá konštrukcia bola realizovaná v stave vysokej miery bezpečnosti.

Prvé zaujímavé deformácie stavebnej jamy, konkrétne čela portálovej steny, naštartovali počas razenia prvých 10-tich metrov tunelovej rúry. Náhly pokles polohových bodov a postupná strata kotevnej sily v čelných lanových kotvách predpovedali kolaps konštrukcie, v prípade neriešenia vzniknutej situácie. Nerovnomerné sadanie čela portálu od 30 do 80 mm, pokles kotevných síl zo 750 kN na 230 kN a dosiahnutie kritického stavu v prvom konvergenčnom profile (nad 100 mm) boli dostatočnými argumentami, ktoré viedli zodpovedných členov výstavby k prijatiu okamžitých sanačných opatrení. Opatrenia boli prijaté na mimoriadnej rade geotechnického monitoringu a spočívali v zosilnení primárneho ostenia pod čelným kotevným trámom portálovej steny, ktorý – dôsledkom uvoľnenia kotevných síl – tlačil celou svojou váhou na primárne ostenie tunela, ktoré nebolo na takéto zaťaženie dimenzované. Spomalené, no pretrvávajúce prírastky deformácií portálovej steny a úbytky kotevných síl viedli k rozsiahlejšiemu technickému návrhu zabezpečenia vo forme nových lanových kotiev a kotevných trávov v ľavej strane čela portálu, ktoré priniesli požadovaný efekt.



Obr. 6 Vývoj deformácií čela portálovej steny (body ZPD) a prvého konvergenčného profilu (body KPD).

Druhé významné pohyby portálovej steny sa prejavili na jej ľavej strane (v smere staničenia) približne v rovnakom období ako prvé (druhá polovica júna 2017). Neboli tak dramatické a do dnešného dňa si nevyžiadali žiadne dodatočné zabezpečenie, nakoľko došlo k ich stabilizácii. Prejavovali sa vo forme posunu pilótovej steny a zvýraznenia šmykovej zóny v inklinometrickom vrte. Pohyb pilótovej steny sa zastavil pri dosiahnutí maximálnej deformácie na povrchu 25 mm a na úrovni šmykovej zóny to bolo 20 mm. Impulzom nárastu deformácií bola kombinácia viacerých prvkov, ako zahájenie razby, nadpriemerné zrážkové obdobie a dlho dostatočne nezabezpečený príľahlý svah. Obrázok 7 ilustruje pohyb pravej strany portálovej steny.

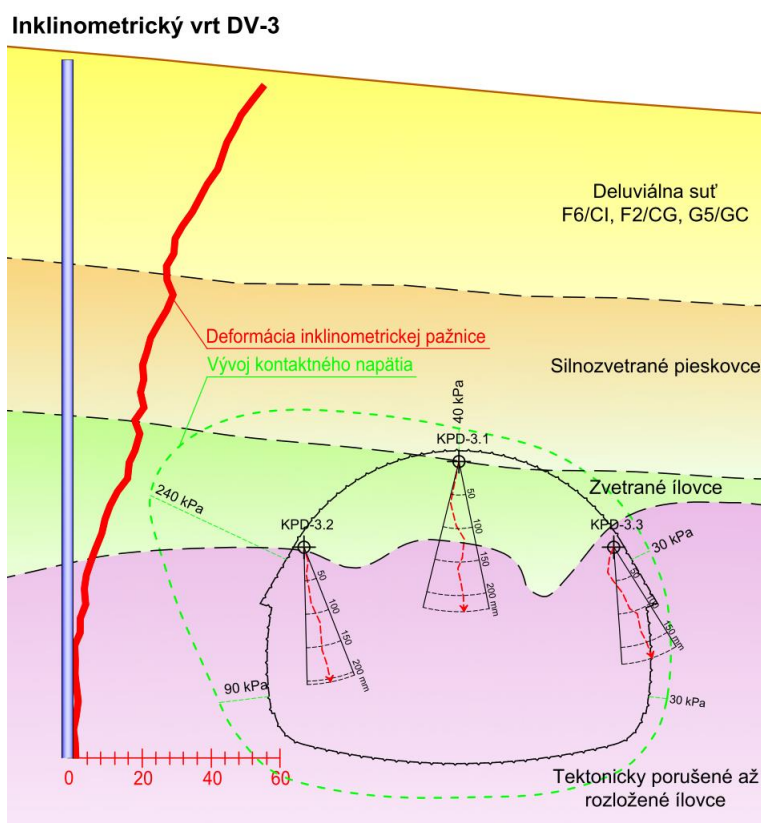


Obr. 7 Deformácia pravej strany portálovej steny

3 Razba tunel Diel

Úvod razby tunela Diel prebiehal v náročných geologických podmienkach silno zvetraných až rozložených pieskocov a ílovcov charakteru poloskálných hornín až zemín. Nadložie tunela v úvode dosahovalo od 10 do 25 m s charakterom vysokého stupňa zvetrania. Celá úvodná časť tunelovej rúry (prvých 100 m) bola razená pod ochranou mikropilótového dáždznika a razba prebiehala podľa princípov NRTM, kde po vyrazení 10 m kaloty bol doberaný stupeň a uzatváraný celý profil tunela v dne.

Ako ukázali už prvé razené metre, začalo dochádzať k prekračovaniu varovných stavov na konvergenčných profiloch, ktoré boli pre daný typ vystrojovacej triedy Vb stanovené na hodnotu 100 mm (stav prípustných zmien). Rozstup medzi jednotlivými konvergenčnými profilmi bol nastavený na 10 m a v úrovni tretieho konvergenčného profilu (42,8 TM resp. 28 vyrazenom metri) bol osadený hlavný merací profil zložený z 5 ks tlakových krabíc pre meranie kontaktného a radiálneho napätia, ktorého súčasťou mali byť 4 ks trojstupňových extenzometrov, no tie nebolo možné inštalovať z dôvodu neustáleho zavaľovania vrto. Súčasťou tretieho konvergenčného profilu resp. prvého hlavného meracieho profilu bol inklinometrický vrt DV-3 osadený v ľavej strane tunelovej rúry.

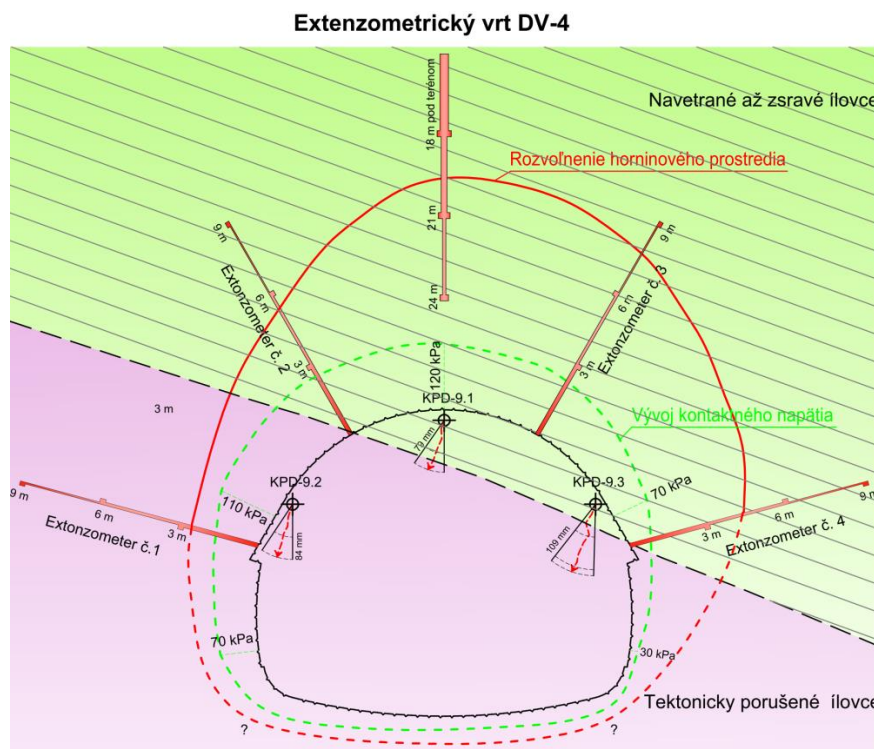


Obr. 8 Interpretácia geotechnického monitoringu na prvom hlavnom meracom profile

Dlhotrvalé ustáľovanie deformácií, nevytváranie horninovej klenby a výrazné prekračovanie varovných stavov na prvých štyroch konvergenčných profiloch viedlo k úprave zabezpečenia výrubu tunela. Po zvážení všetkých aktuálnych výsledkov geotechnického monitoringu, interpretáciou zastihnutých a očakávaných geologických podmienok a skúseností z iných tunelových stavieb v podobnom geologickom prostredí bolo od 46 TM upravené primárne ostenie. Modifikácia vystrojovacej triedy Vb spočívala v razení kaloty s dočasnou protiklenbou a troma variantmi podchytávania piet priehradových nosníkov, závislých od zastihnutých geologických podmienok. Podchytávanie bolo realizované formou mikropilót, injektovaných mikropilót alebo tryskovou injektážou. V praxi sa najčastejšie využíval variant č. 2 s injektovanými mikropilótami, ktorý bol uplatnený v úseku 47,25 m. Variant č. 1 s mikropilótami bol použitý až na konci zabezpečovaného úseku v dĺžke 6,4 m, kde sa vylepšili geologické podmienky a začali nastupovať navetrané až zdravé horniny nimnického súvrstvia. Variant s tryskovou injektážou nebolo potrebné v praxi aplikovať. Úspech razby kaloty s protiklenbou a injektovanými mikropilótami sa dostavil takmer okamžite, keď na nasledujúcom piatom konvergenčnom profile bola meraná maximálna deformácia 89 mm, na šiestom profile 55 mm a na siedmom profile 62 mm. Zostávajúci ôsmy konvergenčný profil v modifikovanej vystrojovacej triede Vb dosahoval obdobné maximálne deformácie. Od konvergenčného profilu deväť, ktorý bol zároveň druhým hlavným meracím profilom, prebiehala razba tunela podľa platnej projektovej dokumentácie vystrojovacej triedy Vb. V druhom hlavnom meracom profile boli úspešne osadené všetky prvky geotechnického monitoringu (geodetické polohové body, tlakové krabice kontaktného a radiálneho napätia a 4 ks trojstupňového extenzometra) a boli vhodne dopĺňané extenzometrickými meraniami z povrchu.

Prvý prejav razenia tunela v extenzometrickom vrte bol zaznamenaný vo chvíli, keď sa čelba nachádzala 14 m od monitorovacieho vrtu. Postupným približovaním čelby pod extenzometrický vrt dochádzalo k nárastu deformácií v prvej a druhej úrovni (21 a 24 m od

terénu), tretia úroveň (18 m pod terénom) bola bez zmeny, čo bolo interpretované ako rozvoľnenie horninového prostredia v zóne 6 až 9 metrov od výrubu tunela. V tom istom mieste, ale z podzemia bolo merané rozvoľnenie na 4 ks extenzometrov, ktoré bolo v spodnej časti kaloty v zóne 0 až 3 metre resp. 3 až 6 m a vo vrchných extenzometroch 6 až 9 m od obrysu tunela. Grafické znázornenie výsledkov geotechnických meraní na druhom hlavnom meracom profile je prezentované na obrázku 9.



Obr. 9 Interpretácia geotechnického monitoringu na druhom hlavnom meracom profile

Po vyrazení prvých 100 metrov tunela, ktoré boli razené pod ochranou mikropilótového dáždника, došlo k zmene vystrojovacej triedy na IV s maximálnou dĺžkou záberu 1,7 m a od TM 210 bola zmena na vystrojovacu triedu III s maximálnou dĺžkou záberu 2,5 m. V uvedených úsekoch prebiehala razba podľa platnej projektovej dokumentácie, s ojedinelým skrátením dĺžky záberov v miestach prekonávania tektonických porúch. Úseky boli z pohľadu geotechnického monitoringu bezproblémové a hodnoty konvergenčných meraní neprekračovali varovné stavy. Ku dňu odovzdania príspevku bolo vyrazených 357 m v kalote, 174 m v stupni a 153 m v dne.

Doposiaľ veľkým benefitom razeného tunela Diel bola absencia podzemnej vody vo výrube, čo výrazne vylepšovalo banskotechnické podmienky.

4 Východný portál

Neprístupný terén združeného výhodného portálu a jeho strmé zalesnené svahy boli v čase inžinierskogeologických prieskumov neprekonateľnou prekážkou pre realizáciu priamych prieskumných diel vo forme vrtného prieskumu. Podkladom pre projektanta bola interpretácia geofyzikálnych meraní, prieskumných vrtov vzdialených niekoľko desiatok metrov, geologického mapovania blízkeho okolia a plytkých kopaných sond v mieste portálu. Tieto informácie ho pravdepodobne viedli k návrhu ťažkej dvojradovej pilótovej steny zabezpečenej kotevnými trámami.

Prvou úlohou geotechnického monitoringu pre východný portál tunela Diel bola realizácia 2 ks inklinometrických vrtov a jedného hydrogeologického vrtu. Táto výzva sa,

vzhľadom na neprístupnosť terénu zdala byť nedosiahnuteľná, avšak realizácia musela byť vykonaná ešte pred zahájením prvých zemných prác. Zo strany zhotoviteľa stavby došlo k odlesneniu portálových svahov a vybudovaniu dočasnej betónovej bariéry na úrovni štátnej cesty II/507, avšak problém s prístupom na miesta monitorovacích vrtov nebol vyriešený.

Po naliehavých prosbách zhotoviteľa portálu a jeho žiadosti o upresnenie geologickej stavby, podmieňujúcej úpravu zabezpečenia portálových svahov, bola na miesta monitorovacích vrtov ručne dopravená prenosná vrtná súprava s jadrovým výnosom. Preprava jednotlivých častí vrtnej súpravy bola extrémne náročná, nakoľko bolo potrebné v lesnom poraste vybudovať dočasnú lanovú dráhu spájajúcu miesto vrtu s najbližšou prístupovou cestou. Ani samotná realizácia vrtov nebola jednoduchá a trvala pomerne dlho, nakoľko denné postupy vrtania boli na úrovni 5 metrov. Hĺbka inklinometrických vrtov bola 30 a 35 m a hĺbka hydrogeologického vrtu bola 25 m. Pre úplnosť informácií o geologickej stavbe bola v mieste budúcej únikovej štôlne kráčajúcim rýpadlom realizovaná kopaná sonda hĺbky 4 m, ktorej úlohou bolo overenie hrúbky deluviálnych sutí.

Úspešná realizácia monitorovacích vrtov s jadrovým výnosom, kopaná sonda a využitie archívnych podkladov z geofyzikálnych meraní prispeli k tomu, že bola doplnená informácia o geologickej stavbe portálových svahov. Bolo dokumentované, že hrúbka deluviálnych sutí dosahuje 3 až 5 metrov, v miestach neporušeného terénu to bolo do 1,5 m. Podložné horniny boli zastúpené mezozoickými ílovcami, siltovcami a pieskovecami v prípoверхovej zóne silno zvetranými a rozvoľnenými, pričom stupeň zvetrania s hĺbkou výrazne klesal a deformačné vlastnosti podložných hornín sa vylepšovali. V spodných partiách vrtov (od hĺbky 15 m) boli dokumentované masívne polohy pieskovecov veľmi vysokej pevnosti.



Obr. 10 Realizácia inklinometrického vrtu a geologická dokumentácia vrtného jadra

Na základe predložených geologických výsledkov doplnkových prieskumných prác projektant prehodnotil zabezpečenie portálových svahov z veľkopriemerových pilót na mikropilótové zabezpečenie v kombinácii s kotevnými trámami a klincovaním.

5 Záver

Dostatočne dimenzovaná monitorovacia sieť pozorovacích vrtov z čias inžinierskogeologických prieskumov a vhodne dopĺňané prvky geotechnického monitoringu počas samotnej realizácie hĺbenej a razenej časti tunela prinášali reálny obraz o interakcii stavebnej konštrukcie s horninovým prostredím.

Výsledky geotechnického monitoringu dokázali včas varovať členov výstavby na stratu stability čela portálovej steny a jej hroziaci kolaps. Dokázali presne identifikovať príčinu vzniku defektov a projektantovi vedeli presne špecifikovať miesta sanácie.

Druhým úspechom bolo rovnako včasné varovanie hroziaceho kolapsu úvodu razeného tunela, kde dochádzalo k násobnému prekročeniu varovných stavov a bolo potrebné prijať okamžité dodatočné prvky zabezpečenia.

Okrem včasného varovania prekračovania deformácií prinášali výsledky GTM aj potvrdenie správnosti projektovaného riešenia a tolerancií v rámci medzných stavov použiteľnosti.

Optimalizáciu projektového riešenia východného portálu možno tiež v plnej miere pripísať výsledkom doplnkových prieskumných prác, realizovaných v rámci vykonávania geotechnického monitoringu.

Kvalitne navrhnutý, realizovaný a interpretovaný geotechnický monitoring, nie len pre náročné tunelové stavby v zosuvných územiach, dokáže včas identifikovať miesta porúch a zhotoviteľovi ušetriť množstvo finančných prostriedkov spojených s náročnými sanáciami havarovaných geotechnických konštrukcií.

Literatúra

Kuvik, M. - Sýkora, M. - Ondrášik, R. - Bohyník, J. - Vandrová, G. - Mucha, I. - Rodák, D. - Flimmel J. - Prohászka A. - Cabala R.: ŽSR, Modernizácia železničnej trate na rýchlosť do 160 km/h, úsek Púchov - Považská Bystrica, tunel Diel, podrobný hydrogeologický a orientačný inžinierskogeologický prieskum. Geofos s.r.o. Žilina, 2006. GEOFOND 86593.

Kuvik, M. - Borovský, M. - Šamaj, M. - Bohyník, J. - Smoleňák, J. - Matejček, A. - Cabala, R.: ŽSR - Modernizácia železničnej trate Púchov - Žilina na rýchlosť do 160 km/h, úsek Púchov - Považská Teplá, orientačný inžinierskogeologický prieskum. GEOFOS s.r.o. Žilina, 2007

Výsledky geotechnického monitoringu publikované na online servery <https://inset.sahure.cz>.