

## **INŽINIERSKOGEOLOGICKÁ A GEOTECHNICKÁ CHARAKTERISTIKA HORNINOVÉHO MASÍVU TUNELA PREŠOV**

### **PREŠOV TUNNEL, ENGINEERING GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL CHARACTERISTIC OF THE ROCK MASS**

**Michal Kubiš<sup>1</sup>**  
**Jozef Majerčák<sup>1</sup>**  
**Anna Grenčíková<sup>1</sup>**

#### **ABSTRAKT**

Podrobná etapa inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu úseku diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh, zhodnotila inžinierskogeologické, geotechnické a hydrogeologické pomery v trase tunela Prešov. Úlohou prieskumu bolo posúdenie stability portálových úsekov, rozčlenenie a charakteristika horninového masívu tunelových rúr. V tunelových rúrach boli vyčlenené geotechnické úseky a následne kvázihomogénne bloky, v ktorých bola hodnotená kvalita horninového masívu na základe klasifikačných systémov RQD, RMR, QTS.

#### **ABSTRACT**

Detailed stage of engineering geological and hydrogeological investigation of the D1 motorway Prešov west - Prešov south, assessed engineering geological, geotechnical and hydrogeological conditions in the Prešov tunnel. The roles of the geological investigation were to assess the stability portals, partitioning and characteristics of the rock mass in the tunnel corridors. The tunnel tubes were divided into geotechnical sections and quasi-homogeneous blocks, carried out together with categorisation of the rock mass in RQD, RMR, QTS classification system.

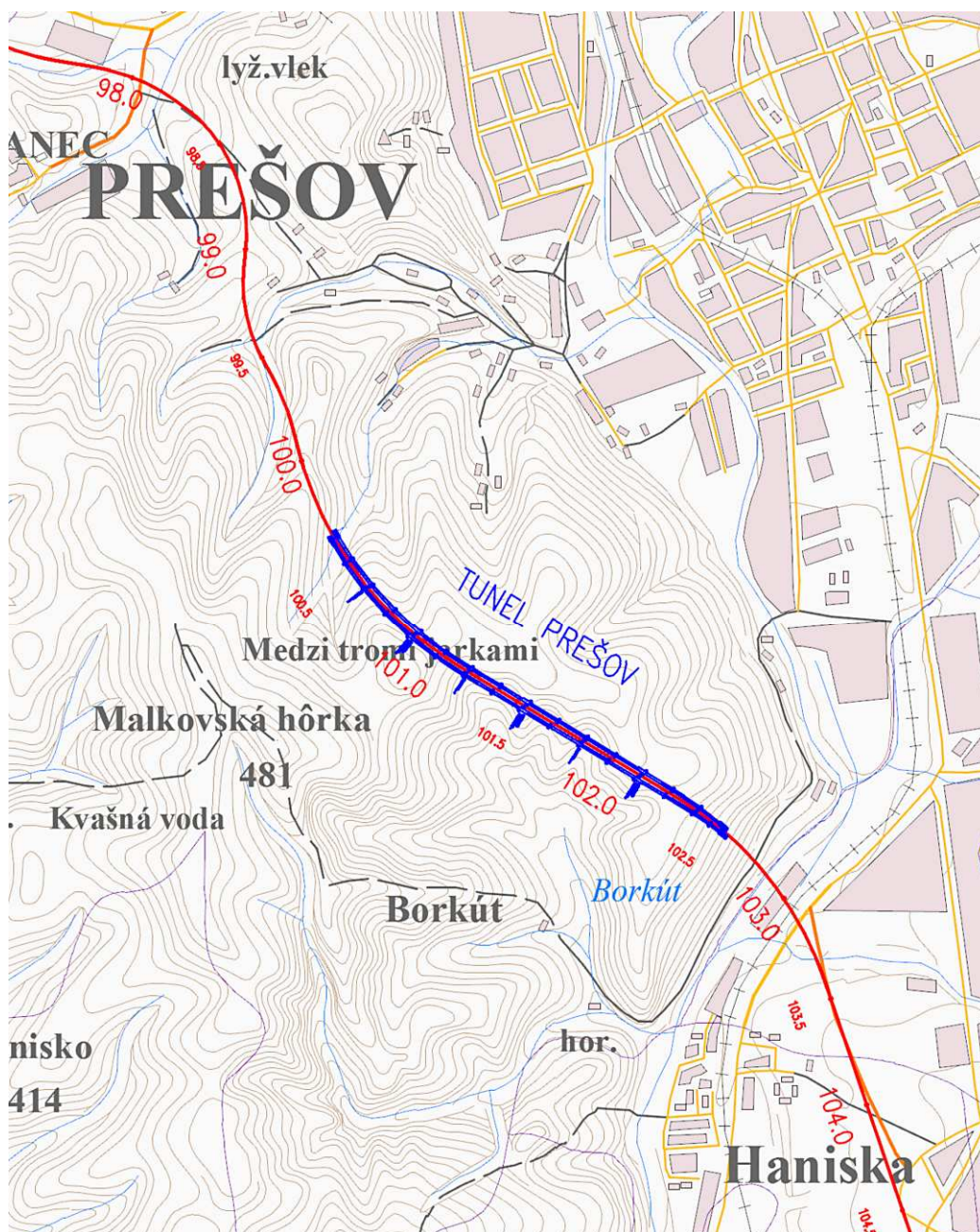
## **1 Úvod**

Projektovaný tunel Prešov je súčasťou navrhovanej trasy diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh v km 100,348 – 102,620, v masíve od doliny Za Kalváriou, po vyústenie do údolia rieky Torysa. Projekčne sú navrhnuté dve tunelové rúry, severná a južná. Celková dĺžka severnej tunelovej rúry je 2230,5 m pričom razená časť je 2165,5 m a dĺžka južnej tunelovej rúry je 2244 m, pričom razená časť predstavuje 2187 m (obr. 1).

V období august 2012 až január 2013 bola realizovaná spoločnosťou Geofos, s.r.o. Žilina podrobná etapa inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu trasy diaľnice D1 Prešov západ – Prešov Juh, ktorého súčasťou je aj tunel Prešov. Inžinierskogeologické, geotechnické a hydrogeologické pomery tunela boli preskúvané zvislými a horizontálnymi jadrovými IG vrtmi, kopanými sondami, monitorovacími hydrogeologickými a inklinometrickými vrtmi, karotážnymi meraniami vo vrtoch, geofyzikálnymi meraniami v profiloch a laboratórnymi skúškami mechaniky zemín a hornín.

---

<sup>1</sup>Mgr. Michal Kubiš, PhD., Ing. Jozef Majerčák, RNDr. Anna Grenčíková, Geofos, s.r.o., Veľký diel 3323, 010 08 Žilina, tel.: 041/ 5652 747, e-mail: [michal.kubis@geofos.sk](mailto:michal.kubis@geofos.sk); [jozef.majercak@geofos.sk](mailto:jozef.majercak@geofos.sk); [anna.grencikova@geofos.sk](mailto:anna.grencikova@geofos.sk)



Obr. 1 Prehľadná situácia navrhovaného tunela Prešov  
 Fig. 1 General overview of the proposed tunnel Prešov

## 2 Prírodné a geologické pomery

V zmysle regionálneho geomorfologického členenia Slovenska je územie diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh súčasťou Podhŕľno-magurskej oblasti, celku Spišsko-Šarišské medzihorie a celku Šarišskej vrchoviny.

Na geologickej stavbe územia projektovaného tunela sa vyskytujú flyšové paleogénne horniny, ktoré sú na povrchu prekryté kvartérnymi sedimentmi. Podrobným inžinierskogeologickým prieskumom trasy tunela bol overený deluviálny komplex, zosuvné delúvium s blokovými deformáciami v oblasti východného portálu a podložné paleogénne, flyšové komplexy zubereckého súvrstvia, s charakteristickým striedaním sa ílovcovo-pieskovcových vrstiev. Vplyvom vertikálnych a horizontálnych pohybov jednotlivých blokov hornín pozdĺž zlomov sa do úrovne tunela dostali súvrstvia s rôznym zastúpením ílovcov

a pieskocov, čo poukazuje na výraznú heterogenitu horninového prostredia. Horninový masív je porušený viacerými zlomovými systémami s orientáciou SV-JZ, S-J a SSZ-JJV. Sklon zlomov sa pohybuje v rozsahu 60 - 85°. Zuberecké súvrstvie v predmetnom území nie je uložené horizontálne, ale je generálne uklonené k SV. Veľkosť sklonu plôch vrstevnatosti sa pohybuje v rozsahu 10 - 30°.

### 3 Hodnotenie inžinierskogeologických a geotechnických pomerov

Pre účely komplexného hodnotenia inžinierskogeologických a geotechnických pomerov v trase tunela Prešov bol horninový masív na základe výsledkov z inžinierskogeologického prieskumu rozčlenený na bloky a úseky s rovnakými vlastnosťami:

- 1) litologické typy v zmysle základného geologického členenia;
- 2) inžinierskogeologické a geotechnické typy (ig, gt typ) hornín z hľadiska špecifikácie geotechnických vlastností;
- 3) kvázihomogénne bloky;
- 4) geotechnické úseky.

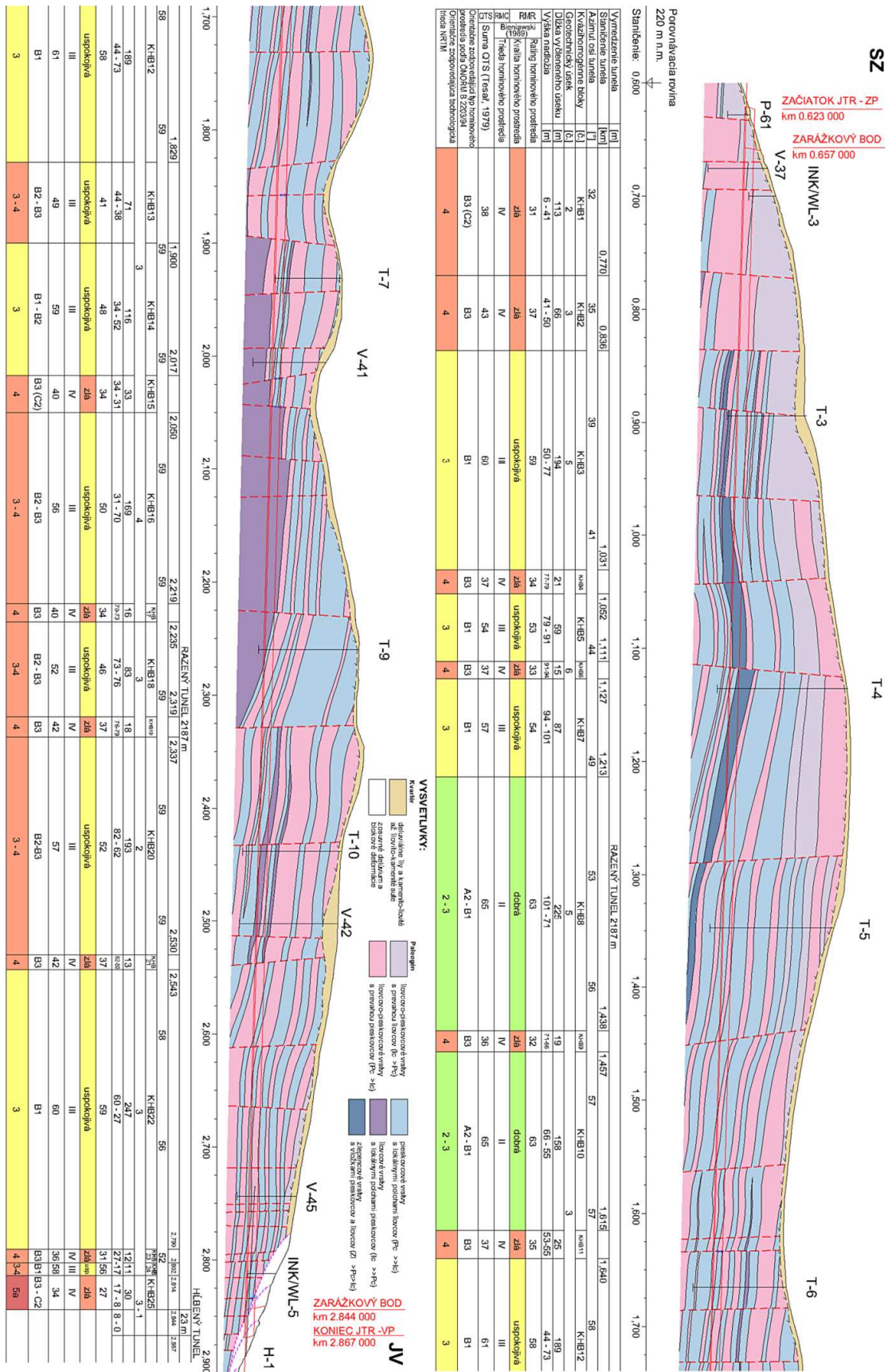
Na základe doterajších geologických prác je horninový masív budovaný nasledovnými litologickými typmi:

- deluviálne zeminy a zosuvné delúvium v portálových úsekoch tunelových rúr,
- ílovcovo-pieskovcové vrstvy, s prevahou ílovcov nad pieskocami ( $I_c > P_c$ ),
- ílovcovo-pieskovcové vrstvy, s prevahou pieskocov nad ílovcami ( $P_c > I_c$ ),
- pieskovcové vrstvy, s lokálnymi polohami ílovcov ( $P_c \gg I_c$ ),
- ílovcové vrstvy, s lokálnymi polohami pieskocov ( $I_c \gg P_c$ ),
- zlepenkové vrstvy, s vložkami pieskocov a ílovcov ( $Zl > P_c > I_c$ ).

Horninový masív bol podľa zastúpenia ig a gt typov, tektonických a hydrogeologických pomerov rozčlenený do kvázihomogénnych blokov. Bloky charakterizujú prevládajúce geotechnické podmienky razenia vyjadrené priradenými technologickými triedami v zmysle NRTM. Pre severnú tunelovú rúru (STR) bolo v celej dĺžke vyčlenených 27 základných blokov a pre južnú tunelovú rúru (JTR) bolo vyčlenených 25 kvázihomogénnych blokov (obr. 2). Hranice medzi blokmi tvoria strmé tektonické zlomy, ktoré boli identifikované geofyzikálnym prieskumom. Jednotlivé bloky horninového masívu boli hodnotené podľa horninovej klasifikácie Bieniawského (1989). Triedy hornín RMC boli zostavené podľa ratingového bodového ohodnotenia RMR, zohľadňujúceho pevnosť hornín v prostom tlaku  $\sigma_c$ , indexu kvality hornín RQD, vzdialenosti a charakteru diskontinuít, vplyvu podzemnej vody a smeru a úklonu diskontinuít, hlavne vrstevnatosti k osi a smeru razenia. Pre reálne zohľadnenie posledného vplyvového faktora v ratingovom hodnotení bolo potrebné najskôr poznať, z ktorej strany sa bude tunel raziť. V prípade tunela Prešov sa predpokladá smer razenia dovrchne od východného portálu a úpadne od západného portálu. Popri RMR klasifikácii bola aplikovaná klasifikácia skalných a poloskalných hornín pre podzemné stavby QTS (Tesař, 1989), s orientačným vyjadrením technologických tried NRTM.

V masíve tunela Prešov bolo celkom vyčlenených 6 typov **geotechnických úsekov**. Pri rozčlení boli zohľadnené zastúpenie predpokladaných ig a gt typov, najmä zo skupiny nepriaznivých, so zohľadnením geotechnických vlastností s interpretáciou možnosti výskytu nepriaznivých geotechnických pomerov.

**Deluviálne sedimenty** boli zistené v oblasti západného portálu. Majú charakter piesčitých ílov (F4/CS), pevnej konzistencie, ale najmä kamenito – ílovitých sutí (G5/GC). V priestore západného portálu je hrúbka kvartérnych sedimentov 1,2 až 4,5 m. **Zosuvné delúvium** bolo zistené v oblasti východného portálu tunela Prešov. Jeho hrúbka sa pohybuje v rozsahu od 4 do 8 m.



Obr. 2 Zjednodušený pozdĺžny inžinierskogeologický rez južnou tunelovou rúrou, s vyznačenými kvázihomogénnymi blokmi  
 Fig. 2 Simplified engineering geological longitudinal profile of the southern tunnel tube, with quasi-homogenous blocks

Zosuvné delúvium je zastúpené piesčitým ílom (F4/CS) a ílom so strednou až vysokou plasticitou (F6-F8/CI-CH), tuho-pevnou až pevnou konzistenciou a kamenito-ílovitými (F2/CG) až ílovito-kamenitými suťami (G5/GC), s polohami blokov porušených ílovcov a pieskovcov. Hrúbka zosunutých blokov paleogénnych hornín sa pohybuje v rozsahu od 3 do 10 m.

**Ílovcovo-pieskovcové vrstvy, s prevahou ílovcov nad pieskovcami** ( $I_c > P_c$ ), vystupujú najmä v oblasti západného portálu, v kvázihomogénnom bloku č. 20 v južnej tunelovej rúre a v bloku č. 21 v severnej tunelovej rúre. Pre tieto vrstvy je charakteristické striedanie laminovaných až tenko vrstevnatých polôh (10 – 130 mm) ílovcov a pieskovcov v pomere cca  $I_c:P_c = 2:1$ . Horniny sú prevažne rozpukané, porušené, stredne až silno zvetrané, nízkej až veľmi nízkej pevnosti (R4-R5). V hlbších častiach masívu sú slabo zvetrané až zdravé, tenkej vrstevnatosti (60 – 200 mm), nízkej pevnosti (R4). V tektonicky porušených zónach nadobúdajú ílovce charakter ílovitých zemín alebo polôh drobných úlomkov s veľmi nízkou pevnosťou.

**Ílovcovo-pieskovcové vrstvy, s prevahou pieskovcov nad ílovcami** ( $P_c > I_c$ ) tvoria podstatnú časť horninového masívu tunela Prešov. Vyskytujú sa v blokoch číslo 2, 8, 11, 13, 19, 23, 24, 26 severnej tunelovej rúry a v blokoch číslo 2, 10, 12, 13, 14, 18, 22, 24 južnej tunelovej rúry. Pre tieto vrstvy je typické striedanie laminovaných, veľmi tenkých až tenkých vrstiev (20 – 200 mm) jemnozrnných až strednozrnných pieskovcov s ílovcami, v pomere  $P_c:I_c = 2:1$ . Pevnosť hornín je stredná (R3) až nízka (R4). Povrch plôch odlučnosti je rovný, mierne drsný až drsný. Horniny sú prevažne zdravé až slabo zvetrané. V blízkosti portálov a oblasti tektonických porúch sú horniny stredne až silno zvetrané, porušené, charakteru úlomkov s nízkou až veľmi nízkou pevnosťou (R4-R5).

**Pieskovcové vrstvy, s ojedinelými polohami ílovcov** ( $P_c \gg I_c$ ) sa vyskytujú v kvázihomogénnych blokoch číslo 3, 7, 10 pre severnú tunelovú rúru a v blokoch 3 a 8 pre južnú tunelovú rúru. Pieskovce sú rôznej zrnitosti od jemnozrnných, strednozrnných až po hrubozrnné, ktoré pozvoľne prechádzajú do drobnozrnných zlepcov (gradačné zvrstvenie). Tmel (cement) pieskovcov je prevažne vápny, len lokálne kremový. Hrúbka vrstiev je veľmi premenlivá, pohybuje sa v rozsahu 60 až 2000 mm. Pevnosť pieskovcov predstavuje pomerne široký rozsah od nízkej pevnosti (R4), cez strednú (R3) až po vysokú pevnosť (R2). Pieskovcové vrstvy obsahujú v menšej miere tenké vrstvy až laminy ílovcov do 10 %. Plochy odlučnosti u pieskovcov sú rovné, prípadne stupňovité, s drsným povrchom. Pieskovce sú v oblasti tunelových rúr zdravé až slabo zvetrané, rozvoľnenej zóne masívu a v blízkosti tektonických porúch sú pieskovce stredne až silno zvetrané.

**Ílovcové vrstvy, s ojedinelými polohami pieskovcov** ( $I_c \gg P_c$ ) boli na základe výsledkov z vrtných geologických prác a geofyzikálneho prieskumu identifikované v kvázihomogénnych blokoch číslo 16 a 17 v severnej tunelovej rúre a v bloku číslo 16 v južnej tunelovej rúre. Ílovce sú laminované až veľmi tenko vrstevnaté (6 – 60 mm), nízkej až veľmi nízkej pevnosti (R4-R5). Plochy ílovcov sú rovné a hladké. Ílovcové vrstvy obsahujú laminy až tenké vrstvy jemnozrnných pieskovcov (do 15 %). Ílovce sú v úseku tunelových rúr zdravé až slabo zvetrané. V tektonicky porušených zónach sú ílovce silno až úplne zvetrané a nadobúdajú charakter ílovitých zemín s možným prejavom objemových zmien (napúčanie).

**Zlepencové vrstvy, s vložkami pieskovcov a ílovcov** ( $Z_l > P_c > I_c$ ), tvoria priebežné polohy, ktoré predpokladáme v blokoch číslo 4, 5, 6, 7 južnej tunelovej rúry a v blokoch číslo 4, 5, 6 severnej tunelovej rúry. Zlepencové vrstvy tvoria polohy o hrúbke 5 až 13 m. Sú budované zlepcami, s pozvoľným prechodom do hrubozrnných pieskovcov a vložkami ílovcov. Zlepence sú polymiktné, tvorené zaoblenými úlomkami kremencov, pieskovcov a bridlíc o rozmeroch 0,5 – 3 cm, max. 6 cm. Tmel zlepcov je prevažne piesčitý, v menšej miere ílovcový. Pevnosť zlepcov je nízka (R4). Zlepence sú zdravé až slabo zvetrané. Vybrané geotechnické charakteristiky popisovaných geotechnických úsekov sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Vybrané geotechnické parametre horninového masívu  
Table 1 Selected geotechnical parameters of the rock mass

|                                        | Pevnosť v prostom tlaku | Parametre efektívnej šmykovej pevnosti |                | Modul pretvárnosti - masív | Poissonovo číslo |
|----------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|----------------|----------------------------|------------------|
|                                        | $\sigma_c$ (MPa)        | $\varphi_{ef}$ (°)                     | $c_{ef}$ (kPa) | $E_{def}$ (MPa)            | $\nu$            |
| Geotechnický úsek 1 kvartér - delúvium | -                       | 24 - 30                                | 0 - 15         | 5 - 22                     | 0,35 - 0,42      |
| Geotechnický úsek 2 $I_c > P_c$        | 3,12 - 15,58            | 25 - 32                                | 25 - 120       | 50 - 600                   | 0,25 - 0,35      |
| Geotechnický úsek 3 $P_c > I_c$        | 7,48 - 24,07            | 32 - 37                                | 30 - 130       | 250 - 1000                 | 0,243 - 0,337    |
| Geotechnický úsek 4 $I_c \gg P_c$      | 3,80 - 10,22            | 28 - 36                                | 30 - 130       | 100 - 400                  | 0,328 - 0,341    |
| Geotechnický úsek 5 $P_c \gg I_c$      | 9,90 - 59,95            | 34 - 40                                | 90 - 280       | 600 - 3000                 | 0,154 - 0,289    |
| Geotechnický úsek 6 $Z_l > P_c > I_c$  | 8,05                    | 30 - 36                                | 60 - 130       | 150 - 500                  | 0,35             |

Pre oblasť západného portálu tunela Prešov je charakteristické pomerne priaznivé prostredie pre zakladanie objektu. Kvartér je zastúpený vrstvou deluviálnych ílov, siltov a kamenito-ílovitých sutí. Ich hrúbka Horninový masív tvoria ílovcovo-pieskovcové vrstvy s prevahou ílovcov ( $I_c > P_c$ ). Horniny sú výrazne vrstevnaté s laminovanou až tenkou hrúbkou vrstiev (10 – 130 mm). Úklon vrstiev je priaznivý cca 10 – 20° smerom do masívu. Ílovcovo-pieskovcové vrstvy sú vo vrchnej časti silno až úplne zvetrané. Dosah zóny silného zvetrania je 2 až 4 m. Pod týmito vrstvami vystupujú stredne až slabo zvetrané ílovcovo-pieskovcové vrstvy, s nízkou až veľmi nízkou pevnosťou (R4-R5) sa pohybuje v rozsahu 1 – 4,5 m.

Východný portál tunela Prešov je situovaný na svahu SV smerom od údolia rieky Torysa. Svah, na ktorom je situovaný portál, je postihnutý svahovými deformáciami blokovitého charakteru. Na svahu možno pozorovať výrazné odlučné hrany až do výšky 10 m. Takisto akumulčná oblasť má zreteľné ohraničenie. Hĺbky šmykových plôch v zosuvnom území dosahujú 10 až 15 m, pričom bazálna šmyková plocha zasahuje do 18 m. Plytšie šmykové plochy prechádzajú deluviálnymi sedimentmi a hlbšie šmykové plochy, po ktorých dochádzalo k pohybu pieskovcových blokov, sa vyvinuli predovšetkým na rozvetraných plochách ílovcov, ktoré majú charakter ílov (F6/CI, F8/CH, F2/CG), tuho-pevnnej konzistencie. Zosuvné delúvium má vo vrchnej časti charakter ílov (F4/CS, F6/CI, F8/CH), tuho-pevnnej až pevnej konzistencie. Ich hrúbka je 4 až 8 m. Hlbšia časť je tvorená deluviálnymi sutami (F2/CG, G5/GC), s blokmi zosunutých hornín. Hrúbka zosunutých blokov je premenlivá a predstavuje pomerne široký rozptyl od 1 m až po 10 m.

#### 4 Charakteristika hlavných rizík a navrhované opatrenia

Na základe výsledkov z inžinierskogeologického prieskumu bolo horninové prostredie zhodnotené ako heterogénne z hľadiska:

- litológia, stupňa zvetrania, veľkosti blokov a stupňa pevnosti hornín;
- degradácie geotechnických parametrov hornín až na úroveň zemín v dôsledku tektonického porušenia a zvetrania v blízkosti tektonických porúch;
- svahové deformácie v oblasti východného portálu;
- nestability klenby, čelby a stien v dôsledku rozvoľnenia masívu a tektonického porušenia horniny, s ohľadom na možnosť vypadávanie klinov horniny po plochách

diskontinuít, možnosť odlupovania platní horniny po vrstevných plochách vzhľadom na mierny úklon vrstiev;

- nestability stropu v oblasti svahovej deformácie v oblasti východného portálu;
- citlivosi ílovcových hornín na zmeny vlhkosti a mrazové cykly, podmieňujúce rýchle zvetrávanie a degradáciu geotechnických parametrov hornín;
- rozbredania a zmien geotechnických vlastností na styku s technologickou vodou, z úrovně poloskalnej horniny na zeminu, mäkkej až kašovitej konzistencie, v zónach tektonického porušenie ílovcových hornín.

Z pohľadu hodnotenia hlavných rizík boli navrhnuté tieto opatrenia:

- zabezpečenie stability, klenby tunela vhodnými opatreniami (íhlovanie), nakoľko predpokladáme pomerne mierne uloženie vrstiev a možnosť odlupovania sa platní až blokov horniny pozdĺž plôch vrstevnatosti;
- zabezpečenie stability klenby (stropu) tunela vhodnými technickými a technologickými opatreniami (mikropilóťový dáždnik), najmä v priortálových úsekoch;
- v oblasti západného portálu odporúčame zabezpečiť portálové steny klincovaním;
- zářezy a odrezy v oblasti východného portálu odporúčame zabezpečiť kotvenými zárubňými múrmi;
- v oblasti východného portálu je potrebné dobudovať funkčný monitorovací systém na sledovanie svahových pohybov;
- v priortálových úsekoch realizovať úpravu a zachytenie povrchových a podzemných vôd do dláždených rigolov a ich zvedenie do recipientu mimo portálovú oblasť;
- zachytávať a odvádzať vody z tunela, aby nedošlo k znehodnocovaniu geotechnických parametrov ílovcov ich rozbredaním a zvetrávaním. Vzhľadom na citlivosť ílovcových hornín na styk s vodou a rozbredanie pri pojazdoch mechanizmov je potrebné zabrániť únikom technologickej vody.

## 5 Záver

V rámci podrobného inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu územia trasy diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh, boli preskúmané geologické pomery územia projektovaného tunela Prešov. Prieskum bol zameraný na overenie geologicko-tektonickej stavby územia, zistenie inžinierskogeologických a geotechnických pomerov v trase tunela, posúdenie stability zosuvných území v portálových oblastiach, následné rozčlenenie a charakteristiku horninového masívu tunela Prešov. V trase tunela Prešov boli vypracované inžinierskogeologické rezy osami severnej a južnej tunelovej rúry, s vyčlenenými kvázihomogénnymi úsekmi podľa klasifikácie Z. T. Bieniawského (1989). Z charakteristiky vyčlenených úsekov podľa RMR vyplýva, že v trase navrhovanej južnej tunelovej rúry predstavujú zlú kvalitu horninového prostredia úseky v dĺžke 382 m (17 %), uspokojivú kvalitu horninového prostredia predstavujú úseky v dĺžke 1421 m (65 %) a dobrú kvalitu prostredia predstavujú úseky v dĺžke 384 m (18 %). V trase navrhovanej severnej tunelovej rúry predstavujú zlú kvalitu horninového prostredia úseky o dĺžke 439,5 m (20 %), uspokojivú kvalitu horninového prostredia predstavujú úseky v dĺžke 1363 m (63 %) a dobrú kvalitu horninového prostredia predstavujú úseky v dĺžke 363 m (17 %).

## 6 Zoznam použitej literatúry

Bieniawski, Z. T., 1989: Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologist in mining, civil and petroleum engineering. A Wiley-Interscience publication, p. 1-249.

Grenčíková, A., et al., 2012: Diaľnica D1 Prešov západ – Prešov juh. Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum, Geofos, s.r.o., Žilina.

Mašlárová, I., et al., 2008: Diaľnica D1 Prešov západ – Prešov juh. Orientačný inžinierskogeologický prieskum, Uranpres, s.r.o., Spišská Nová Ves.

Tesař, O., 1989: Klasifikace skalných a poloskalných hornin pro podzemní stavby, Autoreferát k disertační práci, Ved. Rada UK Praha, p. 15-23.