

TUNEL OKRUHLIAK - ETAPY A METODIKA INŽINIERSKOGEOLOGICKÉHO PRIESKUMU

TUNNEL OKRUHLIAK - STAGES AND METHODOLOGY ENGINEERING GEOLOGICAL SURVEY

Antonín Matejček¹ Jozef Smoleňák¹ Daniela Sklenárová¹ Jana Copláková¹

ABSTRAKT

V trase rýchlostnej cesty R4 Prešov – severný obchvat sú navrhnuté tunely Bigoš a Okruhliak. V etape DSP bolo smerové vedenie tunela upravené na „krátky variant tunela Okruhliak“. Inžinierskogeologický prieskum v etape DSP bol realizovaný pre nový variant v etape orientačného a aj podrobného inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu overené zložité inžinierskogeologické pomery. Tunel bude razený v neogénnych sedimentoch charakteru ílovcov s výrazným napúčaním. Prieskum bol realizovaný vrtnými prácami s využitím geofyzikálnych metód povrchových a karotážnych. Prieskumom boli doplnené informácie o napučiavaní ílov, výskyte minerálnych vôd v masíve neogénu s vysokou síranovou agresivitou. Na základe komplexného prieskumu bol horninový masív rozčlenený na kvázihomogénne bloky s charakteristikou inžinierskogeologických a geotechnických vlastností.

ABSTRACT

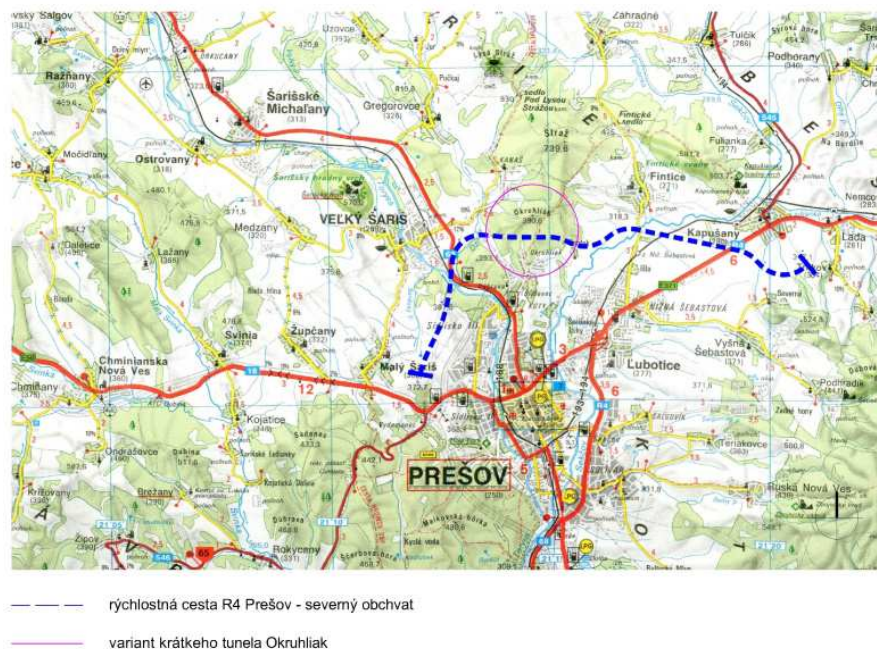
In the way of the speed road “R4 Prešov - north bypass” are designed two tunnels Bigoš and Okruhliak. In detailed exploration the tunnel Okruhliak was modified to "short variant tunnel Okruhliak". Engineering geological survey in detailed exploration was realized for a new variant of stage reconnaissance exploration and a detailed engineering and hydrogeology exploration for validated complicated engineering geological conditions. The tunnel will be excavated in the Neogene sediments character claystone with significant swelling. The survey was conducted exclusively drilling work using geophysical methods of surface and geophysical logging. The survey was supplemented by swelling clays, occurrence of mineral water in the massif of the Neogene with high sulfate aggressiveness. Based on a comprehensive review of the rock mass was divided into quasi homogeneous blocks with engineering geology and geotechnical characteristics.

1 Úvod

Tunel Okruhliak je objekt v navrhovanej rýchlostnej ceste R4 v úseku „R4 Prešov – severný obchvat“ ako súčasť severojužného dopravného spojenia v úseku štátna hranica SR/PR Vyšný Komárnik-Milhost'-štátna hranica SR/MR (obr.č.1). Celková dĺžka úseku „R4 Prešov – severný obchvat“ je 14,680 km.

¹RNDr. Antonín Matejček, Ing. Jozef Smoleňák, Mgr. Daniela Sklenárová, Mgr. Jana Copláková, GEOFOS, s.r.o., Veľký diel 3323, 010 08 Žilina, tel.: 041/ 5652 747, e-mail: antonin.matejcek@geofos.sk; jozef.smolenak@geofos.sk; daniela.sklenarova@geofos.sk; jana.coplakova@geofos.sk

Pôvodné smerové vedenie tunela Okruhliak z etapy DÚR bolo v etape DSP upravené na variant „**krátky tunel Okruhliak**“. V tomto variante má tunel dĺžku v pravej tunelovej rúre (PTR) – 1 823,06 m a v ľavej tunelovej rúre (LTR) 1 831,473 m. Pri nepatrnej zmene situovania portálov došlo k zmene v napriamení smerového vedenia, eliminácii oblúka tunela k severu, čo znamená skrátenie dĺžky razenej časti tunela. Koridor tunela sa v krátkom variante posunul smerom južnejšie, smerom k zastavanej časti sídliska Pustá dolina.



Obr. 1 Prehľadná situácia úseku R4 Prešov – severný obchvat
Fig. 1 Synoptic situation of R4 Prešov region – northern bypass

2 Charakteristika prírodných pomerov

Oba varianty tunela Okruhliak sú situované v masíve kóty Okruhliak (390,7 m n. m.). Masív má pahorkatinný charakter, ktorý je rozčlenený širokými depresiami na výrazné a priebežné chrbty a depresie v smeroch SZ-JV (JV od obce Kaňaš), S-J (široké údolie Pustej doliny) a ZSZ-VJV (úžke, hlboké údolie SV od koridoru a východného portálu, SZ od obce Surdok). Svahy hlbokých, erózných rýh sú porušené svahovými deformáciami. Svahovými deformáciami je výrazne porušený aj východný okraj masívu kóty 383 v okolí osady Surdok v dosahu východného portálu tunela.

Horninový masív krátkeho tunela Okruhliak je budovaný komplexom aleuriticko-pelitických hornín (neogén - spodný miocén Prešovského súvrstvia, vek egenburg). Súvrstvie je súčasťou sedimentov neogénnej panve, ktorá je ohraničená a porušená tromi základnými smermi zlomov (pozdĺžne - SZ-JV, priečne - SV-JZ a kosé S-J). Podložie neogénnych sedimentov tvoria vrstvy paleogénu. Aktivita základných smerov zlomov je viazaná na neogénne tektonické aktivity so vznikom výraznej blokovej stavby územia. Výška posunov pozdĺž zlomov v SZ časti panvy je 100 až 400 m. Aktivita týchto zlomov vyznieva až v pliocéne (Kaličiak, M., et.al.1991).

V oblasti západného portálu a na prilahlých západných svahoch dielčieho chrbátu v koridore tunela prevláda litofaciálny vývoj s vrstvami sivých, modrosivých ílovcov, prachovitých ílovcov, ojedinele prachovcov (siltovocov). V širšom pruhu v okolí morfológického chrbátu zo severu zasahujú do koridoru tunela vrstvy sivých strednozrnných pieskovcov, lokálne až drobnozrnných zlepcov s prechodom do vrstiev prachovitých ílovcov až siltovcov, iba

zriedka vrstiev ílovcov. Mocnosť vrstiev pieskovcov je viac ako 40 až 50m. Východne, smerom k Surdoku prevládajú prachovité ílovce, prachovce a siltovce, ktoré sú často tenkovrstevnaté, páskovanej textúry (rytmické striedanie sivých ílovcov, prachovitých ílovcov, tmavosivých prachovcov až siltovcov) a svetlosivých pieskovcov, resp. siltovcov. V puklinách, najmä v povrchovej zvetranej až navetranej vrstve sa vyskytujú druhotné kryštály sádrovca do veľkosti až niekoľko cm.

Na základe RTG analýz majú horniny zmesné minerálne zloženie s prevládajúcim zastúpením kremeňa Q, illit-muskovitu III/Ms, zmiešanovrstevnatého illit-smektitu IS (hlavná fáza), chloritu Chl, kalcitu Ca, dolomitu Dol, albitu Ab (vedľajšia fáza). Na základe semikvantatívnej analýzy zrnitostných frakcií pod 2 mikrometre je obsah v hlavnej fáze – zmiešanovrstevnatý illit-smektit s 80 - 90 % zastúpením smektitovej zložky a illit-muskovit.

Vysoký obsah zmiešanovrstevnatých ílových minerálov illit-smektit podmieňuje rozvoj objemových zmien pri zmenách vlhkostí a na styku horniny s vodou.

Vo formácii kvartérnych sedimentov prevládal na povrchu deluviálny komplex a komplex zosuvných delúvií. Zosuvné delúvia sú vyvinuté na úpätí východných svahov masívu Okruhliaku a zasahujú až do územia východného portálu. Zosuvy sú vyvinuté aj v pravých, morfológicky členitých svahoch Surdockého potoka (koridor príjazdovej cesty k portálu) a na svahoch eróznej depresie, ktorá tvorí severné, severovýchodné a východné ohraničenie svahov Okruhliaku v koridore tunela.

3 Etapy a metodika inžinierskogeologického prieskumu

Inžinierskogeologický prieskum (ďalej „ighp“) pre tunel Okruhliak bol realizovaný v etapách:

- orientačný ighp v etape DUR v pôvodnej variante (2008)
- orientačný ighp v etape DSP, variant krátky tunel (2013)
- podrobný ighp v etape DSP, variant krátky tunel (2013)

Všetky etapy IGHP realizovala spoločnosť GEOFOS, s r. o. Metodika prieskumov bola viazaná na požiadavky objednávateľa, etapu prieskumu a rozsah overených a predpokladaných rizikových vlastností horninového prostredia. V etape orientačného a podrobného IGHP pre variant „krátky tunel Okruhliak“ boli realizované v postupnosti:

- Geofyzikálne práce v trase oboch TR a v oblasti portálov ako merania geoelektrickou odporovou metódou (SOP, VES). Dĺžka profilov bola v LTR – 2 200 m a v PTR – 2 210 m. V oblasti portálov boli realizované seizmické profily v počte 6 ks v dĺžke 995 m.
- Inžinierskogeologické (ďalej „ig“) a hydrogeologické (ďalej „hg“) vrty v koridore variantu krátkeho Okruhliaku boli realizované systém WIRE LINE pre získanie kvalitného jadra masívu profilom PQ (117 mm). Vrty v etape podrobného ighp boli situované na základe interpretácie geofyzikálnych meraní. V rámci DSP v oboch etapách ighp bolo realizovaných 15 vrtov (900 m). V oblastiach portálov boli doplnené o vrty presiometrické, inklinometrické a hydrogeologické. Celkom sa v oboch etapách IGHP realizovalo 27 ks v dĺžke 1 072 m. Vo vrtoch bola zrealizovaná karotáž GK (gama karotáž), GKG (gamagama karotáž), TM (termometria) a RM – rezistivimetria, meranie odporu vody v dĺžke 675 m.
- V oblasti portálov bol prieskum doplnený o banské diela (2 ks šachtíc), sondy dynamickej penetrácie (4 ks - 39,6 m).

- Výsledky prieskumu boli spracované ig pozdĺžnymi a priečnymi rezmi L'TR, PTR (celkom 26 profilov). V rezoch boli zohľadnené predpokladané sklony vrstiev, sklony zistených tektonických porúch z vrtoz a ich predpokladaná šírka, interpretované sklony zlomov z mapy tektonickej nerovnorodosti, interpretované dosahy zón zvetrania, úrovne ustálených hladín podzemnej vody. Na základe predpokladu priebehu prvkov cez tunelové rúry (L'TR-PTR) boli tieto úrovne prenesené v profiloch rezov do pozdĺžnych profilov L'TR a PTR. V profiloch boli vyznačené prevládajúce ig typy so stupňom zvetrania a vyznačené predpokladané šírky tektonického porušenia. Súčasťou pozdĺžnych rezov (obr. 2) sú interpretácie geofyzikálnych meraní, predpokladaná litologická stavba, tektonické porušenie a inžinierskogeologické („ig“), hydrogeologické („hg“), hydrochemické a geotechnické („gt“) charakteristiky masívov TR a gt klasifikácie masívov. Samostatne sú znázornené predpokladané rizikové vlastností (nestabilita výrubu v čelbe, nestabilita kaloty, stien, rozvoj objemových zmien).
- Účelovou inžinierskogeologickou mapou (mapou tektonickej nerovnorodosti) na základe dokumentácie a interpretácie geologických diel a výsledkov laboratórnych skúšok v celej šírke koridora oboch alternatív tunelov (obr. 3). Mapa bola skonštruovaná najmä na základe interpretácie geofyzikálnych profilov v oboch variantoch tunela (Flimmel, J., 2008, Flimmel, J., 2013) v L'TR a PTR, reinterpetácie detailnej dokumentácie jadrových ig vrtoz a šachtíc v trase tunelov a štúdie morfológie povrchu masívu Okruhliaku. V smerovom vedení TR sú zvýraznené aj rozčlenenia masívu na kvázihomogénne úseky a geotechnické bloky.

Pre účely charakteristiky horninového masívu v ig rezoch a pri charakteristike horninového masívu tunelov sme pre základné litologické, ig a gt typy v texte a v rezoch použili symboliku, vyjadrujúcu litologické typy (ílovce, prachovité ílovce – **I**, siltovce – **S**, pieskovce – **P**, zlepenec – **Z**), s doplnením ich kvality (rozložené až úplne zvetrané a tektonicky porušené - **Xtp**, silno až stredne zvetrané - **Xz**, slabo zvetrané až zdravé - **Xn**). Súčasne boli masívom priradené vlastnosti v zmysle STN EN 14689 – 1 (72 1001) pre stupeň zvetrania, rozmer a typ horninových blokov, pevnosť hornín a stupeň zvodnenia.

Pre vyjadrenie nerovnorodosti masívu sme vytypovali nerovnorodosť litologickú (striedanie vrstiev ílovca a pieskovca I/P), nerovnorodosť z hľadiska zvetrania (striedanie silno zvetraných a zdravých hornín).

Pre gt zhodnotenie horninových masívov sme použili účelové klasifikácie kvality horninového masívu určené na základe predpokladaného štruktúrneho, kvalitatívneho stavu horninového masívu:

RQD	(index kvality hornín v triedach 1 – 2 – 3 – 4 - 5)
RMR	(Rock Mass Rating – RMR, Bieniawski 1973) - kvalita horninového masívu
RMC	(Rock Mass Class) trieda horninového masívu I – II – III - IV - V
QTS	technologické skupiny Ia-Ib-II-III-IV pre profil výrubu 11,5 m (Tesař 1989)
QTS	vyčlenenie technologických tried 1-2-3-4-5a pre profil výrubu 11,5 m (Tesař 1992)
NRTM	vystrojovacie triedy razenia 1-2-3-4-5
ÖNORM	(Stavebné práce v podzemí – norma pre pracovnú zmluvu, 1994)
ÖNORM	(Stavebné práce v podzemí – norma pre pracovnú zmluvu, 2002)

4.1 Inžinierskogeologická charakteristika v trase tunela Okruhliak

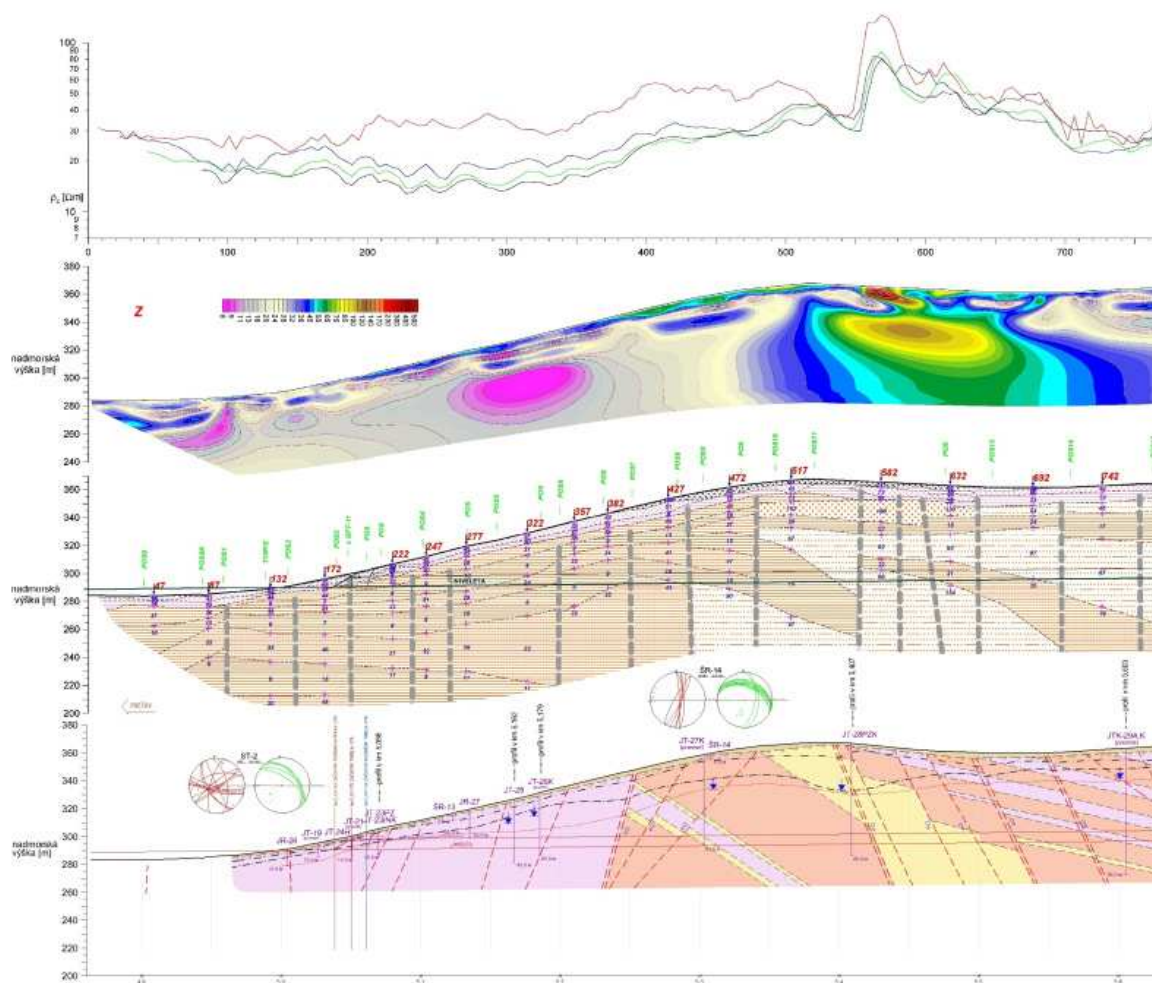
Na základe komplexného zhodnotenia získaných podkladov a geotechnických parametrov boli horninové masívy tunelových rúr rozčlenené na 11 kvázihomogénnych

masívov s číslovaním **1 až 11** s priradením geotechnického bloku **A1 – B1 – C – D – G – B2 – A2**.

Rozdelenie bolo urobené na základe predpokladaných podobných ig a gt pomerov v rovnako označených blokoch. Predpokladané vyčlenenie ich dĺžok je však v každej tunelovej rúre iné v závislosti od orientácie a priebehu hraničných tektonických zlomov a prevládajúceho typu zvetrania a litologických typov overených vrtnými prácami a interpretovanými geofyzikálnymi prácami. Dĺžkové vyjadrenie vyčlenených kvázihomogénnych blokov je spracované v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Rozčlenenie variantu krátkeho tunela Okruhliak na kvázihomogénne bloky
Table 1 The breakdown of the short tunnel option Okruhliak the quasi homogeneous blocks

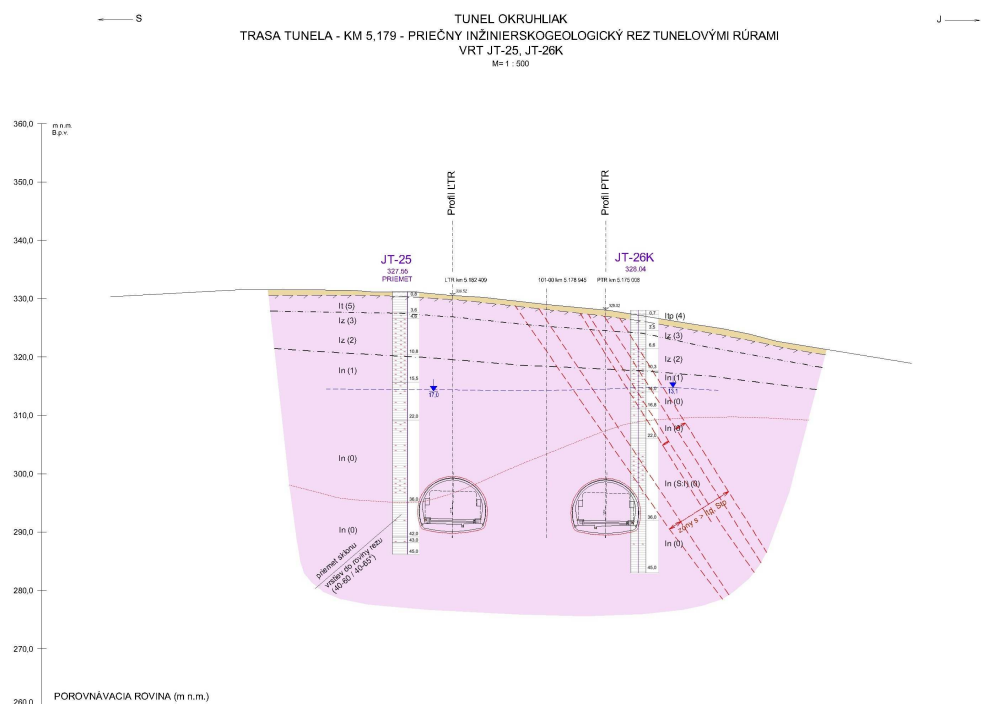
Označenie kvázihomogénneho bloku a označenie priradeného geotechnického bloku	Ľavá tunelová rúra (staničenie objektu LTR v km)			Pravá tunelová rúra (staničenie objektu PTR v km)		
	od (km)	dĺžka bloku v m	do km	od (km)	dĺžka bloku v m	do km
začiatok razeného tunela (km)	5,061 006			5,059 997		
1 / A1	5,061	103	5,164	5,059	95	5,154
2 / B1	5,164	76	5,240	5,154	81	5,235
3 / C	5,240	160	5,400	5,235	195	5,430
4 / D	5,400	100	5,500	5,430	90	5,520
5 / E	5,500	220	5,720	5,520	190	5,710
6 / F	5,720	170	5,890	5,710	170	5,880
7 / G	5,890	240	6,130	5,880	235	6,115
8 / C	6,130	260	6,390	6,115	255	6,370
9 / G	6,390	310	6,700	6,370	300	6,670
10 / A2	6,700	80	6,780	6,670	110	6,780
11 / B2	6,780	93	6,873	6,780	78	6,859
koniec razeného tunela (km)	6,873 000			6,858 500		



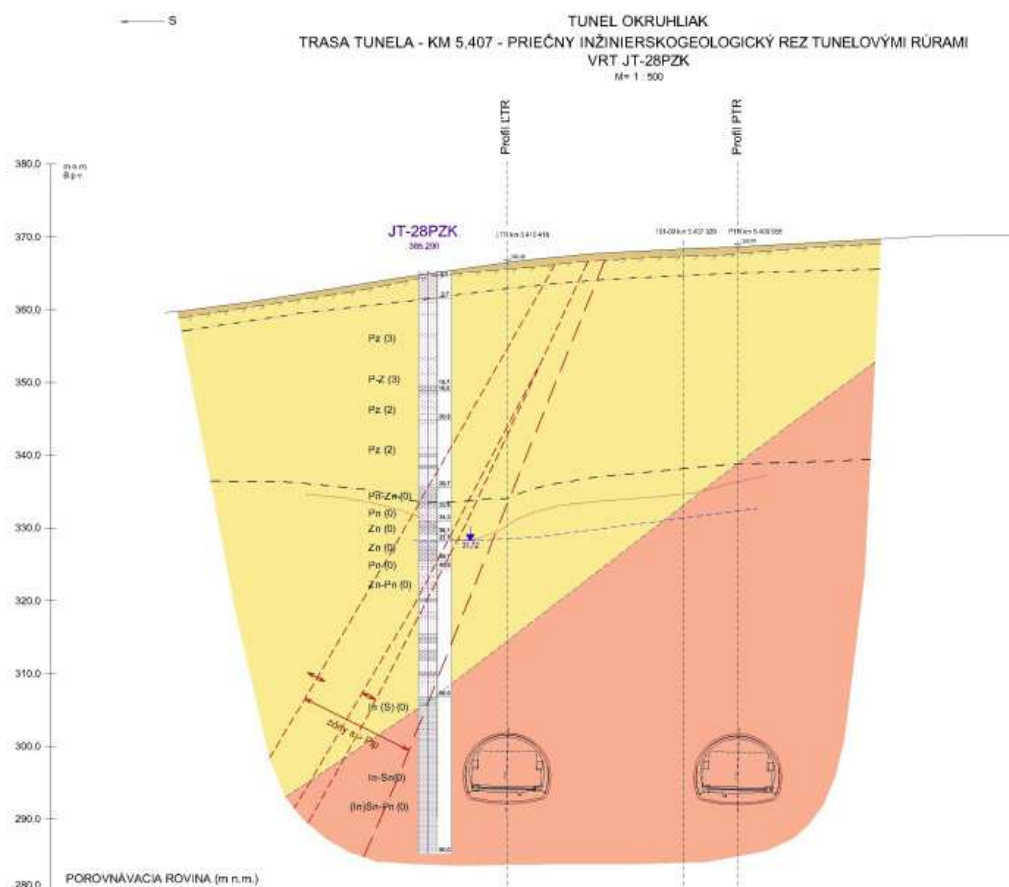
Obr. 2 Pozdĺžny inžinierskogeologický rez ľavou TR – západná časť
Fig. 2 Engineering geological longitudinal



Obr. 3 Účelová inžinierskogeologická mapa (tektonická nerovnorodosť) – západná časť
Fig. 3 Specialized engineering geological map (tectonic heterogeneity) – West part



Obr. 4 Priečný inžinierskogeologický rez v km 5,179 – západná časť masívu
Fig. 4 Engineering geological cross - section of 5,179 km – western part of the massif



Obr. 5 Priečný inžinierskogeologický rez v km 5,407 – západná časť masívu
Fig. 5 Engineering geological cross – section of 5,407 km – western part of the massif

Horninový masív vo vyčlenených 11-ich kvázihomogénnych blokoch bol charakterizovaný:

- Litologickou stavbou masívu, ktorá je v rovnakom zastúpení základných typov (prachovec, siltovec, pieskovec) ako v koridore pôvodnej, severnejšie situovanej alternatívy tunela Okruhliak. Prieskumom sa upresnilo priestorové rozšírenie typov, najmä s upresnením výskytu pieskovcov.
- Spresnením tektonického porušenia masívu, šírky zón a stupňa porušenia, ktoré je viazané na základné systémy zlomov SZ-JV, S-J a SV-JZ a ich štruktúry a šírky. Na základe predpokladu sme vo vyčlenených úsekoch predpokladali priebeh a šírku zlomov, s ich znázornením v priečných a pozdĺžnych rezoch.
- Textúrnymi a štruktúrnymi vlastnosťami masívu (vrstevnatosť). V oblasti portálov sa predpokladá, že prevládajúci smer sklonu v trase je SZ-JV až S-J so sklonom k SV až k V so sklonom, ktorý sa pravdepodobne z hodnôt 30 – 60° až 70° v západnej časti koridoru mení na sklon 10 – 30°, ojedinele 35 – 40° v strednej až východnej časti. Je predpoklad, že v zónach strižných zlomov môžu byť vrstvy lokálne zostrmené (vrt ST-2), ustrihnuté, resp. zvrásnené. S ohľadom na sklon je výhodnejší smer razenia zo západu na východ (sklon vrstiev do čelby). Vo východnej časti úseku, smerom k východnému portálu, je sklon vrstiev po svahu (10 – 25°), čo v kombinácii s nepriaznivými gt vlastnosťami hornín (ílovce), ich produktu zvetrania (íly s vysokou až extrémne vysokou plasticitou), s tektonickým porušením masívu pravdepodobne podmienilo vznik rozsiahlych svahových deformácií. Na výraznejšie rozvoľnenie masívu v úseku východných svahov poukazuje aj strata výplachu pri jadrovom vŕtaní vo všetkých vrtoch a hlbšia úroveň podzemnej vody.
- Dosah zón zvetrania. Zóna intenzívneho zvetrania je na väčšine koridoru do 3 – 8 m, ojedinele do 10 – 12 m. Dosah zóny zvetrania je do 10 – 12 m, ojedinele až do 16 – 18 m. V zónach porušenia a v úsekoch s prevahou ílovcov však dosah zón sa zvyšuje na úroveň 20 – 25 m. Výraznejší dosah zvetrania je v úseku s výskytom pieskovcov, v oblasti depresie a vo východnej časti masívu, v oblasti východného portálu, smerom k eróznej depresii. Výraznejšie zvetranie bolo overené prieskumnými dielami, najmä v LTR, ktorá je bližšie k sprievodnej depresii. Dosah zvetrania po puklinách (povlaky Fe, Mn oxidov, resp. výskyt sadrovcov) je do 10 – 18 m, ojedinele do 28 m (JT-28PZ,K).
- Výskyt voľného sadrovca, ktorý vzniká ako produkt zvetrávania pyritu v neogénnych sedimentoch. Sadrovce vo forme kryštalických výplní boli zistené nepravidelne v strednej, ale najmä vo východnej časti územia do veľkosti viac ako cm.
- Vlastnosťami puklín. Pukliny reprezentujú systémy so sklonom do 20 – 40° (prevažne vo väzbe na plochy vrstevnatosti). Zastúpené sú aj systémy so sklonom do 50 – 60 až 70 – 85°. Vrstevnatosť v ílovcoch a siltovcoch je prevažne laminovaná až tenkodoskovitá. Plochy sú prevažne hladké, rovné, ojedinele zvlnené, v povrchových zónach otvorené s výplňou ílu. Strmšie pukliny sú rovné, priebežné, často otvorené (najmä v zónach porušenia), s výplňou, povlakmi ílu do 0,05 – 2 mm, ojedinele, vo východnej strane boli overené porušené zóny s výplňou ílu do n.1mm až 10 – 20 mm. V šachtici ST-3 (východný portál) bola v neogénnom masíve narazená strmá tektonická zóna (S-J), otvorená do 100 – 180 mm s výplňou úlomkov. Vo vrtoch boli overené aj zóny budínáže, tektonicky porušených hornín charakteru litifikovaných, úlomkovitých zón. Šírka dielčích častí porušených zón bola overená do n. 0,1 m až n.1 m. Šírka celej porušenej zóny so

striedaním s menej porušenými zónami je možná do n.1 m až n.10 m. Podľa odbornej literatúry poklesy (strihy) na zlomoch mohli byť niekoľko desiatok až stoviek metrov.

4.2 Geotechnická charakteristika hornín a zemín

Geotechnické vlastnosti masívu sú odrazom litologickej stavby s prevahou „mladých – neogénnych“ hornín. Ílovce a siltovce sú charakterizované aj v zóne zdravých a neporušených hornín nepriaznivými, nízkymi gt vlastnosťami (pevnostné, deformačné), ktoré horniny zaraďujú medzi poloskalné horniny. Vrstvy pieskovcov s lokálnym prechodom do zlepenčov boli vo vysokom zastúpení interpretované iba v bloku 4 (obr. 5). V ostatných blokoch boli už interpretované pieskovce vo vývoji lavicovitých až doskovitých polôh s podradnejším zastúpením. Ich výskyt však predstavuje heterogenitu vlastností, najmä v oblasti pevnosti až nad 50 MPa, lokálne až do maximálne overenej pevnosti 95 MPa.

Z dôvodu mineralogického zloženia prachovitých ílovcov a siltovcov, vysokého obsahu zmiešanovrstevného minerálu smektitu do 80 – 90 %, sú horniny citlivé na zmenu vlhkosti a po kontakte s vodou. Na základe skúšok tlaku z napúčania a objemových zmien z napúčania boli vo všetkých vzorkách dodaných do laboratórií overené objemové zmeny. Odobraté vzorky na skúšky napúčavosti a tlaku z napúčania boli zrealizované v triaxiálnom lise (INGEO ENVILAB, s r. o. Žilina). Vypočítané hodnoty tlakov z napúčania sú v rozsahu **0,754-2,922 MPa a výsledný tlak je spočítaný aj s rekonsolidačným tlakom. Objemové zmeny sa pohybujú v intervale 0,61 – 6,69 %**. V laboratóriu ARCADIS CZ, a.s. Praha boli skúšky zrealizované v oedometrickom prístroji bez rekonsolidačného tlaku. Hodnota z napúčania bola zistená v rozsahu **0,033 – 0,628 MPa, objemové zmeny v intervale 0,2 – 4,6 %**. Objemové zmeny z napúčania sa u niektorých vzoriek neustálili ani po viac ako troch mesiacoch. Aj z tohto dôvodu sú horniny (ílovce, siltovce) po vystavení poveternostným vplyvom (po vyťažení, odvrtaní) nestabilné a rýchlo sa rozpadajú na úlomky až drvu.

Masívy tunelových rúr boli rozčlenené na kvázihomogénne bloky, ktoré v poradí charakterizovali rovnorodosť petografických, inžinierskogeologických, geotechnických a hydrogeologických vlastností. Nakoľko v masíve prevláda v celej dĺžke zastúpenie cca troch základných litologických typov súvrství v rôznych tektonických pomeroch s rôznym stupňom degradácie (zvetrávania), je možné vyčleneným kvázihomogénnym blokom priradiť podobné vlastnosti a 11 blokov charakterizovať v 7-ich základných geotechnických blokoch A – G:

- A1, A2 – Úseky portálov s prevahou zvetraných až rozložených hornín, s minimálnym nadložíom do 6 až 23 m, s extrémne nízkymi gt vlastnosťami horninového masívu.
- B1, 2 – Úseky priportálové, s nadložíom do 38 – 45 m, s predpokladom dosahu zvetrávania do úrovne kaloty iba v prvých metroch, s heterogenitou zvetrávania (silne zvetrané až slabo zvetrané), heterogenitou pevností horninového masívu (R6 - R4).
- C – Úseky s interpretáciou výskytu zdravého, iba lokálne slabo zvetraného (1) súvrstvia ílovcov, siltovcov s výraznejším zastúpením vrstiev prachovitých ílovcov až siltovcov, ojedinele pieskovcov, ojedinele tektonicky porušené, s nadložíom v rozpätí do 60 - 65 m.
- D – Úseky s interpretáciou výskytu zdravého súvrstvia pieskovcov, siltovcov, ojedinele ílovcov, výraznejšie tektonicky porušené so zastúpením zón porušenia v okolí zlomov so šírkou n.0,1 až prvých n.1 m s predpokladom prítokov podzemných vôd do 3,0 l.s⁻¹, s nadložíom v rozpätí 60 – 65 m. Masív s heterogenitou gt vlastností pri výskyte pieskovcov a ílovcov a s najvyššími, lokálnymi gt vlastnosťami pieskovcov.

Tabuľka 2 Prehľad charakteristík a geotechnických vlastností vyčlenených blokov
Table 2 Overview of the characteristics and geotechnical properties of the allocated blocks

Blok číslo	1	2	3	4
Geotechnický blok	1 / A1	2 / B1	3 / C	4 / D
Dĺžka bloku v LTR	103	76	160	100
Dĺžka bloku v PTR	95	81	195	90
Základné litologické typy	Iz, Itp, Pz>In	In, Itp > Sn, Stp, Iz	Sn, In > Stp, Itp, Pn, Ptp	Pn, Sn ≥ Ptp, Stp, In, Itp
Kvalitatívne vlastnosti (min - max / priemer)				
RQD (%)	0-10 (20)	(10) 30-40 (70)	(40) 50-60 (80-90)	50-80 (95)
QTS	28-35 / 30	32-40 / 35	35-60 / 45	35-65 / 55
QTS - Tech. Skupina	IV	IV (III)	III (IV)	(IV) III (II)
RMR	15-25	22-32	35-40	38-45
RMC	V	IV	IV-III	IV-III
NRTM Tech. trieda	5a	5a (4)	(5a) 4 (3)	(5a) 4 - 3
ÖNORM B 2003 - 1994	C2-C3 (C5)	C2-C3 (C5) B3	(C2,C5) B3 (B2)	(C2) B3 - B1
ÖNORM B 2003 - 2002	4,7,8,10	2 (4) 10	2 (10,11)	2, 11
Geotechnické vlastnosti (min - max / priemer)				
pevnosť v prostom tlaku σ_c (g.cm ⁻³)	0,19-5,60 / 2,50	1,15-9,50 (12,0) / 4,30	5,0-18,0 (95,0) / 11,0	4,0-50,0 (95,0) / 20
modul deformácie E_{def} (Mpa)	15-140 / 40	60-450 / 250	150-600 (800) / 400	250-800 (1500) / 550
Poissonovo číslo	0,2-0,4 / 0,32	0,25-0,30 / 0,27	(0,17) 0,2-0,3 / 0,24	0,17-0,27 / 0,21
uhol vnútorného trenia Φ_{ef} (°)	17-28 / 23	25-28 / 26	28-32 (36) / 30	28-36 / 33
kohézia c_{ef} (kPa)	10-30 / 20	30-40 / 30	20-60 / 40	30-120 / 60

Blok číslo	5	6	7
Geotechnický blok	5 / E	6 / F	7 / G
Dĺžka bloku v LTR	220	170	240
Dĺžka bloku v PTR	19	170	235
Základné litologické typy	Sn, In > Stp, Itp, Pn, Ptp	Sn, In, Pn > Stp, Itp, Ptp	In, Sn, Itp, Stp > Pn, Ptp
Kvalitatívne vlastnosti (min - max / priemer)			
RQD (%)	(10) 60-75 (80-100)	(30-50) 70 (90)	(40) 50-80 (80-100)
QTS	39-63 / 50	35-60 / 50	30-55 / 48
QTS - Tech. Skupina	(IV) III (II)	(IV) III (II)	(IV) III
RMR	37-44	33-40	30-42
RMC	III-IV	IV (III)	IV-III
NRTM Tech. trieda	(5a) 4 (3)	(5a) 4 (3)	(5a) 4
ÖNORM B 2003 - 1994	(C5, C2) B3-B2	(C5, C2) B3 (B2)	(C5) C2-B3 (B2)
ÖNORM B 2003 - 2002	2, 10 (11)	2, 10 (11)	2, 10 (11)
Geotechnické vlastnosti (min - max / priemer)			
pevnosť v prostom tlaku σ_c (g.cm ⁻³)	5,5-37,0 / 16,5	5,0-16,0 (38,0) / 12,0	3,5-15,5 (55,0) / 7,0
modul deformácie E_{def} (Mpa)	250-700 (1200) / 500	200-600 (800) / 450	100-550 / 300
Poissonovo číslo	0,21-0,27 / 0,24	0,2-0,3 / 0,25	0,2-0,3 / 0,25
uhol vnútorného trenia Φ_{ef} (°)	28-32 / 30	28-32 / 30	28-35 / 30
kohézia c_{ef} (kPa)	30-90 / 50	30-90 / 50	30-90 / 50

Blok číslo	8	9	10	11
Geotechnický blok	8 / C	9 / G	10 / B2	11 / A2
Dĺžka bloku v LTR	260	310	80	93
Dĺžka bloku v PTR	255	300	235	78
Základné litologické typy	Sn, In > Stp, Itp, Pn, Ptp	Sn, In, Stp, Itp>Pn, Ptp	In, Itp, Iz, Sn, Stp>Pn, Ptp	Iz, Itp>Pz, Ptp, In
Kvalitatívne vlastnosti (min - max / priemer)				
RQD (%)	(30-60) 70-80 (90-95)	(15-40) 40-60 (70-80)	(10-30) 40-60 (70)	0-10 (20)
QTS	34-53 / 45	33-55 / 45	32-40 / 35	28-35 / 30
QTS - Tech. Skupina	(IV) III	(IV) III	(IV) III	IV
RMR	36-40	(23)30-35(40)	22-32	15-25
RMC	III-IV	IV	IV-V	V
NRTM Tech. trieda	(5a) 4	(5a) 4	(5a) 4	5a
ÖNORM B 2003 - 1994	(C5,C3,C2) B3 (B2)	(C5) C3-C2-B3 (B2)	C2-C3(C5)-B3	C2-C3 (C5)-B3
ÖNORM B 2003 - 2002	2, 10 (11)	2, 10 (11)	2 (4, 7)10	4, 7, 8, 10
Geotechnické vlastnosti (min - max / priemer)				
pevnosť v prostom tlaku σ_c (g.cm ⁻³)	3,0-18,0 / 10,0	2,0-17,0 (43,0) / 8,0	1,0-8,0 / 4,0	0,15-5,5 / 2,50
modul deformácie E_{def} (Mpa)	150-600 (800) / 400	100-550 / 300	50-350 / 200	8-120 / 35
Poissonovo číslo	0,21-0,3 / 0,25	0,20-0,3 / 0,25	0,125-0,3 / 0,27	0,30-0,42 / 0,35
uhol vnútorného trenia Φ_{ef} (°)	28-32 / 30	28-34 / 30	25 - 28 / 26	15,5-28 / 21
kohézia c_{ef} (kPa)	30-90 / 50	30-90 / 50	15-40 / 25	5-25 / 15

- E – Úseky s interpretáciou výskytu zdravého súvrstvia ílovcov a siltovcov, ojedinele pieskovcov s tektonicky porušenými zónami, v málo mocných vrstvách do 0,2 – 0,5 m, s heterogenitou gt vlastností ílovcov, najmä pevností, s nadložíím v rozpätí od 60 m, s interpretovanými, ojedinelými tektonickými líniami, bez predpokladu výrazných prítokov podzemnej vody.
- F – Úseky s interpretáciou výskytu zdravého, tektonicky porušeného súvrstvia siltovcov, ílovcov, ojedinele pieskovcov v málo mocných vrstvách do 0,0 – 0,5 m, s nadložíím v rozpätí od 30 do 40 – 55 m, s interpretovanými, tektonickými líniami s porušením do mocnosti n.0,1 m, ojedinele až do n. 1 m.
- G – Úseky s interpretáciou výskytu ílovcov, siltovcov s tektonicky porušenými zónami v depresii a v oblasti východných svahov, ojedinele pieskovcov v málo mocných vrstvách do 0,2 – 0,5 m, s nadložíím v rozpätí od 30 v depresii a 35 – 60 m na východných svahoch, s interpretovanými, tektonickými líniami s porušením do mocnosti n.0,1 m, ojedinele až do n. 1 m.

Z určených klasifikácií horninového masívu boli orientačne priradené technologické triedy (Tesař, 1992) (tabuľka č. 16, 17) s rozdelením tried pre každú tunelovú rúru (tabuľka 3).

Tabuľka 3 Rozdelenie tunelových rúr podľa technologických tried
Table 3 The distribution of tunnel tubes by technology experiment

Technologická trieda	Dĺžka	Ľavá tunelová rúra		Pravá tunelová rúra	
Technologická trieda 3	m	138	8 %	129	7 %
Technologická trieda 4	m	1 010	56 %	1 002	56 %
Technologická trieda 5a	m	664	37 %	668	37 %
	Spolu	1 812	100 %	1 799	100 %

Geotechnické charakteristiky zemín a hornín boli spracované vo výsledkoch z IGHP:

- pre základné litologické typy zemín a hornín (1. íly a ílovce úplne zvetrané; 2. ílovce a siltovce silno a stredne zvetrané; 3. ílovce slabo zvetrané a zdravé; 4. siltovce slabo zvetrané a zdravé; 5. pieskovce silno a stredne zvetrané a pieskovce slabo zvetrané a zdravé);
- pre vyčlenené geotechnické bloky boli spracované predpokladané rozsahy gt vlastností, ktoré sú spracované v tabuľke č. 2. Pôvodná charakteristika bola súčasťou pozdĺžnych ig rezov.

4.3 Hydrogeologická charakteristika masívu tunela Okruhliak

V rámci hydrogeologickej rajonizácie prechádza trasa R4 Prešov – severný obchvat východným okrajom hydrogeologického rajónu QP 120 Paleogén Spišsko-šarišského medzihoria, Bachurne a Šarišskej vrchoviny v povodí Torysy. Od km 5,150 vrátane tunela Okruhliak prechádza postupne od západného okraja po centrálnu časť hydrogeologického rajónu NQ 123 Neogén východnej časti Košickej kotliny, kde je situovaný aj tunel Okruhliak.

Na celej ploche masívu v koridore tunela nie sú registrované vývery podzemnej vody. Ploché depresie vo vrcholových častiach a depresie v údoliach sú zamokrené, s akumuláciou zrážkových vôd po obdobiach zrážok. Z dôvodu nepriepustnosti povrchovej vrstvy ílov je

povrch územia dlhodobo zamokrený. Lokálne silne rozptýlené vývery vôd sú registrované v dielčej depresii orientácie SZ-JV v JZ svahu, západne od Surdoku, v rozsiahlom masíve blokových zosuvov.

Na základe regionálneho hodnotenia je súvrstvie prachovitých ílovcov charakterizované nízkou priepustnosťou. Pri realizácii vrtných prác, po realizácii čerpacích skúšok a karotáže boli takmer vo všetkých vrtoch overené hladiny podzemnej vody v rozpätí od 4,10 m p.ú.t (JT-30) až do 37,72 m p.ú.t (JT28PZ,K). Po ukončení čerpania hladina vystúpila do ustálenej úrovne čo znamená, že v horninovom masíve sú statické zásoby vody s prúdením v systéme puklín – kolektorov. Pri raziacich prácach je preto nutné očakávať vlhké až mokré prostredie s rozptýlenými až jednotlivými, sústredenými prítokmi do cca 1 – 3 l.s⁻¹, ktoré však s postupom prác budú znižovať svoju výdatnosť.

Na základe odberu vzoriek podzemných vôd, po odčerpaní z vrto, a fyzikálno-chemických analýz bola vo vrtoch (aj opakovane) JT-23PZ, JT-28PZK, JTK-31APZK, JT-37PZ overená síranová agresivita so stupňom chemického pôsobenia vôd na betón v zmysle STN EN 206-1 XA1 až XA2. Vo vrtoch JT-30 a JT-32PZK sa predpokladá síranová, resp. aj amónna agresivita. Všetky vody vykazujú IV. Stupeň korozívneho pôsobenia vôd na železo podľa STN 03 8372 z dôvodu vodivosti, ojedinele obsahu SO₄+Cl (JT-37PZ).

5 Záver

Inžinierskogeologické, geotechnické a hydrogeologické vlastnosti masívu charakterizované prevahou poloskalných hornín, ich výraznejším zvetraním, objemovými zmenami, predpokladom výskytu agresívnych typov vôd vykazujú výrazné riziká pri razení tunelových rúr. Metóda razenia a spôsob zabezpečenia si vyžiada náročné technológie a vysoké náklady. Na základe doterajších skúseností nebol doteraz na Slovensku pripravovaný a realizovaný tunel v podobných geotechnických pomeroch.

6 Zoznam použitej literatúry

Kaličiak M., et. al. Geologická mapa Slanských vrchov a Košickej kotliny - severná časť M1:50 000 1991 GÚDŠ Bratislava) Popradskej kotliny, Hornádskej kotliny, Levočských vrchov, Spišsko-šarišského medzihoria, Bachurne a Šarišskej vrchoviny

Martinčeková, T. et.al., 2008: Rýchlostná cesta R4 – Prešov, severný obhvat, orientačný ighp, GEOFOS, s.r.o. Žilina

STN EN 206-1 Betón, časť 1, Špecifikácia, vlastnosti, výroba, zhoda. Novely z 2009 a 2011

STN EN 14689 – 1 (72 1001) Pomenovanie a popis hornín

STN 03 8375 Ochrana kovových potrubí uložených v pôde alebo vo vode proti korózii, 1993